

Revista de la Universidad del Valle de Guatemala

Año 2021 ♦ No. 42



- Origen. SARS-CoV-2 • 13 años de monitoreo de Influenza aviar en aves acuáticas migratorias en la Costa Sur
- Mujeres indígenas en carreras científico-tecnológicas, una brecha por reducir • Monitoreo de las condiciones ecológicas y la vegetación nativa en la región litoral del Lago Atitlán usando sensores remotos



REVISTA No. 42 AÑO 2021

EDITOR

Carlos Rolz Asturias
Investigador Emérito
Benefactor, Grupo Educativo del Valle

CONSEJO EDITORIAL

Eduardo Álvarez
Director, Departamento de Física

Linda Asturias de Barrios
Decana, Facultad de Ciencias Sociales

Edwin Castellanos
Director, Observatorio Económico Sostenible

Celia Cordon de Rosales
Directora, Centro de Estudios en Salud

Jacqueline García de De León
Directora General de Estudios

Adrián Gil
Decano, Facultad de Ciencias y Humanidades

Xiomara E. Juárez
Representante Decano Colegio Universitario
y Asuntos Estudiantiles

Fernando Paiz Mendoza
Decano, Facultad de Ingeniería

Mónica Stein
Vice-rectora de Investigación y Vinculación

Carolina Roca
Representante Decana Facultad de Educación

TODA CORRESPONDENCIA DEBERÁ SER DIRIGIDA A:

M.Sc. Carlos E. Rolz, Editor
Oficina II, -312
Universidad del Valle de Guatemala
Apartado Postal No. 82, Guatemala 01901
Teléfono directo: 2368 8310
editor.revista@uvg.edu.gt

ISSN 1607-5706 (impreso)
ISSN 2311-7648 (electrónico)

DISEÑO E IMPRESIÓN:

Compudiseño
compudiseño1@gmail.com



MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO

Universidad del Valle de Guatemala

Rector

Roberto Moreno Godoy

Vice-rectora Académica

María Luisa Durando de Boehm

Vice-rectora de Investigación y Vinculación

Mónica Stein*

Vice-rector Administrativo

Luis Fernando Andrade*

Directora de Estudios

Jacqueline García de De León

Secretaria del Consejo Directivo

Victoria Eugenia Rosales

Secretaria Ejecutiva de la Fundación (FUVG)

Cynthia del Águila

Vocales Asesores

Salvador Biguria

Federico Bolaños

Ramiro Castillo

Fernando Paiz

Benjamin Sywulka

Yolanda Toledo de Leal

Jorge Eskenasy

Invitados permanentes del Consejo Directivo

Luis Fernando Andrade*

Adrián Gil

Sofía Papahiu

Cristián Rodríguez

Mónica Stein

www.uvg.edu.gt/publicaciones/revista

Contenido

EDITORIAL

<i>Carlos Rolz</i> Las revoluciones recientes del pensamiento científico.	5
--	---

PERSPECTIVA

<i>Carlos Rolz</i> Origen. SARS-CoV-2	6
--	---

ENSAYO

<i>Carlos Rolz</i> GPS & Ciencia y tecnología.	9
---	---

ARTÍCULO DE OPINIÓN

<i>Jorge Luján Muñoz</i> Apología de la tranquilidad.	10
--	----

ARTÍCULO DE OPINIÓN

<i>Ingrid de León Vilaseca y Mardoqueo Velásquez Gómez</i> Efecto de COVID-19 en el área laboral de los Ingenieros en Guatemala.	11
---	----

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

<i>Dione Méndez, David Morán, Lucía Ortiz, Carlos Serrano, Maria Eugenia Morales-Betoulle, Danilo Álvarez, Ana S. González Reiche, Maria L. Müller-Theissen, Daniel R Pérez, Celia Cerdón-Rosales</i> 13 años de monitoreo de Influenza aviar en aves acuáticas migratorias en la Costa Sur de Guatemala.	20
--	----

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

<i>Ana Lucía Solano Garrido, Ingrid Vanessa Granados Barneond</i> Mujeres indígenas en carreras científico-tecnológicas, una brecha por reducir.	28
---	----

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

<i>Jorge García-Polo, Stewart A.W. Diemont, Michelle Catalán, Miguel Ávila</i> Monitoreo de las condiciones ecológicas y la vegetación nativa en la región litoral del Lago Atitlán Guatemala usando sensores remotos.	37
---	----

ARTÍCULO DE OPINIÓN

Allyson Janett Camposeco Zea y Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

47

Dimensionamiento de una bomba de calor para aprovechamiento de calor residual en los procesos convencionales de la industria guatemalteca y su utilización en aplicaciones de baja entalpía.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

María Jesús Angulo, María Fernanda Pineda, Alberto Rivera, Héctor Antonio Hurtarte

61

Diseño de implementación de una herramienta de software para el estudio de la epilepsia.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

María Valeria Ochoa Elías, Rodrigo Mejicanos Cifuentes, José Daniel de Paz Gil, Margarita Franco Cifuentes

71

Evaluación de la presencia de bacterias reductoras de hierro en el sedimento del Lago de Amatitlán, Guatemala.

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Eduardo José Conde Orellana

77

Descripción de úlceras por decúbito, manejo quirúrgico, y complicaciones postoperatorias en pacientes masculinos tratados en Hospital General de Accidentes del seguro social de Guatemala, del año 2017 al 2019.

RESEÑA

Tomás Barrientos Q. y Ernesto Arredondo L.

83

Reseña del Primer Congreso Mesoamericano de Astronomía Cultural.

RESEÑA

Luisa F. Escobar, Jocelyne Ponce, Adriana de León

88

Reseña del Primer Congreso de Arqueología de la Diversidad: las Mujeres en la Arqueología Guatemalteca.

INFORMACION GENERAL

95

Procedimiento editorial y guía de instrucciones para los autores.

AGRADECIMIENTO

Se desea agradecer la labor de las personas que durante el año 2021 revisaron los artículos publicados en el presente número. Los comentarios efectuados y las sugerencias incorporadas contribuyeron para que el material publicado fuese claro en su exposición y estuviese al nivel de las características que una revista científica demanda.

Las revoluciones recientes del pensamiento científico

Resaltan en los tiempos modernos varios desarrollos científicos que han impactado a la sociedad, y que, en un momento, bajo un punto de vista dado, pueden calificarse de revoluciones.

El primer desarrollo ocurrió en las ciencias físicas a principios del siglo XX. Específicamente con los artículos publicados por Albert Einstein, relacionados con propiedades de la materia, estudiada a escala del átomo. Principios que impulsaron la exploración espacial, el GPS y los semiconductores, entre otros.

En la segunda mitad del siglo XX, el desarrollo del bit, o sea el dígito binario, significó que todo tipo de información puede ser codificado por una combinación de 0 y 1. Lo anterior derivó en productos, tales como el microchip, el computador personal, la internet, y el teléfono celular, los cuales, indiscutiblemente han impactado nuestra manera de comunicarnos y trabajar.

En esta parte del siglo XXI, resalta la revolución en las ciencias de la vida, centrándose en aspectos relacionados con el genoma. Conocemos la estructura fundamental de nuestro genoma, o sea, nuestra naturaleza desde el punto de vista químico-estructural, y se inventaron procedimientos para modificarlo a voluntad. Que desarrollos nos espera en los próximos años con esta herramienta científica, es difícil de describirlos y ni siquiera imaginarlos, ya que el futuro se encuentra abierto a posibilidades.

Por otro lado, la pandemia reciente, ha plasmado en los biólogos moleculares una disposición a colaborar e intercambiar experiencias nunca antes vista. En ese sentido, el trabajo laborioso de muchos años para lograr manipular el ADN y ARN, encontró la justificación en la pandemia para desarrollar vacunas novedosas empleando elementos estructurales del virus, a diferencia de las vacunas tradicionales que emplean el virus atenuado. Los protocolos se aumentaron de escala, y fueron trasladados por ingenieros bioquímicos, a las líneas de producción en masa cuyo objetivo era producir billones de dosis demandadas por la humanidad con la eficacia y calidad requerida. Ambas tareas, que pueden calificarse de titánicas, se llevaron a cabo en un tiempo record ante el asombro general. ¿Cómo han impactado las vacunas en el desarrollo de esta catástrofe? Las respuestas vendrán dentro de algunos años.

En esta época, también se ha despertado la noción de que nuestro planeta es finito en recursos, que nuestras acciones generan desperdicios en exceso, y provocan impactos negativos en nuestra atmósfera, poniendo en riesgo la vida tal como la conocemos. ¿Qué desarrollos futuros se visualizan para poder cimentar lo que denominamos sustentabilidad? ¿Podrán ser realidades en la segunda mitad del siglo?

Las cápsulas de información descritas, resumen la importancia de las ciencias y las ingenierías en el devenir diario de nuestra vida, ya que han impuesto condiciones y barreras, buenas o malas, en nuestro conglomerado social humano, nuestra relación con el ambiente, y con todos los seres vivos.

Carlos Rolz
Editor

Origen. SARS-CoV-2

Carlos Rolz

Centro de Ingeniería Bioquímica, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala - carlosrolz@uvg.edu.gt



Nota: Fuente de la fotografía: Nature 592: 337-338

Saber cómo emergió el SARS-CoV-2 en el año 2019 es indispensable para mitigar el riesgo de futuros brotes, en otras palabras, *conocer a tu enemigo es un factor crítico para eventualmente ganar la batalla*. En el mes de mayo del 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS-WHO) organizó un equipo de científicos, el cual viajó a China, y en conjunto con investigadores de ese país, presentaron un informe, el cual se publicó en noviembre del mismo año. A pesar de los hallazgos, no se encontró evidencia certera para apoyar de una forma concluyente, si fue causado por un derrame natural zoonótico, o por un accidente de fuga en algún laboratorio. Sin embargo, el grupo de expertos, dictaminó a la primera opción, como un *evento posible y muy posible en la realidad*. El Presidente Joe Biden solicitó a la comunidad de inteligencia de su país, a finales de mayo del 2021, investigar el posible origen del virus. De nuevo, el informe fue poco concluyente, siendo la conclusión mas importante desechar la posibilidad que el virus hubiese sido desarrollado como arma biológica. Recientemente, la

Organización Mundial de la Salud (OMS-WHO) seleccionó un grupo de expertos para encauzar la tarea, sin embargo, se desconoce a la fecha si habrá una cooperación de China.

Los murciélagos son reservorio de virus zoonóticos y no presentan enfermedad alguna por ello. Han sido sujetos de estudio y se han identificado en ellos virus de la rabia y lissavirus, Hendra, Sosuga, y Nipah, henipavirus, Ebola y Marburg, filovirus, MERS y SARS, coronavirus respectivamente. Tales virus son patógenos hacia los humanos, además, existe evidencia experimental de la transmisión a humanos, generalmente, aunque no siempre, empleando un hospedero intermedio, civetas en el caso del SARS-CoV, y

dromedarios en el caso de MERS. La presencia de coronavirus en murciélagos de países del sudeste de Asia es un descubrimiento reciente, causando asombro de la gran diversidad de virus detectado en ellos.

Los coronavirus son virus de ARN que infectan a aves, animales y humanos. De los cuatro géneros existente, los beta-coronavirus (BetaCoVs) llaman la atención, primero, por su patogenicidad y potencial para causar infecciones humanas con alta transmisión, y segundo, por la gran cantidad de especies que han sido identificadas en los murciélagos. El SARS-CoV-2 (Covid-19) es el séptimo coronavirus conocido que infecta a humanos, el cual, junto con SARS-CoV, y MERSCoV provocan enfermedad severa; los cuatro virus restantes están asociados únicamente a síntomas leves.

El síndrome respiratorio agudo severo (SARS) fue detectado en el sur de China en los años 2002 y 2003. En el 2006 en 309 murciélagos de 13 especies colectados en Hong Kong se

identificaron seis BetaCoVs, bat-CoV HKU2, bat-CoV HKU6, bat-CoV HKU7, bat-CoV HKU8, del grupo 1 de coronavirus; y bat-CoV HKU4, del grupo 2. En el 2016 en una colección en China de 1067 murciélagos de 21 especies se identificaron 41 BetaCoVs, los cuales estaban relacionados con SARS. En el 2018 se informó de dos BetaCoVs en murciélagos colectados en Zhoushan, en el este de China, los virus bat-SL-CoVZC45 y bat-SL-CoVZXC21.

A finales de diciembre del 2019 se reportaron pacientes en Wuhan con síntomas de neumonía viral causado por un agente microbiano desconocido, además, se confirmó la transmisión directa entre humanos. Diez secuencias del genoma del virus de nueve de estos pacientes fueron extremadamente similares, con un 99.98 % de similitud. Por un lado, mostraron 88 % de similitud con los virus bat-SL-CoVZC45 y bat-SL-CoVZXC21, previamente mencionados. Sin embargo, por el otro lado, se distanciaron del SARS-CoV (cerca del 79 %) y del MERS-CoV (aproximadamente 50 %). El análisis filogenético reveló que el virus nuevo se catalogaba en el sub-género Sarbecovirus.

En un estudio de 411 murciélagos colectados en la provincia de Yunnan, en los años 2019 y 2020, se identificaron 24 genomas de BetaCoVs, de los cuales, cuatro estaban altamente relacionados con SARS-CoV-2, y tres con SARS. También en el 2020 se informó de otro virus aislado de la misma provincia de Yunnan en China, denominado RaTG13, el cual mostró una similitud en la secuencia del genoma del 96.2 % con el SARS-CoV-2. Aunque toda esta evidencia experimental apoyaba la existencia y la gran diversidad de BetaCoVs detectados en murciélagos en China, de ninguna manera confirmaban el origen del SARS-CoV-2 y del posible animal hospedero, del cual se derivó la infección humana.

Es pertinente indicar que no solo en China se han identificado BetaCoVs de murciélagos. En la región de Steung Treng en la parte noreste de Camboya, en muestras de 430 murciélagos de diferentes familias, se aislaron 5 BetaCoVs, de los cuales dos, RshSTT182 y RshSTT200, mostraron una similitud del 92.6 % con el genoma del SARS-CoV-2. En la prefectura Iwate en Japón se aisló un sarbecovirus con una similitud del 81.47 % con el SARS-CoV-2. Recientemente, en una caverna de Laos, en los murciélagos que en ese lugar habitan, se encontraron BetaCoVs que difieren del SARS-CoV-2 en uno o dos residuos, y, lo que es importante, es que se acoplan eficientemente a la proteína humana ACE2, tal como lo lleva a cabo el SARS-CoV-2 al infectar nuestras células.

Es por eso que el sudeste de Asia, en su totalidad, debería considerarse como el área geográfica apropiada para confirmar, con un mayor número de análisis, el posible origen del SARS-CoV-2 en murciélagos de dicha región. De hecho, se ha publicado que el nicho ecológico de BetaCoVs parecidos al SARS-CoV-2 incluye varias regiones del sudeste de Asia, y, por el contrario, el nicho ecológico de BetaCoVs parecidos al SARS-CoV se encuentra restringido a regiones de China. Se cree que la aproximación e incursión de asentamientos humanos en hábitats silvestres, debido a la expansión urbana y de cultivos,

así como la ganadería intensiva, favorece las enfermedades de origen zoonótico.

Como se expresó al principio no existe evidencia certera para apoyar de una forma concluyente, si la pandemia actual tuvo origen por un derrame natural zoonótico, o por un accidente de fuga en algún laboratorio. Por lo tanto, se considera propio terminar esta nota, en apoyo a comunicados recientes de un grupo de científicos involucrados: es importante considerar que la ciencia abarca hipótesis alternativas, argumentos contradictorios, la verificación, la refutabilidad y la controversia. Al apartarse de estos principios, se corre el riesgo de establecer dogmas, abandonando la esencia de la ciencia, y, aun peor, dando lugar a teorías conspirativas sin fundamento. En lugar de esto, la comunidad científica, debe llevar este debate al espacio natural donde pertenece, las columnas de las revistas científicas.

Bibliografía consultada

- Andersen et al. (2020) *The proximal origin of SARS-CoV-2* Nature Medicine 26: 450-455
- Bloom et al. (2021) *Investigate the origins of Covid 19* Science 372: 694 (2021).
- Brook et al. (2020) *Accelerated viral dynamics in bat cell lines, with implications for zoonotic emergence* eLife 9:e48401.
- Hassanin et al. *The ecological niche of SARS-CoV-2-like viruses in bats, as inferred from phylogeographic analyses of Rhinolophus species* (www.preprints.org doi: <https://doi.org/10.20944/preprints202103.0409.v1>)
- Huang, C. et al (2016) *Putative Receptor Binding Domain of Bat-Derived Coronavirus HKU9 Spike Protein: Evolution of Betacoronavirus Receptor Binding Motifs* Biochemistry 55: 5977-5988.
- Hul, V. *A novel SARS-CoV-2 related coronavirus in bats from Cambodia* (medRxiv preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2021.01.26.428212>)
- Irving et al. (2021) *Lessons from the host defences of bats, a unique viral reservoir* Nature 589: 363-370.
- Letko et al. (2020) *Bat-borne virus diversity, spillover and emergence* Nature Reviews Microbiology 18: 461-471.
- Li et al. (2005) *Bats Are Natural Reservoirs of SARS-Like Coronaviruses* Science: 310: 676-679.
- Lin et al. (2017) *Extensive diversity of coronaviruses in bats from China* Virology 507: 1-10.
- Lu et al. (2020) *Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding* The Lancet 395: 565-574.
- Mallapaty, S. (2021) *The Hunt for Coronavirus Carriers* Nature 591: 26-28.

- Mallapaty, S. (2021) *What's Next in the Search for Covid's Origins* Nature 592: 337-338.
- Mallapaty, S. (2021) *Did the Coronavirus Jump from Animals to People Twice?* Nature 597: 458-459.
- Mallapaty, S. (2021) *Laos bats host closest known relatives of virus behind Covid* Nature 597: 603.
- Maxmen, A. (2021) *US Covid Origins Report: Researchers Pleased with Scientific Approach* Nature 597: 159-160.
- Murakami et al. (2020) *Detection and Characterization of Bat Sarbecovirus Phylogenetically Related to SARS-CoV-2, Japan Emerging Infectious Diseases* 26 (12): 3025=3029.
- Pekar et al. (2021) *Timing the SARS-CoV-2 index case in Hubei province* Science 372 (6540) 412-417.
- Platto, S. (2021) *Biodiversity loss and COVID-19 pandemic: The role of bats in the origin and the spreading of the disease* Biochemical and Biophysical Research Communications 538: 2e13.
- Rasmussen, A.L. (2021) *On the origins of SARS-CoV-2* Nature Medicine 27: 8-9.
- Relman, D.A. (2020) *To stop the next pandemic, we need to unravel the origins of COVID-19* PNAS 117 (47): 29246-29248.
- Rulli et al. (2021) *Land-use change and the livestock revolution increase the risk of zoonotic coronavirus transmission from rhinolophid bats* Nature Food 2: 409-416.
- Sanchez et al. *A strategy to assess spillover risk of bat SARS-related coronaviruses in Southeast Asia* (medRxiv preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2021.09.09.21263359>)
- Sun et al. (2020) *COVID-19: Epidemiology, Evolution, and Cross-Disciplinary Perspectives* Trends in Molecular Medicine 26 (5): 483-495.
- Temmam, S. et al. *Coronaviruses with a SARS-CoV-2-like receptor binding domain allowing ACE2-mediated entry into human cells isolated from bats of Indochinese peninsula* (Research Square preprint doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-871965/v1>)
- USA Report <https://www.dni.gov/index.php/newsroom/reports-publications/reports-publications-2021/item/2236-unclassified-summary-of-assessment-on-covid-19-origins>
- Van Helden et al. (2021) *An appeal for an objective, open, and transparent scientific debate about the origin of SARS-CoV-2* The Lancet 398: 1402-1403.
- WHO Report https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332197/WHO-2019-nCoV-FAQ-Virus_origin-2020.1-eng.pdf
- Woo et al. (2006) *Molecular diversity of coronaviruses in bats* Virology 351: 180-187.
- Wu et al. (2020) *A new coronavirus associated with human respiratory disease in China* Nature 579: 265-269.
- Zhou et al. (2020) *A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin* Nature 579: 270-273.
- Zhou et al. (2021) *Identification of novel bat coronaviruses sheds light on the evolutionary origins of SARS-CoV-2 and related viruses* Cell 184: 4380-4391.

GPS & Ciencia y Tecnología¹

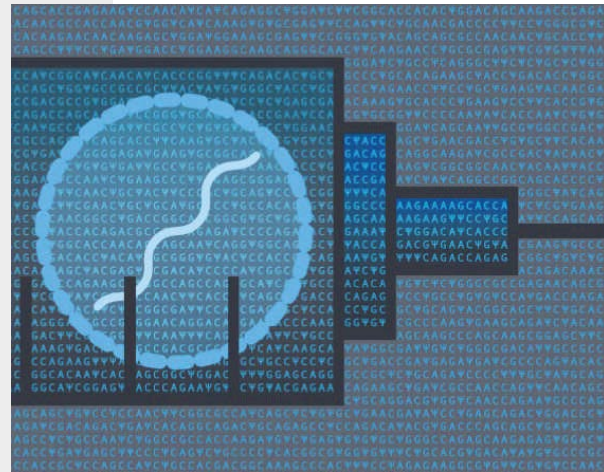
Carlos Rolz

Centro de Ingeniería Bioquímica, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala - carlosrolz@uvg.edu.gt

Elie Dolgin (2021) *The Tangled History of mRNA Vaccines* Nature 597: 318-324

Hundreds of scientists had worked on mRNA vaccines for decades before the coronavirus pandemic brought a breakthrough

Reportaje detallado de quienes trabajaron en la tecnología del mRNA, los objetivos iniciales, los problemas asociados, los hallazgos novedosos, la lucha por las patentes y por el reconocimiento científico. La presentación se ordena en los temas siguientes: la síntesis del mRNA en el laboratorio, el desarrollo de los compuesto lípidos, el producto de unir mRNA y los compuestos lípidos en nanopartículas estables, las modificaciones del mRNA para optimizar la síntesis proteica y alertar al sistema inmune humano, y los trabajos de sintetizar la proteína de la espiga del SARS-Covid2 y modificaciones de la misma. Además, citan en relieve los nombres de los principales científicos de las empresas Pfizer-BioNTech, Moderna y Curevac, que lograron la manufactura a gran escala de las vacunas mRNA.



Davide Castelvechi (2021) *Electric Cars: The Battery Challenge* Nature 596: 336-339

The age of the electric car is upon us. The electrification of personal mobility is picking up speed in a way that even its most ardent proponents might not have dreamt of just a few years ago

El informe se centra en dos puntos. Uno, la reducción en las baterías de metales que son escasos, caros y problemáticos en obtener. El otro, la mejora en el reciclo de las baterías agotadas. Las baterías de litio dominan el mercado actual y su precio ha caído dramáticamente, alrededor de un 30 %, desde el inicio de su comercialización. En promedio, dichas baterías contienen, 8 kg de litio, 35 kg de níquel, 20 kg de manganeso, y 14 kg de cobalto. El diseño actual de la batería garantiza una vida útil de la misma de 20 años, más o menos; de manera que, seguramente se recuperarán de los vehículos desechados, y podrán emplearse todavía, como generadores estáticos en diversas aplicaciones. Sin embargo, se estima que la demanda futura será de tal magnitud, que los dos puntos centrales del informe, han sido la causa de una masiva inversión en investigación y desarrollo.



¹ Nota: Las ilustraciones se han obtenido directamente de la fuente.

Apología de la tranquilidad

Jorge Luján Muñoz Investigador Emérito - Universidad del Valle de Guatemala

Hago a continuación algunas consideraciones acerca de la tranquilidad en los seres humanos.

Hace poco pensaba que era innecesario defender o justificar nuestra tranquilidad. Sin embargo, ahora creo conveniente meditar al respecto.

A nivel mundial estamos viviendo situaciones que hacen necesario reflexionar a fin de garantizar mejor nuestra tranquilidad, sin imposiciones ni fanatismo político, religioso, ideológico o de cualquier tipo. Es deseable vivir sin temores, coacciones, intransigencias, fanatismo o intolerancia.

La mejor forma de lograr la tranquilidad y que seamos mejores seres humanos es buscar la tranquilidad (personal y social). Ello facilita y perfecciona nuestra existencia. Debemos esforzarnos por ser serenos a fin de potencializar nuestra calidad de vida. Estoy convencido que al alcanzar la tranquilidad podemos ser mejores seres humanos en todos los aspectos, tanto el personal, como el familiar y el profesional.

Ello contribuye a que seamos personas mejores en todos los sentidos, con alta calidad humana.

Estoy seguro que si nos proponemos ser más tranquilos seremos más felices y eficaces.

Efecto de COVID-19 en el área laboral de los Ingenieros en Guatemala

Ingrid de León Vilaseca y Mardoqueo Velásquez Gómez

Centro de Procesos Industriales, Universidad del Valle de Guatemala

ildeleon@uvg.edu.gt, mvelasquez@uvg.edu.gt

Introducción

La pandemia de COVID-19 ha causado en el mundo impactos notorios en la economía Mundial. Las acciones que los gobiernos tomaron han tenido repercusiones para el año 2020.

Dentro de las medidas tomadas por los gobiernos para tratar de mitigar la propagación del COVID-19, se incluyen el confinamiento, las restricciones de movilidad, el distanciamiento social voluntario, la readecuación de las cadenas logísticas internacionales, cierre de fronteras, entre otras. Las medidas han sido establecidas dependiendo del país y sus características culturales.

El efecto de estas acciones, así como la incertidumbre causada por la pandemia, generó alteraciones en el equilibrio de oferta y demanda, impactos en el comercio y las finanzas, así como al surgimiento de mercados emergentes (crecimiento de mercados de mascarillas, desarrollo de nuevas caretas, servicios de compra de abarrotes y verduras a domicilio, etc.). También se generó el cierre de empresas que no fueron capaces de ajustarse a los cambios requeridos. El Banco Mundial, considera también, que los negocios informales se han intensificado derivados de la pandemia, así como un aumento en la pobreza extrema en los países en desarrollo.

Las proyecciones del Banco Mundial (2020) muestran una contracción de la economía mundial, que, según las previsiones sería de 5.2% del producto interno bruto (PIB) para el año 2020. Al mismo tiempo, el Fondo Monetario Internacional (FMI), proyectó un decrecimiento del PIB correspondiente 4.9% para el mismo año, mientras que para el año 2021 se esperaba un crecimiento de 5.4%. La proyección para América Latina y el

Caribe se muestra marcadamente más negativa con decrecimiento de 9.4 % del PIB (Instituto Centroamericano de Estudios Fiscales, 2020).

El Instituto Centroamericano de Estudios Fiscales, ICEF, (2020) indicó que la crisis de COVID-19 en Guatemala, marcó una desaceleración económica desde el mes de marzo con las medidas de contención emitidas por el Gobierno de la República.

El Índice Mensual de Actividad Económica (IMAE) para el mes de junio registró una contracción interanual del 8.6% comparado con los datos obtenidos en el mismo mes de 2019. El sector servicios se evidencia como uno de los sectores más afectados debidos a las medidas de distanciamiento social. Los sectores alojamiento y servicios de comidas presentaron una contracción del 27.7%, mientras que el sector de enseñanza registró un -16.6%, el sector transporte y almacenamiento -14.8%, el sector construcción -14.1% y el suministro de electricidad, agua y luz únicamente tuvo un decrecimiento del 2.6% (Instituto Centroamericano de Estudios Fiscales, 2020).

Según lo indicado por la Organización Internacional del trabajo, OIT, (2020) durante la crisis provocada por el COVID-19, 34 millones de empleos se han perdido en América Latina. Menciona también que las horas de trabajo se han reducido y que los ingresos laborales se redujeron en alrededor de 19.3%, lo que genera las crisis en las personas y sus familias (Organización Mundial del Trabajo, 2020) Se esperaba que, a partir del tercer trimestre del año 2020, se observara una recuperación en los niveles de actividad económica y que los datos mostraran indicios de crecimiento en el mercado laboral.

Con la finalidad de verificar la situación del mercado laboral de Ingenieros en Guatemala¹, se decidió realizar una evaluación que permitiera, mediante una muestra, obtener parámetros de comportamiento de dicho mercado durante los primeros meses de la pandemia (abril a mayo 2020).

Contexto

El 13 de marzo de 2020, Guatemala inicia un brote de la pandemia en su territorio, a partir del cual se desarrollan medidas y eventos que repercuten en las empresas y en la economía nacional. A partir del 16 de marzo, el Gobierno de Guatemala comienza a aplicar medidas para tratar de reducir los contagios, mantener la salud de los habitantes y mitigar los efectos a la economía. Entre las medidas están las siguientes:

- Cierre de fronteras para extranjeros. El aeropuerto se reabrió a partir de 20 de septiembre 2020.
- Suspensión de actividades laborales para sector público y privado, permitiendo únicamente la operación de industrias farmacéuticas, de higiene y de alimentos, siempre que estas brinden transporte y apliquen los planes de seguridad adecuados. Entidades financieras, telecomunicaciones, transporte de carga pueden operar, ajustando sus operaciones a las medidas de higiene adecuadas. Esta medida se mantuvo hasta el mes de mayo 2020, la reapertura de las empresas de forma parcial según la aprobación de su plan de seguridad y salud se inició a partir del mes de junio 2020.
- Impulso al trabajo desde casa para permitir a las demás empresas seguir operando.
- Programas de apoyo para las pequeñas y medianas empresas.
- Reducción y cierre por tiempos limitados de los mercados cantonales.
- Limitación de la locomoción en horarios establecidos y en fechas establecidas, de forma parcial o totalmente.
- Instalación de nuevos hospitales de campaña que puedan dar atención especializada a los enfermos de COVID-19.
- Creación de programas de apoyo para la distribución de alimentos.
- Apoyo a familias de escasos recursos con Q1,000.00 para el pago de servicios básicos a través del bono familia.
- Prohibición de venta, expendio y consumo de bebidas alcohólicas y fermentadas en sitios públicos en horarios establecidos.
- Incremento al programa del adulto mayor.

- Fondo de protección del empleo.
- Implementación del semáforo de COVID-19, que en base al número de contagios de cada municipio asigna un color (rojo, anaranjado, amarillo o verde, siendo el primero el que presente mayor nivel de contagios), que, a su vez, regula el distanciamiento social y las actividades que pueden realizarse.
- Clases presenciales suspendidas por todo el año 2020 y de forma híbrida en el año 2021 según el semáforo de COVID-19 municipal.
- Uso obligatorio de mascarilla con multas en caso de incumplimiento, con la correspondiente recomendación de lavado de manos y distanciamiento.

Objetivo

Determinar del impacto del COVID -19 en el mercado laboral de los ingenieros en Guatemala.

Metodología

Se realizó encuesta mixta a ingenieros para recopilar datos cuantitativos para el medir el impacto del COVID-19 en el mercado laboral correspondiente. La encuesta también permitió evaluar aspectos cualitativos que complementaron la interpretación de los datos recopilados.

La encuesta constó de 7 preguntas cerradas, autoadministrada por medio de Survey Monkey. Estas preguntas tuvieron el objetivo de proveer una descripción general de la situación actual del entrevistado. La encuesta también incluyó 4 preguntas abiertas para recolectar información que permiten brindar respuestas al problema enfrentado. Finalmente, se realizó una recopilación e investigación de una línea del tiempo de los eventos sucedidos desde el mes de marzo hasta el mes de septiembre de 2020 para completar una exploración.

Para el cálculo del tamaño de muestra se utilizó la Ecuación 1 (Aguilar-Barojas, 2021) en donde n es tamaño de muestra requerido, Z es nivel de confianza, p es probabilidad de que ocurra el evento estudiado, q es probabilidad de que no ocurra el evento estudiado y d es el error de estimación máximo aceptado. Esta fórmula es utilizada para poblaciones infinitas.

$$n = \frac{Z^2 pq}{d^2}$$

¹ De acuerdo a los datos de la Encuesta Nacional de Empleos e Ingresos 2- 2019, en Guatemala habían más de 43,000 Ingenieros graduados, de los cuales el 84% se encontraba clasificada como Población ocupada. (Instituto Nacional de Estadística, 2019).
Población Ocupada: población que durante la semana de referencia hayan realizado durante una hora o un día, alguna actividad económica, trabajando por un sueldo o salario en metálico o en especie, o ausentes temporales de su trabajo, sin interrumpir su vínculo laboral.

Pese a utilizar la información proporcionada por la ENEI-2-2019, en dónde se estable que las personas con titulación de carreras de ingeniería en Guatemala de todas las universidades supera las 43,000 personas, no se cuenta con la certeza del número exacto de profesionales graduados de las ramas de ingeniería. Es por ello, que se empleó la Ecuación 1, con un nivel de confianza del 94%, la probabilidad de que ocurra el

evento de un 50% y un porcentaje de error del 6%, para obtener el tamaño de la muestra de $n = 245$ respuestas.

De la encuesta se obtuvieron 278 respuestas de profesionales graduados de carreras de ingeniería pertenecientes a 18 tipos de ingeniería, graduados de 15 universidades del país y 47 sectores económicos.

Resultados y análisis

Estadística Descriptiva

La encuesta fue pasada a 278 profesionales, de los cuales cinco de las encuestas se descartan por no pertenecer a las carreras de ingeniería. Los profesionales de Ingeniería se consideraron con una edad mínima de 22 años, en donde el mayor porcentaje de respuestas se obtuvo entre 22 y 28 años de edad, seguido de 42 a 50 años. La mayoría de sexo masculino. La distribución de edad y sexo se observa en el Cuadro 1.

Al realizar la investigación de forma virtual (vía Survey Monkey) se observa un sesgo de tipo autoselección, en dónde solo los que deseaban participar ingresaban a la encuesta. Adicionalmente, ésta limitada por el acceso a la tecnología y redes sociales a través de los cuales se compartió el link.

Se comparó la distribución de población de ingenieros por edad de la encuesta con los datos proporcionados por la última Encuesta Nacional de Empleo e Ingresos ENEI-2-2019 realizada. Este estudio presentó sesgo positivo en los rangos de 22-28 años y 42-50 años, respecto a la población de los diferentes rangos de edades que establece el ENEI 2-2019. Para el resto

Cuadro 1. Distribución de edad y sexo de los encuestados (Pregunta 1 y 2).

Rango de edad	Femenino	Masculino	No respondió	Total
22-28	22	61		83
29-35	7	38		45
36-41	9	37		46
42-50	8	44	1	53
51-60	3	28		31
61-69	1	14		15
Total	50	222	1	273

de los rangos de edad, la recolección de datos presentó un sesgo negativo, como se puede observar en la Figura 1. Los resultados de la encuesta son más representativos para los rangos con sesgo positivo. Para los rangos que se encuentran con sesgo negativo, deberá completarse su estudio con análisis posteriores. Para algunas de las preguntas, se muestran los resultados segmentados por edad para determinar si hay variaciones entre los rangos respecto a la pregunta.

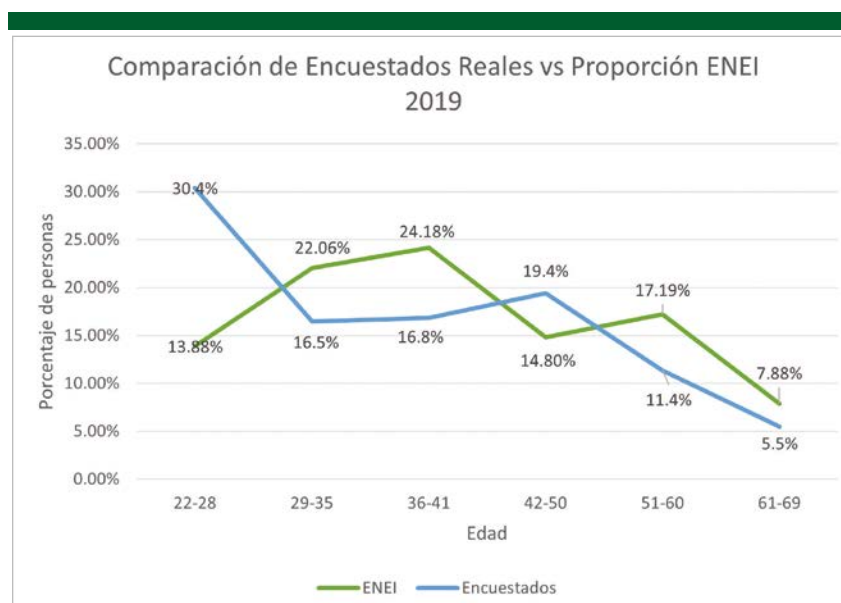


Figura 1. Comparación de Encuestados Reales vs Proporción ENEI 2019. Datos propios comparados con resultados ENEI2-2019 para personas con nivel de escolaridad máximo alcanzado de Ingeniero en todas sus ramas.

Cuadro 2. Distribución de Ingenierías a la que pertenece el profesional encuestado (Pregunta 3).

Ingeniería	Porcentaje
Ingeniería Industrial	18.15%
Ingeniería Mecánica/Mecánica Industrial	16.83%
Ingeniería Agronómica	9.24%
Ingeniería Eléctrica	8.58%
Ingeniería Civil	7.92%
Ingeniería Química	7.92%
Ingeniería Electrónica	6.27%
Ingeniería en Sistemas	5.28%
Ingeniería Mecatrónica	3.63%
Ingeniería en Alimentos	3.63%
Ingeniería en Ciencias de la Administración	1.98%
Ingeniería Química Industrial	1.98%
Ingeniería en Ciencias de la computación y Tecnologías de la información	1.65%
Ingeniería Agroforestal	1.32%
Ingeniería Geológica	1.65%
Ingeniería Ambiental	0.99%
Ingeniería Mecánica Eléctrica	0.66%
Ingeniería Biomédica	0.33%
Ingeniería en Bioinformática	0.33%
Ingeniería en Biotecnología / Biotecnología Industrial	0.33%
Ingeniería en Ciencia de los datos	0.33%
Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables	0.33%
Ingeniería en administración de tierras	0.33%
Ingeniería en Telecomunicaciones	0.33%

Cuadro 3. Distribución de la universidad donde alcanzó su título (Pregunta 4).

Universidad	Porcentaje
Universidad de San Carlos de Guatemala	49.5%
Universidad del Valle de Guatemala	32.4%
Universidad Rafael Landívar	9.5%
Universidad Mariano Gálvez	3.3%
Otra (Universidades Extranjeras)	2.2%
Universidad Francisco Marroquín	1.1%
Universidad Rural	0.7%
Universidad Galileo	0.7%
Universidad Internaciones	0.4%
Universidad Mesoamericana	0.4%

Los profesionales según los datos obtenidos se distribuían por carreras según se muestra el Cuadro 2. Debe considerarse que, dentro de los profesionales encuestados, el 95% posee una sola titulación, mientras que el 4.4% ostenta dos títulos de ingeniería, y 0.4% posee 3 titulaciones. Se observa que la población con más de un título de licenciatura no es representativa, por lo tanto, no se evaluará el impacto que pueda tener de manera positiva o negativa el poseer más de una titulación.

Así mismo, se determinó de qué universidad se había graduado, obteniéndose que el 49.5% de la muestra de la Universidad de San Carlos de Guatemala, un 32.4% de la Universidad del Valle y un 9.5% de la Universidad Rafael Landívar. Las demás universidades representan 8.7%. Se observa la distribución en el Cuadro 3.

Para determinar el impacto, se estableció si el profesional de Ingeniería laboraba dentro de su campo o en otro. El 80.95% indicó que sí se encontraba laborando dentro de su profesión, mientras que un 19.05% no lo hacía (Figura 2).

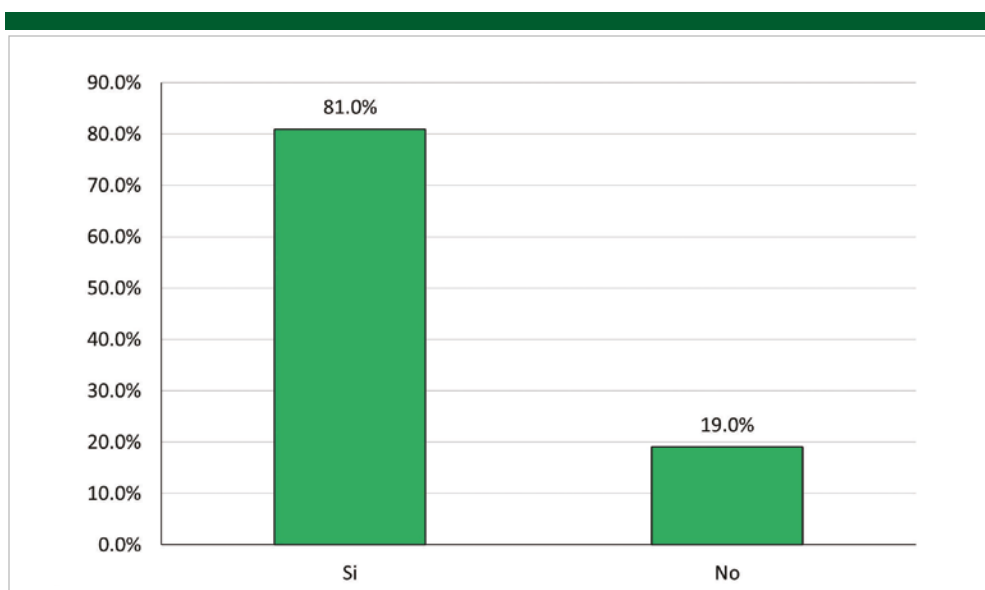


Figura 2. Ejerce su profesión dentro del campo de la ingeniería en la que se graduó (Pregunta 5).

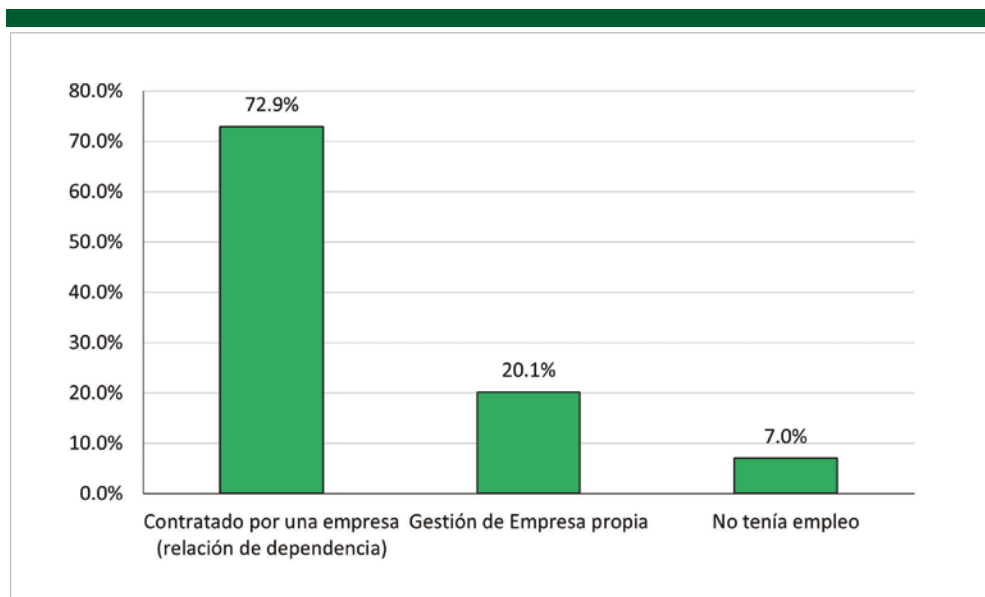


Figura 3. Estado de su trabajo antes del COVID-19 (Pregunta 6).

Cuadro 4. Estado de su trabajo por edad.

Estado de su trabajo	22-28	29-35	36-41	42-50	51-60	61-69	General
Contratado por una empresa (relación de dependencia)	76%	84%	72%	74%	58%	53%	69.5%
Gestión de Empresa propia	12%	11%	26%	19%	39%	40%	24.5%
No tenía empleo	12%	4%	2%	8%	3%	7%	6.0%

Para establecer el contexto en el que se encontraba laborando, se determinó cuántas personas laboran en relación de dependencia con otra empresa, cuántas de ellas gestionaban su propia empresa, o bien, si antes de la pandemia no tenía empleo. Al respecto el 72.9% indicó que se encontraba laborando contratado por una empresa, mientras que el 20.1% tenía su empresa propia (Figura 3). El 7% no tenía empleo antes de la pandemia, que es un valor más bajo que el 14% determinado en la ENEI 2-2019, lo cual puede haber sido influido por la disponibilidad de la tecnología y redes sociales para los que no tienen empleo como se indicó en el sesgo.

Al analizar las respuestas por rangos de edad se puede observar que la población con mayor desempleo son las personas en un rango de edad entre 22 y 28 años (Cuadro 4). Al ajustar el impacto del sesgo positivo del rango de 22-28 años en los resultados, se observa que el porcentaje de la población sin empleo baja de 7% a 6%. Las causas de esto pueden ser que las personas recién graduadas y jóvenes presentan una mayor dificultad para conseguir un empleo, o bien, son ubicadas en puestos iniciales en las empresas que son menos indispensables en una operación. Al necesitar reducir sus costos derivado de la crisis económica serían estos puestos los que se eliminarían.

Al agrupar los sectores en los que se encontraban trabajando, los profesionales encuestados, se muestra que el sector

manufactura, agrícola, construcción, servicios y educación representan el 62.4% del total de industrias, teniendo cada una de ellas una participación mayor del 10%, como se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Sector económica en el que labora (Pregunta 7).

Sector	Porcentaje
Sector manufactura	14.1%
Sector Agrícola (Agroindustria, Palma, Sector Bananero, Sector Azucarero, Café)	13.4%
Sector construcción e inmobiliario	12.7%
Sector servicios	11.7%
Sector educación/ investigación	10.5%
Sector alimentos	7.4%
Sector energía	7.4%
Comercio	6.9%
Otros	6.5%
Sector telecomunicaciones	5.3%
Sector entretenimiento y diversión	1.0%
Sector Salud	0.5%

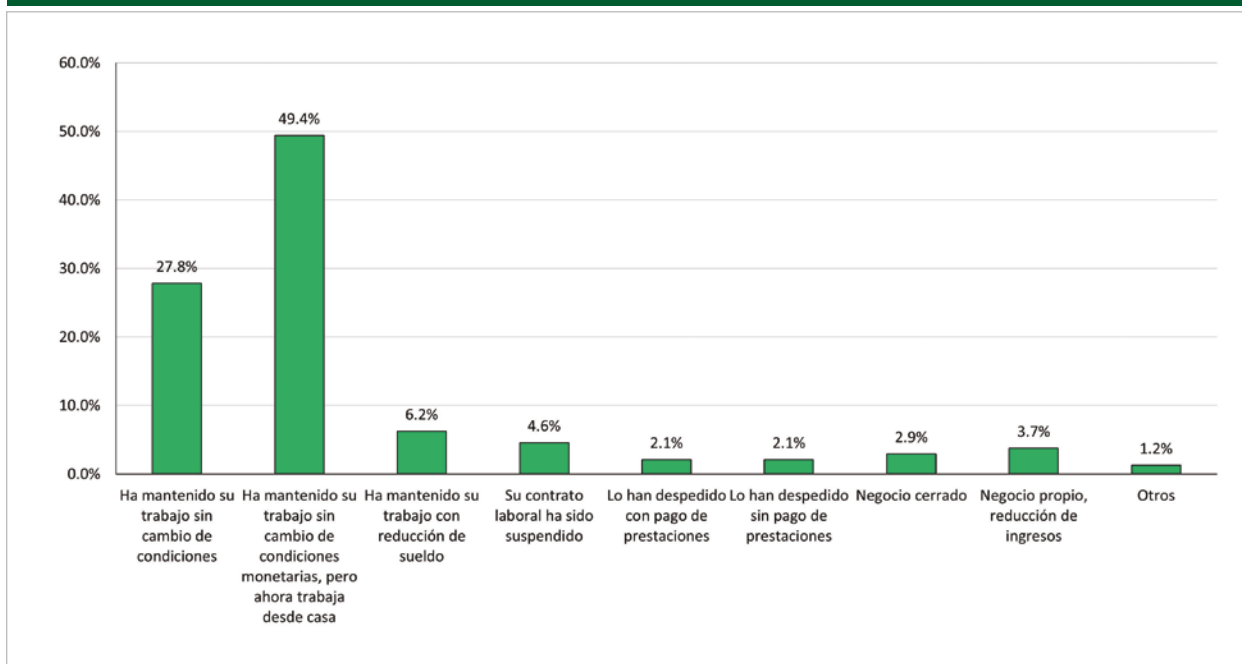


Figura 4. Efecto del COVID-19 en las condiciones laborales (Pregunta 8).

Análisis de resultados

Las personas en relación de dependencia reportan situaciones de la siguiente manera (Figura 4): 27.8% han mantenido su trabajo sin cambios de condiciones, 49.4% ha mantenido su trabajo desde casa, 6.2% ha mantenido su trabajo con reducción de sueldo, 4.6% fue suspendido, un 2.1% sufrió despidos con pago de prestaciones, un 2.1% sufrió despidos sin pago de prestaciones y 2.9% cerró su negocio, 3.73% de reducción de ingresos a las personas diferente de relación de dependencia y 1.24% otros. Esto significa un 11.7% de trabajos perdidos, ya sea por suspensión, o despido, o bien, por el cierre de sus negocios.

El Cuadro 6 presenta los resultados por cada rango de edad, lo que permite evaluar los resultados considerando el sesgo positivo en los rangos de edades mencionados anteriormente. Al realizar los ajustes para eliminar dicho sesgo, se observaron cambios en los siguientes resultados:

- La categoría *Ha mantenido su trabajo sin cambio de condiciones* se modificó de 27.8% a 26.2%. Los rangos de edades mayores entre 36 a 69 años, presentan una menor proporción de personas.
- La categoría *Ha mantenido su trabajo con reducción de sueldo* se modificó de 6.2% a 7.2% (variación debido al ajuste del sesgo positivo), siendo las personas entre 42 y 69 años las que presentan esta condición.
- La siguiente categoría *Ha mantenido su trabajo sin cambio de condiciones, trabajando desde casa* de 49.4% a 46.8%, los rangos de edad entre 42 y 69 años presentan una menor proporción en esa categoría. En general estos cambios pueden implicar que las personas con mayor edad ocupan puestos con mayor responsabilidad, lo que tiene como consecuencia que sean menos sujetos a despidos. Sin embargo, al tener salarios mayores fueron la población que sufrió la reducción de sueldo. Al mismo tiempo la responsabilidad de sus puestos de trabajo o adaptación a la tecnología puede provocar la reducción del uso de trabajo desde casa ya sea por preferencia o necesidad de trabajar físicamente en sus puestos de trabajo.
- Por último, otra categoría con un cambio es la de *Su contrato laboral ha sido suspendido* con un resultado general de 4.6% incrementando a 6%, siendo la población entre 61 y 69 años la que posee una mayor proporción. Esto se debe a ser considerada población vulnerable y no poder optar por trabajos desde casa. Así mismo, las personas de 61 años en adelante fueron enviadas al confinamiento por ser personas de alto riesgo dentro de las medidas establecidas por el Gobierno de Guatemala.

Cuadro 6. Efecto del COVID-19 por rango de edad.

En respuesta al COVID 19 ¿cómo ha afectado su trabajo?	22-28	29-35	36-41	42-50	51-60	61-69	Total
Ha mantenido su trabajo con reducción de sueldo	4%	3%	2%	12%	7%	14%	7.2%
Ha mantenido su trabajo sin cambio de condiciones	30%	33%	24%	27%	22%	21%	26.2%
Ha mantenido su trabajo sin cambio de condiciones monetarias, pero ahora trabaja desde casa	54%	50%	59%	49%	26%	43%	46.8%
Lo han despedido con pago de prestaciones	3%	0%	0%	0%	11%	0%	2.3%
Lo han despedido sin pago de prestaciones	1%	8%	2%	0%	0%	0%	1.9%
Otro (especifique)	3%	3%	7%	12%	26%	7%	9.7%
Su contrato laboral ha sido suspendido	4%	5%	5%	0%	7%	14.3%	6.0%

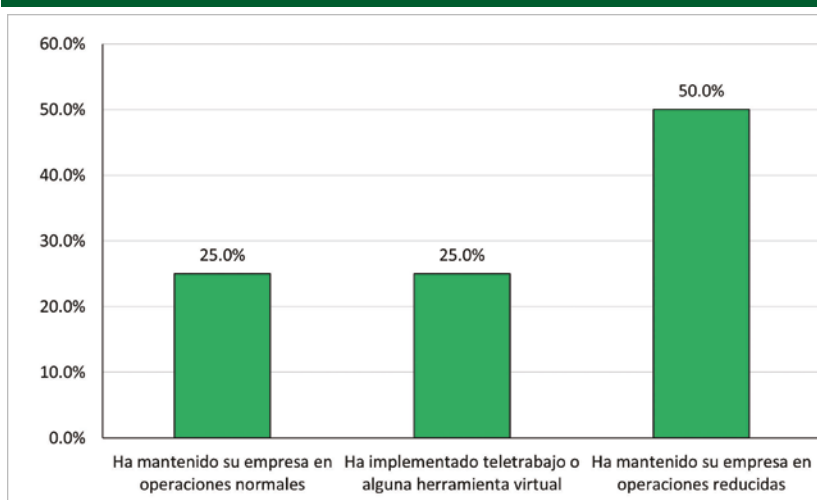


Figura 5. Efecto del COVID-19 en empresas propias (Pregunta 9).

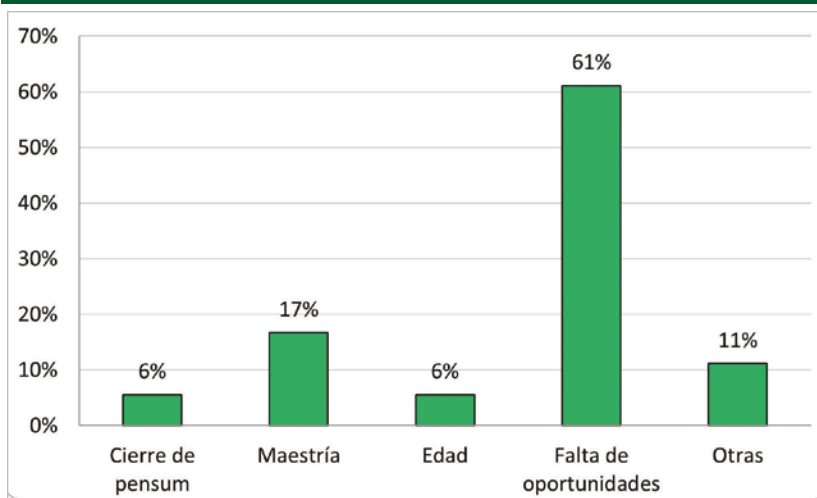


Figura 6. Razones por las que se encontraba sin empleo antes de la pandemia (Pregunta 10).

Según el giro de negocio de las personas con empresa propia, 25% de las empresas lograron operar con normalidad, 25% implementaron teletrabajo o herramientas virtuales y 50% otras están operando con una reducción en sus actividades normales. Ver Figura 5.

Las razones previo a la pandemia por las que se encontraban desempleadas las personas son principalmente la falta de oportunidades o encontrarse en proceso de estudio de una maestría, como se evidencia en la Figura 6.

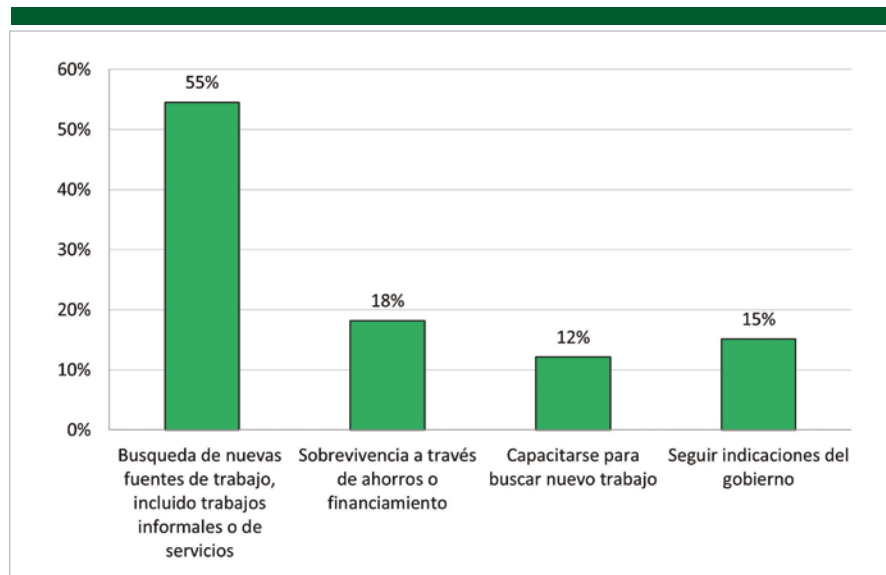


Figura 7. Estrategias para enfrentar la falta de empleo durante la Pandemia (Pregunta 11).

Ante estos efectos causados por el COVID-19 han surgido varias soluciones que los profesionales reportaron que se muestran en la Figura 7. Entre ellas se encuentran: emprendimientos, negocios en páginas web, voluntariados en organizaciones de ayuda humanitaria en el tiempo disponible, ejercer su profesión de manera independiente, inversiones, elaboración de catálogos de servicios que pueda comercializar según su profesión, aplicar a trabajos por medio de sitios web, preparación académica en otros campos con cursos en páginas web, financiación con ahorros o préstamos bancarios de tarjetas de crédito, docencia, innovación con una iniciativas virtuales, pausas completas por cancelación en los contratos o restricciones gubernamentales, emprendimientos a pequeña escala, tutorías en línea, realizar solicitud de anticipo de bono 14, venta de bienes personales y trabajo desde casa.

Comentarios generales

La generación de empleo está estrechamente relacionada con el crecimiento económico de un país. El aumento de las ventas en el mercado, la circulación de mayor efectivo, el impacto en la balanza comercial son características claves que impulsan la creación de nuevas empresas y, por ende, mayores oportunidades de empleo. La situación inversa causada por la pandemia evidenció el fuerte impacto que el cierre de operaciones parciales o totales pueden tener en los empleos en Guatemala. Para fines de este estudio, se mostró que el 10.2% (valor tomado con el ajuste por sesgo) perdió su empleo.

El empleo informal según lo obtenido para el mercado laboral de los ingenieros se constituye junto con la búsqueda de empleos

nuevos, en una alternativa clave para la subsistencia familiar. A diferencia del empleo formal, este carece de prestaciones laborales, seguro social, vacaciones y los bonos de ley. Esto implica, para fines prácticos menos ingresos, con jornadas de trabajo variables, no reguladas, así como a nivel macroeconómico, un producto bruto interno menor que el real, por el subregistro de las actividades comerciales. Así mismo, implica a nivel de país, una menor recolección de los impuestos que contribuyen a satisfacer las necesidades básicas en términos de salud, educación, seguridad, infraestructura y programas de desarrollo.

Uno de los mecanismos que impide que estos emprendimientos derivados de la pandemia se formalicen es la burocracia relacionada con el registro y actualización constante de la información, así como la necesidad de mayores ingresos familiares, que se verían afectados por el pago impuestos. Los Programas de apoyo propuestos por el Gobierno, para estas iniciativas (Programas de apoyo a MIPYMES) no se han logrado utilizar al mantener los emprendimientos en la informalidad. Los ingenieros que prestan asesorías técnicas, y que ya tenían la opción de facturar sus servicios, no tendrían el inconveniente de realizar todas las gestiones administrativas para lograr su formalización.

Otro aspecto importante es la seguridad y salud, donde se busca desde el punto de vista de legitimidad. Preocuparse por los riesgos laborales de cada puesto de trabajo, seguridad en el sector, protección específica según la necesidad, compensación. Tener el gana-gana al reducir accidentes, enfermedades o riesgos psicológicos. Esto corresponde a las iniciativas obtenidas de trabajo en casa manteniendo las condiciones laborales (46.8% de los resultados obtenidos mostraron este comportamiento, valor ajustado por sesgo), que para las empresas

repercutió en menores gastos de servicios (agua, energía eléctrica, entre otros). Para las empresas que debieron mantener operaciones presenciales (26.2% del caso de los encuestados, valor ajustado por sesgo), en cambio, se incrementaron los costos por la implementación de medidas adicionales para poder garantizar la seguridad y salud de sus trabajadores.

El aprovechamiento de los nuevos emprendimientos de parte de los ingenieros, para hacerlos crecer y formalizarse forma parte de las oportunidades actuales de crecimiento económico. Así mismo, el uso de la innovación como estrategias para crear nuevos mercados podría ser una de las alternativas que el mercado está requiriendo para salir de la crisis económica.

El desarrollo de competencias como la resiliencia, adaptación, resolución de problemas de forma creativa, uso de tecnologías emergentes, mejora a la eficiencia, ruptura de paradigmas en la forma de trabajar y hacer negocios serán claves para enfrentar los nuevos desafíos, que afronta la humanidad. Los ingenieros generalmente se entrenan para hacer usos de estas, por lo que pueden apoyar y liderar estos procesos de cambio y crecimiento.

Conclusiones

- Según los resultados obtenidos en la muestra, se determinó que la pandemia pudo contribuir a la pérdida de empleo en aproximadamente 10.2% en el mercado laboral de los ingenieros en Guatemala.
- Un 46.8% de los encuestados permanecieron trabajando desde casa de forma remota, 26.2% siguieron trabajando sin cambios en sus condiciones.
- Dentro de las formas como enfrentaron los encuestados la falta de empleo se encuentran: el emprendimiento, la capacitación para actualizar competencias, así como el uso de los recursos financieros con los que se contaba.
- De los sectores obtenidos en la encuesta, se evidencia efecto negativo sufrido en el sector de servicios, construcción y educación en el mercado laboral de Ingenieros en Guatemala.

Recomendaciones

- Eliminar el sesgo de los rangos de identificados con sesgo negativo.
- Realizar nuevamente la encuesta para 2021 para determinar si los efectos continúan o se han modificado, así como para establecer qué medidas se han realizado para mitigar el efecto.
- Realizar parte de las encuestas de forma directa o presencial haciendo la segregación en población urbana y rural.
- Ampliar el estudio sobre el impacto del COVID-19 a otras profesiones diferentes de ingenieros para conocer el comportamiento y medidas de mitigación del impacto.

Bibliografía

Aguilar-Barojas, S. (25 de abril de 2021) *Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud*. Salud en Tabasco, 333-338. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=487>

Banco Mundial (08 de junio de 2020) *La COVID-19 (coronavirus) hunde a la economía mundial en la peor recesión desde la Segunda Guerra Mundial*. Obtenido de: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/06/08/COVID-19-to-plunge-global-economy-into-worst-recession-since-world-war-ii>

Instituto Centroamericano de Estudios Fiscales (octubre de 2020) *Guatemala: La crisis del COVID-19, su impacto sobre la agenda ODS y el cumplimiento del Plan Nacional de Desarrollo*. Obtenido de https://icefi.org/sites/default/files/icefi_-_guatemala_-_la_crisis_del_COVID-19_y_su_impacto.pdf

Instituto Nacional de Estadística (noviembre de 2019) *Encuesta Nacional de Empleo e Ingresos 2 - 2019*. Obtenido de: <https://www.ine.gob.gt/ine/estadisticas/bases-de-datos/encuesta-nacional-de-empleo-e-ingresos/>

Organización Mundial del Trabajo (30 de septiembre de 2020) *OIT: 34 millones de empleos se perdieron por la crisis en América Latina y el Caribe*. Obtenido de https://www.ilo.org/americas/sala-de-prensa/WCMS_756717/lang-es/index.htm

13 años de monitoreo de Influenza aviar en aves acuáticas migratorias en la Costa Sur de Guatemala

Dione Méndez, imendez@ces.uvg.edu.gt / David Morán, dmoran@ces.uvg.edu.gt / Lucía Ortiz, lortiz@ces.uvg.edu.gt /

Carlos Serrano, quiqueser@gmail.com / Maria Eugenia Morales-Betoulle, anasilvia.gonzalez-reiche@mssm.edu / Danilo Álvarez, dalvarez@ces.uvg.edu.gt /

Ana S. González Reiche, anasilvia.gonzalez-reiche@mssm.edu / Maria L. Müller-Theissen, mullermarial@gmail.com / Daniel R Pérez*, dperez1@uga.edu /

Celia Cerdón-Rosales, ccordon@ces.uvg.edu.gt

Centro de Estudios en Salud, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala

* Department of Population Health, Poultry Diagnostic and Research Center, College of Veterinary Medicine, University of Georgia, USA.

RESUMEN: Entre 2007 y 2019 se colectaron hisopados traqueales y cloacales de aves acuáticas migratorias cazadas en la costa sur de Guatemala para detectar virus de influenza A (IAV). Las muestras se evaluaron con PCR para IAVs. Se obtuvieron muestras de 4507 aves correspondientes a 34 especies, 21 géneros y 6 órdenes. La mayoría de las muestras (98.1%) eran de la familia Anatidae, con predominancia de *Anas discors* (92.4%). Un total de 657 aves-cazadas muestreadas (14.57%, IC 13.6 - 19.3) fueron positivas para IAV. La prevalencia de IAV fue proporcionalmente mayor en especies anátidas diferentes a *A. discors* (14.28%, IC 11.2 - 16.3), resaltando *Dendrocygna bicolor* con 28.5% (IC 22.3 - 31.4), *Anas clypeata* con 22.5% (IC 18.2 - 23.7), y *Anas americana* con 22.2% (IC 21.3 - 23.2). Se observó una relación entre la especie y el sitio de captura con la prevalencia de IAV. La heterogeneidad de los sitios respecto a positividad de IAV en las especies de aves acuáticas y diversidad de especies presentes, parece indicar que las condiciones del hábitat afectan la circulación del virus, y la prevalencia de estos virus es diferente según la especie. Este esfuerzo de 13 años de monitoreo de Influenza A es único en Guatemala y la región. Los humedales de Guatemala, tienen el potencial de ser sitios de transmisión a los humanos y re-cambio genético de estos virus en poblaciones de aves acuáticas migrantes.

PALABRAS CLAVE: virus, Influenza A, aves acuáticas, Anatidae, Costa Sur.

Patterns of avian influenza infection rates during a 13-year period in hunted harvested migratory waterfowl in the southern wetlands of Guatemala

ABSTRACT: Between 2007 and 2019, tracheal and cloacal swabs were collected from migratory harvested waterfowl on the southern coast of Guatemala to detect influenza A viruses (IAV). The samples were tested with PCR for IAV. Samples of 4507 birds corresponding to 34 species, 21 genera and 6 orders were obtained. Most of the samples (98.1%) were from the Anatidae family, with a predominance of *Anas discors* (92.4%). 657 of the sampled birds (14.57%, CI 13.6 - 19.3) were positive for IAV. The prevalence of IAV was proportionally higher in other Anatidae species than in *A. discors* (14.28%, CI 11.2 - 16.3), the higher was *Dendrocygna bicolor* with 28.5% (CI 22.3 - 31.4), followed by *Anas clypeata* with 22.5% (CI 18.2 - 23.7), and *Anas americana* with 22.2% (CI 21.3 - 23.2). The analysis showed a relation between species and capture site with the prevalence of IAV. The heterogeneity of the sites regarding IAV positivity in the aquatic bird species and the diversity of species present seems to indicate that the habitat conditions affect the circulation of the virus, and the prevalence of these viruses is different according to the species. This 13-year Influenza A monitoring effort is unique in Guatemala and the region. We now know that there is a great diversity of influenza A viruses in the wetlands of Guatemala, and that these have the potential to be sites of transmission to humans or domestic animals and genetic re-change of these viruses in migrant waterfowl populations.

KEY WORDS: virus, Influenza A, waterfowl, Anatidae, Guatemala South Coast.

Introducción

En las recientes décadas ha habido un incremento en la emergencia de enfermedades infecciosas en el mundo (Allen et al. 2017; Townsend et al. 2020). Entre 1950 y el 2010 se estimaba la emergencia de 335 nuevos patógenos que afectaban a los humanos (Vandegrift et al. 2010). Más del 60% de las enfermedades infecciosas de los humanos están asociadas a patógenos originados en poblaciones de animales silvestres y domésticos (Karesh et al. 2012). La emergencia de enfermedades infecciosas es una amenaza para la salud pública que puede llevar a eventos pandémicos como el caso reciente de SARS-CoV2 (Barouki et al. 2021). La emergencia de enfermedades también es una amenaza para los animales y la vida silvestre. Los animales silvestres en muchas ocasiones actúan como reservorios de los patógenos, y estos circulan en las poblaciones con un impacto muy bajo o nulo; sin embargo, el ingreso de nuevos patógenos o mutaciones pueden cambiar la dinámica y llegar a causar impactos graves en estas poblaciones. Un ejemplo de cómo puede cambiar la relación de los patógenos con sus hospederos reservorio es el caso de los virus de Influenza y New Castle; todos estos virus se consideran enfermedades emergentes en las aves silvestres, quienes actúan como reservorio pero donde se han registrado casos de mortalidad ante el ingreso de nuevas variantes (Kuiken et al. 2006). En las últimas décadas varias poblaciones de especies silvestres se han visto amenazadas, llegando incluso a peligro de extinción, como resultado de la emergencia de enfermedades infecciosas (Allen et al. 2017).

La influenza A es una de las enfermedades zoonóticas más prevalentes en la actualidad. Cada año alrededor de 500,000 personas mueren por influenza. Además ha provocado cuatro pandemias en el siglo XX y XXI: la de 1918, 1957, 1968, y 2009 (Vandegrift et al. 2010; Jhung et al. 2011). Los virus de influenza A (IAV) infectan especies animales silvestres y domésticas, incluyendo el humano. Los virus se dividen en subtipos de acuerdo a dos proteínas que se encuentran en la superficie del virus, la hemoaglutinina (HA) y la neuroaminidasa (NA) (Byrd-Leotis, Cummings, y Steinhauer 2017). Se sabe de 18 subtipos HA y 11 subtipos NA de los virus de influenza A (Ferreri et al. 2019; B et al. 2006). Se han encontrado aves silvestres infectadas con la mayoría de los subtipos conocidos de virus de influenza A, del H1-H16 y del N1 al N9 (Dhingra et al. 2018; Ferreri et al. 2019) y se considera que los reservorios principales de los IAV son las aves acuáticas del orden anseriformes y charadriiformes (Diskin et al. 2020). Las cepas de IAV que circulan en aves han contribuido con material genético a la mayoría de los virus de la influenza humana conocidos (Ferreri et al. 2019). La transmisión de los virus de influenza entre especies reservorios y mamíferos está conectado, y usualmente los IAV se transmiten de manera directa o indirecta y provocan la circulación transitoria o endémica en nuevas poblaciones o especies (Munster y Fouchier 2009).

En las aves, los virus de IAV se clasifican como variantes de alta patogenicidad y baja patogenicidad dependiendo de su virulencia. Los virus de baja patogenicidad representan la mayor diversidad de subtipo de influenza A, y de estos derivan los virus de alta patogenicidad (Rebel et al. 2011). La aparición de subtipos de

alta patogenicidad en producción de aves de corral es un fenómeno recurrente, y además del impacto económico, es una amenaza importante para la salud pública (Dhingra et al. 2018). Muchos de los esfuerzos de vigilancia se centran en estos sistemas de producción. Sin embargo, la vigilancia en poblaciones de reservorios silvestres es la primera línea de defensa que permite monitorear los ciclos endémicos de infección o detectar la emergencia o re emergencia de nuevas variantes o patógenos (Walton et al. 2016), ya que permite conocer la dinámica de transmisión y el establecimiento de nuevas variantes genéticas y subtipos.

En Guatemala, nuestro equipo de UVG inició la vigilancia de Influenza tipo A en aves silvestres en el año 2007, apoyados por el centro de Excelencia para la investigación y Vigilancia de Influenza (CEIRS) de la Universidad de Maryland y la Universidad de Georgia, y el Centro para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC) de los Estados Unidos (González-Reiche et al. 2012). La vigilancia se enfocó en aves acuáticas migratorias, principalmente aves acuáticas, capturadas por cazadores deportivos con licencia. Los resultados de 13 años de vigilancia han mostrado una gran diversidad de subtipos de virus de Influenza A en la costa sur donde se han centrado los esfuerzos de muestreo (Gonzalez-Reiche et al. 2017; Ferreri et al. 2019). A continuación se presenta una revisión de los resultados más relevantes referentes a los esfuerzos de muestreo, los sitios, la prevalencia de influenza A y la diversidad de especies muestreadas.

Métodos

Sitio de estudio

Los muestreos se realizaron anualmente durante las temporadas migratorias (noviembre-marzo) durante el período de 2007 al 2020, en la región de la costa Sur de Guatemala. Los sitios de muestreo incluidos se ubicaron en Monterrico (N 13.8977, -W 90.49256), La Gomera (N 13.44927, W -91.11280), Escuintla (N 13.9298, W -91.11581) y La Danta, Pasaco, Jutiapa (N 13.88572, W -90.18593) (Figura 1). Se visitaron seis sitios en estas localidades: Monterrico, La Gomera, Las Salinas (La Gomera), Paredón, La Danta en Jutiapa, y Los Cerritos. El área de la Danta dejó de ser visitado por los cazadores al inicio de la vigilancia, y Los Cerritos solo se visitó una vez, por esta razón no se incluyen en el análisis.

Colecta de Datos

Durante los años de 2007 a 2020 se colectaron sistemáticamente muestras de hisopados traqueales y cloacales de aves acuáticas cazadas. Todas las aves eran identificadas en campo o eran fotografiadas para confirmar su identificación. Las muestras fueron procesadas por medio de PCR. (González-Reiche et al. 2012). Para este estudio se analizó la diversidad de especies muestreadas, y positividad por especie del monitoreo de IAV en aves acuáticas desde 2007 hasta 2018. Se utilizaron los datos de especie, sitio, y resultado de IAV.

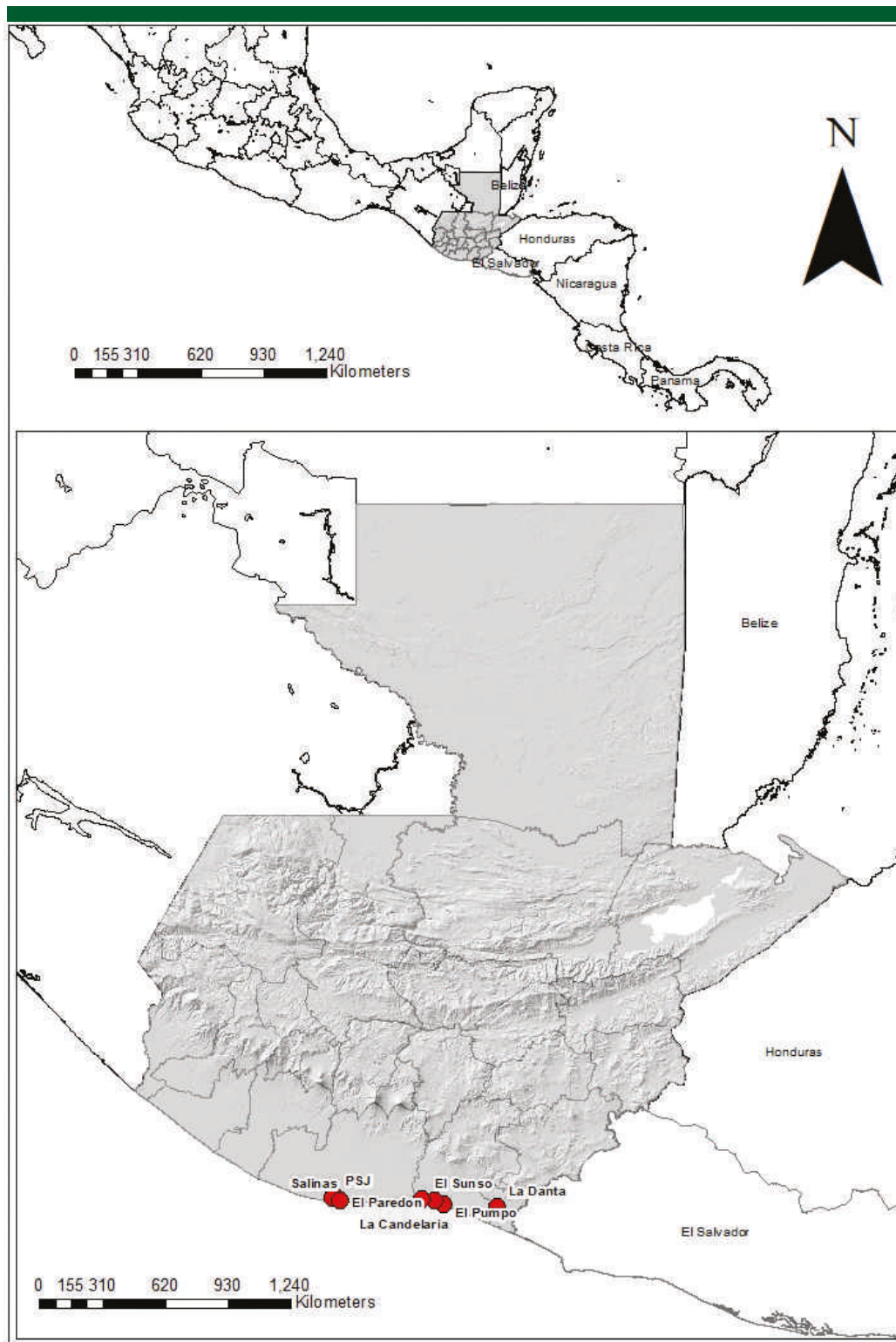


Figura 1. Mapa de los sitios de colecta de muestras de cazadores en la Costa Sur.

Consideraciones éticas

Los protocolos utilizados fueron revisados y aprobados por el Comité institucional para el cuidado y uso de animales (CICUAL) de la Universidad del Valle de Guatemala. Adicionalmente se

contó con el permiso oficial de las instituciones encargadas del manejo de la diversidad CONAP e instituciones administradoras de las áreas protegidas próximas a los sitios de colecta CONAP y CECON. Este estudio también contó con la aprobación del MAGA.



Figura 2. Especies de anátidos muestreados. 1 *Anas discors*, 2 *Anas clypeata* (hembra), 3 *Anas clypeata* (macho), 4 *Anas crecca*, 5 *Dendrocygna bicolor*, 6 *Aythya americana*.

Análisis

Se resumieron los datos publicados de las especies de donde se obtuvieron muestras durante los años de muestreo, así como las proporciones de muestras positivas para cada especie por cada sitio. En este resumen se incluyeron los datos de las muestras de los años que aún se encuentran en proceso de análisis de laboratorio, y cuyos resultados moleculares se utilizarán para generar información de la filogenia de los virus de IAV obtenidos en el estudio. Esos análisis serán utilizados para reportes posteriores. Para el objeto de esta publicación, se calcularon los índices de riqueza de Shannon y de Simpson para las especies de aves muestreadas entre los sitios. Estos índices se utilizaron para hacer comparaciones entre los sitios con el objetivo de determinar si las muestras de las localidades en donde se realizó la vigilancia mostraban diferencias en cuanto a diversidad y riqueza de especies de aves. Para comprobar si la diversidad por sitio tenía relación con las tasas de positividad a IAV en las muestras colectadas, se realizaron regresiones logísticas simples entre los datos de los índices de riqueza y la prevalencia calculada por sitio. Además, para determinar si existían tendencias estacionales a lo largo de los años, se compararon los resultados de la cantidad de aves capturadas, y las proporciones de positividad, entre cada temporada migratoria. Los análisis fueron realizados utilizando R versión 3.3.2 (R Development Core Team, 2020)

Resultados y discusión

Entre 2007 y 2019, 4507 individuos fueron muestreados. Las aves muestreadas corresponden a 21 géneros y 34 especies. El 97.4% de especies muestreadas han sido de la familia Anatidae

(Orden Anseriformes) de los géneros *Anas*, *Aythya*, *Oxyura*, *Cairina*, y *Dendrocygna* representados en 13 especies (figura 2). El 2.6% restante corresponden a géneros diversos que van desde otras especies acuáticas como pelicanos (familia pelicanidae), ibis (familia Threskiornithidae), garzas (familia Ardeidae), cormoranes (familia Phalacrocoracidae), aves playeras (familia Scolopacidae y Charadriidae), hasta algunas especies de palomas (familia Columbidae).

En la Tabla 1 se presenta el detalle de individuos muestreados, 657 individuos (14.57%) resultaron positivos para virus de Influenza A: El 99.5% de las muestras positivas (652) pertenecían a especies de la familia Anatidae, la mayoría eran *Anas discors* (598), y *Anas clypeata* (39). Durante los 13 años, *Anas discors* tiene más muestras positivas que ninguna otra especie, pero la mayor prevalencia se encontró en *Dendrocygna bicolor* (28%, 2/7) seguida de *A. clypeata* (22.5%, 39/173), *A. americana* (22.2%, 2/9), *A. crecca* (17.4%, 4/23) y *Dendrocygna autumnalis* (5.9%, 1/17). Sin embargo, el caso de *Dendrocygna bicolor*, todos los individuos fueron muestreados en el mismo sitio y en la misma ocasión, lo cual puede estar asociado a esta respuesta. No se han encontrado positivos en las otras especies de patos.

Las aves del orden anseriformes y charadriiformes, son considerados los reservorios de los virus de influenza, lo cual, confirma los resultados reportados. Estas aves se desplazan grandes distancias durante la migración pudiendo dispersar los virus a lo largo de la ruta migratoria (Taubenberger y Kash, 2010). Dentro de estas especies que migran estacionalmente desde el norte, las aves de la familia Anatidae son especies cinegéticas y existe una importante actividad de cacería enfocada en éstas (CONAP 2010). El resto de especies muestreadas no eran objetivos de cacería, sino tiros incidentales. De estos

Tabla 1. Resultados de Influenza A por especie y sitio de muestreo.

Orden	Especie	Monterrico			Parcelamiento San Geronimo			Paredon			Salinas			Otros sitios *		
		N	N.Pos	(%)	N	N.Pos	(%)	N	N.Pos	(%)	N	N.Pos	(%)	N	N.Pos	(%)
Anseriformes	<i>Anas discors</i>	1316	153	11.63	1342	253	18.85	816	28	3.43	379	79	20.84	313.00	85.00	27.16
	<i>Anas clypeata</i>	16	1	6.25	108	37	34.26	30	0	0.00	6	0	0	12	1	8.33
	<i>Anas sp.</i>	0	0	0.00	7	6	85.71	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	<i>Anas crecca</i>	1	1	100.00	15	2	13.33	0	0	0	4	1	25	3	0	0.00
	<i>Anas americana</i>	2	0	0.00	7	2	28.57	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	<i>Anas acuta</i>	0	0	0.00	3	0	0.00	1	0	0	0	0	0	2	0	0.00
	<i>Aythya sp.</i>	1	0	0.00	2	0	0.00	0	0	0	0	0	0	1	0	0.00
	<i>Aythya collaris.</i>	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	2	0	0.00
	<i>Aythya affinis</i>	0	0	0.00	2	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	<i>Aythya fuligula</i>	0	0	0.00	2	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	<i>Aythya americana</i>	1	0	0.00	2	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	<i>Oxyura jamaicensis</i>	0	0	0.00	1	0	0.00	0	0	0	1	0	0	0	0	0.00
	<i>Cairina moschata</i>	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	2	0	0.00
	<i>Dendrocygna autumnalis</i>	1	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0	6	0	0	10	1	10.00
	<i>Dendrocygna bicolor</i>	4	0	0.00	1	0	0.00	1	0	0	0	0	0	2	2	100.00
Charadriiformes	<i>Arenaria interpres</i>	0	0	0.00	1	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	<i>Leucophaeus atricilla</i>	1	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	<i>Limnodromus scolopaceus</i>	0	0	0.00	1	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	<i>Catoptrophorus semipalmatus</i>	0	0	0.00	2	1	50.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	<i>Numenius americanus</i>	0	0	0.00	0	0	0.00	1	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Columbiformes	<i>Columba flavirostris</i>	0	0	0.00	1	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	<i>Zenaida asiatica</i>	0	0	0.00	5	2	40.00	3	0	0	3	0	0	8	0	0.00
	<i>Zenaida macrura</i>	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	8	0	0.00
	<i>Streptopelia decaocta</i>	0	0	0.00	1	0	0.00	0	0	0	1	0	0	0	0	0.00
	<i>Patagioenas flavirostris</i>	1	0	0.00	1	0	0.00	1	0	0	0	0	0	0	0	0.00
Gruiformes	<i>Fulica americana</i>	1	0	0.00	4	1	25.00	0	0	0	0	0	0	1	0	0.00
	<i>Gallinula</i>	2	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0	7	0	0	0	0	0.00
Suliformes	<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	10	0	0.00	1	0	0.00	4	0	0	1	0	0	0	0	0.00
Ciconiiformes	<i>Platalea ajaja</i>	1	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0	1	0	0	0	0	0.00
	<i>Mycteria americana</i>	1	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	1	0	0.00
Pelecaniformes	<i>Edocimus albus</i>	0	0	0.00	4	1	25.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	<i>Pelecanus erythrorhynchos</i>	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	1	0	0.00
	<i>Pelecanus occidentalis</i>	0	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0	1	0	0	0	0	0.00
	<i>Egretta thula</i>	1	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	<i>Nycticorax nycticorax</i>	1	0	0	0	0	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0.00
	TOTAL	1361	155		1513	305		857	28		410	80		366	89	

*Otros sitios: Suma de muestreos La Danta, Jutiapa; Los Cerritos, Santa Rosa.

objetivos incidentales, hay únicamente hay 5 positivos: *Catoptrophorus semipalmatus* (1), *Fulica americana* (1), *Edocimus albus* (1), y *Zenaidra asiatica* (2). Las aves playeras (charadriiformes) son parte de los objetivos incidentales y en estos 13 años únicamente se han muestreado 6 por lo tanto son limitadas las inferencias que se puede hacer de 1 individuo positivo, sin embargo, si es un indicador de la circulación del virus en estas especies en Guatemala apoyando el estudio realizado en 2017-2018 en la costa sur de Guatemala en aves playeras (Méndez et al. pendiente de publicación).

Los virus de influenza poseen una tasa de mutación muy elevada y sumado al número de segmentos en el material genético, producen una rápida evolución. Por esta razón es posible que exista intercambio genético de diferentes subtipos o variantes al existir una co-infección dentro del hospedero (Lycett, Duchatel, y Digard, 2019). La vigilancia de los reservorios es muy importante para conocer como circulan los virus en las poblaciones migrantes e identificar el posible impacto en poblaciones locales (Machalaba et al. 2015). En Guatemala convergen 3 rutas migratorias, la central, la del pacífico y la del atlántico (Galbraith et al. 2014), y se han reportado al menos 94 especies acuáticas migratorias en el recorrido de estas rutas en el país (Eisermann, 2006). Por otro lado, entre las muestras colectadas en Guatemala caracterizadas entre 2010 y 2013 se detectaron co-infecciones con diferentes subtipos a través de secuenciación genética (Gonzalez-Reiche et al. 2017) apoyando la ocurrencia de intercambio genético en los sitios de colecta.

Durante la migración, las aves utilizan sitios de parada. Los sitios de parada son áreas donde las aves se detienen por periodos de tiempo variable, para alimentarse y recuperar sus reservas energéticas para continuar el viaje. La mayoría de sitios de parada, especialmente en América son humedales (Asante et al. 2017). La temporada migratoria en Guatemala abarca de noviembre a marzo. La disponibilidad de sitios de caza depende de las condiciones climáticas y el nivel del agua en las lagunas de manglares de la Costa Sur. Los cazadores y jaladores tienen sitios seleccionados que visitan durante cada la temporada migratoria. Durante los 13 años de vigilancia hubo poca variación de los sitios de cacería con los cazadores colaboradores.

El Paredón a pesar de ser un sitio reciente, fue muy relevante respecto a los resultados. Existe una diferencia en la tasa de infección por sitio. Los sitios 1 y 2 muestran algunas similitudes en el esfuerzo de muestreo, el número de animales cazados y los positivos, a pesar de que el sitio 2 tiene una mayor prevalencia. Los sitios 4 y 5 no son diferentes entre sí. Las comparaciones por pares muestran que el Sitio 3 es diferente al resto. Se encontró una relación entre la riqueza y abundancia de las especies en los sitios, con la positividad de las muestras ($R^2 = 0.654$).

Respecto a la diversidad de especies de aves en los sitios de muestreo, se observó que existió diferencia en la riqueza de los sitios, ($p = 0.0031$) siendo el parcelamiento de San Gerónimo, en la aldea la Gomera Escuintla uno de los sitios más diversos

($H' = 0.42$) y de donde provienen la caería de las especies de anátidos menos frecuentes como *Aythya* sp. Los sitios también fueron diferentes respecto a la positividad, y esta diferencia fue evidente tras analizar las variables por un medio de un modelo de regresión. El parcelamiento de San Gerónimo mostró la tasa más alta de positividad, seguido de Monterrico. Este modelo parece indicar que existe un efecto del sitio en la prevalencia de influenza. Sin embargo, estos resultados deben tomarse con cautela, debido a que es difícil compararlos en términos de diversidad y prevalencia, debido a la asimetría de especies muestreadas, asimetría que fue provocada debido al sesgo de los objetivos del cazador y la marcada diferencia entre la abundancia de las especies cinegéticas, con una clara dominancia de *A. discors*.

En estos sitios diferentes poblaciones y especies pueden coincidir, y esto es muy importante en la ecología de los virus de influenza (Dhingra et al. 2018). Existen pocos estudios poblacionales o genéticos de aves acuáticas en Guatemala, la mayor parte de investigación corresponde a censos y reportes de avistamiento (Eisermann, 2006). Sin embargo estos estudios han permitido identificar varios sitios de importancia para las aves migratorias, reportando las densidades más grandes principalmente en la Costa Sur (Censo Centroamericano de Aves Acuáticas - Wetlands International Latinoamérica y el Caribe s/f). Algunos de los sitios de estos censos son donde ocurren los eventos de cacería, y los datos de los muestreos respaldan las tendencias que muestran estos censos respecto a diversidad.

Es necesario continuar los estudios de aves acuáticas en Guatemala, identificando las poblaciones de aves migratorias en el territorio nacional y sus patrones de ocupación y dispersión. Aún falta información del contexto de la Costa Sur de Guatemala en términos de diversidad y paisaje para entender la ecología de los virus de IAV en el país y que elementos se relacionan con diversidad viral que ha sido reportada en otros artículos derivados de este proyecto. Es necesario abordar como varía la diversidad y la prevalencia en el tiempo, y, si el sitio de parada tiene un efecto en la salud de los hospederos. Además, es necesario documentar de forma más sostenida y sistemática la diversidad de cada sitio a lo largo de las temporadas de migración, para eliminar el sesgo de la especie blanco de los cazadores. Estos elementos no solo son importantes para entender cómo se comparten los virus en las poblaciones distribuidas en su dispersión geográfica, si no proponer las medidas para conservación de los sitios de parada y evitar el impacto en las poblaciones migratorias y residentes a futuro.

Conclusiones

Este es uno de los primeros esfuerzos de investigación de Influenza A de esta magnitud en la región. Durante 13 años se ha recopilado datos sobre la alta diversidad de virus de Influenza A en las aves migratorias que visitan Guatemala. A pesar de que la especie que dominó los esfuerzos de muestreo fue *Anas*

discors, y por lo tanto generó el mayor número de muestras positivas, las otras especies de Anátidos con prevalencia alta son un indicador que Guatemala es un sitio donde convergen diversas especies y posiblemente poblaciones y esto es relevante en la recombinación de los virus de influenza A. Aún es necesario empatar estudios de escala poblacional de reservorios con la información molecular de los virus que se ha recopilado a la fecha, para entender como ocurren los procesos de diversidad de virus en la región.

Aporte de autores

Promotor del concepto de la experimentación MEMB, CCR, ASGR, DP

Investigadores MEMB, ASGR, MLM, IDM, DM, DA, LO, CS

Tabulación de datos, redactor del artículo: IDM

Análisis de datos: DM

Revisor del artículo: DM, CCR, LO

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Instituto Nacional de Enfermedades Infecciosas y Alergias (NIAID) y el Centro para la Investigación de la Patogenia de Influenza (CRIP) de los Estados Unidos. Este proyecto contó con el apoyo y autorización del Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP) y con el apoyo y aval del Centro de Estudios Conservacionistas (CECON) de la Universidad de San Carlos de Guatemala. También agradecemos el apoyo del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGA) en los primeros años del proyecto. Extendemos el agradecimiento también a todos los que han integrado el equipo del proyecto a lo largo de los años Jorge Paniagua, Silvia Ramírez, Silvia Sosa, Carmen Yoc, Oscar de León, Adán Real, Ramón Medrano, y a los cazadores deportivos que nos permitieron coleccionar las muestras en los eventos de cacería.

Bibliografía

Allen, T., Murray, K.A., Zambrana-Torrel, C., Morse, S.S., Rondinini, C., Di Marco, M., Breit, N., Olival, K.J., Daszak, P. (2017) *Global hotspots and correlates of emerging zoonotic diseases* Nature Communications 8: 1124. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00923-8>.

Asante, C.K., Hobson, K.A., Bond, A.L., Jardine, T.D. (2017) *Resource partitioning among five species of waterfowl (Anas spp.) at an autumn migratory stopover: Combining stable isotope and mercury biomarkers* Canadian Journal of Zoology 95 (4): 279-86. <https://doi.org/10.1139/cjz-2016-0063>.

Barouki, R., Kogevinas, M., Audouze, K., Belesova, K., Bergman, A., Birnbaum, L., Sandra Boekhold, S., Denys, S., Desseille, C., Drakvit, E., Frumkin, H., Garric, J., Destoumieux-Garzon, D., Haines, A., Huss, A., Jensen, G., Karakitsios, S., Klanova, J., Koskela, L.-M., Laden, F., Marano, F., Matthies-Wiesler, E.F., Morris, G., Nowacki, J., Paloniemi, R., Pierce, N., Peters, A., Rekola, A., Sarigiannis, D., Sebkova, K., Slama, R., Staatsen, B., Tonne, C., Vermeulen, R., Vineis, P. and The HERA-COVID-19 working group (2021) *The COVID-19 pandemic and global environmental change: Emerging research needs* Environment International 146: 106272. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106272>.

Byrd-Leotis, L., Cummings, R.D., Steinhauer, D.A. (2017) *The interplay between the host receptor and influenza virus hemagglutinin and neuraminidase* International Journal of Molecular Sciences 18 (7) 15-41. <https://doi.org/10.3390/ijms18071541>.

Censo Centroamericano de Aves Acuáticas - Wetlands International Latinoamérica y el Caribe s/f. Consultado el 31 de enero de 2021. <https://lac.wetlands.org/nuestro-enfoque/humedales-y-naturaleza-saludables/censo-centroamericano-de-aves-acuaticas/>.

CONAP (2010) *Elaboración de los Calendarios Cinegéticos Regionales Guatemala 2010 Guatemala*. <https://es.scribd.com/doc/51086183/Calendarios-Cinegeticos-Regionales-Guatemala-2010-2011>.

Dhingra, M.S., Jean Artois, J., Dellicour, S., Lemey, P., Sophie Von Dobschuetz, D.G., Van Boeckel, T.P., Castellan, D.M., Morzaria, S., Gilbert, M. (2018) *Geographical and historical patterns in the emergences of novel highly pathogenic avian influenza (HPAI) H5 and H7 viruses in poultry* Frontiers in Veterinary Science 5: 84. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00084>.

Diskin, E.R., Friedman, K., Krauss, S., Nolting, J.M., Poulson, R.L., Slemons, R.D., Stallknecht, D.E., Webster, R.G., Bowman, A.S. (2020) *Subtype Diversity of Influenza A Virus in North American Waterfowl: a Multidecade Study* Journal of Virology 94 (11): 2022-41. <https://doi.org/10.1128/jvi.02022-19>.

Eisermann, K. (2006) *Evaluation of waterbird populations and their conservation in Guatemala Guatemala*. https://www.researchgate.net/publication/263162660_Evaluation_of_waterbird_populations_and_their_conservation_in_Guatemala.

Ferreri, L.M., Ortiz, L., Geiger, G., Barriga, G.P., Poulson, R., Gonzalez-Reiche, A.S., Crum, J.A., Stallknecht, D., Morán, D., Córdón-Rosales, C., Rajao, D., Pérez, D.R. (2019) *Improved detection of influenza A virus from blue-winged teal by sequencing directly from swab material* Ecology and Evolution 9 (11): 6534-46. <https://doi.org/10.1002/ece3.5232>.

Galbraith, C.A., Jones, T., Kirby, J., Taej. M. (2014) *A review of migratory bird flyways and priorities for management* CMS Technical Series Publication No. 27.

González-Reiche, A.S., Morales-Betoulle, M.E., Alvarez, D., Betoulle, J.L., Müller, M.L., Sosa, S.M., Pérez, D.R. (2012) *Influenza A Viruses from Wild Birds in Guatemala Belong to the North American Lineage* PLoS ONE 7 (3): e32873. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032873>.

González-Reiche, A.S., Ramírez, A.L., Müller, M.L., Orellana, D., Sosa, S.M., Ola, P., Paniagua, J., Ortiz, L., Hernández, J., Córdón-Rosales, C., Pérez, D.R. (2017) *Origin, distribution, and potential risk factors associated with influenza A virus in swine in two production systems in Guatemala* Influenza and other Respiratory Viruses 11 (2): 182-92. <https://doi.org/10.1111/irv.12437>.

Jhung, M.A., Swerdlow, D., Olsen, S.J., Jernigan, D., Biggerstaff, M., Kamimoto, L., Kniss, K., Reed, C., Fry, A., Brammer, A., Gindler, J., Gregg, W.J., Breese, J., Finelli, L. (2011) *Epidemiology of 2009 pandemic influenza a (H1N1) in the United States* Clinical Infectious Diseases 52 (suppl. 1) S13-S26. <https://doi.org/10.1093/cid/ciq008>.

- Karesh, W.B., Dobson, A., Lloyd-Smith, J.O., Lubroth, J., Dixon, M.A., Bennett, M., Aldrich, S., Harrington, T., Formenti, P., Loh, E.H., Machalaba, C.C., Thomas, M.J., Heymann, D.L. (2012) *Ecology of zoonoses: natural and unnatural histories* Lancet 380 (9857): 1936-45. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61678-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61678-X).
- Kuiken, T., Fouchier, R.A.M., Rimmelzwaan, G.F., Osterhaus, A.D.M.E. (2006) *Emerging viral diseases in waterbirds* En: Boere, G.C., Galbraith, C.A., Stroud, D.A. eds.) *Waterbirds around the world A global overview of the conservation, management and research of the world's waterbird flyways* Edinburgh: The Stationery Office 4:1-937. www.paulmarshallphotography.com.
- Lycett, S.J., Duchatel, F., Digard, P. (2019) *A brief history of bird flu* Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences 374: 1775. <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0257>.
- Machalaba, C.C., Elwood, S.E., Forcella, S., Smith, K.M., Hamilton, K., Jebara, K.B., Swayne, D.E., et al. (2015) *Global avian influenza surveillance in wild birds: A strategy to capture viral diversity* Emerging Infectious Diseases 21 (4) 1414-15. <https://doi.org/10.3201/eid2104.141415>
- Munster, V.J., Fouchier, R.A.M. (2009) *Avian influenza virus: Of virus and bird ecology* Vaccine 27 (45) 6340-6344. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2009.02.082>.
- Olsen, B., Munster, V.J., Wallensten, A., Waldenström, J., Osterhaus, A.D., Fouchier, R.A. (2006) *Global patterns of influenza a virus in wild birds* Science 312 (5772): 384-88. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1122438>.
- Rebel, J.M., Peeters, B., Fijten, H., Post, J., Cornelissen, J., Vervelde, L. (2011) *Highly pathogenic or low pathogenic avian influenza virus subtype H7N1 infection in chicken lungs: Small differences in general acute responses* Veterinary Research 42 (1): 10. <https://doi.org/10.1186/1297-9716-42-10>.
- Taubenberger, J.K., Kash, J.C. (2010) *Influenza virus evolution, host adaptation, and pandemic formation* Cell Host and Microbe 7 (6) 440-451. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2010.05.009>.
- Townsend, A.K., Hawley, D.M., Stephenson, J.F., Williams K.E.G. (2020) *Emerging infectious disease and the challenges of social distancing in human and non-human animals* Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 287: 1932. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.1039>.
- Vandegrift, K.J., Sokolow, S.H., Daszak, P., Kilpatrick, A.M. (2010) *Ecology of avian influenza viruses in a changing world* Annals of the New York Academy of Sciences 1195: 113-28. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05451.x>.Ecology.
- Walton, L., Marion, G., Davidson, R.S., White, P.C.L., Smith, L.A., Gavier-Widen, D., Yon, L., Hannant, D., Hutchings, M.R., (2016) *The ecology of wildlife disease surveillance: demographic and prevalence fluctuations undermine surveillance* Journal of Applied Ecology 53 (5): 1460-69. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12671>.

Mujeres indígenas en carreras científico-tecnológicas, una brecha por reducir

Ana Lucía Solano Garrido, alsolano@uvg.edu.gt, Ingrid Vanessa Granados Barneond, ivgranados@uvg.edu.gt

* Secretaria del Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala

*Directora de Proyectos Estratégicos de la Vicerrectoría de Investigación y Vinculación, Universidad del Valle de Guatemala

RESUMEN: Según el censo nacional del 2019, en Guatemala el 41% de la población se identifica como indígena. La mitad de esta población está representada por mujeres. Históricamente, es la población con menos oportunidades educativas y su participación en ciencia y tecnología ha sido aún más limitada. El objetivo es presentar un contexto de educación general y de género en Guatemala y los resultados de un estudio de caso que muestra las características de la población de mujeres indígenas que cursan una carrera STEM en la Universidad del Valle de Guatemala (UVG). Para el caso de estudio se realizó un análisis cuantitativo de las mujeres indígenas inscritas en la UVG del 2017 al 2020 y las reportadas en la encuesta de graduados de la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT). Como resultado, se identificaron 14 estudiantes indígenas que representan el 0.61% de las mujeres que cursan carreras STEM en la UVG. Se entrevistó a seis estudiantes y dos egresadas para un análisis cualitativo, encontrando que cuentan con ayuda económica y el apoyo de sus familias para realizar estudios universitarios. No se observa una tendencia en el tipo de carrera elegida por las estudiantes indígenas, sino responde a intereses de las estudiantes y la formación del bachillerato. Identificamos aspectos comunes que han influido en la elección de una carrera STEM: La formación académica de sus padres y su intención en la formación de sus hijas, las escuelas a las que asistieron y su localidad, así como la calidad de la formación.

PALABRAS CLAVE: mujer científica, etnicidad, género, mujer, STEM, enseñanza superior.

Indigenous women studying science and technology: a gap to reduce

ABSTRACT: According to the 2019 national census, in Guatemala 41% of the population identifies as indigenous. Women represent half of this population. Historically, it is the population with the fewest educational opportunities and its participation in science and technology has been even more limited. The objective is to present a context of general and gender education in Guatemala and the results of a case study that shows the characteristics of the population of indigenous women studying STEM at the Universidad del Valle de Guatemala (UVG). For the case study, a quantitative analysis was carried out of the indigenous women registered at UVG from 2017 to 2020 and those reported in the survey of graduates of the National Secretariat of Science and Technology (SENACYT). As a result, 14 indigenous students were identified, representing 0.61% of women studying STEM careers at UVG. Six students and two graduates were interviewed for a qualitative analysis, finding that they had financial aid and the support of their families to carry out university studies. There is no trend in the type of career chosen by indigenous students, but rather responds to their interests and their prior education. We identified common aspects that have influenced the choice of a STEM career: the academic training of the parents and the intention in their daughter's education, the schools they attended and their locality, as well as the quality of the training.

KEYWORDS: female scientist, ethnicity, gender, female, STEM, higher education.

Introducción

Según el censo nacional de población más reciente, Guatemala tiene una población de aproximadamente 15 millones de habitantes donde el 48% son hombres y 51% mujeres. El 56% de la población se identifica como mestizo y el 41% como maya (indígena). El 54% de la población vive en condiciones de pobreza y han cursado entre 4 y 6 años en la escuela y de los jóvenes que logran terminar sus estudios de diversificado, solamente el 4.5% de la población del país tiene acceso a la educación universitaria y un 0.48% a educación de posgrado, maestría y doctorado. Para el 2018 la cantidad de mujeres que han tenido acceso a educación superior es solo del 5.2% siendo en su mayoría del área urbana y se encuentran dentro de la población mestiza (INE, 2019).

La proporción de niñas por nivel educativo indica que más de 1.9 millones de estudiantes no continuaron estudios en el nivel medio del ciclo diversificado para el año 2019. La deserción escolar de las mujeres es mayor en el área rural en todos los niveles y es a partir de los 13 años de edad donde aumentan las tasas de deserción (ASIES y ONU, 2020).

La tasa de alfabetismo en Guatemala es de 81% y según el Instituto Nacional de Estadística (2015) el crecimiento de la matriculación de la población femenina ocurrió hasta el 2012 para alcanzar un crecimiento del 25.6% en el 2015. Del total de graduados a nivel de licenciatura el 56.5% eran mujeres. Según el campo de estudio de las mujeres matriculadas en educación superior se muestra que el 63% de mujeres se matricularon en ciencias médicas, 59% en ciencias sociales, 66% en humanidades y un 24% en el campo de Ingeniería y Tecnología. En Guatemala, tanto en el compendio estadístico sobre educación del INE en 2013 como en 2015 (INE, 2015; INE, 2016) no se tienen datos por grupo étnico en los distintos niveles educativos evaluados.

El anterior contexto de las mujeres y mujeres indígenas en Guatemala lleva a reflexionar sobre los retos que se presentan para lograr la equidad de género en la inserción de los jóvenes en el sistema educativo. Esto amerita una identificación de los factores que limitan la demanda educativa del país. Para Guatemala el acceso a la educación superior es limitada para un pequeño sector de la población. Este porcentaje se reduce más cuando se analizan las estadísticas por género o por grupo étnico y por disciplinas. El acceso a la educación superior es tan limitado que dentro de la estadística nacional no se presentan datos detallados sobre la cantidad de población que realiza estudios de posgrado ya sea maestrías, doctorados o posdoctorados, en general y mucho menos en el área de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, que por sus siglas en inglés se denominan áreas STEM.

En 2019 directivos de la Universidad del Valle de Guatemala tuvieron la oportunidad de conocer un proyecto de becas que se estaba implementando en México con el objetivo de facilitar

el acceso a estudios de posgrado para mujeres indígenas en el área STEM (CIESAS, 2019). A raíz de conocer esta experiencia, ha surgido el interés por buscar mecanismos de colaboración para evaluar si es posible realizar un programa similar en Guatemala y eventualmente en Centroamérica.

Se identificó que se tenía una limitante importante y es que no se conoce la población de mujeres indígenas que están cursando una licenciatura o estudios de posgrado en el área STEM. Esa información con detalle no es de libre acceso a nivel nacional, ni dentro de las universidades. Es por eso que surge la necesidad de elaborar este estudio en donde se ha incluido el estado del arte y un estudio de caso en la Universidad del Valle de Guatemala para tener un diagnóstico de la población estudiantil de mujeres indígenas en el área STEM.

Esta investigación se abordó desde el supuesto filosófico del paradigma transformador para analizar una situación que integra la perspectiva de género y de grupos étnicos. Dichas investigaciones tienen el potencial contribuir a la transformación tanto personal como social. Mertens (2017) sostiene que la transformación personal es un componente necesario de la investigación para que la misma logre apoyar el cambio en el nivel social en forma de promoción de los derechos humanos y justicia social. La perspectiva epistemológica bajo este paradigma busca la interacción con los participantes del estudio para generar el conocimiento necesario para responder a las siguientes preguntas de investigación. ¿Cuántas mujeres que se autodenominan indígenas están cursando o han terminado recientemente una carrera de licenciatura en un área STEM en la Universidad del Valle de Guatemala?, ¿Cuáles son las características, intereses y aspiraciones personales y profesionales de las estudiantes y egresadas indígenas de UVG en un futuro cercano?.

El método que se utilizó fue mixto, cuantitativo y cualitativo, y se enmarca como un estudio de caso para describir y analizar el caso específico de la Universidad del Valle de Guatemala. La metodología bajo el paradigma transformador, examina supuestos relacionados con la ética, para dirigirse tanto a nivel personal como a nivel social para lograr analizar la relación del sujeto con la comunidad en la que se desenvuelve. (Mertens, 2017).

Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con la evidencia que han presentado otros estudios en Latinoamérica (Rodríguez et al., 2019; Jiménez, 2017; Gallart y Henríquez, 2006) con relación a la menor participación de las mujeres en el ámbito de la ciencia y la tecnología. Las estadísticas más actualizadas a nivel nacional (INE, 2015) muestran que aproximadamente un 24% de la población estudiantil que cursa carreras STEM son mujeres. En los cuatro años evaluados en UVG (2017 al 2020) se tiene un promedio del 39% de mujeres que estudian una licenciatura en áreas STEM, el cual muestra un porcentaje mayor al nacional (24%), pero aún no se alcanza una participación equitativa.

Con los hallazgos de esta investigación se encontró que actualmente solo 14 mujeres que se autodenominan indígenas están cursando una carrera STEM en los tres campus de la Universidad del Valle de Guatemala. Luego del estudio de la base de datos de admisiones de UVG, la población de mujeres indígenas en STEM representa en promedio el 0.61% de la población total de mujeres que cursan estas carreras del 2017 al 2020 en dicha universidad.

Se pudo identificar que un factor determinante de este incremento en la población de mujeres indígenas ha sido que en la Universidad desde el 2015 se han realizado grandes esfuerzos por ampliar los programas de ayuda financiera. De los estudiantes que reciben algún tipo de ayuda financiera, para 2018, el 49% son mujeres y el 51% son hombres.

No se observa alguna tendencia particular en cuenta al tipo de carrera que las estudiantes indígenas han elegido, al menos en campus central es muy diverso y eso responde a los intereses particulares de cada estudiante y a la formación que han tenido en el bachillerato. Aunque las mujeres que se autodenominan indígenas que formaron parte de este estudio son un grupo que mostró diferencias personales y familiares, se lograron identificar aspectos en común que han influido en la elección de su carrera tales como: el grado académico de los padres y el interés que demuestran por el acceso a la educación superior de sus hijas, los centros escolares en donde cursaron el bachillerato, los cuales ofrecían una formación de calidad y una educación con orientación científico - tecnológica . Entre los aspectos mencionados, además se evidenció que, aunque las participantes estaban conscientes de la prevalencia de factores de exclusión por género y origen étnico, han contado con el apoyo de su familia para romper esquemas o paradigmas generacionales y tradicionales de género y etnia. Las estudiantes entrevistadas indicaron que planean continuar sus estudios a nivel de posgrado y retribuir el apoyo que les han brindado, con el fin de promover que otras mujeres en sus comunidades cuenten con este tipo de oportunidades.

Material y métodos

Esta investigación se abordó desde el supuesto filosófico del paradigma transformador para analizar una situación que integra la perspectiva de género y de grupos étnicos. La interseccionalidad bajo la cual se realiza el análisis de los resultados, permite que la superposición entre las identidades como sexo, clase y etnia se incorporen en la perspectiva de las mujeres y así poder comprender mejor sus experiencias de vida. (Crenshaw, 1991).

El método que se utilizó fue mixto, cuantitativo y cualitativo, y se enmarca como un estudio de caso para describir y analizar el caso específico de la Universidad del Valle de Guatemala. La metodología bajo el paradigma transformador, examina supuestos relacionados con la ética, para dirigirse tanto al nivel personal como social para lograr analizar la relación del sujeto con la comunidad en la que se desenvuelve. (Mertens, 2017).

La perspectiva epistemológica bajo este paradigma busca la interacción con los participantes del estudio para generar el conocimiento necesario para responder a las preguntas de investigación.

Componentes del estudio

Participantes

- Estudiantes mujeres que se autodenominan indígenas (dentro de los criterios Maya, Garífuna y Xinca) y que están cursando o han terminado (2017 al 2020) una carrera de licenciatura en el área STEM en la Universidad del Valle de Guatemala.
- Egresadas mujeres que se autodenominan indígenas y que cursaron una carrera de licenciatura y/o maestría en el área STEM en la Universidad del Valle de Guatemala, sin tomar en cuenta el año de graduación.

Muestra

- El criterio de muestreo que se utilizó fue teórico (Glaser y Strauss, 1970). Los criterios de selección fueron: estudiantes mujeres que se autodenominan indígenas que actualmente cursan una licenciatura en área STEM del 201 al 2020 y egresadas, que cumplan con este perfil sin importar el año de graduación, de la Universidad del Valle de Guatemala.
- Reclutamiento: El universo identificado con este perfil en UVG fue de 14 estudiantes, se contactó a todas por correo electrónico, pero solamente se pudo entrevistar a 6 mujeres (42%).
- Aunque se conoce la cantidad de mujeres graduadas en grado de licenciatura en carreras STEM en la Universidad del Valle de Guatemala, se desconoce la cantidad de egresadas que se autodenominan indígenas ya que solo se tiene registro con este dato desde el 2017 para las estudiantes admitidas. Sin embargo, se pudo reclutar y entrevistar a dos egresadas con este perfil.

Instrumentos

- **Entrevistas virtuales:** entrevista semiestructurada. Los temas abordados en la entrevista fueron: información personal general, contexto familiar, formación académica y expectativas a futuro. Las entrevistas con las egresadas se realizaron por comunicación telefónica y las entrevistas a las estudiantes por medio de la plataforma virtual de Zoom.
- **Bases de datos:** Se trabajó con bases de datos en Excel para analizar las siguientes dos fuentes de información: Formulario de admisiones y encuesta de graduados del 2017 al 2020 que UVG presenta a la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología, SENACYT. La encuesta de SENACYT es de utilidad para conocer la cantidad de hombres y mujeres en carreras científicas tecnológicas, pero en estos datos no se identifica el

grupo étnico. La información de admisiones en ese sentido es clave, ya que desde el 2017 se incluyó la pregunta. ¿Con qué grupo étnico te identificas? Así que esta es la única fuente de información en la universidad que puede orientar con confiabilidad que estudiantes se autodenominan indígenas. Es por esta razón que se ha trabajado con datos del 2017 hasta 2020.

Procedimiento

- **Recopilación de la información:** Las entrevistas se trabajaron de forma virtual debido a la situación de confinamiento por la pandemia del COVID-19. Se solicitaron las bases de datos actualizadas de admisiones y graduados a la unidad de admisiones de la UVG. Las encuestas de graduados presentadas a SENACYT se solicitaron a la decanatura del Instituto de Investigaciones de UVG, debido a que es la unidad encargada de responder y enviar la encuesta a SENACYT.
- **Análisis de datos:** Los datos cuantitativos se analizaron a partir de la encuesta de graduados que UVG presenta a SENACYT. Con estos datos se obtuvo el total de hombres y mujeres graduados en carreras científicas-tecnológicas en UVG del 2017 al 2020. Para fines de esta investigación solo se tomaron en cuenta las categorías que se consideran dentro del enfoque STEM: ciencias naturales y exactas, ingeniería y tecnología y ciencias agrícolas. Con los totales obtenidos por años se obtuvo el porcentaje de mujeres y hombres graduados de UVG que estudiaron una carrera científico-tecnológica del 2017 al 2020. Con la información de la unidad de admisiones, se identificó el número mujeres que se autodenomina indígenas y cursan una carrera STEM. Con esta información y con el total de mujeres admitidas en

carreras STEM se obtuvo la proporción de estudiantes mujeres indígenas en área STEM y se identificaron cuáles son las carreras que tienen mayor cantidad de mujeres indígenas.

Para realizar un análisis desde el paradigma transformador y la interseccionalidad de género, se inició con codificar los datos cualitativos bajo el muestreo teórico, se utilizó una hoja electrónica en Excel para segmentar los ejes temáticos de la encuesta. Después se procedió a codificar la información obtenida y se analizó por categorías según el eje temático de las preguntas realizadas. Luego se realizó una síntesis de lo encontrado, que es lo que se presenta en este artículo.

Elementos éticos asociados

La investigación surge desde una visita académica y un trabajo de maestría de las investigadoras, y ambas cuentan con un entrenamiento certificado para realizar investigación con sujetos humanos. Las consideraciones éticas fueron tomadas en cuenta en el estudio, siendo el mismo de bajo riesgo y sin la obtención de información identificable o sensible de las participantes. Los resultados para el análisis teórico fueron codificados y guardados en dispositivos electrónicos de las investigadoras y posterior a la culminación de la investigación, los mismos fueron destruidos. La participación fue voluntaria y con fines académicos. Las participantes leyeron y firmaron un consentimiento informado previo a la entrevista.

Resultados y discusión

A continuación, en el cuadro 1, se presentan los resultados obtenidos en el análisis de las encuestas de graduados reportadas a SENACYT del 2017 al 2020. Después de tener una perspectiva

Cuadro 1. Número total y porcentaje de hombres y mujeres graduados de UVG en área STEM del 2017 al 2020.

Hombres y mujeres graduados de maestría y licenciatura en área STEM	Año			
	2017	2018	2019	2020
Programas de maestría				
Hombres graduados en programas de maestría	59 (52%)	5 (33%)	12 (28%)	31 (36%)
Mujeres graduadas en programas de maestría	55 (48%)	10 (67%)	31 (72%)	55 (64%)
Programas de licenciatura				
Hombres graduados en programas de licenciatura	258 (55%)	223 (65%)	230 (61%)	172 (61%)
Mujeres graduadas en programas de licenciatura	207 (45%)	108 (35%)	125 (39%)	110 (39%)
Total de hombres graduados en maestría y licenciatura	317 (55%)	228 (66%)	242 (61%)	203 (55%)
Total de mujeres graduadas en maestría y licenciatura	262 (45%)	118 (34%)	156 (39%)	165 (45%)

Cuadro 2. Población estudiantil femenina inscrita en carreras STEM del 2017 al 2020 en UVG.

Mujeres inscritas en licenciatura STEM	Año			
	2017	2018	2019	2020
Total de mujeres inscritas por año	758	805	913	1056
Total de mujeres inscritas por año que se autodenominan indígenas	1	1	8	14
Proporción de población de mujeres indígenas que estudian una carrera STEM	0.13	0.12	0.88	1.33

general de los estudiantes hombres y mujeres que han culminado su carrera en el área STEM, se presenta el análisis de la base de datos de las estudiantes inscritas en UVG en carreras STEM del 2017 al 2020. Como se mencionó anteriormente, se tomó en cuenta la información desde 2017 debido a que en ese año se incluyó en el formulario de admisiones la pregunta sobre identificación con un grupo étnico. Las opciones del formulario en cuanto a grupo étnico son: Mestizo, Maya, Garífuna y Xinca.

En el cuadro 2 se presenta la cantidad total de mujeres inscritas en programas de licenciatura en área STEM, la cantidad de mujeres que se autodenominan indígenas y la proporción que estas últimas representan. La información analizada incluye los tres campus de la universidad y solo se utilizaron los datos de licenciatura, debido a que no se encontró a ninguna mujer que se autodenomina indígena y que esté cursando actualmente una maestría en el área STEM. Tampoco se está tomando en cuenta los grados técnicos ni los profesorados. Como puede observarse la proporción que representa la población de mujeres indígenas en el área STEM en UVG es muy pequeña, para el 2020 sería de 1 mujer indígena por cada 100 mujeres que cursan una licenciatura en STEM. En promedio, en este período de tiempo, se puede decir que la proporción de mujeres que se autodenomina indígenas y que estudian una carrera STEM en UVG es del 0.61%

Es importante aclarar que los datos de admisiones provienen de los estudiantes que se inscriben cada año, es decir que un estudiante que se inscribió en 2017 se contará nuevamente en los siguientes cinco años. Esto sucede en la mayoría de los casos, pero hay casos en donde el estudiante se retiró en segundo o tercer año de su carrera. Con la información proporcionada es difícil identificar la situación de cada estudiante. Sin embargo, la unidad de admisiones confirmó los datos personales de 14 estudiantes que se autodenominan indígenas y que aparecen inscritas en carreras STEM y están activas en el sistema para el 2020. En el cuadro 3 se lista las carreras que cursan y el grupo étnico con el que se identifican (Maya, Mestizo, Garífuna y Xinca).

Como se observa en el cuadro 3, las carreras con mayor población de mujeres indígenas son: en Campus central:

Cuadro 3. Carreras que cursan las estudiantes indígenas y grupo étnico con el que se identifican.

Carrera STEM	Grupo étnico con el que se identifica	Número de estudiantes por carrera
CAMPUS CENTRAL		
Licenciatura en Ingeniería Electrónica	Maya	1
Licenciatura en Ingeniería en Biotecnología Industrial	Maya	1
Licenciatura en Ingeniería en Ciencia de la Computación y Tecnologías de la Información	Maya	1
Licenciatura en Ingeniería en Ciencias de Alimentos	Maya	1
Licenciatura en Ingeniería Biomédica	Maya	1
Licenciatura en Matemática Aplicada	Maya	1
Licenciatura en Bioquímica y Microbiología	Maya	2
Licenciatura en Física	Maya	1
Total		9
CAMPUS ALTIPLANO		
Licenciatura en Ingeniería en Tecnología Agroforestal	Maya	3
Licenciatura en Tecnología de Sistemas Informáticos	Maya	2
Total		5
Total en UVG		14

licenciatura en Bioquímica y Microbiología, en Campus Altiplano: licenciatura en Ingeniería en Tecnología Agroforestal y Licenciatura en Tecnología de Sistemas Informáticos. En Campus Sur no se identificó a ninguna estudiante con este perfil.

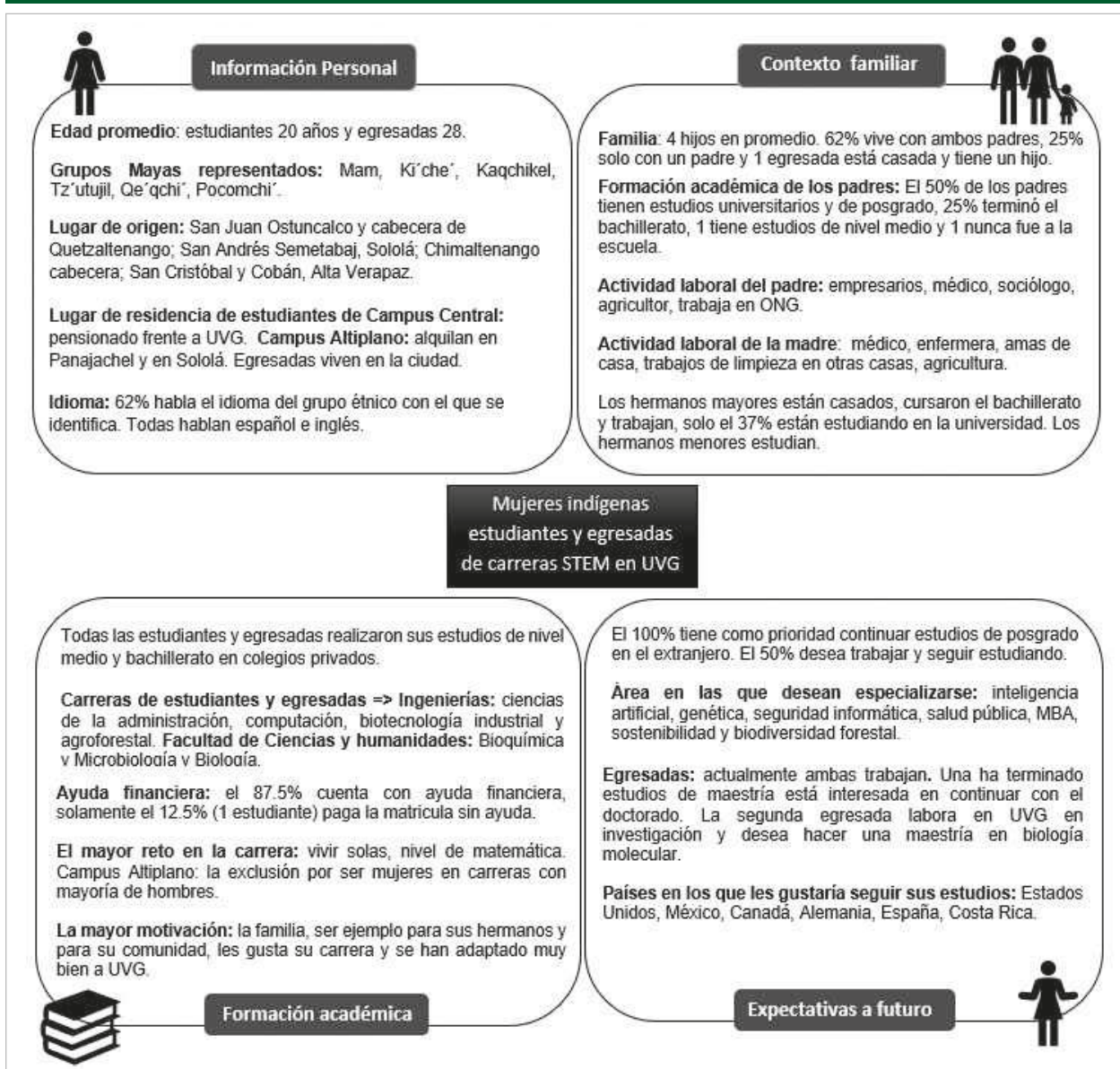


Figura 1. Análisis cualitativo de la información recopilada en las entrevistas.

Con la identificación de las 14 estudiantes se procedió a contactarlas por medio de correo electrónico y se tuvo respuesta únicamente de 6 estudiantes. En el caso de las egresadas, se consultó a los directores de carreras STEM si tenían datos de egresadas indígenas, pero solamente se obtuvo información de dos egresadas a quienes se contactaron vía telefónica. Los resultados de las entrevistas se presentan en la figura 1.

Los resultados obtenidos en esta investigación coinciden con la evidencia que han presentado otros estudios en Latinoamérica (Rodríguez et al., 2019; Jiménez, 2017; Gallart y Henríquez, 2006) con relación a la menor participación de las mujeres en el ámbito de la ciencia y la tecnología. Las estadísticas más actualizadas a nivel nacional (INE, 2015) muestran que aproximadamente un 24% de la población estudiantil que cursa

carreras STEM son mujeres. La información de graduados de UVG que se reporta a SENACYT y que se presenta en el cuadro 1, muestra una proporción mayor a la nacional, pero aún no se alcanza una participación equitativa. En promedio, en los cuatro años evaluados (2017 al 2020) se tiene un 39% de mujeres que estudian una licenciatura STEM. Sin embargo, en los estudios de maestría en área STEM el porcentaje de mujeres graduadas es mayor a la población masculina, en promedio en los años evaluados representan el 63%. Este valor se ve muy influenciado por la cantidad de egresadas de la Maestría en Tecnología de Alimentos y Gestión.

La participación de mujeres que se autodenomina indígenas en UVG en los cuatro años evaluados es del 0.61% de la población total de mujeres que cursan una carrera STEM. Sin embargo,

a pesar de representar una proporción baja, se puede ver con optimismo, ya que la tendencia al crecimiento de esta población es positiva (Cuadro 2). En 2019 se da un incremento de una estudiante a ocho y en 2020 esta cantidad casi se duplica a catorce estudiantes. Además, por lo que se percibió en las entrevistas, las estudiantes que han ingresado han tenido permanencia en sus programas de estudio.

Un factor determinante de este incremento en la población de mujeres indígenas ha sido que en la Universidad desde el 2015 se han realizado grandes esfuerzos por ampliar los programas de ayuda financiera. Actualmente un 50% de los estudiantes recibe algún tipo de ayuda económica, ya sea directamente de la Fundación del Valle, de otras entidades que apoyan la educación superior como por ejemplo la Fundación Juan Bautista Gutiérrez y la Fundación Ramiro Castillo Love, como también otros mecanismos financieros como los créditos estudiantiles. Las estudiantes y egresadas han contado con ayuda financiera de la Fundación del Valle, en diferentes porcentajes, solamente una estudiante paga la matrícula sin ayuda económica.

Lo primero que sobresale es que, aunque son mujeres que comparten algunos aspectos en común, poseen características individuales y diferentes. Pero dentro de esas diferencias se pueden identificar aspectos que han influido en la elección de su carrera, en sus motivaciones, en sus expectativas a futuro y en la experiencia que han tenido hasta el momento en sus estudios. Estos aspectos son:

- **Formación académica de los padres:** los padres con una formación académica a nivel universitario o con estudios de posgrado, tienen mejores oportunidades laborales lo cual les ha permitido poder proveer a todos sus hijos igualdad de oportunidades especialmente en la educación, desde la preprimaria hasta la universidad. Han tenido acceso a centros escolares de nivel académico aceptable en donde han podido despertar su curiosidad por la ciencia y la tecnología. Los padres han permitido que sus hijas se interesen por temas tecnológicos, sin prejuicios sobre roles de género. En varios casos desde pequeñas sentían interés por las matemáticas, la biología y la química y tuvieron el apoyo para poder participar en actividades y olimpiadas científicas.
- **Centros escolares en donde cursaron el bachillerato:** la mayoría de las entrevistadas no estudiaron en donde nacieron o donde residían con sus familias, tuvieron que mudarse o viajar a otros municipios cercanos para poder estudiar en centros educativos, en su mayoría privados, de mejor nivel académico. Es el caso de las estudiantes de Campus Altiplano que a temprana edad tuvieron que movilizarse a Panajachel o Sololá para realizar estudios en el bachillerato ITEC de UVG y luego continuar con sus estudios técnicos y de licenciatura. Otras estudiantes cursaron bachilleratos con alguna orientación tecnológica, como el bachillerato en computación, lo cual les permitió explorar esas áreas y despertar el gusto por la programación.

- **Apoyo familiar:** Este puede ser uno de los factores más influyentes y determinantes del éxito y motivación de las estudiantes. A pesar de ser conscientes de que existe y prevalece en el país un fuerte factor de exclusión por género y origen étnico, han contado con el apoyo de ambos padres o en algunos casos de un padre y de sus hermanos mayores para seguir adelante ante las adversidades que puedan presentarse. Pero también hay casos particulares en donde estas jóvenes mujeres son las que han cambiado la historia de sus familias, gracias al apoyo de alguna organización o de algún familiar cercano que les ha permitido realizar sus estudios hasta la fecha. Ellas han demostrado la importancia de la educación para acceder a mejores oportunidades y ahora son el ejemplo a seguir para sus hermanos menores y para otras mujeres de su comunidad. El paradigma que las niñas no deben estudiar porque deben asumir a corta edad atribuciones marcadas por roles de género es aún vigente especialmente en las áreas rurales del país. Las niñas tradicionalmente han estado vinculadas a las actividades de trabajo doméstico, el cuidado de sus hermanos de menor edad y la alimentación de los animales domésticos, pero también se desempeñan en actividades agrícolas cuando la temporada así lo exige (IPEC, 2010). En Bolivia y Guatemala un 20% de las mujeres ocupadas en la agricultura son niñas menores de 14 años (IPEC, 2010).

En cuanto a los mayores retos que han encontrado en estos años de estudio, se puede mencionar el hecho de tener que mudarse a la ciudad en el caso de las estudiantes de Campus Central, pero han tenido la oportunidad de poder vivir en casas o pensionados que se encuentran enfrente de la universidad. Para algunas ha sido un reto nivelar sus conocimientos en algunas áreas como las matemáticas o la química e integrarse en un inicio a un grupo de amigos. Pero en general la experiencia de las estudiantes de Campus Central ha sido muy positiva. No comentan ningún tipo de actitud discriminatoria de parte de sus compañeros o profesores, al contrario, han encontrado mucho apoyo en ellos. Se sienten orgullosas de su cultura y de denominarse indígenas. En el caso de Campus Altiplano la experiencia de ambas estudiantes ha sido buena en general. Sin embargo, en el campo de las ciencias agrícolas y forestales aún se mantiene un ambiente marcado por el machismo, en donde alrededor del 75% de los estudiantes son hombres y según expresan las entrevistadas, crear un ambiente de igualdad no ha sido tarea fácil.

En cuanto a las expectativas de futuro, las estudiantes tienen grandes sueños y grandes aspiraciones. Todas desean seguir sus estudios de posgrado, de preferencia fuera del país. Algunas ya han investigado opciones de becas en el extranjero en los temas que les llaman la atención. Encontrar un buen trabajo también es parte de sus aspiraciones, principalmente porque desean poder retribuir el apoyo que han tenido de sus padres o de las organizaciones que las han apoyado para que otras mujeres tengan las mismas oportunidades que ellas han tenido.

Conclusiones

- La participación de las mujeres indígenas no solo es limitada en el área STEM, en general el acceso de las mujeres indígenas a los estudios universitarios es bajo como se ha fundamentado con los datos estadísticos presentados anteriormente. Definitivamente la causa de este problema social radica en el limitado acceso que las mujeres indígenas aún tienen a la educación desde niñas. Esta problemática se evidenció en las entrevistas de este estudio.
- Los centros educativos juegan un papel fundamental para promover la participación de las niñas en actividades científicas y tecnológicas que les permita conocer sus aplicaciones en todos los ámbitos de la vida.
- El apoyo y la visión de los padres de familia parece ser un factor influyente para romper los paradigmas de inequidad de género y exclusión social.
- No se evidencia que exista dentro del área STEM alguna carrera que sea de mayor interés para las estudiantes indígenas, esto está más relacionado con las experiencias personales que desde niñas ellas han tenido. La motivación y exposición a ciertas actividades científicas y tecnológicas desde el diversificado es algo que ha influido mucho en su elección.
- Los hallazgos de este estudio no son generalizables a toda la realidad nacional. Ya que en otras universidades la proporción puede ser diferente, pero los registros no son de fácil acceso. Lo que sí evidencian estos resultados es que las oportunidades a educación superior de alta calidad para las mujeres indígenas del país aún son poco accesibles, tomando en cuenta que la UVG se encuentra en el ranking de las mejores universidades privadas de Centroamérica, según el Ranking QS para universidades (QS Ranking, 2020).
- Un punto importante y limitante a la vez de este estudio es que se desconoce el número de egresadas de UVG que se autodenominan indígenas y cursaron una licenciatura STEM. Los directores de carrera no tienen registros que indiquen cuál es la autodenominación étnica de sus egresadas para poder contactarlas.
- El caso de Guatemala es comparable con otras sociedades de Latino América, (Rodríguez et al., 2019; Jiménez, 2017; Gallart y Henríquez, 2006) esto representa un gran reto ya que las futuras generaciones no pueden excluir a la mitad de la población de la tarea de crear economías prósperas y sostenibles basadas en el conocimiento científico y tecnológico. La estabilidad de las sociedades depende de qué tan incluyente sea la educación y la adopción de la ciencia por parte de todas las ciudadanas y ciudadanos (Orendain, 2019).
- Esta investigación se abordó desde el supuesto filosófico del paradigma transformador porque el tema de estudio supone

una transformación social muy profunda, que no se logrará con este pequeño estudio, más bien estos datos ayudan a hacer más visible la necesidad de cambiar un modelo de exclusión histórico que ha tenido grandes repercusiones en la sociedad guatemalteca.

- Como sociedad y específicamente como profesionales, se tiene una deuda histórica con las poblaciones que han sido tradicionalmente excluidas del derecho a la educación. Se debe promover la transformación de esta realidad por medio de acciones que ayuden a la inclusión de las mujeres indígenas en el sistema educativo desde los niveles más básicos hasta estudios de posgrado, recordando que no hay una transformación real sin la participación de todos los integrantes de la sociedad, ni existe desarrollo sin equidad.

Aporte de los autores

Ana Lucía Solano:

- Antecedentes, estadísticas nacionales.
- Diseño del estudio de caso de UVG.
- Recopilación y análisis de datos de graduados SENACYT y base de datos de admisiones de UVG.
- Realización y análisis de entrevistas con estudiantes y egresadas de UVG.
- Análisis de resultados, discusión y conclusiones del estudio de caso.

Vanessa Granados Barnéond:

- Antecedentes, estudio de contexto Guatemala y género (estado del arte).
- Recopilación de datos de contexto y estadísticos UVG.
- Escritura e integración de componentes a la investigación.
- Resumen, traducciones (abstract) e introducción.
- Revisión e integración de manuscrito.

Agradecimientos

Agradecemos el interés y apoyo de Matthew Wallace, especialista de programas en el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC) y a Ma. Antonieta Gallart Nocetti del Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS) y, quien dirige el Programa de Estancias Posdoctorales para Mujeres Mexicanas Indígenas en STEM en México. También al Dr. Marco Saz docente del curso de Investigación e Innovación de la Maestría en Educación Superior de UVG quien brindó su asesoría en el estudio de caso. Y especialmente agradecemos a todas las mujeres indígenas que amablemente nos dieron su tiempo y confianza para realizar la entrevista y contribuir a esta investigación. Agradecemos también a la Universidad del Valle de Guatemala por la oportunidad y recursos brindados para la realización de las visitas y alianzas necesarias para llevar a cabo este estudio.

Bibliografía

- Asociación de Investigaciones y Estudios Sociales (ASIES) y Entidad de las Naciones Unidas para la Igualdad de Género y el Empoderamiento de las Mujeres (ONU Mujeres). (2020). Perfil de País Según Igualdad de Género Guatemala. pp. 151
- Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, CIESAS (2019). Mujeres indígenas se apoderan de la ciencia en el Primer Foro Anual de Posdoctorantes Indígenas STEM. Nov 13, 2019. Consultado: 20 de julio 2020 <https://www.ciesas.edu.mx/mujeres-indigenas-se-apoderan-de-la-ciencia-en-el-primer-foro-anual-de-posdoctorantes-indigenas-stem/>
- Crenshaw, K. (1991) *Mapping the Margins: Intersectionality, Identity Politics, and Violence against Women of Color* Stanford Law Review 43 (6): 1.241-1.299. Traducido por: Raquel (Lucas) Platero y Javier Sáez.
- Gallart M., Henríquez, C. (2006) *Indígenas y educación superior: algunas reflexiones* Universidades 32, 27-32 julio-diciembre. Unión de Universidades de América Latina y el Caribe. Distrito Federal, Organismo Internacional.
- Glaser, B. Strauss, A. (1970) *Theoretical Sampling* Primera Edición, Routledge.
- Instituto Nacional de Estadística, INE. (2019). XII CENSO NACIONAL DE POBLACIÓN Y VII DE VIVIENDA. Principales Resultados del Censo 2018. Consultado: 20 de julio 2020 <https://www.censopoblacion.gt/>
- Instituto Nacional de Estadística, INE. (2016). COMPENDIO DE ESTADÍSTICAS DE EDUCACIÓN 2015. Guatemala pp 57-71.
- Instituto Nacional de Estadística, INE. (2015). COMPENDIO DE ESTADÍSTICAS DE EDUCACIÓN 2013. Guatemala pp 79-93.
- Mertens, D. (2017) *Transformative research: personal and societal* International Journal of Transformative Research 4 (1): 18-24. <https://doi.org/10.1515/ijtr-2017-0001>
- Programa Internacional para la Erradicación del Trabajo Infantil (IPEC) (2010) *Estudio del Trabajo infantil* Organización Internacional del Trabajo, OIT. Consultado 20 de febrero 2021: <https://www.ilo.org/ipec/lang-es/index.htm>
- Jiménez, R. (2017) *El empoderamiento de la mujer en la educación* Observatorio de Innovación Educativa, Tecnológico de Monterrey, November 6, 2017. Consultado: 20 de julio 2020 <https://observatorio.tec.mx/edu-bits-blog/2017/11/6/el-empoderamiento-de-la-mujer-en-la-educacion>
- Orendain, V. (2019) *Mujeres STEM: un reto educativo en México* Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación, INEE. México. Consultado: 24 de julio 2020 <https://www.inee.edu.mx/mujeres-stem-un-reto-educativo-en-mexico/>
- QS Ranking. (2020) Top Universities. <https://www.topuniversities.com/university-rankings>
- Rodríguez A. (2018) *La equidad en la educación: las posibilidades de los niños, niñas y jóvenes indígenas de acceder al sistema educativo* Gazeta. Consultado: 10 de agosto 2020: <https://gazeta.gt/la-equidad-en-la-educacion-las-posibilidades-de-los-ninos-ninas-y-jovenes-indigenas-de-acceder-al-sistema-educativo/>
- Rodríguez, E., De León, N., Marco, Y., Camara, S. (2019) *Diagnóstico de género sobre la educación de las mujeres en Panamá* Revista anual acción y reflexión educativa, N° 45 enero, 2020 ISSN 1563-2911 /2644-3775. Universidad de Panamá, Panamá. Pp 16. Consultado: 24 de julio 2020 <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/226/2261006005/2261006005.pdf>
- Universidad del Valle de Guatemala (2020) Archivos de admisiones de la Universidad del Valle de Guatemala. Estadísticas de ingreso por carreras y grupos étnico con el que se identifica.
- Universidad del Valle de Guatemala (2020) Archivos de la encuesta nacional de graduados que la Universidad del Valle de Guatemala presenta a la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología.

Monitoreo de las condiciones ecológicas y la vegetación nativa en la región litoral del Lago Atitlán Guatemala usando sensores remotos

Jorge García-Polo¹, Stewart A.W. Diemont², Michelle Catalán³, Miguel Ávila⁴

¹Centro de Estudios Atitlán- UVG, jgarcia@uvg.edu.gt / State University of New York College of Environmental Science and Forestry, jgarcia16@syr.edu

²State University of New York College of Environmental Science and Forestry, sdiemont@esf.edu

³Grupo Consultor TopoSIG, Guatemala, mishkacatalan@yahoo.com.mx

⁴Grupo Consultor TopoSIG, Guatemala, ingmiguelavila@gmail.com

Comité de Tuleros de Santiago Atitlán, Sololá, Guatemala.

RESUMEN: La vegetación litoral como el tul (nombre local para ambas *Typha domingensis* y *Schoenoplectus californicus*) del Lago Atitlán es conocida por brindar diversos servicios ecosistémicos incluyendo la remoción de nutrientes y contaminantes y la oxigenación del agua. Es un hábitat para la fauna, sitio de anidación de aves y de oviposición para peces y caracoles. La vegetación provee servicios culturales en forma de materiales para artesanías y adornos ceremoniales. Para comunidades humanas, la mayoría de los cuales son indígenas Maya, les dan sentido de pertenencia, identidad y provee belleza escénica que dan al paisaje. A pesar de estos numerosos beneficios, se ha reportado la degradación y pérdida de los tulares. Utilizamos sensores remotos Sentinel-2 y fotografías de Google Earth de 2018 para medir la vegetación litoral en cuatro municipios. En 2020 con sobrevuelos de dron se fotografió parte de la comunidad de Santiago Atitlán para mostrar la relación entre la cobertura del tul y potenciales estresores de la condición ecológica: 1) cobertura de *Hydrilla verticillata*, una macrófita exótica y 2) fluctuaciones severas del nivel del lago. Encontramos las pequeñas áreas de tul hicieron que Sentinel-2 fuera menos útil para la clasificación e identificación del tul que los otros dos métodos. La mayor cobertura se registró en Santiago Atitlán con 81% de *S. californicus*, 98% de *T. domingensis* y 90% de *H. verticillata* de la zona de estudio. Una disminución de *S. californicus* del 19% de 2018 a 2020 fue estimada. La dinámica del nivel del lago junto con la cobertura de *H. verticillata* parecen influir en los patrones de distribución, haciendo que los parches de tul cambien de forma, presentando una dinámica irregular en el cambio del tipo de ecosistema. El manejo tradicional local del tul es relevante para la conservación y restauración del litoral.

PALABRAS CLAVE: Humedales, drones, Sentinel-2, Concepto pulso de inundación, conocimiento ecológico tradicional.

Monitoring ecological conditions and native vegetation in the littoral region of Lake Atitlan Guatemala using remote sensing

ABSTRACT: Littoral vegetation such as tul (local language for both *Typha domingensis* and *Schoenoplectus californicus*) of Lake Atitlán is known to provide diverse ecosystem services including removal of nutrients and pollutants, and water oxygenation. It is a habitat for fauna, a nesting site for birds and an oviposition site for fish and snails. The vegetation provides cultural services in the form of materials for handicrafts and ceremonial ornaments. For human communities, most of whom are Indigenous Maya, they bring a sense of place, personal identity and provide scenic beauty. Despite these numerous benefits, degradation and loss of the tulares has been reported. We used remote sensing Sentinel-2 and Google Earth photographs from 2018 to measure the littoral vegetation in four municipalities. In 2020, drone flights photographed part of the community of Santiago Atitlan to show the relationship between the tul coverage and potential ecological condition stressors: 1) coverage of *Hydrilla verticillata*, a non-native macrophyte and 2) severe lake level fluctuations. We found that the small areas of tul made Sentinel-2 less useful for tul classification and identification than the other two methods. The highest vegetation coverage was registered in Santiago Atitlán with 81% of *S. californicus*, 98% of *T. domingensis* and 90% of *H. verticillata* from the study area. A decrease of *S. californicus* of 19% from 2018 to 2020 was estimated. Both lake level dynamics and *H. verticillata* coverage appeared to influence distribution patterns, causing tul patches to change shape and creating irregular dynamics in change of ecosystem type. The local traditional management of tul is relevant for littoral conservation and restoration.

KEYWORDS: Wetlands, Drones, Sentinel-2, Flood pulse concept, traditional ecological knowledge.

Introducción

El Lago Atitlán tiene una larga historia de cultura Maya y de uso tradicional de recursos naturales. Dentro de estos recursos, los humedales litorales llamados tulares, forman un ecosistema importante como sitio de oviposición de peces, anidación de aves acuáticas y la reducción de la erosión y eutrofización (Russi et al., 2012). El conocimiento ecológico tradicional comunicado a lo largo del tiempo entre generaciones resulta en buenas prácticas de manejo de los recursos naturales (Falkowski et al., 2015; Martin et al., 2010). En el Lago Atitlán, el conocimiento ecológico tradicional incluye prácticas como la pesca artesanal y el uso tradicional del tul, *Typha domingensis* Pers. y *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják. El tul ha sido importante para los habitantes de la orilla del Lago Atitlán que lo utilizan para la elaboración de productos tradicionales y artesanías como esteras para dormir, llamados petates o pop en Maya (Ivic de Monterros & Azurdia Bravo, 2008; LaBastille, 1974). La pérdida de humedales en el Lago Atitlán afectó de manera negativa el sustento de poblaciones locales en la orilla del lago (López, 1990). Agencias gubernamentales y no gubernamentales hicieron iniciativas de restauración de estos humedales en el área a través de la siembra del tul, pero en muchos casos las plantas se murieron y las plantaciones han fallado (AMSCLAE, 2015). La abundancia de los humedales con estas plantas está disminuyendo en el lago. Por tanto, es necesaria la aplicación de la teoría ecológica y sus herramientas para la restauración de los ecosistemas (Palmer et al., 2016).

El Lago Atitlán ha atraído durante mucho tiempo la atención de científicos de muchas disciplinas, el estudio de los humedales litorales y las comunidades de macrófitas acuáticas no son la excepción. Juday (1915) realizó estudios limnológicos del lago, identificando los géneros de plantas acuáticas cercanas a las desembocaduras de arroyos, que consisten en formas tales como *Typha*, *Scirpus*, *Potamogeton* y *Chara*. Posteriormente LaBastille (1974) mientras estudiaba el pato poc (*Podilymbus gigas* Griscom) también midió la vegetación del litoral, como hábitat principal del pato poc. Un total de 25.7 km de longitud de vegetación acuática emergente (de los 105 km de longitud total de la orilla del lago), estuvo dominado por cuatro especies: *Scirpus californicus* (C.A. Mey.) Steud. (= *Schoenoplectus californicus*), *Typha domingensis* Pers., *Phragmites* sp. y *Phragmites communis* Trin.. Las dos primeras son llamadas localmente tul, se reportaron como importantes para los habitantes que las usaban para elaborar esteras para dormir y sillas pequeñas (LaBastille, 1974).

Dix y colaboradores (2003) reportaron las macrófitas acuáticas del Lago Atitlán, agrupadas en tres categorías como flotantes, emergentes y sumergidas. Mencionaron la importancia de la vegetación acuática tanto para la biodiversidad como para las personas, especialmente el tul (*S. californicus* y *T. domingensis*) para petates y también para embarcaciones pequeñas en el pasado. Se reporta un mapa de distribución de tul y concluyen en el potencial efecto de la sobreexplotación del tul en el lago.

Ivic de Monterroso y Azurdia Bravo (2008) reportaron antecedentes del uso del tul en el pasado y datos del cultivo y procesamiento del tul en la época contemporánea, con resultados de entrevistas realizadas hace 13 años, principalmente en San Juan La Laguna. A pesar de su importancia ecológica, económica y cultural, el desarrollo y urbanización a orillas del lago ha limitado el acceso para el cultivo y manejo tradicional del tul (Skinner, 2009).

Carpenter (2009) publicó resultados de estudios moleculares para confirmar las especies y variedades del género *Schoenoplectus* en las Américas. Confirmó que la especie de la familia Cyperaceae que domina en el litoral del Lago Atitlán corresponde a *Schoenoplectus californicus* y que las muestras analizadas de San Pedro y San Juan La Laguna pertenecen a la variedad *S. californicus* var. *californicus*. Estudios posteriores se enfocaron en procesos ecológicos, como la fijación de nitrógeno con un estudio de caso del Lago Atitlán (Rejmánková, Sirová, et al., 2018), mediciones en diferentes especies de macrófitas (*S. californicus*, *H. verticillata*, *Eichornia crassipes*, *Ceratophyllum demersum* y *Potamogeton illinoensis*) como emisión de gases (CO₂ y CH₄), biomasa vegetal, macroinvertebrados, razones C:N:P en tejido vegetal (Rejmánková, Sullivan, et al., 2018), y el análisis de isótopos N y C en 9 macrófitas, peces e invertebrados (Villavicencio, 2020). Rejmankova, Sullivan y colaboradores (2018) explicaron cómo el incremento en el nivel del lago modificó de un tular a una playa cubierta por *H. verticillata* en San Juan La Laguna, y cómo cada macrófita tiene procesos ecológicos diferentes en los litorales del Lago Atitlán. Los estudios ecológicos nos guían sobre la vulnerabilidad que tienen los ecosistemas del litoral del lago.

Los sensores remotos han sido utilizados en Guatemala para el monitoreo de la cobertura forestal (Castellanos et al., 2011). En el Lago Atitlán los grandes florecimientos de cianobacterias ocurridos en el 2009 fueron capturados por sensores remotos, que permitieron registrar el crecimiento exponencial que alcanzó a cubrir el 40% de la superficie del lago (Rejmánková et al., 2011). Para generar la serie temporal de la cobertura de cianobacterias de octubre a diciembre de 2009 se utilizaron imágenes satelitales de Landsat, EO-1 (ALI & Hyperion) y ASTER y luego en 2011 el florecimiento en la superficie del lago se identificó con las bandas visibles y cercana al infrarrojo (VNIR) del sensor ASTER (SERVIR, 2011b). SERVIR (2015) analizaron imágenes Landsat 8 (Operational Land Imager- OLI) del 8 y 20 de agosto de 2015 y estimaron las concentraciones de clorofila a en la superficie del lago utilizando un algoritmo desarrollado interinstitucionalmente y calibrado con datos de campo (Flores-Anderson et al., 2020). Otro aporte de los sensores remotos consistió el uso de imágenes Landsat para medir los cambios en el área superficial del Lago Atitlán con datos de 1986 a 2011, lo que demuestra la variabilidad del lago y como las grandes tormentas (e.g.: tormenta Mitch y Agatha) influyen en el aumento del lago (SERVIR, 2011a). Flores-Anderson et al. (2020) sugieren la importancia de aplicar y calibrar los sensores

operacionales como Landsat y Sentinel-2. El uso de drones o vehículos aéreos no tripulados (VANT's) tienen también mucho potencial para el monitoreo forestal en Guatemala, pero no se han definiendo metodologías sistemáticas (Cifuentes y Catalán, 2019). En áreas protegidas se ha implementado el uso de VANT's para el monitoreo y vigilancia (CONAP, 2014), así como para el monitoreo de la cobertura humedales como los manglares de la costa del Pacífico (Avila, 2018). Sin embargo, no se ha reportado la utilización de VANT's para el monitoreo de humedales litorales de los cuerpos de agua continentales del país.

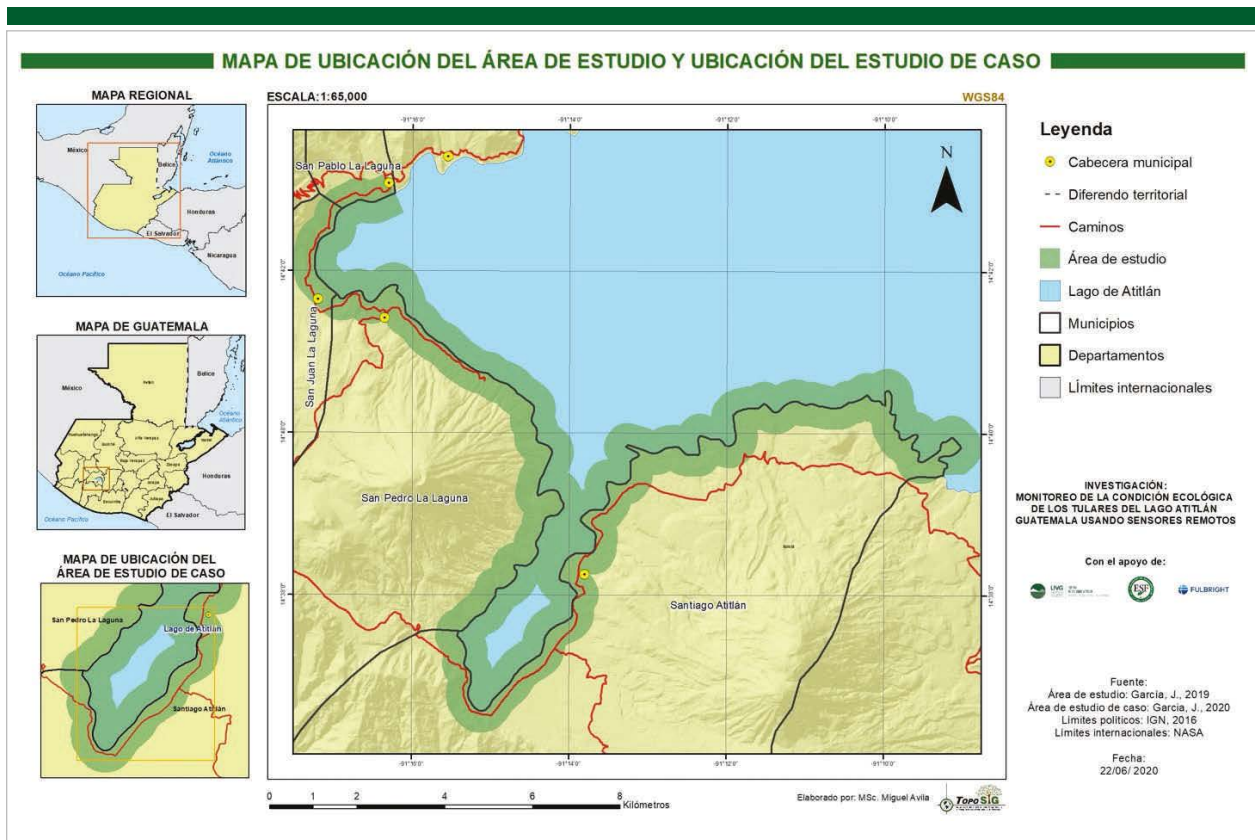
Por lo tanto, el propósito de este estudio fue de utilizar sensores remotos Sentinel-2 y fotografías de Google Earth para medir la vegetación litoral en el año 2018 en cuatro municipios a orillas del Lago Atitlán. Además, se documentó la relación entre la cobertura del tul y estresores de la condición ecológica del litoral: 1) cobertura de *H. verticillata*, una macrófita exótica y 2) fluctuaciones del nivel del lago, utilizando Sentinel-2 y sobrevuelos de VANT's en Santiago Atitlán en febrero de 2020. Debido a las restricciones de locomoción por la pandemia de COVID-19 no fue posible continuar con los sobrevuelos de VANT's en toda el área de estudio.

Materiales y métodos

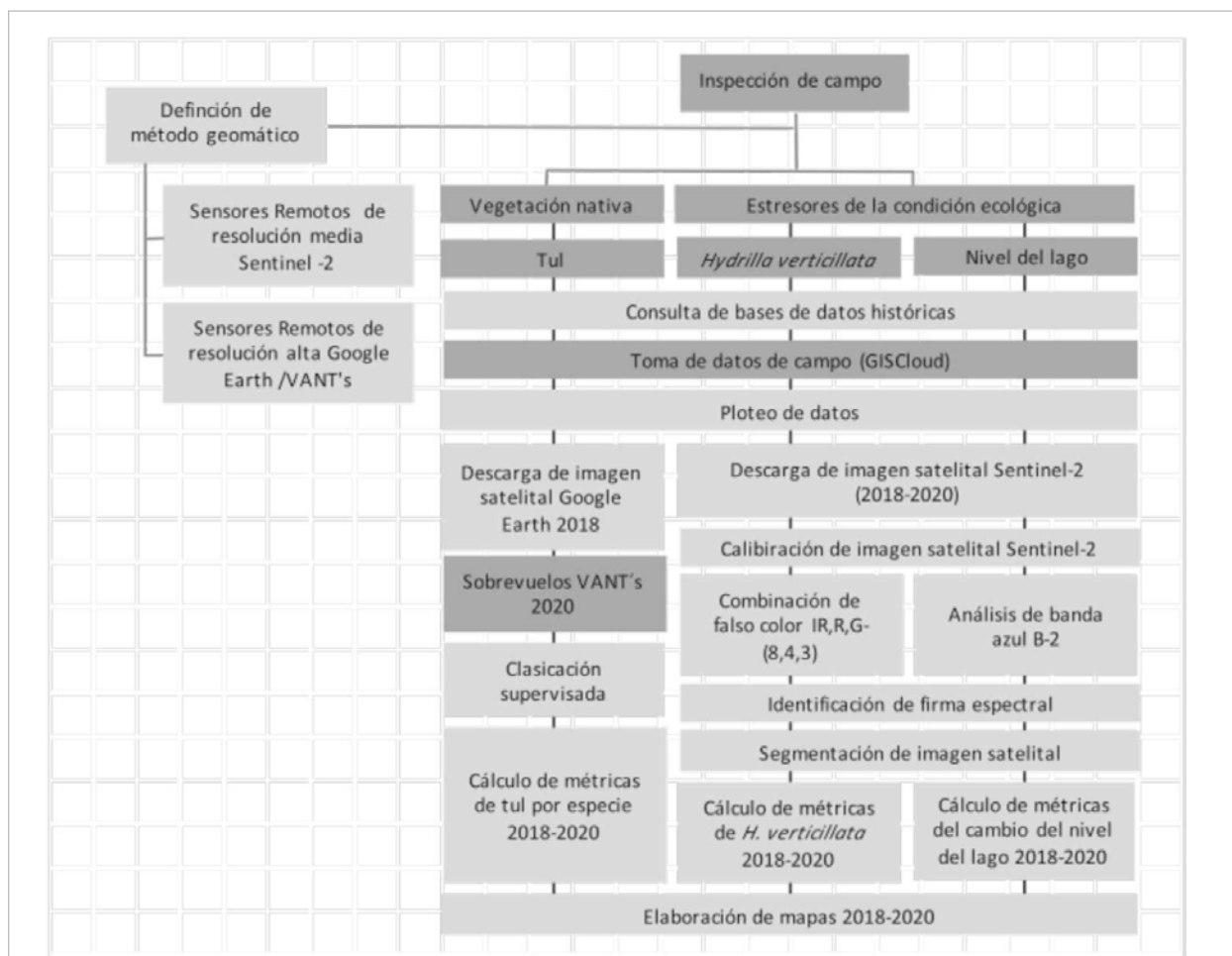
Área de estudio

El lago de Atitlán está ubicado en el altiplano guatemalteco en el Departamento de Sololá a una altitud de 1,562 m.s.n.m. El área del lago es de 125 km² y la profundidad máxima mayor a 327 m con una media de 202.40 m de profundidad (Reyes Morales et al., 2018). Las coordenadas del centro del lago establecidas por Weiss (1971) son Latitud 14 ° 41.943 y Longitud 91 ° 11.076 W. La cuenca del lago ha sido definida como una de las áreas con mayor diversidad cultural en toda Mesoamérica. Dix et al., (2003) describen la cuenca del Lago Atitlán del tipo endorreica, que no posee un drenaje superficial, y se ha estimado un tiempo de retención de 80 a 120 años. La cuenca del lago abarca 15 municipios y aldeas de Nahualá, Departamento de Sololá y algunas aldeas de Totonicapán y Chichicastenango, con una población para el año 2018 de 256,039 habitantes (AMSCLAE 2020).

Tres grupos étnicos mayas viven en la cuenca del lago: Tz'utujil, Kaqchikel y K'iche' (CONAP, 2018; Dix et al., 2003). Tres



Gráfica 1. Mapa de localización de sitio de estudio, municipios de habla Tz'utujil en la cuenca del Lago Atitlán, Guatemala. Límites municipales del IGN actualización 2016.



Gráfica 2. Mapa de localización de sitio de estudio, municipios de habla Tz'utujil en la cuenca del Lago Atitlán, Guatemala. Límites municipales del IGN actualización 2016.

pueblos Tz'utujiles (Santiago Atitlán, San Juan La Laguna y San Pablo La Laguna) son conocidos por tener una relación cercana de uso tradicional del tul, y San Pedro La Laguna también una comunidad Tz'utujil, parece no tener relación con la vegetación del litoral (JGP, observaciones personales). Por lo tanto, el área de estudio se centró en los litorales de estos cuatro municipios: Santiago Atitlán, San Pedro La Laguna, San Juan La Laguna y San Pablo La Laguna (gráfica 1).

Procedimientos para la recolección de datos

Se realizó trabajo de campo colaborativo junto con el Comité de Tuleros de Santiago Atitlán, que inició con el reconocimiento e inspección de campo, como se muestra en el diagrama de flujo (gráfica 2), posteriormente se definió el método geomático a ser utilizado sensores remotos Sentinel-2, Google Earth o VANT's dependiendo de la resolución requerida. A continuación, se describen las siguientes etapas del proceso metodológico.

Medición de la cobertura de la vegetación nativa litoral

Se confirmó que el sensor remoto Sentinel-2 es menos útil para la clasificación e identificación de los tulares debido su escala espacial. Para identificar en campo las zonas con cobertura del tul (*S. californicus* y *T. domingensis*) se elaboró una boleta digital móvil con la aplicación GIS Cloud ¹ (Mobile Data Collection), la cual permite a través de datos de coordenadas GPS capturar datos de objetos del mundo real en un formulario o boleta de campo. El propósito de la boleta fue para almacenar los datos de la presencia de tul, su condición por medio de inspección visual, presencia de otra vegetación que podrían mostrar confusión al momento de mapear la cobertura del tul, como macrófitas exóticas (e.g.: *H. verticillata*) y cualquier tipo de prácticas agrícolas cercanas a la orilla del lago. Estos datos se colectaron por medio de recorridos caminando en la orilla del lago o en lancha, de febrero a mayo de 2020 (anexo 1). Se realizó el sobrevuelo del VANT Phantom 3 Advanced en febrero de 2020, iniciando en la bahía de Santiago Atitlán con el consentimiento y

¹ <https://www.giscloud.com>

participación del Comité de Tuleros (anexo 1). Las restricciones de locomoción durante los primeros meses de la pandemia de COVID-19 no permitieron completar los sobrevuelos en los cuatro municipios (Santiago Atitlán, San Pedro, San Juan y San Pablo La Laguna), esto si fue posible con la fotografía de Google Earth (8 dic. 2018) para la identificación del tul del año 2018. La resolución fue comparable con la información capturada por el equipo fotogramétrico del VANT en la bahía de Santiago Atitlán. Haciendo uso de las técnicas de fotointerpretación visual y aprovechando la alta resolución de la información del equipo fotogramétrico y Google Earth, fue posible a través de la clasificación supervisada determinar la cobertura de los tulares, las características de coloración verde, la diferencia de textura, los patrones de forma y su ubicación cercana a la orilla permitió fácilmente la diferenciación por especie. Además, conociendo las prácticas agrícolas que se realizan cercanas a la bahía fue posible delimitar de una manera más fácil las zonas agrícolas de los tulares. Los datos de campo fueron utilizados para la validación de los productos cartográfico.

Factores estresores de la condición ecológica litoral

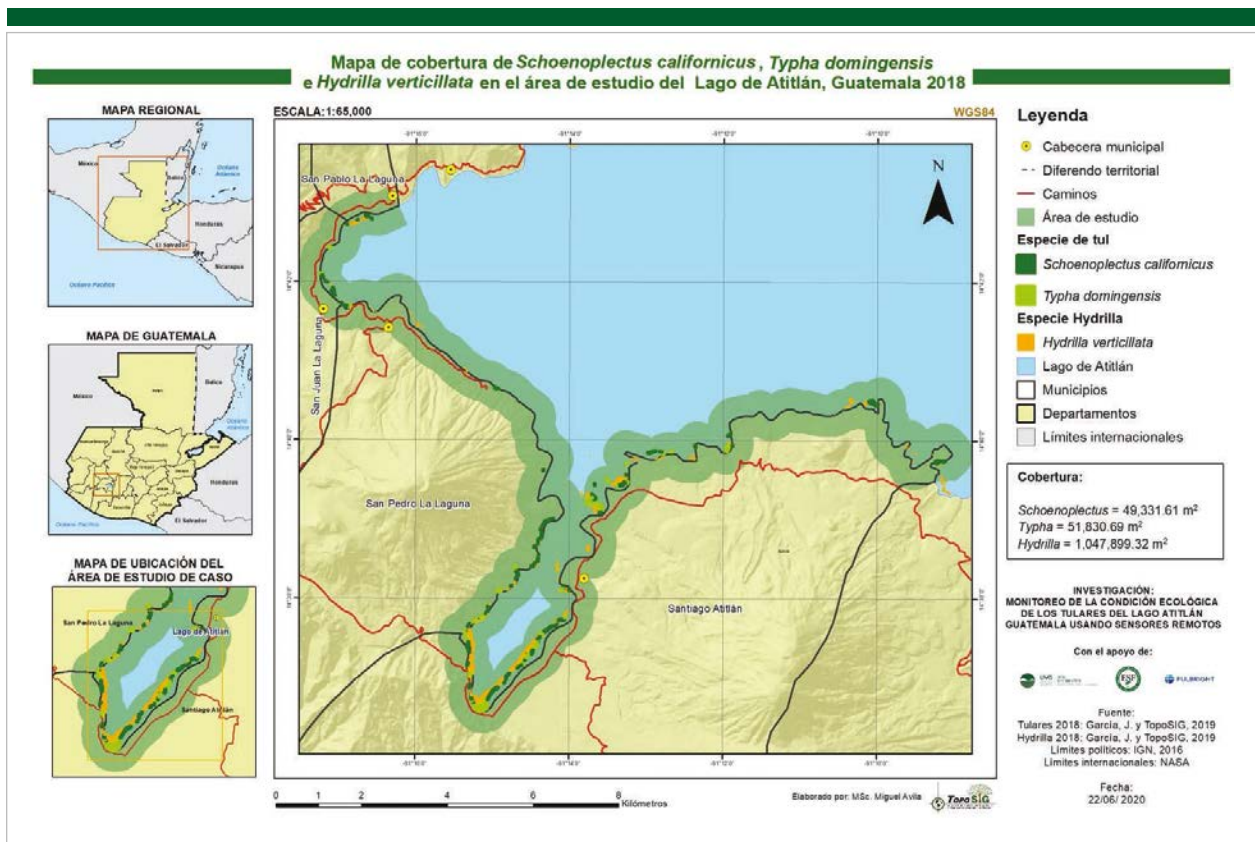
La cobertura de la macrófita exótica *H. verticillata* fue mapeada con sensores remotos Sentinel-2, analizando las imágenes satelitales de 2018 y 2020. La respuesta de la combinación de bandas R, G, B e IR (8,4,3) de 10 metros de resolución, permitió identificar la presencia de *H. verticillata* en un valor espectral

fácil de clasificar. En el caso del nivel del lago, se utilizaron las mismas imágenes satelitales de Sentinel-2 pero únicamente se realizó el análisis de la banda 2, la cual presenta valores espectrales bajos. Los datos de campo fueron utilizados para la validación de los productos cartográficos, en el caso de los sensores remotos Sentinel-2 se utilizaron para validar la teledetección de *H. verticillata* y para determinar los cambios de nivel del Lago de Atitlán. El análisis de la dinámica se realizó comparando las áreas de cobertura de 2018 y 2020 únicamente para la bahía de Santiago Atitlán donde se realizaron los vuelos de VANT's en 2020 para documentar la relación entre estos estresores y el cambio en la cobertura de tul.

Resultados y discusión

Cobertura de la vegetación litoral de 2018

La distribución de vegetación nativa (*S. californicus* y *T. domingensis*) en el litoral de área de estudio en el Lago Atitlán (Santiago Atitlán, San Pedro, San Juan y San Pablo La Laguna) así como la distribución de *H. verticillata*, se muestra en el mapa de cobertura de 2018 a base de sensores remotos (gráfica 3). Reportes previos que han presentado mapas de la distribución y datos de cobertura de tul han utilizado diferentes técnicas de medición en campo (AMSCLAE, 2015; Dix et al., 2003; LaBastille, 1974).



Gráfica 3. Cobertura de las macrófitas dominantes *S. californicus*, *T. domingensis* e *H. verticillata* en cuatro municipios en 2018, Lago Atitlán, Guatemala. Mapa de cobertura del análisis manual de la imagen satelital de Google Earth.

Cuadro 1. Cobertura de las macrófitas dominantes en cuatro municipios en 2018, Lago Atitlán, Guatemala. Área y porcentaje por especie *S. californicus*, *T. domingensis* e *H. verticillata*.

Especies	Santiago Atitlán		San Pedro		San Juan		San Pablo	
	Área (m ²)	%	Área (m ²)	%	Área (m ²)	%	Área (m ²)	%
<i>S. californicus</i>	39,967.80	81.0	1,592.47	3.2	5,129.43	10.4	2,641.92	5.4
<i>T. domingensis</i>	50,859.90	98.1	432.93	0.8	537.86	1.0	0.00	0.0
<i>H. verticillata</i>	937,899.32	89.5	35,000.00	3.3	35,700.00	3.4	39,300.00	3.8

Como resultado del análisis espacial utilizando Google Earth, se presenta en la gráfica 3 la cobertura de total de tul de 2018 en el sitio de estudio, donde se calcularon 49,331.61 m² de *S. californicus* y 51,830.69 m² de *T. domingensis* sumando un total de 101,162.30 m². El análisis de la cobertura de *H. verticillata* con sensores remotos Sentinel-2 resultó en un área de 1,047,899.32 m² para el área de estudio. La alta cobertura de *H. verticillata* confirma que el tul es vulnerable ante esta macrofita invasora ampliamente distribuida en el lago.

LaBastille (1974) no reportó la presencia de *H. verticillata* ya que el primer registro de esta especie de macrofita invasora se registró en Guatemala en el año 2000 en el Lago Izabal (Haller, 2002). Dix y colaboradores (2003) indicaron la presencia de pequeños focos de *H. verticillata* en los muelles de San Juan La Laguna y San Lucas Tolimán. Estudios recientes de monitoreo de la vegetación acuática indican la presencia de *H. verticillata* desde 2014, en 2020 estuvo presente en los 10 sitios muestreados con cobertura mayor a 70% (AMSCLAE, 2020b). *H. verticillata* puede brindar servicios ecosistémicos como hábitats esenciales para la cría y reproducción de peces, pero puede tener efectos adversos en la pesca, dificultando el acceso a sitios de pesca y reduciendo el valor estético del paisaje lacustre (Barrientos & Allen, 2008). Así como afectar el crecimiento y propagación de la vegetación nativa en el litoral (Rejmánková, Sullivan, et al., 2018). *H. verticillata* es una macrofita sumergida que se desarrolla comúnmente a < 3 m de profundidad (Barrientos y Allen, 2008), similar al tul que su profundidad promedio reportada para el Lago Atitlán es de 2.6 m (AMSCLAE, 2015). Es por eso que consideramos a *H. verticillata* un estresor de la condición ecológica del litoral.

El cuadro 1 presenta los cálculos de cobertura del 2018 de tul e *H. verticillata* por municipio. Se determinó la mayor cobertura de tul en 2018 fue en Santiago Atitlán con 81% de *S. californicus* (39,967.80 m²) y 98% de *T. domingensis* (50,859.90 m²) del total de cobertura de cada especie en los cuatro municipios. Seguido por San Juan La Laguna con cobertura de *S. californicus* de 10% (5,129.43 m²) y San Pablo La Laguna con 5% (2,641.92 m²). San Pedro La Laguna registró la menor cobertura de *S. californicus* con 1,592.47 m² equivalente al

3%. Después de Santiago Atitlán, el segundo municipio con mayor cobertura de *T. domingensis* fue San Juan con 1% (537.86 m²), seguido de San Pedro con 0.8% (432.93) y no se registró *T. domingensis* en el litoral de San Pablo La Laguna. La mayor cobertura de *H. verticillata* en 2018 (cuadro 1) también fue mayor en Santiago Atitlán con un 89.5% comparado al resto de los municipios en estudio, en los otros tres municipios, San Pablo, San Juan y San Pedro La Laguna se reportó con el y 3.8%, 3.4% y 3.3%, respectivamente.

La mayor cobertura en Santiago Atitlán de las tres especies, *S. californicus*, *T. domingensis* e *H. verticillata* en 2018 se podría explicar por la longitud de su litoral que es mayor comparado a los otros tres municipios, sin embargo, hay dos factores determinantes que se deben considerar. Primero, un factor geofísico que determina el crecimiento de la vegetación acuática es la geomorfología del litoral. La batimetría del Lago Atitlán medida en 1975 y 2014 muestran zonas de baja pendiente en el litoral de Santiago Atitlán y por el contrario, el litoral de San Pedro La Laguna tiene mayores pendientes (Reyes Morales et al., 2018). El segundo es un factor sociocultural, es la práctica tradicional de cultivo y manejo del tul (principalmente de *S. californicus*) que realiza el Comité de Tuleros de Santiago Atitlán, que incluye el cuidado y siembra constante del tul. San Juan La Laguna, fue el segundo municipio con la mayor cobertura de tul donde también se ha documentado la presencia de orillas someras y la tradición de siembra de tul (Ivic de Monterros y Azurdia Bravo, 2008).

Relación entre la cobertura del tul y estresores de la condición ecológica del litoral

Para este análisis los factores que afectan la condición ecológica del litoral fueron la cobertura de la macrofita invasora *H. verticillata* y el cambio del nivel del lago. La gráfica 4 presenta los resultados de la cobertura de tul del análisis de las imágenes tomadas por VANT's en 2020 en la bahía de Santiago Atitlán, así como los resultados de la cobertura de *H. verticillata* del análisis de las imágenes de Sentinel-2 para la misma zona.

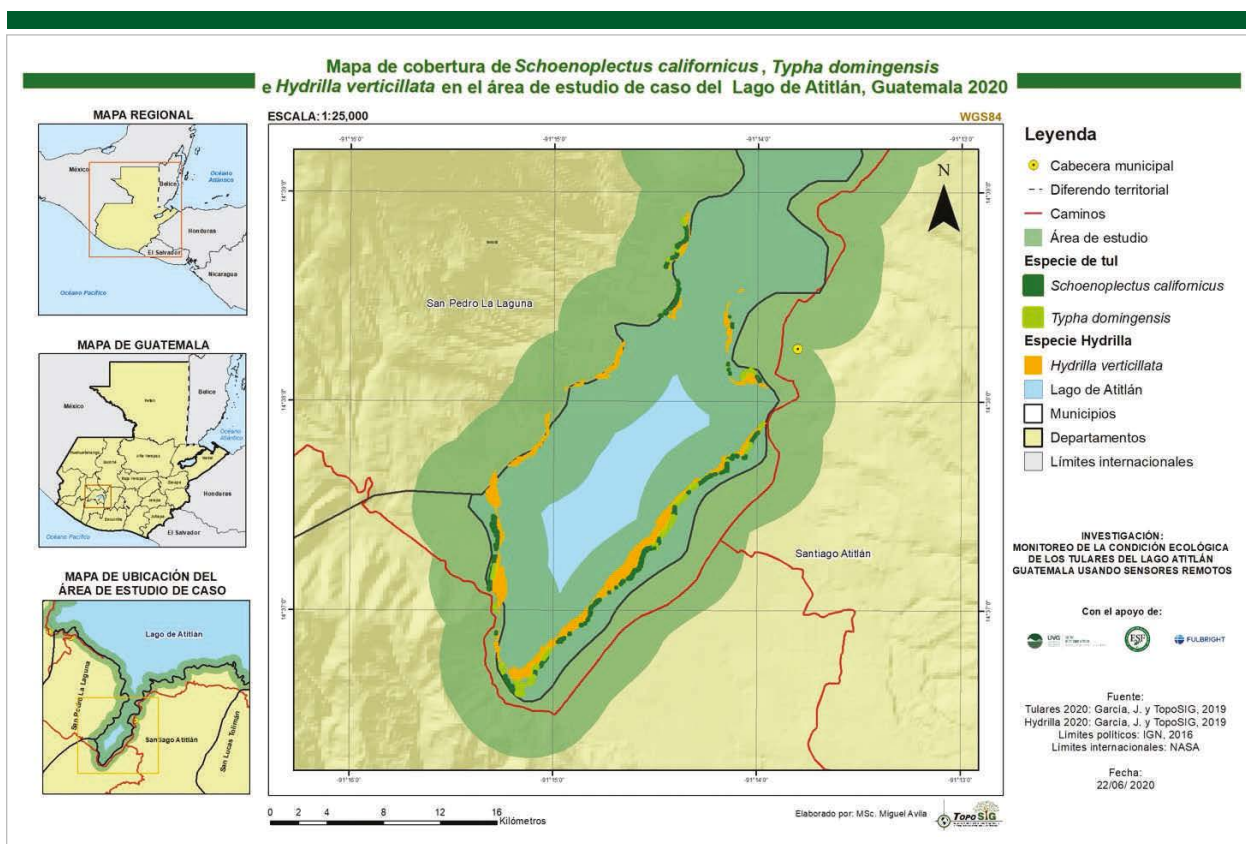
Cuadro 2. Cobertura de macrófitas *S. californicus*, *T. domingensis* e *H. verticillata* en 2018 y 2020. Porcentaje de cambio de cobertura en la bahía de Santiago Atitlán.

Especie de macrófita	Cobertura (m ²)		Cambio (%)
	2018	2020	
<i>Schoenoplectus californicus</i>	25,423.66	20,611.64	-19
<i>Typha domingensis</i>	33,715.93	14,017.70	-58
<i>Hydrilla verticillata</i>	565,200.00	411,500.00	-27

El cuadro 2 presenta la diferencia de la cobertura 2020 menos la cobertura de 2018 de cada especie en la bahía de Santiago Atitlán, donde indicó una disminución de *S. californicus* del 19%. La cobertura de *T. domingensis* disminuyó un 58% y la cobertura de *H. verticillata* disminuyó un 27%. Las tres macrófitas disminuyeron por lo que se considera un impacto generalizado en el litoral durante este periodo (2018-2020), *H. verticillata* a pesar de ser una macrófita invasora tuvo pérdida de cobertura, pero no fue más afectada que *T. domingensis*, probablemente por no tener ningún manejo.

La macrofita que registró menos pérdida fue *S. californicus*, y puede estar relacionado con larga historia de manejo por la cultura Maya en el Lago Atitlán, basado en el conocimiento ecológico tradicional para la siembra, cosecha y uso para la

fabricación de artesanías como petates o esteras (Ivic de Monterros y Azurdia Bravo, 2008; LaBastille, 1974). *S. californicus* es cuidado y crecido en Santiago Atitlán por los miembros del Comité de Tuleros de Santiago Atitlán; conservar esta práctica ancestral del tul tiene una importante influencia en reducir la pérdida de *S. californicus* y los servicios ecosistémicos que provee (García-Polo et al., 2021). Sin embargo, puede surgir la pregunta al existir un manejo y cultivo del tul ¿Por qué disminuyó el tul? LaBastille (1989) dio algunas posibles respuestas a esta pregunta, publicando que los factores principales de la degradación del tul en la orilla del Lago Atitlán son el desarrollo inmobiliario sin regulaciones ambientales y las fluctuaciones del nivel del lago como la disminución de 4.5 metros en 6 años, que causó la pérdida de más del 50% de los tulares.



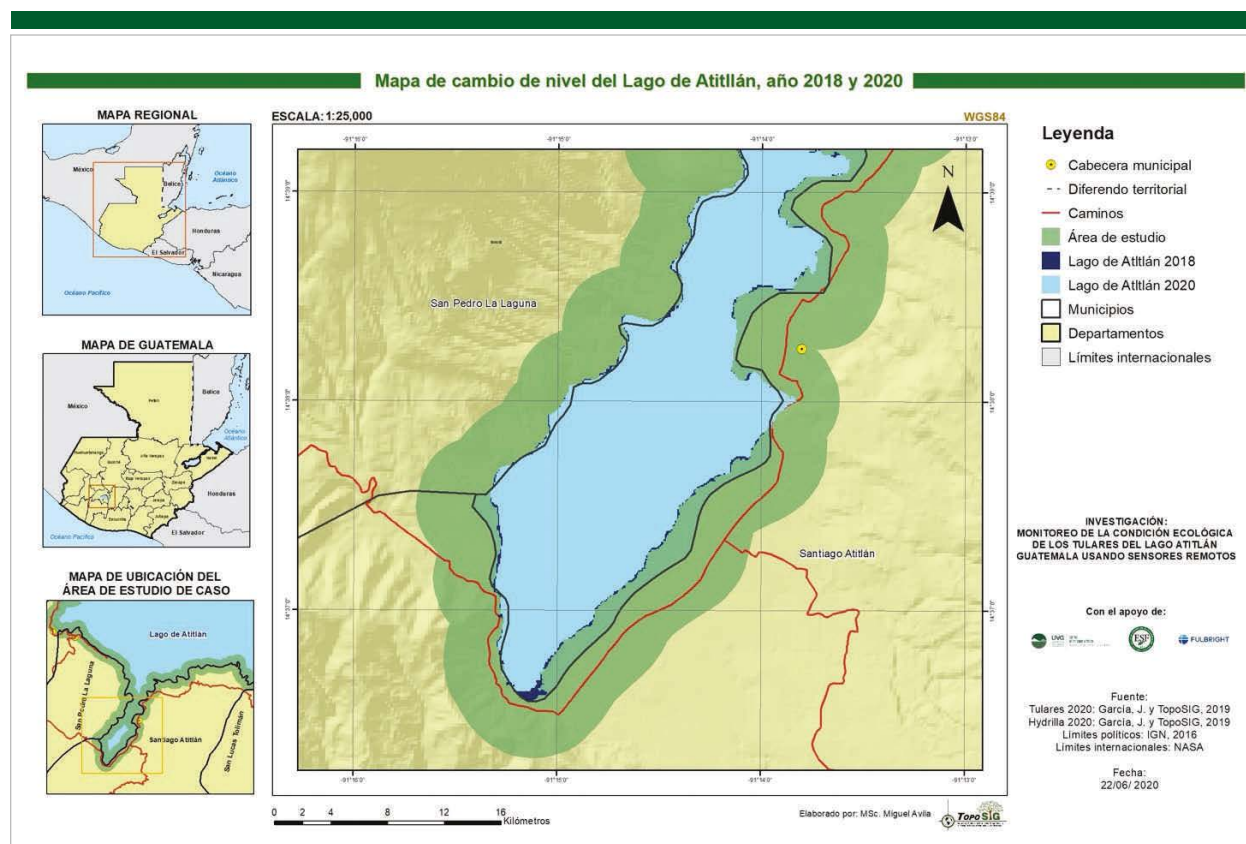
Gráfica 4. Cobertura de la vegetación litoral *S. californicus*, *T. domingensis* e *H. verticillata* en 2020 calculado de la imagen aérea tomada con VANT's en la bahía de Santiago Atitlán.

La gráfica 5 muestra la zona de cambio del nivel del lago de 2018 a 2020 generado por el análisis de las imágenes Sentinel-2. Como se ha reportado las fluctuaciones del nivel del Lago Atitlán pueden ser muy dañinas para macrófitas nativas como el tul, *S. californicus* y *T. domingensis*. Los datos del nivel del lago han sido registrados por la Capitanía Lacustre Atitlán y AMSCLAE desde el año 2014 y han determinado una disminución del nivel del lago 3.42 m verticales (AMSCLAE, 2020a). Los resultados del análisis espacial con sensores remotos Sentinel-2 realizado para la bahía de Santiago Atitlán comparando el nivel del lago de 2018 a 2020 (gráfica 5), sugiere que algunas partes fueron más afectadas por la disminución del nivel del lago. Los litorales con baja pendiente donde el nivel del lago disminuyó hasta 10 m lineales, zonas idóneas para el crecimiento de las macrófitas.

Ante estos impactos, resalta el manejo del Comité de Tuleros de Santiago Atitlán que incluye el esfuerzo y valores morales, la responsabilidad al cuidado del tul y a los seres (humanos y no humanos) que dependen del tul, y según palabras del presidente del comité:

“Si el lago baja, el tul se queda afuera y se seca. Hay que mover. Y si el lago sube el tul se ahoga, también hay que mover a la orilla”.

En el periodo 2018-2020 evidenciamos que la condición ecológica del litoral del Lago Atitlán esta siendo afectada por la disminución del nivel del lago, aunque hay reportes que los huracanes y tormentas tropicales pueden cambiar la situación e incrementar el nivel del lago. Según lo reportado por Rejmánková, Sullivan, et al. (2018) el aumento del nivel del lago también puede causar la disminución de los tulares, dando paso a macrófitas invasoras a colonizar las playas según lo registrado en el año 2014 en San Juan La Laguna donde la orilla fue dominada por *H. verticillata*. Esto confirma la magnitud actual del impacto causado por la fluctuación del nivel del agua en la orilla del Lago Atitlán y la vulnerabilidad de las macrófitas nativas antes estos cambios denominados pulsos de inundación que se verán más marcados con el impacto del cambio climático (Wantzen et al., 2008).



Gráfica 5. Cambio del nivel del Lago Atitlán. Basado en el análisis de sensores remotos en la bahía de Santiago Atitlán del año 2018 al 2020.

Conclusiones y recomendaciones

- Santiago Atitlán presentó la mayor cobertura de las macrófitas *S. californicus*, *T. domingensis* e *H. verticillata* en 2018 comparado con los otros tres municipios de habla Tz'utujil, San Pedro, San Juan y San Pablo La Laguna. Santiago Atitlán posee mayor longitud de orilla del lago comparado con los otros municipios, además tiene mayores zonas de litoral somero y el manejo y cuidado de sus habitantes miembros del Comité de Tuleros de Santiago Atitlán.
- El análisis espacial piloto en la bahía de Santiago Atitlán mostró un proceso general de pérdida de la cobertura de 2018 a 2020 de las tres especies de macrófitas estudiadas. El tul, *S. californicus* presentó menor disminución (pérdida de 19% de cobertura de 2018) comparado con las otras macrófitas *H. verticillata* 27% y *T. domingensis* 58%. Esto sugiere que el manejo del tul en la bahía de Santiago Atitlán ha conservado los tulares como sistemas resilientes ante los cambios y perturbaciones.
- Con el análisis espacial se evidenció que la dinámica del nivel del lago junto con la cobertura de *Hydrilla* parecen influir los patrones de distribución hacen que los parches de cobertura de tul cambien de forma, presentando una dinámica irregular en el cambio del tipo de ecosistema del litoral.
- La práctica de uso y manejo del tul, basado en el conocimiento ecológico tradicional del Comité de Tuleros de Santiago Atitlán, es restauración. Sin embargo, otras presiones económicas, sociales y ecológicas en conjunto reducen la capacidad de adaptación del manejo de los tulares. Es necesario continuar con análisis socio-ecológicos profundos para diseñar los lineamientos de una restauración biocultural, recuperando la condición ecológica de los tulares y al mismo tiempo revitalizando la cultura Maya y el manejo y uso tradicional del tul.

Aporte de autores

JGP y SAWD diseñaron el proyecto de investigación. MC y MA realizaron el análisis espacial, vuelo de dron y elaboración de mapas. JGP realizó la colecta de datos de campo. El Comité de Tuleros de Santiago Atitlán dieron acceso a sus tulares y a su conocimiento ecológico tradicional. JGP, SAWD, MC, MA redactaron y editaron el manuscrito.

Bibliografía

- AMSCLAE (2020a) Informe Anual monitoreo de nivel del lago Atitlán.
- AMSCLAE (2020b) Monitoreo de la vegetación acuática en el Lago Atitlán.
- AMSCLAE (2015) Diagnóstico del estado actual del tul en el Lago de Atitlán.

Avila, M. (2018) Parámetros fotogramétricos y de fotointerpretación para el monitoreo del ecosistema de manglar Pacífico de Guatemala con el VANT Phantom 3 Advanced [Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/15085/1/Miguel Antonio Avila Mora.pdf>

Barrientos, C.A., Allen, M.S. (2008) Fish abundance and community composition in native and non-native plants following hydrilla colonisation at Lake Izabal, Guatemala Fisheries Management and Ecology, 15(2): 99-106. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2007.00588.x>

Carpenter, H.M. (2009) Caballitos and Totoro: The story of the sedge *Schoenoplectus californicus* [University of California, Davis]. <https://search.proquest.com/openview/734fe2b2e6896c16e45ee75b48c8d8680/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>

Castellanos, E., Regalado, O., Pérez, G., Rolando, M., Ramos, V.H., Incer, D. (2011) Mapa de cobertura forestal de Guatemala 2006 y dinámica de la cobertura forestal 2001-2006.

Cifuentes, M., Catalán, M. (2019) Experiencias de monitoreo forestal en Guatemala.

CONAP. (2014) Monitoreo de áreas protegidas del Nororiente: utilización de vehículos aéreos no tripulados (VANTS) y sistemas de información geográfica.

CONAP. (2018) Plan Maestro Reserva de Uso Múltiple Cuenca del Lago de Atitlán (RUMCLA) 2018 - 2022.

Dix, M., Fortín, I., Medinilla, O., Ríos, L. E. (2003) Diagnóstico Ecológico Social en la cuenca de Atitlán http://uvg.edu.gt/investigacion/ceab/cea/doc/otras_publicaciones/Diagnostico_ecologico_social_Attilan.pdf

Falkowski, T.B., Martinez-Bautista, I., Diemont, S.A.W. (2015) How valuable could traditional ecological knowledge education be for a resource-limited future? An energy evaluation in two Mexican villages Ecological Modelling 300: 40-49. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.12.007>

Flores-Anderson, A.I., Griffin, R., Dix, M., Romero-Oliva, C.S., Ochoaeta, G., Skinner-Alvarado, J., Ramirez Moran, M.V., Hernandez, B., Cherrington, E., Page, B., Barreno, F. (2020) Hyperspectral Satellite Remote Sensing of Water Quality in Lake Atitlán, Guatemala Frontiers in Environmental Science, 8: 7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00007>

García-Polo, J., Falkowski, T.B., Mokashi, S.A., Law, E.P., Fix, A. J., Diemont, S.A.W. (2021) Restoring ecosystems and eating them too: guidance from agroecology for sustainability Restoration Ecology Online version e13509. <https://doi.org/10.1111/rec.13509>

Haller, W.T. (2002) Hydrilla in Lake Izabal, Guatemala Status and Future Prospects.

Ivic de Monterros, M., Azurdia Bravo, I. (2008) Ciencia y Técnica Maya Fundación Solar.

Juday, C. (1915) Limnological studies on some lakes in Central America Wisconsin Academy Arts Science Letters Transactions 18: 214- 50. <http://images.library.wisc.edu/WI/EFacs/transactions/WT1915/reference/wi.wt1915.cjuday.pdf>

LaBastille, A. (1974) Ecology and Management of the Atitlán Grebe, Lake Atitlán, Guatemala Wildlife Monographs 3-66. <https://doi.org/10.2307/3830373>

LaBastille, A. (1989) Drastic Decline in Guatemala's Giant Pied-billed Grebe Population Environmental Conservation 10(4): 346-348.

López, J. (1990) Análisis del aprovechamiento de tul *Scirpus californicus* and *Typha domingensis* en la bahía de Santiago Atitlán, Departamento de Sololá [Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1242.pdf

Martin, J.F., Roy, E.D., Diemont, S.A.W., Ferguson, B.G. (2010) Traditional Ecological Knowledge (TEK): Ideas, inspiration, and designs for ecological engineering Ecological Engineering 36: (7) 839-849. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.04.001>

Palmer, M.A., Zedler, J.B., Falk, D.A. (2016) *Foundations of restoration ecology* (Second). Island Press.

Rejmánková, E., Komárek, J., Dix, M., Komárková, J., Girón, N. (2011) *Cyanobacterial blooms in Lake Atitlán, Guatemala* Limnologica 41: 296-302. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2010.12.003>

Rejmánková, E., Sirová, D., Castle, S.T., Bárta, J., Carpenter, H. (2018) *Heterotrophic N₂-fixation contributes to nitrogen economy of a common wetland sedge, Schoenoplectus californicus* PLoS ONE 13(4): 1-22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195570>

Rejmánková, E., Sullivan, B.W., Ortiz Aldana, J.R., Snyder, J.M., Castle, S.T., Reyes Morales, F. (2018) *Regime shift in the littoral ecosystem of volcanic Lake Atitlán in Central America: Combined role of stochastic event and invasive plant species* Freshwater Biology 63 (9): 1088-1106. <https://doi.org/10.1111/fwb.13119>

Reyes Morales, F., Ujpan, D., Valiente, S. (2018) *Batimetría y análisis morfométrico del lago de Atitlán* (Guatemala) Revista Científica Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. USAC 27 (2): 48-58.

Russi, D., Ten Brink, P., Farmer, A., Badura, T. (2012) *The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Water and Wetlands* https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/TEEB/TEEB_Water-Wetlands_Final-Consultation-Draft.pdf

SERVIR (2011a) *Cambios en la superficie de área del Lago Atitlán, Guatemala 1986-2011* <https://www.servir.net/index.php/servir-en-accion/analisis-ambientales/529-cambios-en-la-superficie-de-area-del-lago-atitlan,-guatemala-1986-2011>

SERVIR (2011b) *Reappearance of pollution in Lake Atitlán, Sololá, Guatemala May 2011.*

SERVIR (2015) *Algal Bloom returns to Lake Atitlan* <https://servirglobal.net/Global/Articles/Article/1457/algal-bloom-returns-to-lake-atitlan-guatemala>

Skinner, J. (2009) *Indigenous Peoples and Lake Basin Management - Lessons from Lake Atitlán, Guatemala* <http://wldb.ilec.or.jp/ILBMTrainingMaterials/resources/Atitlan.pdf>

Villavicencio, H.A. (2020) *Trophic Ecology and Bioaccumulation of Toxic Metals* M.Sc. Thesis, University of Alaska, Anchorage.

Weiss, C. (1971) *Water quality investigations, Guatemala* [s.n.]. <http://www.worldcat.org/title/water-quality-investigations-guatemala/oclc/836624355?referer=di&ht=edition>

Anexos



Anexo 1. Actividades del trabajo de campo para el monitoreo de la vegetación de la región litoral del Lago Atitlán. a) sobrevuelos de VANT's en Santiago Atitlán junto con el Comité de Tuleras. b) Fotografía tomada con VANT's (Phantom 3 Advanced), la vegetación señalada en la superficie del lago corresponde a *Hydrilla verticillata*, macrófita exótica. c) Revisión de las fotografías tomadas con VANT'S. Toma de datos en diferentes localidades del lago para validación utilizando la aplicación GIS Cloud en d) Santiago Atitlán, e) Panajachel, f) San Juan La Laguna.

Dimensionamiento de una bomba de calor para aprovechamiento de calor residual en los procesos convencionales de la industria guatemalteca y su utilización en aplicaciones de baja entalpía

Allyson Janett Camposeco Zea y Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

cam16117@uvg.edu.gt, zambrano@uvg.edu.gt

Departamento de Ingeniería Química, Universidad del Valle de Guatemala, Ciudad de Guatemala, Guatemala.

RESUMEN: El incremento de la demanda y costo de generación de calor, ha despertado el interés por la investigación sobre sistemas y tecnologías más confiables y eficientes para el aprovechamiento de calor residual, de modo que se reduzca el impacto en los procesos industriales y resulten beneficiosos en cuanto a temas de ahorro energético. Las bombas de calor se constituyen como una de las tecnologías más útiles para recuperar la energía desechada en forma de calor, y convertirla en una fuente energética de mayor temperatura para su uso directo ya que son equipos de pequeña potencia con accionamiento térmico a baja temperatura. La bomba de calor diseñada para este sistema tiene una capacidad de enfriamiento de 12 kW y de calentamiento de 15 kW, con temperatura aprovechable directa en una aplicación a 50-55°C. El COP estimado de enfriamiento y calentamiento es de 4.6 y 5.6, respectivamente. Con esta propuesta se demuestra que es posible sustituir el sistema que va hacia la torre de enfriamiento por uno que use la bomba de calor para reducir la temperatura del agua de enfriamiento que se utiliza en los condensadores del evaporador de simple efecto y a su vez, aprovechar el calor removido en una aplicación de baja entalpía. Esta tecnología aún se encuentra en desarrollo en Guatemala, por lo que la promoción de cambios internos de operación en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, podrían ser a futuro replicados en procesos a mayor escala en la industria guatemalteca.

PALABRAS CLAVE: Calor residual, baja entalpía, bomba de calor, intercambiador de calor, refrigerante, compresor, COP.

Design, sizing and analysis of a heat pump system for waste heat recovery in Guatemalan industries conventional processes and its use in low-enthalpy applications

ABSTRACT: The increase in demand and cost of heat generation has driven interest in research on more reliable and efficient systems and technologies to harness waste heat from industrial processes. Heat pumps are one of the most capable devices to recover low-quality energy from waste heat and transform it into a higher temperature source for direct use, as these are low power devices, which function at lower temperatures. A heat pump system design is proposed to prove that it is possible to replace current system of a cooling tower, by one that uses a heat pump to lower the temperature from the cooling water used in the condensers of a single effect evaporator and harness the resulting heat in a low enthalpy application. The heat pump designed for the evaluated waste-heat recovery system has a cooling capacity of 12 kW and a heating capacity of 15 kW with a direct usable temperature range between 55-60°C. The estimated COP values for cooling and heating are 4.6 and 5.6 respectively. The heat pump system technology is still in a development phase in Guatemala, so its operational demonstration at Universidad del Valle de Guatemala's Unit Operation Laboratory could be replicated in the future in larger-scale processes in the Guatemalan industry.

KEY WORDS: Waste heat, low-enthalpy, heat pump, heat exchanger, refrigerant, compressor, COP.

Introducción

Muchos de los procesos industriales de fabricación requieren sistemas de calentamiento, que actualmente se obtienen con vapor generado en calderas o con resistencias eléctricas, lo que se traduce en su mayoría en problemas de altos consumos de energía y contaminación ambiental por el uso de combustibles fósiles (Zogg, 2008). De hecho, el proceso de calentamiento se considera la segunda operación con más consumo de energía, después de los accionamientos y sistemas propulsores que consumen más de dos tercios de la energía eléctrica industrial (EERE, 2007).

Entre el 20 % y el 50 % del consumo de energía industrial se estima que se pierde como calor residual en forma de gases calientes de escape, agua de refrigeración, agua de condensados, y el calor perdido de las superficies calientes de equipos y productos de calefacción (ITP, 2008). Los efluentes de calor residual a baja temperatura (entre 30°C y 70°C) que se pierden en muchos de los procesos industriales son desechados causando problemas de contaminación térmica (Omber, 2008), a pesar de que su reuso podría representar un ahorro de costos y energía porque puede incorporarse al mismo proceso o en procesos que requieran menores temperaturas (FES, 2006).

En la mayoría de los casos, este calor residual se constituye en una fuente de energía constante que es desechada debido

a que se considera como una energía de baja calidad (Zhang *et al.* 2014). Sin embargo, estas fuentes de calor aún tienen temperaturas aprovechables que se pueden convertir en fuentes con alto potencial de energía para ser recuperada y aprovechada para otros procesos y aplicaciones directas como calefacción, calentamiento de agua para uso en hogares o invernaderos, secado de productos agrícolas, acuicultura, entre otros (Villar, 2014).

Ante esta problemática expuesta, se han enfocado esfuerzos en el desarrollo e investigación de nuevos sistemas y tecnologías más fiables y eficientes para el aprovechamiento de calor residual como lo son las bombas de calor. Las bombas de calor pueden recuperar el calor residual y transferirlo de un medio de baja temperatura a un medio de alta temperatura con la ayuda de una fuente de energía externa (Zhang *et al.* 2016).

Esta máquina térmica, está conformada por un circuito como el de un sistema de refrigeración clásico: compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador; que permite elevar la temperatura de un fluido de menor a mayor temperatura y transferir energía en forma de calor de un foco a otro según se requiera (Herold, 1996).

La figura 1 muestra el ciclo de una bomba de calor con sus componentes principales:

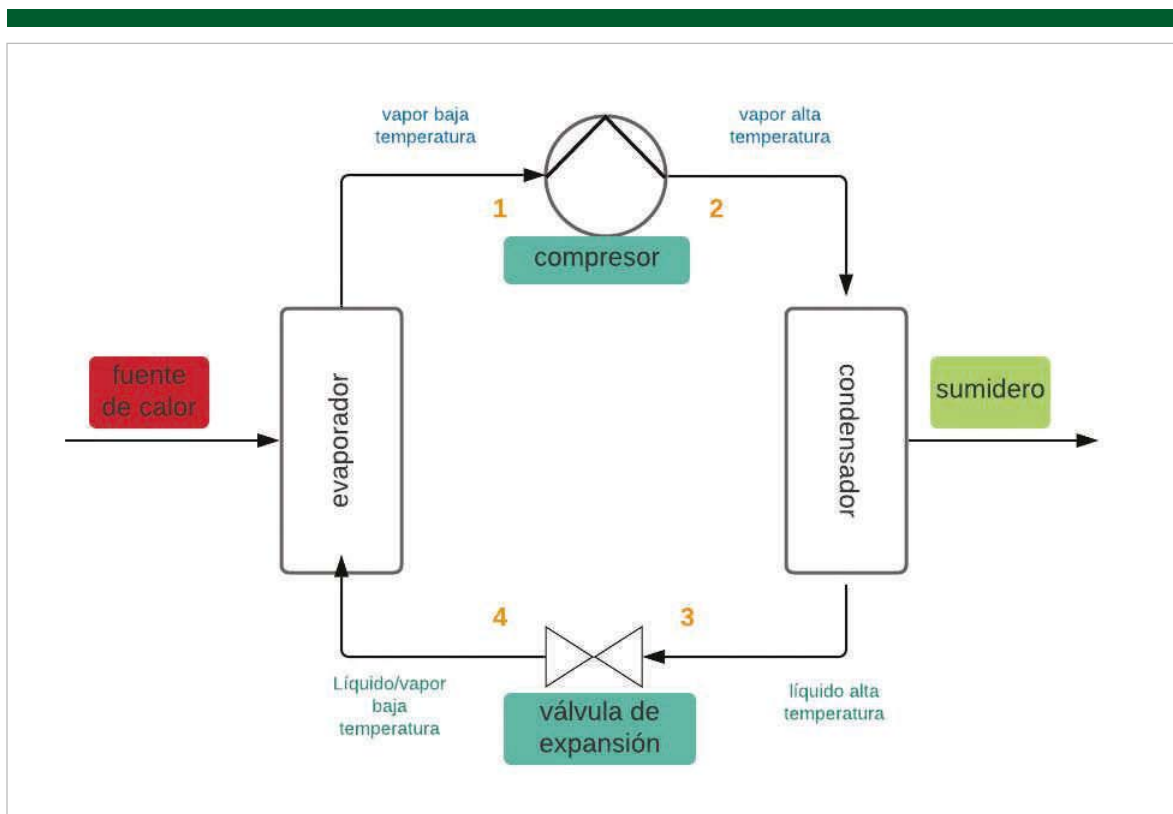


Figura 1. Muestra el ciclo de una bomba de calor con sus componentes principales.

De acuerdo a la *European Heat Pump Association* (EHPA), 11.8 millones de unidades de bombas de calor han sido instaladas en toda Europa. De estas, 3.8 millones están instaladas en hogares para calefacción y calentamiento de agua, mismas que han logrado reducir las emisiones a 9.8 millones de toneladas equivalentes de CO₂, razón por la cual podrían ser una tecnología clave para la reducción de consumo energético y emisiones (García *et al.* 2016).

Por ser una tecnología versátil, las bombas de calor pueden ser aplicadas en múltiples subsectores: industrial, comercial y residencial. Las bombas de calor industriales según su modo de operación pueden clasificarse en cuatro categorías principales: por compresión de vapor, por absorción, por sistema híbrido, o por sistema químico (Zhang *et al.* 2016). Las bombas de calor más comunes funcionan por sistemas de compresión de vapor en las que utilizan un refrigerante que empieza su ciclo en el evaporador en donde cambia de estado líquido a gaseoso por la absorción de calor de la fuente, el refrigerante pasa al compresor en donde alcanza una temperatura y presión de sobrecalentamiento para entrar al condensador en donde el refrigerante cede su energía al agua, aire o suelo. El refrigerante en estado líquido pasa por la válvula de expansión y retorna al evaporador para completar el ciclo (Zhang *et al.* 2014).

Se presenta a continuación una síntesis referente a algunas instalaciones existentes a nivel internacional con bombas de calor, funcionando en el sector industrial, que permiten contextualizar de una mejor manera el tema.

Un primer ejemplo del uso de bombas de calor en la industria, corresponde a una acería austriaca Marienhutte, en donde se instalaron dos bombas de calor, que pueden suministrar calor a una temperatura de hasta 95°C y una capacidad de calefacción de 6 MW a 11 MW. Se utiliza el calor residual de la producción de acero, a temperaturas entre 30°C a 35°C como fuente de calor que, de otro modo, se disiparía al ambiente (Boer *et al.* 2020).

Un segundo ejemplo, es en la industria de automóviles en Japón, en donde, para el proceso de pintado, se utiliza una bomba de calor para suministrar la energía que se necesita en los procesos de calefacción y refrigeración. Tradicionalmente, la mayoría de las necesidades de calefacción y refrigeración eran suplidas por la quema directa de combustibles para la generación de vapor y agua caliente, mientras que el agua fría era generada en refrigeradores por absorción de gas. Con la instalación de la bomba de calor, se redujo los costos de operación en aproximadamente 63%, las emisiones de CO₂ en un 47% y el consumo de energía en 49% mensual en comparación con el uso de la caldera convencional (IEA, 2014).

Como es notorio, el uso de bombas de calor forma parte de la tecnología común empleada en Europa y en países de Primer

Mundo y aún se encuentran en desarrollo (Boer, *et al.* 2020). A pesar de su conocido buen desempeño a escala industrial y residencial en otros contextos, en Guatemala no existe registros o información que evidencie el uso de las mismas. Únicamente, existen precedentes de bombas de calor de alta potencia instaladas en industrias europeas y algunas accionadas con calor residual, con la capacidad de proporcionar energía térmica para diferentes procesos. Ciertamente que los equipos de refrigeración usan bombas de calor para realizar estos procesos de enfriamiento y climatización, pero no se reconocen como tales. En el caso de calentamiento, el uso es casi nulo.

En un contexto muy similar a los casos expuestos en la industria, el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle hace acopio de energía de calentamiento para el funcionamiento de algunos de sus equipos semi-industriales. Esta energía es obtenida de la combustión de biodiésel al 25% (diésel 75% y biodiésel 25% (B25)) para producir vapor saturado (70/90 psi) en una caldera pirotubular. Sin embargo, por el mismo requerimiento de calentamiento utilizando vapor, se produce condensados a temperaturas entre 30°C a 60°C que se pierden y desechan como efluentes, pero que aún tienen un potencial de energía para ser utilizada *in situ* en otros procesos de calentamiento.

Tal es el caso del evaporador semi-industrial de simple efecto del Laboratorio de Operaciones Unitarias, ya que emplea vapor como fuente de energía de calentamiento y agua de enfriamiento en sus condensadores para que el evaporado pueda condensar. Opera en un circuito cerrado con la torre de enfriamiento (ver figura 2), en la que se disminuye la temperatura del agua de 30°C a 20°C para retornar al evaporador. Durante este proceso, parte del agua se evapora por transferencia de masa y calor cuando entra en contacto con el aire, lo que provoca que constantemente la torre de enfriamiento requiera agua de reposición. Además, demande una serie de cuidados para evitar problemas de incrustación, corrosión, crecimiento biológico y pérdida de eficiencia. Por lo que a pesar de que representan un método relativamente económico para eliminar el calor de baja calidad, la energía que se remueve del agua es una fuente de calor que podría ser aprovechada y no disipada directamente al ambiente.

Por esta razón, el presente trabajo se realizó con el objetivo de proponer y dimensionar una bomba de calor que permita aprovechar la energía removida del agua caliente producida por la operación del evaporador de simple efecto del Laboratorio de Operaciones Unitarias en aplicaciones de baja entalpía y además recircular el agua al sistema de enfriamiento que utiliza el equipo en sus condensadores como sustitución a la torre de enfriamiento (ver figura 3).

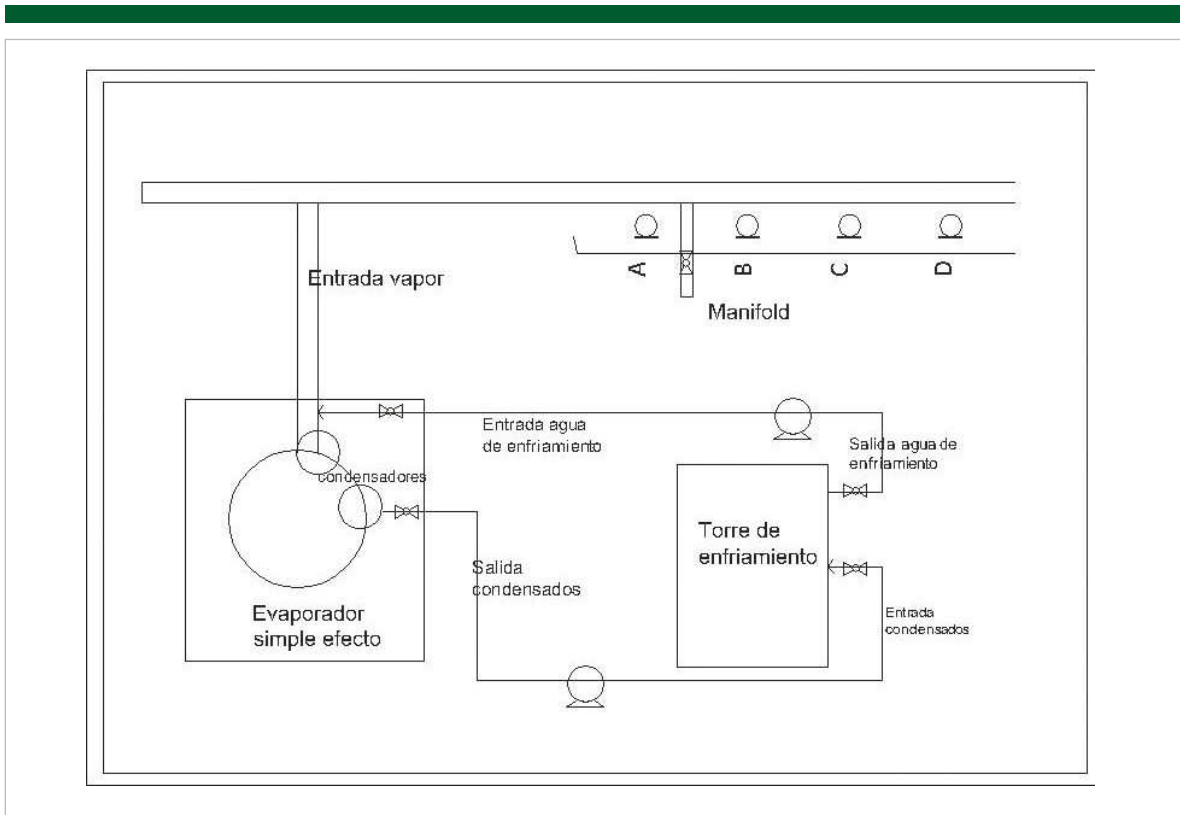


Figura 2. Diagrama de ubicación sistema actual en el Laboratorio de Operaciones Unitarias.

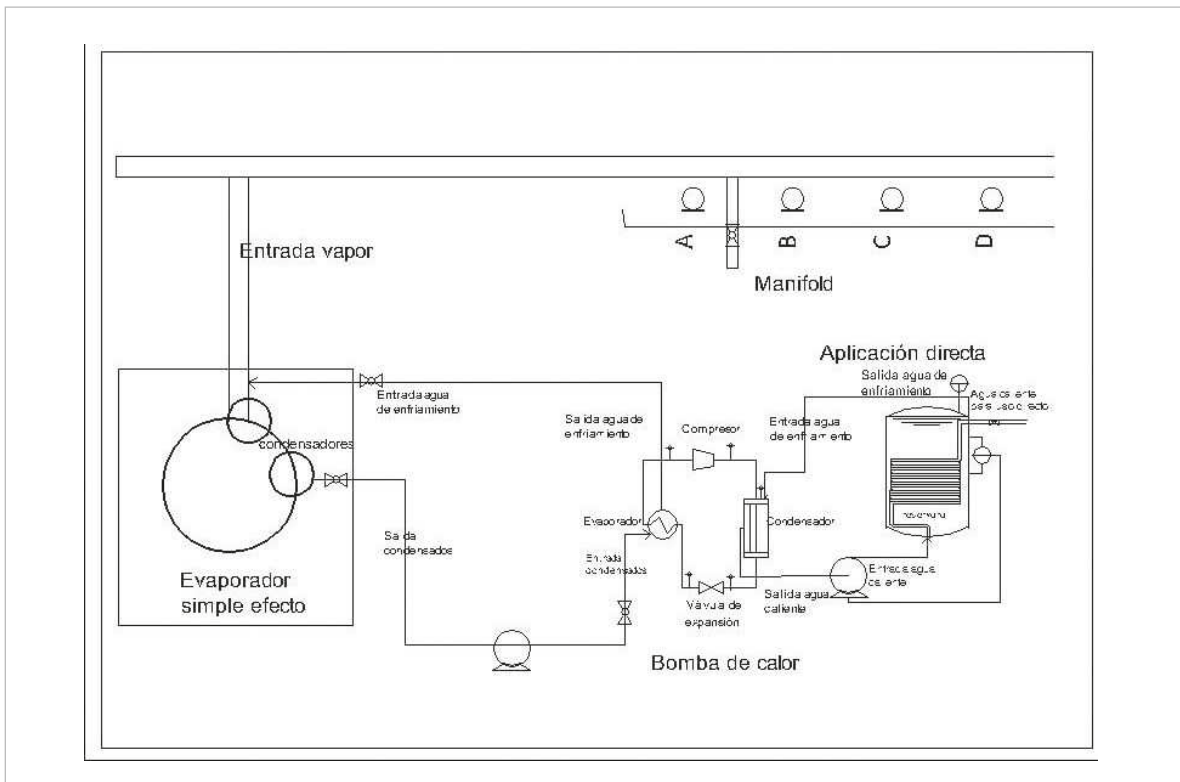


Figura 3. Diagrama de ubicación sistema con la propuesta de bomba de calor en el Laboratorio de Operaciones Unitarias.

Materiales y métodos

Selección y evaluación de la fuente de calor

Para evaluar las condiciones de la fuente se midió el caudal de agua en la entrada de la torre de enfriamiento, las temperaturas del agua al ingreso y egreso en los condensadores del evaporador, las temperaturas en el distribuidor de la torre de enfriamiento y en su reservorio de agua. Con ello se determinó la energía disponible y aprovechable en la fuente.

Dimensionamiento del evaporador para la bomba de calor

Con la energía disponible de la fuente, se estableció la tasa de remoción a la cual se diseña el intercambiador. Estos intercambiadores son tipo serpentín de tubos concéntricos. El tubo interno es de tubería de cobre tipo M por donde fluye el refrigerante R-134a y el tubo externo de polietileno de alta densidad. En el espacio anular fluye agua caliente proveniente de los condensadores del evaporador de simple efecto.

Con esto definido, se hizo un balance de masa y energía considerando que toda la energía que es liberada por el agua caliente de la fuente es absorbida por un fluido refrigerante, de tal forma que el balance de masa y energía es:

$$Q = m_{pc} (T_{c\text{salida}} - T_{c\text{entrada}}) = m_{ph} (T_{h\text{entrada}} - T_{h\text{salida}})$$

Los subíndices h y c, hacen referencia al fluido caliente y frío, respectivamente.

De la ecuación anterior es posible calcular el flujo másico del fluido frío. Este flujo másico es el mínimo necesario para que el refrigerante pueda retirar el calor de la fuente a la razón requerida. Las primeras temperaturas de trabajo para el refrigerante se seleccionaron a partir de la revisión de la literatura y fichas técnicas de proveedores de bombas de calor (Chen, 2012).

$$m_c = m_h \frac{C_{ph}(T_{h\text{entrada}} - T_{h\text{salida}})}{C_{pc}(T_{c\text{salida}} - T_{c\text{entrada}})}$$

Para calcular el flujo másico del fluido caliente (m_{H_2O}) en el espacio anular, se parte de la velocidad lineal (v) a la que este fluye por la tubería, densidad (ρ_{H_2O}) y el área transversal interna del tubo (A_i).

$$m_{H_2O} = v \rho_{H_2O} A_i$$

Con estos valores anteriores, se calculó la temperatura media logarítmica con las temperaturas de entrada y salida del agua caliente y las temperaturas de entrada y salida del refrigerante empleado la siguiente ecuación:

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}}$$

En donde (T_1) y (T_2) son las temperatura de entrada y salida del fluido caliente, t_1 y t_2 representan la temperatura de entrada y salida del fluido frío, respectivamente.

Se calculó el coeficiente global de transferencia (U) considerando la resistencia térmica total por los mecanismos de transferencia de calor en el sistema. El calor se transfiere del fluido caliente hasta la pared del tubo por convección, después a través de la pared por conducción y, por último, de la pared hacia el fluido frío de nuevo por convección. Cualesquiera efectos de la radiación suelen incluirse en los coeficientes de convección.

$$U = \frac{1}{R_{total} A_i} + \frac{1}{R_{total} A_o}$$

En donde A_i y A_o son las áreas superficiales internas y externas, respectivamente de la pared de separación mojada por los fluidos.

Tras el cálculo de la temperatura media logarítmica y el coeficiente global de transferencia de calor, es posible determinar el área necesaria de intercambio de calor a partir de la ecuación general de transferencia de calor. Con esta ecuación, se determinaron, las áreas de transferencia (A_s , el largo (L) de los intercambiadores y el número de vueltas del serpentín ($N_{vueltas}$) para cada uno de los intercambiadores de calor diseñados como acoplamiento a la bomba de calor.

$$A_s = \frac{Q}{U \Delta T_m}$$

$$L = \frac{A_s}{\pi D_o}$$

$$N_{vueltas} = \frac{L}{\pi D_{loop}}$$

El área y número de vueltas adecuadas para el serpentín se calculó usando un simulador creado en Microsoft Excel empleando las ecuaciones anteriores, en el cual se realizaron una serie de iteraciones variando la velocidad del fluido, el diámetro de la tubería de cobre y el diámetro del *loop* del intercambiador hasta determinar en qué condiciones se minimizarían, el área, largo y número de vueltas del intercambiador de calor y por otro lado, se maximizaría el coeficiente de transferencia de calor.

Dimensionamiento del condensador para la bomba de calor

El condensador de la bomba de calor se diseñó con las mismas características en materiales y fluidos que el evaporador. Se calculó el calor de rechazo por el sistema aprovechable directamente en la aplicación con la potencia eléctrica del compresor seleccionado (W_p) y la tasa de remoción de calor de la fuente a la que trabaja el evaporador (Q_c). Razón que se validó al hacer el análisis termodinámico del sistema considerando

el flujo másico del refrigerante y la diferencia de entalpías entre la entrada (H_2) y salida (H_3) del condensador.

$$Q_h = Q_c + W_p$$

$$Q_h = m_{R134a} (H_3 - H_2)$$

Se calculó el flujo másico del agua que es necesario calentar en la aplicación (equipo, sistema o área en donde se aprovechará el calor) considerando que, según Sinnott y Towler (2008) las velocidades típicas de diseño para un fluido líquido dentro de la tubería del intercambiador de calor deben ser aproximadamente entre 1 a 2 m/s y como máximo 4 m/s. Como se trata de agua como fluido a temperaturas entre 20°C y 25°C, las velocidades de trabajo van desde 1.5 a 2.5 m/s fluyendo por el espacio anual (A_a) del intercambiador (condensador).

$$m_{H_2O} = v \rho_{H_2O} A_a$$

Se calculó la temperatura de la aplicación o la temperatura a la que se logra calentar el agua de la aplicación a partir del balance de masa y energía considerando la temperatura de entrada del agua al intercambiador (T_i), el flujo másico (m_{H_2O}) y calor específico del agua (C_{pH_2O}) a esa misma temperatura de entrada y tasa de calor liberado y entregado a la aplicación (Q_h).

$$T_{sal} = T_{iH_2O@25^\circ C} + \frac{Q_h}{m_{H_2O} c_{pH_2O}}$$

Finalmente, se repitió el mismo procedimiento para el cálculo del área y vueltas del condensador como se detalló en la sección de diseño del evaporador.

Cálculo y selección del compresor y válvula de expansión para la bomba de calor

Se realizó un balance de masa y energía y un análisis termodinámico preliminar haciendo iteraciones a diferentes temperaturas del refrigerante. Para el compresor se calculó la eficiencia y la entrada de potencia al compresor considerando el trabajo isentrópico (W_{isent}) y real (W_c) realizado por el compresor y la diferencia de entalpías en la entrada (H_1) y salida (H_2) del compresor.

$$\eta_c = \frac{W_{isent}}{W_c}$$

$$W_c = \frac{m_{R134a}(H_2 - H_1)}{\eta_c}$$

La selección del compresor y la válvula de expansión, se llevó a cabo utilizando el simulador *Cool Selector 2* del fabricante Danfoss, debido a que son los fabricantes de los compresores que se utilizan en las bombas de calor. Con la capacidad de enfriamiento calculada, se definió el rango de temperaturas de evaporación y condensación a las cuales el compresor tenía un mejor desempeño considerando un coeficiente de operación entre 2 a 4, valores a los que usualmente operan las bombas de calor diseñadas por diferentes proveedores.

Análisis termodinámico de la bomba de calor y cálculo del COP

Se hizo un análisis de todos los componentes de acuerdo al ciclo ideal de refrigeración por compresión de vapor. Se calculó las bombas centrífugas necesarias para mantener el circuito cerrado entre la bomba de calor y el evaporador de simple efecto.

Como una medida de la eficiencia de la bomba de calor se calculó el coeficiente de operación de refrigeración considerando la energía captada por la bomba de calor de la fuente (Q_c) y el trabajo real hecho por el compresor (W_{neto}).

$$COP_E = \frac{Q_c}{W_{neto}}$$

De la misma manera se calculó el coeficiente de operación de calentamiento, COP_c , pero considerando la energía útil liberada en el condensador (Q_h) y el trabajo real hecho por el compresor (W_{neto}).

$$COP_C = \frac{Q_h}{W_{neto}}$$

La eficiencia de una bomba de calor depende especialmente de la diferencia de temperatura entre la fuente de calor residual y la temperatura del sumidero. Es decir, la diferencia de temperatura entre la temperatura de condensación y evaporación: cuanto menor es la diferencia, mayor es el COP.

Finalmente, se construyó un simulador en Microsoft Excel para cualquier usuario que requiera el cálculo y dimensionamiento de una bomba de calor con características similares a las de esta propuesta.

Resultados y discusión

El sistema de bomba de calor propuesto está compuesto por tres unidades (circuitos) principales: intercambiador de captación, bomba de calor e intercambiador de la aplicación. Con estos tres circuitos se transporta energía térmica entre la fuente de captación y la aplicación seleccionada. El detalle se dará

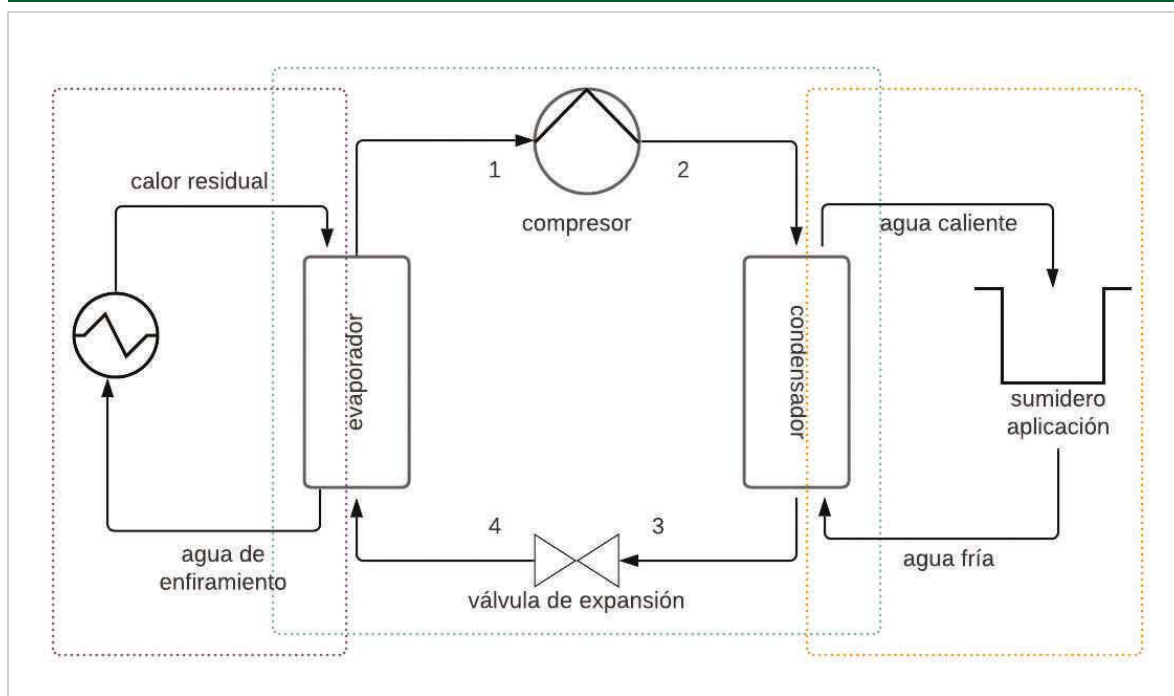


Figura 4. Circuitos sistema bomba de calor propuesta.

específicamente de la bomba de calor que corresponde a sus cuatro componentes: intercambiadores (evaporador y condensador), compresor y válvula de expansión, (figura 4).

De acuerdo a la carga de calor disponible en los condensados y la velocidad de flujo de los mismos a 17 L/min (4.5 gal/min), se estableció una tasa de remoción promedio de calor de 12kW, potencia a la cual el intercambiador (evaporador) de la bomba de calor debe remover el calor de la fuente para mantener el agua de enfriamiento del evaporador de simple efecto a 20°C. En la tabla 1 se detallan las dimensiones de este intercambiador que corresponden a un serpentín con 10 vueltas con diámetro de 0.7 m (diámetro externo correspondiente a una vuelta del serpentín), una potencia de aprovechamiento directo en la aplicación de 12 kW, un área de transferencia de 0.56 m², y coeficiente global de transferencia de 1212 W/m²°C.

A continuación, se detallan en la tabla 2a y 2b las características y especificaciones de la bomba de calor diseñada para este sistema.

Tabla 1. Dimensiones del evaporador de la bomba de calor diseñada para el evaporador de simple efecto.

Dimensiones evaporador bomba de calor		
Tasa de remoción de calor de la fuente (kW)	12 ^a	
Área de transferencia de calor (m ²)	0.56	
Longitud del intercambiador (m)	21.69	
Coeficiente global de transferencia de calor (W/m ² °C)	1212	
Número de vueltas	10	
Diámetro de una vuelta del serpentín (m)	0.7	
Altura del intercambiador (m)	0.4	
Tubería	externa	interna
Diámetro nominal (m)	0.0191	0.0064
Diámetro interno (m)	0.0209	0.0083
Material de construcción	Polietileno HD	Cobre tipo M
Fluido	agua	R-134a
Flujo másico (kg/s)	0.28	0.09
Temperatura entrada del fluido (°C)	30	5
Temperatura salida del fluido (°C)	20	50

Nota: ^a Energía disponible al disminuir la T del agua de 30 °C a 20°C para un flujo volumétrico de 17L/min.

Tabla 2a. Especificaciones de la bomba de calor diseñada para el evaporador de simple efecto.

Especificaciones bomba de calor para evaporador de simple efecto		
Funcionamiento		
Capacidad de enfriamiento	12	kW
Rango capacidad de enfriamiento mín/máx	10/20	-
COP de enfriamiento	4.6	-
COP de calentamiento	5.6	-
Capacidad de calentamiento directo en la aplicación	15	kW
Límites de operación		
Temperatura de diseño de la fuente mín/máx	20/30	°C
Rango de temperatura de la fuente mín/máx	20/35	°C
Temperatura de operación del fluido externo entrada/salida	30/20	°C
Rango de temperatura del circuito del refrigerante T_e/T_c	5/50	°C
Rango de temperatura de la aplicación mín/máx	40/55	°C
Presión mín/máx del circuito del refrigerante	350/1318	kPa
Fluidos de trabajo		
Flujo másico refrigerante	0.09	kg/s
Rango flujo de operación del refrigerante mín/máx	0.08/0.18	kg/s
Flujo másico del agua	0.28	kg/s
Rango flujo de operación del agua mín/máx	0.13/0.38	kg/s
Fluido interno	R-134a	-
Fluido externo	Agua suave	-
Sistema eléctrico		
Fuente	208-230 trifásico	V
Ciclos	60	Hz
Amperaje	10.17	A
Potencia eléctrica de consumo	3.24	k W
Aplicación		
Lugar de instalación	externa/interna	-
Tipo	hidrotérmica	-
Aplicaciones directas de baja entalpía	precalentamiento (agua/aire) agua caliente calefacción/enfriamiento	

Tabla 2b. Especificaciones de la bomba de calor diseñada para el evaporador de simple efecto.

Especificaciones bomba de calor para evaporador de simple efecto		
Dimensiones		
Ancho	1	m
Alto	0.8	m
Largo	1.4	m
Área ocupada	1.12	m ²
Volumen ocupad	1.12	m ³
Componentes		
Compresor		
Marca	Danfoss	-
Modelo	MLZ038T2A	°C
Tipo	Scroll	°C
Arreglo	simple	°C
Velocidad	variable	°C
Refrigerante	R-134a	kPa
Revoluciones	3,500	rpm
Capacidad de enfriamiento mín/máx	5/20	kW
Capacidad de enfriamiento de diseño	11.03	kW
COP enfriamiento	3.4	kW
Potencia eléctrica	3.24	kW
Flujo másico refrigerante	0.09	kg/s
Temperatura de evaporación/condensación	5/50	°C
Eficiencia	0.77	-
Válvula de expansión		
Marca	Danfoss	-
Modelo	067B3297	-
Tipo	Termostática TE5-01	-
Tamaño orificio	1	-
Capacidad nominal	14.6	kW
Capacidad mínima	4.76	kW
Carga	98	%
Flujo másico del refrigerante	0.139	kg/s
Temperatura evaporación/condensación de diseño	5/50	°C
Estado	Abierta	-

El diseño de los intercambiadores de calor de la bomba de calor son tipo serpentín de tubos concéntricos en donde fluye refrigerante R-134a en el tubo interno y agua caliente en el espacio anular entre el tubo interno y externo. Según Sinnott y Towler (2008), los intercambiadores de tipo serpentín, son la forma más simple

y económica para acoplar los intercambiadores a la bomba de calor. Además, permiten que el tubo de cobre sea doblado para formar las vueltas y aprovechar de mejor manera el área disponible, de darle mantenimiento y ser transportado con facilidad, en comparación con otros tipos de intercambiadores.

El tubo interno es de cobre tipo M por las buenas propiedades de conducción, lo que le permite recuperar la misma cantidad de energía con un grosor de pared más delgado que el requerido por otros materiales como aluminio o acero (Kienath *et al.* 2018). Como se trata de un sistema de aprovechamiento de calor residual, las temperaturas (entre 30°C a 70°C) y presiones de trabajo son bajas (entre 5 a 20 kPa), es posible utilizar tubería con paredes delgadas y con ello mejorar y facilitar la transferencia de calor entre los fluidos (Hoysall *et al.* 2018). Se seleccionó tubería de cobre tipo M, pues, según Branch (2020) es la tubería con el menor espesor de pared y además soporta presiones bajas de trabajo. Este tipo de tubería de cobre se utiliza para aplicaciones de calentamiento y enfriamiento a baja presión y temperatura, tipo que resulta apto para este sistema (Boman *et al.* 2017). El tubo externo lo constituye una tubería de polietileno de alta densidad por su flexibilidad, durabilidad, bajo costo de instalación y sus propiedades aislantes (Atalah, 2018). Este material es el preferido para la tubería de captación e intercambiadores de las bombas geotérmicas de calor (Albertson, 2014).

El refrigerante elegido para la bomba fue R-134a por su una buena estabilidad térmica y química, baja toxicidad, no es corrosivo, ni inflamable. Permite trabajar a bajas presiones y es uno de los refrigerantes que se utiliza en bombas de calor de tamaño mediano o pequeño para instalaciones de refrigeración y calefacción (Jarabi *et al.* 2017). Además, es un refrigerante económico, de uso común que puede conseguirse localmente.

Para evaluar las condiciones de operación a las que los intercambiadores requieren las menores medidas, se hizo una serie de iteraciones utilizando el simulador creado en Microsoft Excel. Este simulador permitió establecer la velocidad y la combinación de diámetros de tubería interno y externo a la que se obtiene el intercambiador con el mayor coeficiente global de transferencia, la menor área de transferencia y el menor número de vueltas del serpentín para remover la energía de la fuente a una tasa de 12 kW. Las velocidades seleccionadas de flujo fueron 1, 1.5 y 2 m/s y diámetros de tubería de 0.0064 m (1/4 in), 0.0127 m (1/2 in), 0.0191 m (3/4 in) y 0.0254 m (1 in).

Luego de una serie de iteraciones, se presentan en la tabla 3 las dimensiones del condensador de la bomba de calor de 12 kW. Este es un serpentín con 8 vueltas de diámetro de 0.6 m (diámetro externo correspondiente a una vuelta del serpentín), con una potencia de aprovechamiento directo en la aplicación de 15 kW, un área de transferencia de 0.43 m²°C, y coeficiente global de transferencia de 1068 W/m². Este condensador está diseñado para que la temperatura de la aplicación directa esté entre 50 y 55 a un flujo másico de refrigerante de 0.09 kg/s con un flujo de agua de 0.12 kg/s .

En las figuras 5 y 6, es posible observar que a diámetros pequeños y con menor espacio anular entre los tubos, el área

Tabla 3. Dimensiones del condensador de la bomba de calor diseñada para el evaporador de simple efecto.

Dimensiones condensador bomba de calor		
Tasa de calentamiento en la aplicación (<i>kW</i>)	15	
Área de transferencia de calor (<i>m</i> ²)	0.43	
Longitud del intercambiador (<i>m</i>)	14.25	
Coeficiente global de transferencia de calor (<i>W/m</i> ² °C)	1068	
Número de vueltas	8	
Diámetro de una vuelta del serpentín	0.6	
Altura del intercambiador (<i>m</i>)	0.3	
Tubería	externa	interna
Diámetro nominal (<i>m</i>)	0.0191	0.0064
Diámetro interno (<i>m</i>)	0.0209	0.0083
Material de construcción	Polietileno HD	Cobre tipo M
Fluido	agua	R-134a
Flujo másico (<i>kg/s</i>)	0.12	0.09
Temperatura entrada del fluido (°C)	25 ^a	5
Temperatura salida del fluido (°C)	50	50

Nota: ^a Temperatura que puede variar de acuerdo a la temperatura ambiente.

de transferencia y el largo del intercambiador disminuyen, pero el coeficiente global aumenta. Esto se debe a que mientras menor es el espacio entre los tubos, se genera más fricción y el fluido aumenta su velocidad lineal, lo cual provoca turbulencia en la tubería. Esto favorece la transferencia de calor entre ambos fluidos ya que, si existe una buena transferencia de calor, el área se reduce y, en consecuencia, el número de vueltas del serpentín también. Sin embargo, es importante considerar que a pesar de que la transferencia de calor se favorece cuando el espacio anular entre los tubos es reducido, la caída de presión en la tubería aumenta porque se genera más fricción cuando el fluido pasa por ella y esto podría ocasionar que se requiera una mayor potencia de bombeo. Para que eso no suceda, se estableció que el diámetro interno del tubo externo debería ser 0.0127 m (0.5 in) mayor al diámetro externo del tubo interno.

En la figura 7 se observa que existe una relación directa entre la tasa de remoción de calor de la fuente y el área de transferencia. Por tanto, se obtuvo un modelo lineal (ver tabla 4) que permite predecir el área del evaporador de la bomba de calor conociendo la tasa de remoción de la fuente, y en consecuencia se obtiene una primera aproximación de las dimensiones del serpentín, número de vueltas y largo.

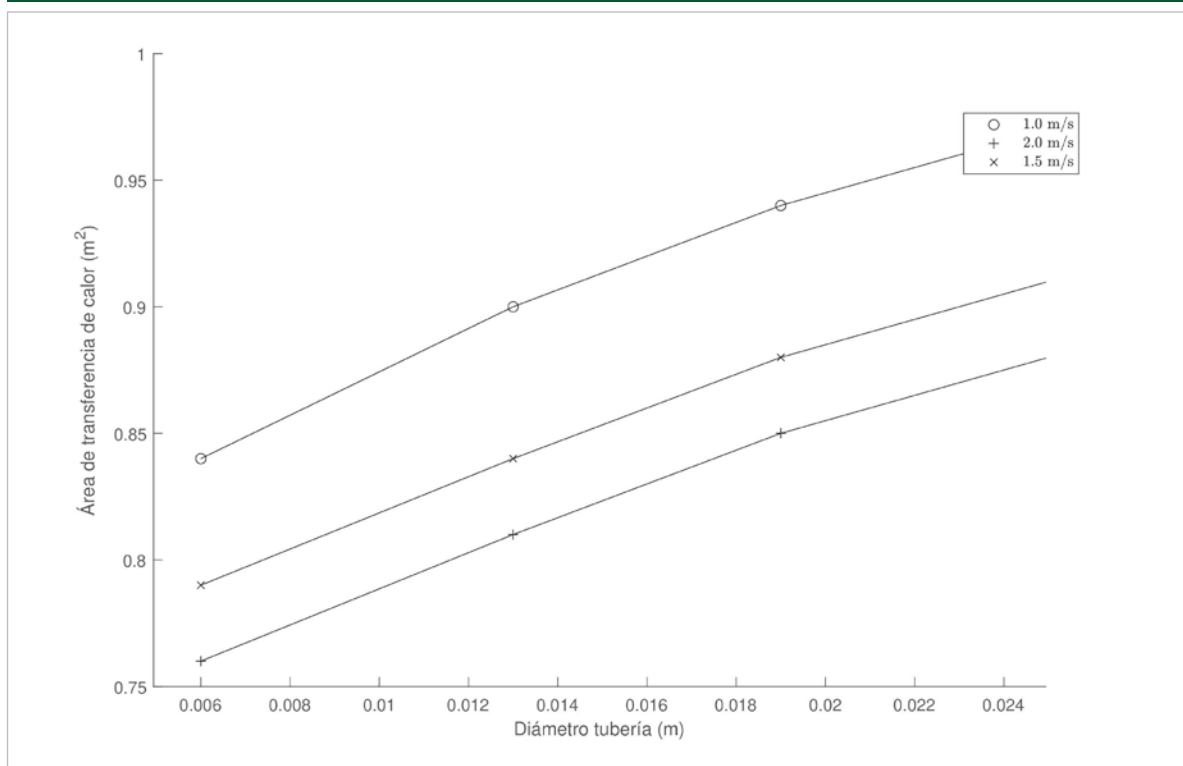


Figura 5. Área de transferencia de calor del evaporador de la bomba de calor en función del diámetro de tubería a diferentes velocidades del fluido.

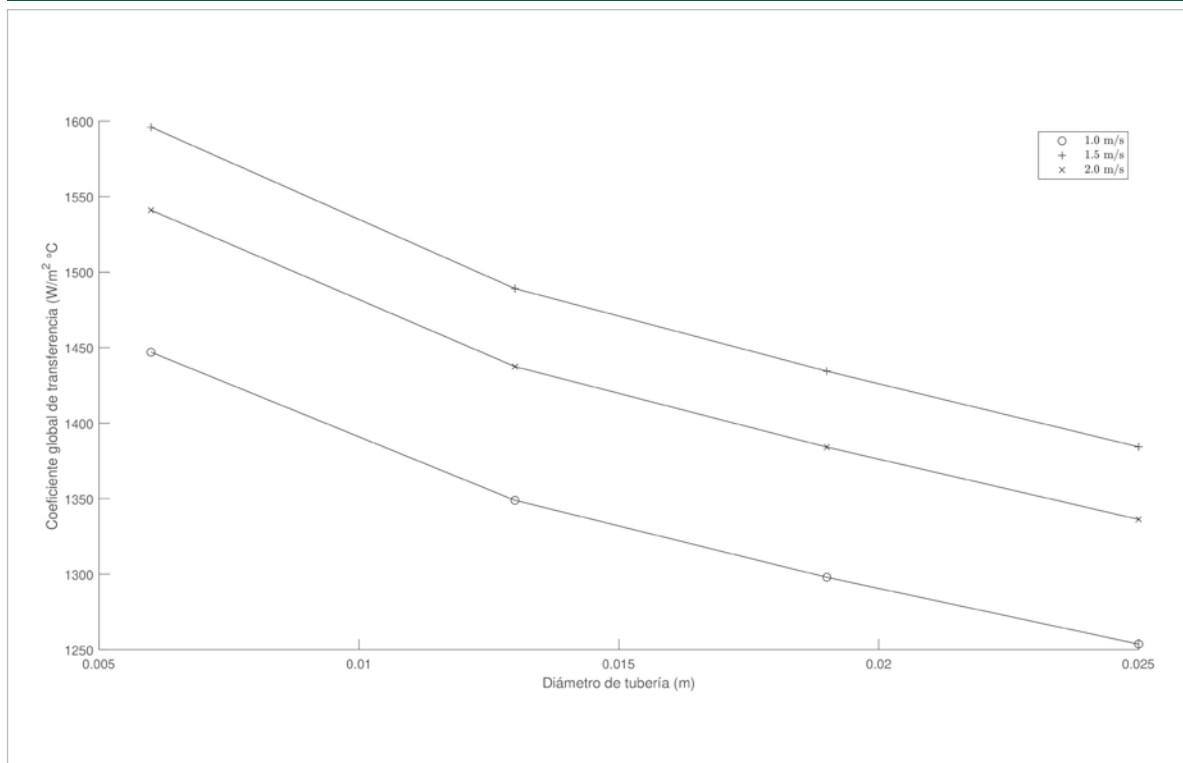


Figura 6. Coeficiente global de transferencia de calor del evaporador de la bomba de calor en función del diámetro de tubería a diferentes velocidades del fluido.

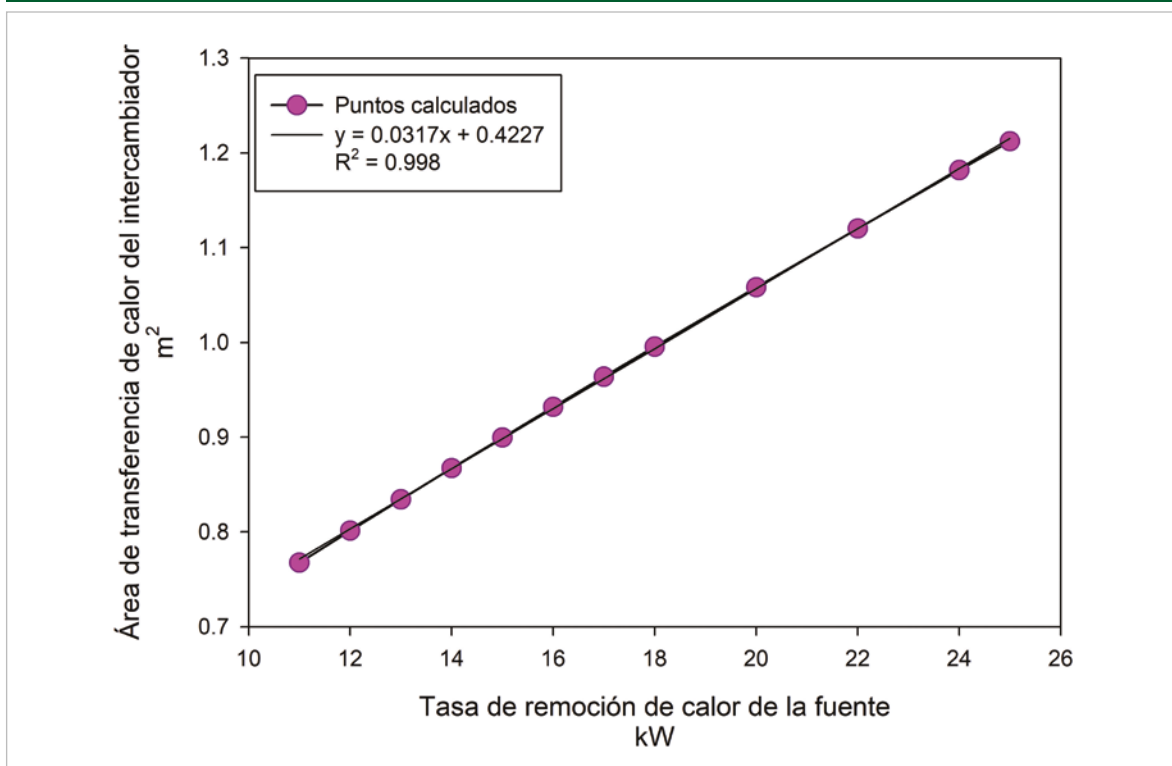


Figura 7. Predicción del área de transferencia de calor del evaporador en función de la tasa de remoción de calor para una tubería interna de cobre de 1/4" y externa de polietileno de alta densidad de 3/4".

Tabla 4. Modelo lineal para la predicción del área de transferencia del evaporador en función de la tasa de remoción de la fuente.

Predicción	Función ^a	R ²
Área de transferencia de calor	$y = 0.0317 x + 0.4227$	0.9999

Nota: ^a El modelo aplica para un intercambiador con tubería externa de polietileno de 3/4" e interna de cobre tipo M de 1/4". Con agua como fluido externo a 1.5 m/s y R-134a.

Se seleccionó un compresor tipo scroll, con capacidad de enfriamiento de 11.93 kW, para refrigerante R-134a en un ciclo de evaporación/condensación de 5°C/ 50°C, modelo MLZ038T2A y una válvula termostática con capacidad nominal de 14.6 kW con tamaño de orificio No.1 modelo TE5-01, ambos de la marca Danfoss. Estos son los equipos que normalmente se emplean para sistemas de enfriamiento y calefacción de baja potencia, entre 5 a 40 kW (ver tabla 2b) (Jensen, 2008).

Se determinó que, si el compresor es mayor al necesario, se induce a que el sistema emplee más energía de la que se podría obtener directamente de la fuente, lo cual lo hace un sistema

completamente ineficiente o que el flujo del refrigerante sea mayor al que se necesite en el sistema y por lo tanto, podría provocar que la temperatura del agua disminuya tanto hasta congelarse. Otro factor importante a considerar es que la eficiencia de la bomba de calor está directamente relacionada con la eficiencia de operación del compresor. Por tanto, si hay pérdidas de carga en las tuberías de descarga, se forzará a que el compresor trabaje a mayores presiones y en consecuencia requiera mayor consumo eléctrico, lo cual reduce la eficiencia de la bomba.

Del análisis termodinámico se obtuvo el coeficiente de operación de la bomba, siendo un COP_e de enfriamiento de 4.6 y un COP_c de calentamiento de 5.6 como se observa en la tabla 5. Como enfriamiento se entiende a la capacidad de la bomba de mantener el agua de enfriamiento del evaporador de simple efecto a 20°C y como calentamiento, a la capacidad de calentamiento que tendría la bomba en la aplicación.

Tabla 5. COP de enfriamiento y calentamiento para la bomba de calor diseñada.

COP _e enfriamiento	COP _c calentamiento
4.6	5.6

Los valores obtenidos del COP establecen que la cantidad de energía eléctrica que debe suministrarse al compresor es menor de la que se está aprovechando en la fuente de calor y eso en consecuencia, permite que la bomba de calor trabaje eficientemente (Morilla et al. 2015).

Comparando estos valores obtenidos con las bombas de calor en el mercado diseñadas para instalaciones residenciales y comerciales, los coeficientes de operación obtenidos se encuentran dentro del rango esperado para bombas de calor de ese tipo que trabajan con un COP en un rango entre 2 y 6 (Kudela, 2018).

Es importante considerar que la eficiencia de la bomba de calor depende mayormente en la diferencia de temperatura entre la fuente de calor residual y la temperatura del sumidero. Es decir, cuando menor es la diferencia de temperatura entre la temperatura de condensación y evaporación, mayor será el COP. Sin embargo, también debe considerarse la eficiencia de operación del compresor y la temperatura ambiente que podría provocar que la capacidad del condensador disminuya ya que, para alcanzar el equilibrio termodinámico, el sistema debe operar con temperaturas de condensación superiores a las que está diseñado, para disipar la misma cantidad de calor en el foco caliente (aplicación).

Conclusiones

La propuesta de una bomba de calor diseñada para el aprovechamiento de calor residual, demuestra que puede ser una tecnología útil y eficiente como sustituto a los sistemas convencionales de producción de calor por su alto potencial de flexibilidad térmica.

La bomba de calor dimensionada tiene una capacidad de enfriamiento de 12 kW y calentamiento de 15 kW, con temperatura aprovechable directa en una aplicación a 50-55°C. El COP estimado de enfriamiento y calentamiento fue de 4.6 y 5.6, respectivamente. El sistema está compuesto por dos intercambiadores de calor, un compresor y una válvula de expansión. Los intercambiadores de calor son tipo serpentín de tubos concéntricos diseñados de acuerdo a energía disponible de la fuente. El evaporador tiene una capacidad de enfriamiento de 12 kW y un área de transferencia de 0.56 m² con 10 vueltas (0.7m). Mientras que el condensador tiene una capacidad de calentamiento de 15 kW, con área de transferencia de 0.43 m² y 8 vueltas (0.6 m). El compresor seleccionado es de tipo scroll con capacidad de enfriamiento de 11.93 kW, para refrigerante R-134a que opera en un ciclo de evaporación/condensación de 5°C/50°C y una válvula termostática con capacidad nominal de 14.6 kW con tamaño de orificio No.1 modelo TE5-01, ambos de la marca Danfoss.

Este estudio puede ser considerado precursor de un modelo desarrollado en Guatemala como alternativa para el mejor aprovechamiento y la revalorización de la energía térmica residual de baja temperatura generada en los procesos de producción, de manera que contribuya a lograr procesos más eficientes y con bajas emisiones.

Aporte de autores

AJCZ: Redactor del artículo como una adaptación de su trabajo de graduación para optar al grado de Ingeniera Química.

GGZR: Participó como uno de los asesores de este trabajo de investigación.

Bibliografía

- Albertson, P. (2014) *Closed-Loop/Geothermal Heat Pump Systems, Design and Installation Standards latest edition*. International Ground Source Heat Pump Association, Oklahoma State University. United States.
- Atalah, A. (2018) *Polyethylene Tube Handbook ASTM D3035 Standard Specification for Polyethylene (PE) Plastic Pipe (DR-PR) Based on Controlled Outside Diameter*. Bowling Green State University, Ohio, American Society for Testing and Materials (1). Bajado de: https://www.engineeringtoolbox.com/ASTM-D3035-PE-pipes-d_2138.html, en septiembre 2020.
- Boer, R., Marina, B., Zu_hlsforf, C., Bantle, M., Benson, J. (2020) *Strengthening Industrial Heat Pump Innovation, Decarbonizing Industrial Heat*. Extraído de: <https://www.sintef.no/globalassets/sintef-energi/industrial-heat-pump-whitepaper/2020-07-10-whitepaper-ihp-a4.pdf>, en marzo 2020.
- Boman, D., Hoysall, D., Pahinkar, D., Ponkala, M., Garimella, S (2017) *Screening of working pairs for adsorption heat pumps based on thermodynamic and transport characteristics*. Applied Thermal Engineering 34 (1): 123:422-434. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.04.153>.
- Branch, J. (2020) *Industry Standard Guide for the Design and Installation of Copper Piping Systems* Copper Development Association Copper Tube Handbook. Inc. Publication A4015-14/20.
- Chen, D., Xie, H (2012). *The handbook of heat pump technology* Beijing: Chemical Industry Press. 109 pp. EERE (Energy Efficiency and Renewable Energy) (2007) *U.S. energy requirements for aluminum production. Historical perspective, theoretical limits and current practices*. U.S. Department of Energy, Washington, USA. Bajado de: https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/resources/aluminum/pdfs/al_theoretical.pdf, en enero 2019.
- FES (Future Energy Solutions) (2006) *Renewable heat and heat from combined heat and power plants*. Study and analysis report, AEA Technology, UK. Bajado de: <https://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub13655.pdf>, en agosto 2021.
- García, J. Gómez, C. Monedero, F. Arroyo, I. (2016) *Síntesis del Estudio Parque de Bombas de calor en España*. Instituto para la Diversificación y ahorro de la energía, España. 42 pp.
- Herold K., Radermacher, S., Klein, R. (1996) *Absorption chillers and heat pumps* CRC Press. Hoysall, D., Garimella, S. (2018) *Investigation of a serpentine micro-pin fin heat and mass exchanger for absorption systems*, International Journal of Refrigeration, 93 (1): 108-121.

IEA (International Energy Agency) (2014) *Application of Industrial Heat Pumps Annex 35 Final Report, part 1*. 201 pp. bajado de: <https://iea-industry.org/app/uploads/annex-xiii-part-a.pdf>, en abril 2020.

ITP (Industrial Technologies Program) ((2008) *Waste heat recovery -Technologies and opportunities in U.S. industry*, U.S. Department of Energy, Washington, USA. Bajado de: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/11/f4/data_collection_and_analysis_of_chp_system_emmc.pdf, en abril 2020.

Jabari, F., Mohammadi, B. Mehrjerdi, M. Li, G. (2017) *Design and performance investigation of a novel absorption ice-making system using waste heat recovery from flue gases of air to air heat pump*, *Applied Thermal Engineering*, 130 (1): 782-792.

Jensen, J. (2008) *Optimal operation of refrigeration cycles* Norwegian University of Science y Technology, Trondheim, Norway.

Keinath, C., Garimella, S. (2018) *Development and demonstration of a microscale absorption heat pump water heater* *International Journal of Refrigeration* 88 (1): 151-171.

Kudela, L. (2018) *Potential of Predictive Control for Improvement of Seasonal Coefficient of Performance of Air Source Heat Pump in Central European Climate Zone*, United States.

Morilla, F., Vázquez, F., Rodríguez, J., Garrido, S. Fragoso, S. (2015) *Rango de operación en un sistema de refrigeración por compresión de vapor* 45 (1): 238-241.

Omer, M. (2008) *Energy, environment and sustainable development*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12 (9): 2265-2300.

Sinnott, R., Towler, G., (2008) *Chemical Engineering Design. Principles, practice and economics of Planta and Process Design*, Elsevier Inc.

Villar, J. (2014) *Aprovechamiento de calor residual en industrias de proceso continuo y su aplicación*, Universidad de Oviedo, España.

Zhang, J., Zhang, H., He, Y., Tao, W., (2016) *A comprehensive review on advances and applications of industrial heat pumps based on the practices in China*, Key Laboratory of Thermal Fluid Science and Engineering of Ministry of Education, School of Energy & Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, China.

Zhang, J., Wang, H., Zhang, Y. (2014) *Study on principle and application of heat pump technology*. *Applied Mechanics Mater* 525-607 pp. China.

Zogg, M. (2008) *History of Heat Pumps. Swiss Contributions and International Milestones* 9th Int. IEA Heat Pump Conf., IEA. 20-22 pp.

Diseño de implementación de una herramienta de software para el estudio de la epilepsia

María Jesús Angulo¹, ang16508@uvg.edu.gt / María Fernanda Pineda¹, pin16021@uvg.edu.gt / Luis Alberto Rivera¹, larivera@uvg.edu.gt / Héctor Antonio Hurtarte², hahurtarte@uvg.edu.gt

¹Departamento de Ingeniería Electrónica, Mecatrónica y Biomédica, Facultad de Ingeniería, Universidad Del Valle de Guatemala

²Departamento de Ingeniería en Ciencia de la Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad Del Valle de Guatemala

RESUMEN: La epilepsia es una enfermedad que afecta a millones de personas en el mundo. En Guatemala, el Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA, es la única institución que cuenta con especialistas para el tratamiento y estudio de la enfermedad. Mucho del análisis de los datos que se generan en HUMANA se procesan de forma manual, por lo que algoritmos y métodos de reconocimiento de patrones pueden ser de mucha ayuda para automatizar los procesos y facilitar el análisis. El objetivo de este trabajo fue diseñar e implementar una herramienta de software con una base de datos integrada para el procesamiento, análisis y almacenamiento de señales biomédicas de pacientes con epilepsia. Se exploraron redes neuronales artificiales y máquinas de vectores de soporte como algoritmos de clasificación, así como características en el dominio del tiempo y del tiempo-frecuencia de señales electro-encefalográficas, para poder detectar episodios epilépticos. Se validaron los algoritmos usando señales tomadas de repositorios de datos públicos, y logramos porcentajes de clasificación correcta superiores al 96%. La base de datos desarrollada es capaz de almacenar señales e información relevante de pacientes. Se validó, también, su funcionalidad utilizando señales proporcionadas por HUMANA. La herramienta cuenta con una interfaz gráfica que facilita el uso de las funciones de procesamiento y análisis, la interacción con la base de datos, y la visualización de resultados. Este trabajo aporta una herramienta de mucha utilidad para, los especialistas de HUMANA, para la investigación que se lleva a cabo actualmente en la Universidad Del Valle de Guatemala, y para cualquier persona interesada en el estudio de la epilepsia.

PALABRAS CLAVE: epilepsia, señales electro-encefalográficas, aprendizaje automático, base de datos, herramienta de software.

Design and implementation of a software tool for the study of epilepsy

ABSTRACT: Millions of people around the world suffer from epilepsy. The Center for Epilepsy and Functional Neurosurgery, HUMANA, is the only institution with specialists who treat and study the disease in Guatemala. Much of the analysis of data generated at HUMANA is done manually. Therefore, machine learning and pattern recognition methods could be very helpful in automating processes and facilitating the data analysis. The goal of this work was to design and implement a software tool with an integrated database for processing, analyzing, and storing biomedical signals from epilepsy patients. To recognize epileptic episodes, we evaluated artificial neural networks and support vector machines as classification algorithms, and time and time-frequency domain features of electroencephalographic signals. The algorithms using signals from public data repositories were validated, reaching classification accuracies above 96%. The database can store signals and relevant information from patients. Also the database functionality using data provided by HUMANA was validated. The software tool includes a graphical interface, which simplifies the data processing and analysis, the interaction with the database, and results visualization. This work contributes with a useful tool for HUMANA specialists, for undergoing research at Universidad Del Valle de Guatemala, and for anyone interested in studying epilepsy.

KEYWORDS: epilepsy, electroencephalographic signals, machine learning, database, software tool.

Introducción

La epilepsia es un trastorno cerebral crónico no transmisible que provoca desórdenes de la actividad cerebral, causando eventos clínicos denominados crisis epilépticas. Actualmente se estiman más de 70 millones de personas en todo el mundo que padecen esta patología (Thijs *et al.* 2019). Debido a su presencia mundial, este trastorno es objeto de estudio, tanto en el campo de la medicina, como el de ingeniería, con el propósito de mejorar el proceso de diagnóstico, comprender sus posibles causas y brindar tratamientos efectivos para los pacientes.

El electroencefalograma es una prueba ampliamente utilizada en estudios de epilepsia, ya que permite registrar información de la actividad eléctrica del cerebro - señales electroencefalográficas (EEG) (Iriarte *et al.* 2012). En una crisis epiléptica se pueden detectar patrones o registros denominados ictales. La actividad cerebral es altamente variable en el tiempo, pero se pueden distinguir por lo menos cuatro etapas: preictal, ictal, postictal e interictal (Yadollahpour y Jalilifar 2014). Según Gadhomi y colaboradores (2016), el reto principal en el pronóstico de las crisis epilépticas consiste en diferenciar entre las etapas preictal e interictal.

En las últimas dos décadas, algoritmos de aprendizaje automático y reconocimiento de patrones han cobrado relevancia para la detección y la predicción de crisis epilépticas. Dos de los algoritmos más utilizados en la literatura son la Máquina de Vectores de Soporte (*Support Vector Machine* - SVM) y la Red Neuronal Artificial (*Artificial Neural Network* - ANN), y sus variantes. Uno de los primeros estudios que relacionan la detección de epilepsia con las SVM fue presentado por Acir y Güzelis (2004). Shiao y colaboradores (2017) mostraron que sistemas basados en SVM pueden tener muy buenos resultados de detección de segmentos preictales e interictales, tanto en personas como en perros. Chen y colaboradores (2017) usaron la transformada de *wavelet* discreta para obtener características en el dominio del tiempo-frecuencia de señales EEG, y aplicaron SVM para el reconocimiento de patrones epilépticos.

Las ANN también han sido muy exitosas en la detección de crisis epilépticas. Srinivasan y colaboradores (2005) utilizaron un tipo de red recurrente y características en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia extraídas de señales EEG. Lograron distinguir entre registros ictales y no ictales con una exactitud mayor al 99%. Redes neuronales convolucionales y redes profundas han sido utilizadas en estudios de predicción de crisis y análisis de patrones interictales (Wang *et al.* 2020; Antoniadis *et al.* 2017).

En muchos estudios de la literatura sobre algoritmos de aprendizaje automático se hace uso de repositorios de datos

públicos. Un ejemplo de estos repositorios es el del *Center for Machine Learning and Intelligent Systems* de la Universidad de California, Irvine¹. El repositorio mantiene unas 588 colecciones de datos de todo tipo (numérico univariado, multivariado, categórico, texto, imágenes, etc.) y proveniente de muchas áreas de conocimiento. Con estos repositorios los investigadores pueden evaluar sus métodos de procesamiento y algoritmos de clasificación, aprovechando los datos generados por otros investigadores y estudios. Esto es particularmente útil, ya que muchas veces no se tiene acceso a equipo para generar datos propios. Además, el uso sistemático de los mismos datos permite una comparación objetiva de los distintos algoritmos propuestos.

Un repositorio muy utilizado para estudios biomédicos y análisis de señales bio-eléctricas es *PhysioNet*, (Goldberger *et al.* 2000), el cual contiene una amplia colección de señales y datos fisiológicos y clínicos². Zhang y Parhi (2016) y Parhi y Zhang (2019) utilizaron colecciones de este repositorio para evaluar un algoritmo de predicción de episodios epilépticos a partir de características de potencia espectral de señales EEG. Kang y colaboradores (2018), y Muñoz y Rivera (2020) usaron polisomnografías obtenidas de la colección *Sleep-EDF Database* para el estudio de patrones de sueño a partir de señales EEG.

En Guatemala, el estudio de la epilepsia está limitado a un porcentaje reducido de neurólogos. El Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional, HUMANA³, es la única entidad de neurocirujanos especializados para tratamiento de epilepsia y Parkinson. Esta institución cuenta con equipo de adquisición de señales y herramientas para la visualización de estas, pero mucho del análisis de las señales se realiza de forma manual, no automática.

El objetivo del trabajo presente fue desarrollar e implementar una herramienta de *software* con una base de datos integrada para el almacenamiento, procesamiento y análisis de señales biomédicas de pacientes con epilepsia de HUMANA³. Además, se buscó sentar las bases para un repositorio de datos biomédicos.

Materiales y métodos

La figura 1 muestra la arquitectura de la herramienta de *software* que desarrollamos. Esta debía contar con tres partes fundamentales. La primera era un módulo de procesamiento, análisis y clasificación de señales EEG relacionadas a episodios epilépticos. La segunda era una base de datos relacional capaz de almacenar las señales, información relevante de pacientes y pruebas realizadas. Y la tercera era una interfaz gráfica para que los usuarios puedan hacer uso de la funcionalidad de los módulos anteriores, así como visualizar señales y resultados. Desarrollamos la herramienta en el *software* MATLAB®.

¹ UCI Machine Learning Repository es un repositorio de libre acceso con más de 580 conjuntos de datos. <https://archive.ics.uci.edu/ml/index.php>

² *PhysioNet* es un repositorio de datos médicos de acceso libre, manejado por el Laboratorio de Fisiología Computacional del MIT. <https://physionet.org/>, <https://lcp.mit.edu/>

³ <https://humanogt.org/>

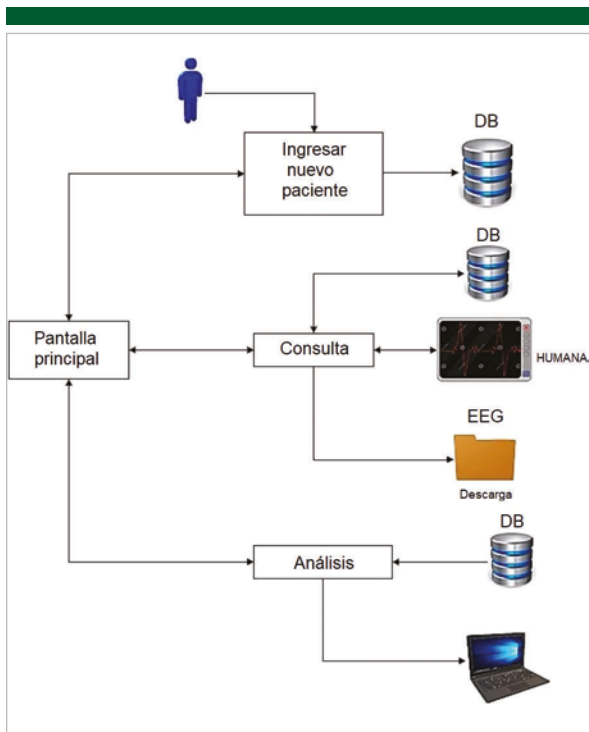


Figura 1. Arquitectura de la herramienta de software.

Módulo de procesamiento, análisis y clasificación

El objetivo primario de este módulo es aplicar métodos de aprendizaje automático para distinguir entre episodios de crisis epiléptica y estados normales (sin crisis) de forma automática, a partir de las señales EEG. La figura 2 ilustra las etapas en que

consiste el módulo. Se requieren colecciones de datos que incluyan señales tomadas en momentos de crisis y no crisis. A las señales se les extraen características, con las cuales se forman vectores de características. Los vectores de las señales de entrenamiento se utilizan para entrenar a los algoritmos clasificadores. Los vectores de las señales de prueba se alimentan a los clasificadores ya entrenados para evaluar qué tan bien logran distinguir entre una y otra clase. Si el rendimiento no es el adecuado, se ajustan los parámetros de los algoritmos y se itera, hasta lograr rendimientos aceptables.

Colecciones de datos

Para validar el módulo utilizamos 2 colecciones de señales. La primera la tomamos del repositorio de datos de la Universidad de Bonn, "UBonn EEG dataset" (Andrzejak *et al.* 2002). Este incluye 5 diferentes conjuntos de señales denotados A, B, C, D, y E; cada uno de estos conjuntos contiene señales EEG de un canal, muestreadas a 173.61 Hz. Estos segmentos fueron seleccionados y recortados de grabaciones continuas de EEG multicanal utilizando el sistema internacional 10-20 de posiciones de electrodos de EEG. Todas las señales presentes en el repositorio fueron filtradas digitalmente usando un filtro pasa altas FIR de orden 48 (ventana *Hamming*) con frecuencia de corte de 0.5 Hz. Los conjuntos A y B contienen segmentos EEG de cinco pacientes sanos (registros normales); las señales presentes en los conjuntos C y D son de 5 pacientes con epilepsia durante un intervalo normal (libre de crisis epilépticas, también considerados como registros normales) y el conjunto E contiene señales de 5 pacientes con epilepsia mientras experimentan crisis epilépticas (registros ictales).

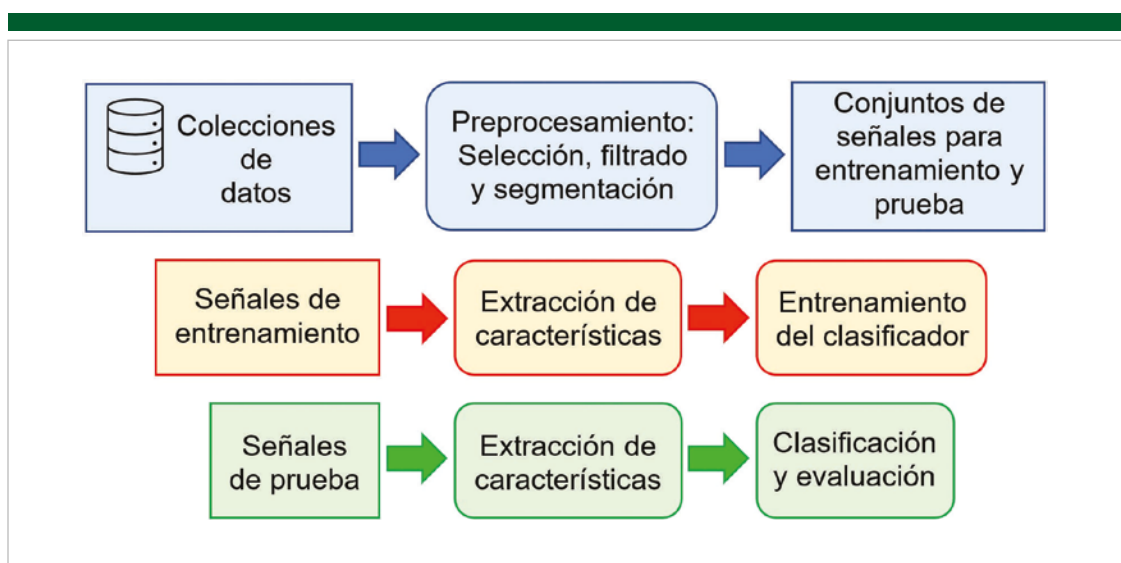


Figura 2. Etapas para el entrenamiento y evaluación de los algoritmos de aprendizaje automático.

La segunda colección de señales la tomamos de *PhysioNet*, del conjunto “CHB-MIT Scalp EEG” (Shoeb, 2009). Este conjunto contiene grabaciones EEG multicanal de pacientes pediátricos con crisis epilépticas intratables, recolectadas en el Hospital Infantil de Boston, Massachusetts. Fue creado por un equipo de investigadores del Hospital Infantil de Boston (CHB) y del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) como contribución a *PhysioNet*. Las grabaciones presentes en el conjunto incluyen 23 casos de un total de 22 pacientes (5 hombres, de 3 a 22 años; y 17 mujeres, de 1.5 a 19 años). También se utilizó el sistema internacional 10-20 de posiciones de electrodos de EEG. Las señales fueron muestreadas a 256 Hz. El número total de grabaciones es de 664 (cada uno de los 23 casos contiene entre 9 y 22 grabaciones) de las cuales 129 presentan al menos una crisis epiléptica. Las grabaciones con presencia de crisis contienen anotaciones médicas que indican el inicio y el final de la convulsión (registros ictales).

Los datos de las colecciones de señales corresponden a grabaciones de varios minutos o incluso horas de actividad EEG. Previo a la aplicación de los algoritmos de clasificación, aplicamos filtrado digital adicional a las señales. En primer lugar, un filtro quita banda de 60 Hz para eliminar el ruido introducido por la línea eléctrica. En segundo lugar, un filtro pasa bandas con frecuencias de corte de 0.5 Hz y 70 Hz, para limitar las señales al rango de análisis de interés. Luego del filtrado, necesitamos segmentar las señales completas en ventanas de tiempo más reducidas (subseñales), típicamente de unos cuantos segundos. Por conveniencia, en lo subsecuente nos referimos a estas subseñales simplemente como señales. Para un mejor desempeño de los clasificadores, la cantidad de señales de registro normal y registro ictal se balancea antes de la etapa de entrenamiento. La selección de señales de cada clase se hace de forma aleatoria.

Para la colección UBonn utilizamos los conjuntos de datos A y D como registros normales y el conjunto E como registros ictales. Obtuvimos 300 señales de ~24 s de duración, los cuales representan 40 min de grabación de registros normales de pacientes sanos, 40 min de registros normales de pacientes con epilepsia y 40 min de registros ictales de pacientes con epilepsia. Para la colección CHB-MIT, utilizamos datos de 5 pacientes. La segmentación fue hecha en ventanas de 10 s de duración. En total, obtuvimos 33 min de registros normales y 33 min de registros ictales.

Extracción de características

La herramienta permite extraer características en el dominio del tiempo y del tiempo-frecuencia de las señales EEG. Ambos tipos son ampliamente utilizados en la literatura debido al buen rendimiento de clasificación obtenido, así como el bajo costo computacional y facilidad de implementación. Las características en el dominio del tiempo que utilizamos son: cruces por cero (ZC), valor absoluto promedio (MAV), curtosis, y desviación estándar (STD).

Para el análisis en el dominio del tiempo-frecuencia utilizamos la transformada de wavelet discreta, con funciones madre Daubechies 4 y Daubechies 10, y 7 niveles de descomposición. Las funciones madre Daubechies han dado buenos resultados en la literatura (Feng et al. 2018). Obtenemos las características calculando lo siguiente a cada sub-banda wavelet: potencia, media, curtosis, STD, asimetría estadística, ZC.

Es posible seleccionar una o varias características para formar los vectores de características, tanto para la fase de entrenamiento de los algoritmos, como para la clasificación de las señales.

Algoritmos de clasificación

Como clasificadores, evaluamos los algoritmos SVM y ANN. Para la SVM utilizamos la librería libSVM (Chang y Lin 2011) compatible con MATLAB®. Probamos un *kernel* lineal y uno radial (RBF). La red neuronal fue un perceptrón multicapa de 10 capas ocultas y entrenada con el algoritmo de programación hacia atrás mediante el método de gradiente conjugado escalado. Empleamos funciones del paquete *Deep Learning* de MATLAB®.

En los experimentos que realizamos, los clasificadores son binarios. Las categorías o clases que se deben reconocer son *registro normal* y *registro ictal*. En este estudio no se buscó distinguir entre las etapas preictal, interictal y postictal. Utilizamos la técnica de validación cruzada, dividiendo los vectores de características que representan a las señales en conjuntos de entrenamiento y prueba. El desempeño de los clasificadores se presenta mediante matrices de confusión e indicadores de exactitud (porcentajes de clasificación correcta): $E(\%) = 100 \times (VN + VP)/N$, donde VN es verdadero negativo (registro normal clasificado como tal), VP es verdadero positivo (registro ictal clasificado como tal), y N es el total de señales clasificadas.

Un clasificador y una colección de características que pueden funcionar bien para una colección de datos pueden no funcionar tan bien para otra colección de datos. Por lo tanto, fue importante hacer pruebas con distintas combinaciones. Variamos el clasificador (RNA, SVM, con sus variantes), el número y tipo de características (en dominio del tiempo y tiempo-frecuencia), el número y el conjunto de canales EEG usados para extraer las características y el número de particiones de la validación cruzada (k).

Base de datos relacional

Para la creación y administración de la base de datos utilizamos MySQL y la herramienta *phpMyAdmin*. Usamos como servidor una computadora con sistema operativo Windows 10. La base de datos consta de 3 tablas relacionadas (ver figura 3). Consultamos a doctores de HUMANA para determinar la información relevante que debe ser almacenada en la base de datos. Esta incluye edad o fecha de nacimiento, sexo, antecedentes



Figura 3. Diagrama entidad-relación de la base de datos. Cada elemento tiene asociado un tipo de dato. Se observan 7 canales, aunque pueden ser hasta 35.

personales patológicos, diagnóstico de prescripción, si padece de epilepsia y el tipo de crisis. En la tabla principal se incluyeron los campos de dicha información para cada paciente, así como un código o ID como clave primaria. Es importante mencionar que no se incluye el nombre ni cualquier otro dato que permita la identificación de los pacientes por parte de personas externas a HUMANA. En la tabla de pruebas se agregaron campos relevantes para el módulo de análisis, como la frecuencia de muestreo y el número de canales EEG. La tabla pruebas_datos cuenta con un campo de ID de prueba y campos correspondiente a los canales. Un paciente puede tener múltiples pruebas, y una prueba múltiples datos de varios canales.

Para validar la funcionalidad de la base de datos, utilizamos una tercera colección de señales, la cual nos fue proporcionada por HUMANA. Esta colección consistió en 3 grabaciones EEG multicanal de pacientes sanos y pacientes con epilepsia. Las señales fueron muestreadas a 256 Hz y se utilizó el sistema internacional 10-20 de posiciones de electrodos. Las grabaciones fueron de duración aproximada de una hora, y corresponden a pacientes que padecen de epilepsia, que tuvieron alguna crisis durante la prueba o que padecieron de epilepsia y se encuentran en vigilancia. Los datos se obtuvieron en formato EDF, el cual es un estándar para señales biomédicas, y es el mismo formato usado en las otras dos colecciones.

Interfaz gráfica e integración de la herramienta de software

Desarrollamos la interfaz gráfica con el App Designer de MATLAB®. La interfaz permite el manejo y análisis de señales EEG, lo que incluye la extracción de características y la aplicación de los algoritmos descritos anteriormente. Además, permite visualizar gráficamente las señales y los resultados del procesamiento. Para integrar la base de datos a la interfaz utilizamos el driver ODBC. Es posible hacer consultas de datos

almacenados anteriormente, o ingresar datos nuevos. La herramienta se puede abrir directamente desde MATLAB®, pero también es posible crear un archivo .exe que puede ser ejecutado en computadoras que no cuenten con MATLAB®. Por el momento, esto sólo es posible para el sistema operativo Windows 10.

Una vez completamos la integración de los distintos módulos en la herramienta, los probamos con señales de las tres colecciones descritas anteriormente. Cabe mencionar que no usamos la colección de HUMANA para entrenar y validar los algoritmos clasificación. Esto se debió a que las señales no contaban con anotaciones de clase, por lo que se desconocía a qué tipo de registro correspondían (normal o ictal). Sin embargo, sí las usamos para validar las funciones de filtrado, extracción de características, visualización, ingreso a la base de datos, y recuperación desde la base de datos.

Resultados y discusión

Algoritmos de clasificación

La tabla 1 muestra matrices de confusión y porcentajes de clasificación de 2 casos de prueba que ilustran la aplicación de los algoritmos de clasificación. El caso 1 corresponde al clasificador SVM con un *kernel* lineal, aplicado a la colección CHB-MIT. Utilizamos 2 de los canales EEG, y las características extraídas fueron en el dominio del tiempo (ZC, MAV, curtosis y STD). Usamos el 80% de las muestras disponibles para entrenamiento, y 20% para prueba. El porcentaje de clasificación para este caso fue del 96.3%. El caso 2 corresponde al clasificador ANN, aplicado a los conjuntos D y E de la colección UBonn. Utilizamos características en el dominio del tiempo-frecuencia (potencia, media, curtosis, STD, asimetría estadística, ZC), aplicando la función wavelet Daubechies 10 y los 7 niveles de descomposición. En este caso usamos validación cruzada de $k = 4$ particiones. El porcentaje de clasificación para este caso fue del 96.7%.

Tabla 1. Matrices de confusión y porcentajes de clasificación de dos casos de prueba. Los registros normales se denotan por clase N, y los registros ictales se denotan por clase I. Los cuadros de fondo verde corresponden a verdadero negativo (N, N) y verdadero positivo (I, I), respectivamente.

Caso Ilustrativo 1					Caso Ilustrativo 2				
		Clase pronosticada					Clase pronosticada		
		N	I				N	I	
Clase verdadera	N	46.3%	3.7%	92.7% 7.3%	Clase verdadera	N	50.0%	0.0%	100% 0.0%
	I	0.0%	50.0%	100% 0.0%		I	3.3%	46.7%	93.3% 6.7%
		100% 0.0%	93.2% 6.8%	96.3% 3.7%			93.8% 6.2%	100% 0.0%	96.7% 3.3%

De todos los experimentos realizados usando las colecciones UBonn y CHB-MIT, obtuvimos porcentajes de clasificación correcta que oscilaron entre el 60% y el 100%. La variación dependió principalmente del tipo y número de características usadas, así como de los canales EEG usados. En general, los resultados fueron ligeramente mejores usando la ANN, aunque la diferencia con la SVM no fue significativa. Las características en el dominio del tiempo resultaron en un mejor rendimiento para estas colecciones.

Aumentar el número de canales, de haber más de uno disponible, y el número de características, puede incrementar la exactitud de los clasificadores. Sin embargo, eso también puede conllevar una mayor carga computacional y tiempo de ejecución al realizar el entrenamiento. Además, implica la necesidad de una mayor cantidad de señales de entrenamiento. En este estudio no realizamos experimentos rigurosos para determinar el balance óptimo entre exactitud y carga/tiempo computacional, ya que el objetivo era demostrar que la herramienta permite al usuario ajustar distintos parámetros, seleccionar distintos clasificadores, y procesar datos. Además, los parámetros óptimos que pudiesen ser encontrados para una colección de datos no necesariamente serán los óptimos para otra colección de datos.

Base de datos, interfaz gráfica e integración de la herramienta de software

La interfaz gráfica de la herramienta cuenta con una ventana de inicio y ventanas adicionales en las que se puede interactuar con la base de datos: conectar, desconectar, añadir información de nuevos pacientes, consultar información de pacientes y pruebas previamente almacenadas. También cuenta con ventanas para usar el módulo de procesamiento y visualización de datos. Por medio de botones, menús, casillas de selección y otros

elementos típicos de interfaces gráficas, se puede navegar entre las ventanas, seleccionar las opciones o parámetros deseados, y aplicar las funciones de procesamiento, entrenamiento, clasificación, gráficas. Las figuras 4 - 9 muestran las ventanas principales.



Figura 4. Ventana de inicio de la interfaz gráfica.

Figura 5. Ventana para añadir información de un nuevo paciente a la base de datos.

En la ventana de inicio (ver figura 4), sólo están habilitados los botones para conectar y analizar pruebas mientras no se haya establecido conexión con la base de datos. Es posible seleccionar archivos locales para procesar y analizar datos contenidos en ellos. No es obligatorio que el usuario utilice datos previamente almacenados en la base de datos. Al presionar el botón *Conectar*, se deben ingresar las credenciales para la base de datos. Si la conexión presenta algún error, se muestran mensajes solicitando verificar la información. Con el botón *Desconectar* se finaliza la sesión y se deshabilitan los botones para agregar pacientes y hacer consultas.

La figura 5 muestra la ventana para ingresar la información de un nuevo paciente, que consiste en un código, sexo, fecha de nacimiento, antecedentes médicos y diagnóstico. Para guardar la información, se valida que estén ingresados los campos requeridos. También se despliegan mensajes indicando si algún código ya existe dentro de la base de datos, y si la información fue guardada exitosamente.

La ventana de consultas, mostrada en la figura 6 tiene las opciones de realizar búsqueda, visualizar información, agregar nuevos archivos y descargar datos existentes en la base de datos. El usuario debe ingresar el código del paciente que desea consultar. En la tabla se muestra información de las pruebas de este paciente, si existen: código de la prueba, fecha del examen, hora de inicio, duración, frecuencia de muestreo y la cantidad de canales de las señales. Mientras no se haya realizado la búsqueda de un paciente en específico, los campos dentro de *Agregar nuevo archivo* y *Descargar pruebas* se encuentran deshabilitados. El botón *Actualizar* tiene la misma validación, ya que sólo puede actualizarse la búsqueda de un paciente previamente seleccionado.

Para seleccionar un nuevo archivo de datos que se quiera almacenar en la base de datos, primero se utiliza el botón *Seleccionar*. Se abre una ventana de navegación en la que el usuario puede revisar carpetas hasta encontrar el archivo EDF correspondiente. Una función especial⁴ se encarga de extraer la información del EDF, que incluye fecha, hora, duración, número de canales, nombre de canales, frecuencia de muestreo, valor máximo y mínimo, y las señales EEG en sí. Las señales se codifican para poder ser almacenadas en el campo prueba de la tabla pruebas, a fin de almacenarlas directamente en la base de datos y no como un archivo externo. Adicionalmente, los registros se almacenan en la tabla pruebas_datos para permitir análisis simultáneo de diferentes pruebas. Con el botón *Guardar* se carga todo a la base de datos. Datos ya almacenados se pueden descargar usando las opciones de la sección *Descargar pruebas*.

Al presionar el botón de *Analizar prueba* en la ventana de inicio, se despliega la ventana para visualización, mostrada en la figura 7. En esta ventana se pueden visualizar canales individuales de las señales EEG, en períodos de tiempo especificados por el usuario.

La ventana para extraer características, ver figura 8, permite generar vectores de características de las señales escogidas en la ventana para visualización, según las opciones escogidas por el usuario.

⁴ edfRead, creada por Brett Shoelson. <https://la.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/31900-edfread>

Consultas

Consulta de pacientes y pruebas

Paciente

1

Sexo

F

Fecha de Nacimiento

1998-08-13

Antecedentes personales patológicos

Epilepsia presente en su núcleo familiar.

Diagnóstico de prescripción

No padece ninguna enfermedad

Condición

No padece epilepsia

Leer

Nueva consulta

Regresar

Actualizar

No.	Prueba	Fecha	Hora	Duración (s)	Frecuencia (Hz)	No. Canales
1	1	1974-07-25	09:00:46	959	256	23
2	2	1974-07-25	13:00:45	3600	256	23
3	5	1974-07-25	09:00:46	959	256	23

Agregar nuevo archivo

Fecha del examen

Hora de inicio

Duración (s)

Frecuencia (Hz)

No. Canales

Seleccionar

Guardar

Descargar pruebas

Todos los archivos

Seleccionar rango

1 - 2

Seleccionar número

1

Descargar

Figura 6. Ventana para consultar de información de pacientes y resultados de análisis previamente almacenados.

Visualización de Señal

Señal EEG

Amplitud

100

50

0

-50

-100

Muestras

600

800

1000

1200

1400

1600

Cargar Nuevo EEG

Seleccionar EEG de Base de datos

Canal

4

Tiempo Min (s)

2

Tiempo Max (s)

7

Visualizar

Muestras por ventana

(256 = 1s)

256

Características Típicas

Media

MAV

Cruces por Cero

Frecuencia Máx.

Desviación estándar

Curtosis

Calcular

Extraer Vector de Características

Regresar

Característica

22

20

18

16

14

12

10

Ventanas

1

1.5

2

2.5

3

3.5

4

Figura 7. Ventana para visualización de señales y características calculadas.

UI Figure

GENERAR VECTOR DE CARACTERÍSTICAS

DESVIACIÓN ESTÁNDAR

CRUCES POR CERO

CURTOSIS

VALOR MEDIO ABSOLUTO

NÚMERO DE CANALES

3

MUESTRAS POR VENTANA

2500

CANALES A ANALIZAR

4,8,12

GENERAR

* COLOCAR 0 SI SE DESEAN TODOS LOS CANALES

CARACTERÍSTICAS WAVELET

[7 NIVELES DE DESCOMPOSICIÓN]

WAVELET MADRE

db3

SELECCIONAR CANAL

1

CALCULAR PARA

TODAS LAS BANDAS

BANDA ESPECÍFICA

GAMMA

MUESTRAS POR VENTANA

POTENCIA

DESVIACIÓN

ASIMETRÍA

MEDIA

CURTOSIS

CRUCES POR CERO

GENERAR

* EL VECTOR DE ETIQUETAS ASIGNA AUTOMÁTICAMENTE AL 50% DE LOS PRIMEROS DATOS COMO CLASE "0" Y AL 50% DE LOS DATOS RESTANTES COMO CLASE "1". MODIFICAR SEGÚN NECESIDAD

CLASIFICADOR SVM

CLASIFICADOR RED NEURONAL

Figura 8. Ventana para selección de características a extraer de las señales EEG.

68 Revista 42 de la Universidad del Valle de Guatemala (2021)

RED NEURONAL ARTIFICIAL

% SEGMENTOS PARA ENTRENAR: 70

% SEGMENTOS PARA PRUEBA: 15

% SEGMENTOS PARA VALIDAR: 15

ALGORITMO DE ENTRENAMIENTO: trainscg

CARGAR NUEVO VECTOR DE CARACTERÍSTICAS PARA ENTRENAMIENTO Y PRUEBA

CARGAR

TIPO DE VECTOR

☒ ANÁLISIS DIRECTO
 ☐ ANÁLISIS WAVELET

CAPAS OCULTAS: 8

GENERAR

VISUALIZAR

RESULTADOS

SEGMENTOS PARA ENTRENAMIENTO: -----

SEGMENTOS PARA PRUEBA: -----

MÁQUINA DE VECTORES DE SOPORTE

DIVISION DE DATOS POR VALIDACION CRUZADA

NUMERO DE PARTICIONES [k]: 2

OPCIÓN DE KERNEL: RBF

CARGAR NUEVO VECTOR DE CARACTERÍSTICAS PARA ENTRENAMIENTO Y PRUEBA

CARGAR

TIPO DE VECTOR

☒ ANÁLISIS DIRECTO
 ☐ ANÁLISIS WAVELET

GENERAR

VISUALIZAR

RESULTADOS

EXACTITUD: 100

SEGMENTOS PARA ENTRENAMIENTO: 52

SEGMENTOS PARA PRUEBA: 50

Figura 9. Ventanas para configuración de los clasificadores. La opción de análisis directo se refiere al uso de características en el dominio del tiempo.

Finalmente, la figura 9 muestra las ventanas para la configuración y aplicación de los algoritmos de clasificación. El usuario puede utilizar el botón *Cargar* para ingresar vectores de características previamente calculados, y sus correspondientes etiquetas, necesarios para el entrenamiento de los clasificadores. Es posible visualizar resultados como matrices de confusión, estructuras de la red neuronal, porcentajes de clasificación, y otros. Estos resultados aparecen en ventanas adicionales. Para ambos clasificadores, el usuario tiene la opción de guardar las estructuras de datos correspondientes, y los resultados de entrenamiento y prueba, usando el botón *GENERAR*. Todo se almacena en archivos.mat, que son estándar de MATLAB®. Estos archivos y los datos contenidos pueden ser reutilizados dentro de la herramienta, o fuera de ella, directamente en el entorno MATLAB®.

Conclusiones

La herramienta de *software* que desarrollamos permitió integrar un módulo de procesamiento y análisis de señales EEG asociadas a estudios epilépticos, y una base de datos para el manejo de información relevante, todo dentro de un mismo entorno. Es particularmente útil poder interactuar con la base de datos desde la misma herramienta, sin la necesidad de una aplicación externa. La interfaz gráfica facilitó el uso de las distintas funciones.

Los resultados de clasificación confirman que los algoritmos SVM y ANN y las características en el dominio del tiempo y tiempo-frecuencia seleccionados son adecuados para el análisis de señales EEG asociadas a la epilepsia. Es posible detectar

episodios epilépticos de forma automática con un alto grado de exactitud, siempre que se seleccionen las características adecuadas y se cuente con suficientes datos de entrenamiento. La herramienta desarrollada permite variar los parámetros y las características usadas, con el fin de encontrar la mejor combinación para cada colección de datos que se necesite analizar.

Herramientas de *software* como la presentada pueden ser de mucha utilidad para el estudio de la epilepsia. Actualmente se está utilizando en un proyecto de investigación que busca automatizar procesos de anotación y detección de segmentos de interés en las señales EEG, en HUMANA. Los algoritmos se están refinando para diferenciar entre las etapas preictal e interictal. Además, a la herramienta se le están agregando funciones para hacer análisis de conglomerados, y se está expandiendo la capacidad de almacenamiento de la base de datos. Buscamos generar un repositorio de señales, manejable desde la base de datos, que pueda ser compartido con la comunidad científica.

Aporte de autores

Autor 1 (María Jesús Angulo): Su trabajo de graduación se trató de la parte del procesamiento, análisis y clasificación de los datos. Implementó los algoritmos de aprendizaje automático (características, clasificadores, etc.), realizó los experimentos correspondientes y compiló los resultados. Contribuyó con el desarrollo de la interfaz gráfica y la integración de la herramienta. Revisora del artículo.

Autor 2 (María Fernanda Pineda): Su trabajo de graduación se trató de la parte de la base de datos. Implementó distintas versiones de la base de datos relacional, y realizó los experimentos y validaciones correspondientes. Contribuyó con el desarrollo de la interfaz gráfica y la integración de la herramienta. Revisor del artículo.

Autor 3 (Luis Alberto Rivera): Promotor del concepto de la experimentación. Asesoró a María Jesús y a María Fernanda durante el desarrollo de sus trabajos de graduación, y supervisó el análisis de los datos. Redactor del artículo y autor correspondiente.

Autor 4 (Héctor Antonio Hurtarte): Asesoró a María Fernanda Pineda durante el desarrollo de su trabajo de graduación. Revisor del artículo.

Agradecimiento

Agradecemos al Dr. Abel Sanabria, de HUMANA, por el apoyo para obtener la tercera colección de señales usados en esta investigación, y para resolver dudas sobre la epilepsia y el trabajo que se realiza en HUMANA.

Bibliografía

- Acir, N., Güzelis, C. (2004) *Automatic spike detection in EEG by a two-stage procedure based on support vector machines* Computers in Biology and Medicine 34 (7): 561-575.
- Andrzejak, R., Lehnertz, K., Mormann, F., Rieke, C., David, P., Elger, C. (2001) *Indications of nonlinear deterministic and finite-dimensional structures in time series of brain electrical activity: Dependence on recording region and brain state* Physical review. E, Statistical, nonlinear, and soft matter physics 64(6 Pt 1):061907.
- Antoniades, A., Spyrou, L., Martin-Lopez, D., Valentin, A., Alarcon, G., and Sanei, S., Cheong Took, C. (2017) *Detection of Interictal Discharges With Convolutional Neural Networks Using Discrete Ordered Multichannel Intracranial EEG* IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering 25 (12): 2285-2294.
- Chang, C.-C., Lin, C.-J. (2011) *LIBSVM: A library for support vector machines* ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology 2 (3) 27: 1-27.
- Chen, D., Wan, S., Bao, F.S. (2017) *Epileptic Focus Localization Using Discrete Wavelet Transform Based on Interictal Intracranial EEG* IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering 25 (5): 413-425.
- Feng, L., Li, Z., Wang, Y. (2018) *VLSI Design of SVM-Based Seizure Detection System With On-Chip Learning Capability* IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems 12(1): 171-181.
- Gadhoumi, K., Lina, J.-M., Mormann, F., Gotman, J. (2016) *Seizure prediction for therapeutic devices: A review.* Journal of Neuroscience Methods 260: 270-282.
- Goldberger, A., Amaral, L., Glass, L., Hausdorff, J., Ivanov, P.C., Mark, R., Mietus, J.E., Moody, G.B., Peng, C.K., Stanley, H.E. (2000) *PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a new research resource for complex physiologic signals* Circulation [Online]. 101 (23): 215-220.
- Iriarte, J., Urrestarazu, E., Alegre, M., Artieda, J. (2012) *Electroencefalografía del Adulto Atlas bilingüe español-inglés basado en casos clínicos* Elsevier España 808 pp.
- Kang, D.Y., DeYoung, P.N., Malhotra, A., Owens, R.L., Coleman, T.P. (2018) *A State Space and Density Estimation Framework for Sleep Staging in Obstructive Sleep Apnea* IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 65 (6): 1201-1212.
- Muñoz, J.P., Rivera, L.A. (2020) *Towards Improving Sleep Quality Using Automatic Sleep Stage Classification and Binaural Beats* Proceedings of the 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC) pp. 4982-4985.
- Parhi, K.K., Zhang, Z. (2019) *Discriminative Ratio of Spectral Power and Relative Power Features Derived via Frequency-Domain Model Ratio With Application to Seizure Prediction* IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems 13 (4): 645-657.
- Shiao, H.-T., Cherkassky, V., Lee, J., Veber, B., Patterson, E.E., Brinkmann, B.H., Worrell, G.A. (2017) *SVM-Based System for Prediction of Epileptic Seizures From iEEG Signal* IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 64 (5): 1011-1022.
- Shoeb, A. (2009) *Application of Machine Learning to Epileptic Seizure Onset Detection and Treatment* Tesis de doctorado en Filosofía, Departamento de Ciencia y Tecnología de la Salud, Massachusetts Institute of Technology.
- Srinivasan, V., Eswaran, C., Srimam, N. (2005) *Artificial Neural Network Based Epileptic Detection Using Time-Domain and Frequency-Domain Features* Journal of Medical Systems 29: 647-660.
- Thijs, R.D., Surges, R., O'Brien, T.J., Sander, J.W. (2019) *Epilepsy in adults* Lancet 393 (10172): 689-701.
- Wang, G., Wang, D., Du, C., Li, K., Zhang, J., Liu, Z., Tao, Y., Wang, M., Cao, Z., Yan, X. (2020) *Seizure Prediction Using Directed Transfer Function and Convolution Neural Network on Intracranial EEG* IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering 28 (12): 2711-2720.
- Yadollahpour A, Jalilifar M. (2014) *Seizure Prediction Methods: A Review of the Current Predicting Techniques* Biomedical and Pharmacology Journal 7 (1): 153-162.
- Zhang, Z., Parhi, K.K. (2016) *Low-Complexity Seizure Prediction From iEEG/sEEG Using Spectral Power and Ratios of Spectral Power* IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems 10 (3): 693-706.

Evaluación de la presencia de bacterias reductoras de hierro en el sedimento del Lago de Amatitlán, Guatemala

María Valeria Ochoa Elías, och18183@uvg.edu.gt / **Rodrigo Mejicanos Cifuentes**, mej18088@uvg.edu.gt / **José Daniel de Paz Gil**, **Margarita Franco Cifuentes**

Departamento de Bioquímica y Microbiología, Facultad de Ciencias y Humanidades, Universidad del Valle de Guatemala.

RESUMEN: La creciente contaminación del medio ambiente ha llevado a buscar alternativas para reducir sus efectos, que comprometen la vida de los organismos en los ecosistemas. Una de estas alternativas es el uso de microorganismos para degradar o eliminar contaminantes ambientales. En este estudio se evaluó la presencia de bacterias reductoras de hierro en el lago de Amatitlán, ubicado en el departamento de Guatemala para en un futuro comprobar su efecto de biorremediación en acuíferos contaminados. Para la investigación se recolectó sedimento de las orillas del lago y se inoculó en un medio selectivo con Fe(III) en condiciones anaeróbicas. Luego de 14 días se realizó una prueba de magnetismo al precipitado por medio de imanes y una tinción Gram para la verificación de la morfología de las bacterias. Las bacterias encontradas en los medios anaeróbicos fueron Gram negativo, lo que coincide con la morfología del género *Geobacter* sp. Asimismo, todos los medios inoculados y anaeróbicos precipitaron un sólido negro que podía ser atraído por un imán, lo que demuestra que puede tratarse de magnetita; mineral reducido por *Geobacter* sp a partir del Fe(III). Al momento de este estudio no hay reportes de aislamientos en territorio guatemaltecos de este tipo de bacterias, las cuales tienen potencial de degradación de contaminantes como metales, en sistemas acuíferos y sedimentos acuáticos. Por lo que es importante evaluar la presencia de estas bacterias, en sedimento húmedos para su posible uso en métodos de bioremediación.

PALABRAS CLAVE: *Geobacter*, reducción de Fe(III), anaeróbico, biorremediación, magnetita.

Evaluation of the presence of iron reducing bacteria in the sediment of Lake Amatitlán, Guatemala

ABSTRACT: The increasing environmental pollution has led to the search for alternatives to reduce its effects, which compromise the life of organisms in ecosystems. One of these alternatives is the use of microorganisms to degrade or eliminate environmental pollutants. In this study, the presence of iron-reducing bacteria in Lake Amatitlán, located in the department of Guatemala, was evaluated in order to test in the future its bioremediation effect in contaminated aquifers. A sample of sediment from the shores of the lake was inoculated in a selective medium with Fe (III) under anaerobic conditions. After 14 days, a magnetism test on the precipitate by means of magnets and a Gram stain to verify the morphology of the bacteria were performed. Bacteria found in the anaerobic media were Gram negative, which coincides with the morphology of the genus *Geobacter* sp. Likewise, all the inoculated and anaerobic media precipitated a black solid mass that could be attracted by a magnet, which shows that it may be magnetite; a mineral reduced by *Geobacter* sp from Fe (III). At the time of this study, and according to our information, there are no reports of isolations in Guatemalan territory of this type of bacteria, which have the potential for pollutants degradation, such as metals, in aquifer systems and aquatic sediments. Therefore, it is important to evaluate the presence of these bacteria in Guatemalan wet sediments for their possible use in bioremediation efforts.

KEY WORDS: *Geobacter*, Fe(III) reduction, anaerobic, bioremediation, magnetite.

Introducción

En los últimos años, ha aumentado el interés en las propiedades bacterianas pues se ha demostrado que su metabolismo es clave para degradar o eliminar contaminantes ambientales (Pieper y Reineke, 2000). Este proceso es conocido como biorremediación e incluye a todos los microorganismos capaces de capturar, degradar u oxidar compuestos tóxicos (Das et al. 2016; Pandey et al. 2014). Muchos de estos compuestos tóxicos se acumulan en el ecosistema y contienen elementos metálicos, como hierro, cromo y manganeso, que en altas concentraciones son perjudiciales para el medio ambiente (Morcillo et al. 2016; Nagajyoti et al. 2010). La reducción de hierro (III) es un proceso importante para la degradación de contaminantes, como el petróleo, ácidos orgánicos, en sistemas y sedimentos acuáticos. Se ha demostrado que microorganismos del género *Geobacter* sp., son capaces de reducir el hierro (III) (Coates, Philips, Lonergan, Jenter y Lovley, 1996).

Las *Geobacter* sp. son bacterias Gram negativo en forma de bastón, con un tamaño aproximado de 1.2 - 2.0 μ m de longitud, que poseen flagelos y pili. Tienen características similares a *Desulfuromonas*, *Geopsychrobacter* y *Pelobacter* las cuales son bacterias que recolectan electricidad de materia orgánica en aguas residuales y sedimentos. Estas habitan de forma natural en suelos, sedimentos acuáticos, humedales y ambientes subterráneos. Tienen un papel biogeoquímico importante en la diversidad de entornos naturales, ya que pueden transformar la energía química en energía eléctrica (Coates et al. 1996; Methe et al. 2003). A pesar de que se han aislado bacterias del género *Geobacter*, la principal limitante es que son microorganismos estrictamente anaeróbicos, lo que dificulta su aislamiento, pues es necesario reconstruir las condiciones sin oxígeno (Mori y Kamagata, 2014). Asimismo, no parece haber estudios donde se aísle este género de bacterias en Guatemala.

La importancia de este estudio reside en las posibilidades de encontrarle a la bacteria *Geobacter* aplicaciones útiles de biorremediación contra la creciente contaminación proveniente del sector textil y agroindustrial, que compromete la vida de los organismos en el bioma tanto en las inmediaciones del lago como en otras partes del país. Esta investigación busca evaluar, mediante el uso de un medio selectivo en condiciones anaeróbicas, si hay presencia de bacterias del género *Geobacter* en sedimentos contaminados que se encuentran en las orillas del lago de Amatitlán.

Materiales y Métodos

Recolección de muestra. Se recolectó sedimento de las orillas del lago de Amatitlán, Guatemala, Guatemala (14.466512,-90.566591) a 5 metros de la orilla y 15 cm de profundidad, la cual fue colocada en tubos cónicos estériles de 15 ml. Se taparon rápidamente los tubos cónicos para conservar el ambiente

anaeróbico y se colocaron en un recipiente con hielo para el traslado al laboratorio 24 horas después.

Preparación de la solución de vitaminas. Se disolvió una cápsula de multi-vitaminico B-complex 50 (the VitaminShoppe) en 250 ml de agua estéril. Se ajustó el pH hasta 6 agregando bicarbonato de sodio.

Preparación de la solución de elementos traza. Se preparó una solución de elementos traza que contenía, en 250 mL: 0.1800 g sulfato de zinc, 0.0316 g cloruro de níquel (II) hexahidratado, 0.1034 g cloruro de calcio dihidratado, 0.0226 g sulfato de potasio aluminio dodecahidratado, 3 g sulfato de magnesio heptahidratado, 0.0100 g molibdato de sodio dihidratado, 0.0106 g sulfato de cobre (II) pentahidratado, 0.0114 g tungstato de sodio, 0.1052 g sulfato ferroso heptahidratado y 1.0132 g cloruro de sodio.

Preparación del cloruro de hierro (III). Se preparó una solución de 100 ml de cloruro de hierro (III) a 0.4 M. Luego se agregó 100 ml de NaOH a 1.2 M para neutralizar el cloruro de hierro consiguiendo así un precipitado de color café. Luego se filtró al vacío usando filtros Whatmann No.5 para obtener el precipitado, el cual era cristales de hierro pobremente cristalizados.

Preparación de medio anaeróbico. Usando las soluciones anteriores se preparó el medio selectivo para *Geobacter* spp. usando el protocolo de DSMZ, realizando modificaciones de acorde con el los reactivos y equipo disponible (DSMZ, (s.f)). Se prepararon 250 ml de medio anaeróbico, el cual contenía 0.1 ml de la solución de vitaminas, 2.5 ml de la solución de elementos traza pasándolo través de un filtro Millipore Millex-GV de 0.22 mm, 0.7576 g de cloruro de amonio, 0.3045 g de bifosfato de sodio, 0.0549 g de cloruro de potasio, 1.2501 g de acetato de sodio, 1.2560 g de bicarbonato de sodio y 15 g de cloruro de hierro (III). Luego se aforó a 500 ml y se ajustó el pH de 7 a 8. Se colocó alrededor de 5 ml del medio en 10 frascos de hemocultivo de 20 ml previamente esterilizados en la autoclave (121 °C). Se taparon y sellaron con los tapones de frascos de hemocultivos para asegurar un medio sin oxígeno. Posteriormente se gasificó 20% con gas CO₂ y 80% N₂ para quitar cualquier rastro de oxígeno presente en la muestra, identificándose como frasco 1. El frasco 2 se dejó sin gasificar como un control negativo de precipitado magnético.

Inoculación de réplicas de la muestra. Se tomó 1 ml con una jeringa del líquido del sedimento y se inoculó en el frasco 1. Luego se disolvieron 20 g de la tierra recolectada en agua desgasificada para diluir la tierra, y se tomó 1 ml para inocular las muestras 1 a la 8 y el control con oxígeno. El control negativo, frasco 2, no se inoculó con muestra. Todos los frascos se colocaron en una jarra anaeróbica con un BBL GasPack Plus marca BD. Se le colocó a cada frasco una jeringa para sacar los posibles gases que genera el metabolismo de la bacteria. Se selló y se dejó incubar por 4 días a 37 °C.

Cuadro 1. Presencia de precipitado y sus características a los 4 días y 14 días de incubación de los frascos de hemocultivo en la jarra anaeróbica a 37°. Signo “+” indica color café barro (Escala Pantone: 2429), “++” café (Escala Pantone: 7583), “+++” café oscuro (Escala Pantone: 7552), “++++” negro (Escala Pantone: 447).

Número de muestra	Presencia de precipitado	Color del precipitado a los 4 días	Color del precipitado a los 14 días
1	sí	+++	++++
2	sí	++	+++
3	sí	++	+++
4	sí	++	+++
5	sí	++	+++
6	sí	++	+++
7	sí	++	++++
8	sí	++	++++
Control con oxígeno	sí	+	+
Control negativo	sí	+	+

Prueba de magnetismo del precipitado y Tinción de Gram. Luego de los 4 días de incubación se extrajeron 0.5 ml de la muestra y se colocaron en micro tubos de 1 ml. Se observó la coloración y la presencia de precipitado. Se colocaron nuevamente los frascos dentro de una jarra con un nuevo GasPack Plus y se dejó incubar a 37° por 7 días más. Posteriormente, se acercó un magneto para verificar la atracción del precipitado hacia él. Con lo extraído de los tubos se realizó una tinción usando la metodología Gram. Se observaron las tinciones bajo el microscopio.

Resultados y discusión

Para evaluar el crecimiento de la bacteria se observó el color y presencia del precipitado. Se observó que en todas las muestras, con excepción de los controles, se desarrolló un oscurecimiento progresivo del precipitado durante el periodo de incubación (cuadro 1).

Para evaluar la presencia de bacterias y caracterizarlas, se realizó una tinción de Gram. Todas las muestras, excepto los controles, fueron Gram negativo y tuvieron una morfología de bacilos. El control con oxígeno presentó una mezcla de cocos y bacilos Gram negativo y positivo. No se observó contaminación por microorganismos en el control negativo no inoculado. Todos presentaron atracción hacia el magneto excepto los controles, lo que indicó la reducción de hierro (III).

Las propiedades de las bacterias han sido clave para degradar o eliminar contaminantes ambientales en aguas residuales. En investigaciones previas se ha utilizado el género *Geobacter* con fines de biorremediación, es por esto que el objetivo fue evaluar la presencia del género *Geobacter* en sedimentos contaminados en la orilla del lago de Amatitlán, mediante el uso de un medio selectivo en condiciones anaeróbicas.

Se ha evidenciado que *Geobacter* puede reducir otros compuestos como óxido de manganeso (IV) y uranio (IV), por lo que tienen un gran potencial en la biorremediación de ambientes contaminados con estos compuestos como por ejemplo lagos de cráter, lugares donde se filtra el lixiviado y acuíferos salinos. Otros posibles usos que se están investigando en la actualidad para esta bacteria es su uso como Nanowires debido a su capacidad de transferencia de electrones extracelularmente de manera que puedan usarse para generar y transferir electricidad a través de su pili (Lovley, *et al.* 2011).

Se observa en la figura 1 a la izquierda que el precipitado café barro no muestra atracción entre por el imán mientras que a la derecha el precipitado de color negro muestra atracción hacia el imán. El control con oxígeno tampoco muestra atracción por el imán.

El estudio de Coates *et al.* (1996), demostró que las bacterias del género *Geobacter* producen un precipitado negro magnético en condiciones anaeróbicas. Esto como resultado de la reducción de los óxidos naturales del hierro (III) a magnetita, el cual es un



Figura 1. (izquierda) precipitado del control negativo sin atracción por el imán, (derecha) precipitado de la muestra 1 que es atraído por el imán.

mineral fuertemente atraído por los imanes. En efecto, los resultados de nuestro experimento concuerdan con los de Coates, ya que en todas las réplicas se evidenció la presencia de precipitado, el cual, en su mayoría, luego de 14 días de incubación, fue negro. Asimismo, al evaluar la atracción magnética del precipitado, se obtuvieron resultados positivos para todas las muestras que contenían medio inoculado y anaeróbico. La presencia de precipitado magnético es una de las razones por la que se cree que puede haber presencia de bacterias del género *Geobacter* sp. en la muestra de sedimento obtenida del lago de Amatitlán, Guatemala.

Los ámbitos en los que se encuentra la bacteria del género *Geobacter* son sedimentos acuáticos, humedales, arrozales y ambientes de poca profundidad en los que los procesos de reducción de Fe(III) son importantes como aceptor de electrones, ya que son realizados por la bacteria la cual transfiere los electrones a minerales o electrodos. Estas bacterias han sido aisladas de diversos ambientes como acuíferos contaminados con petróleo, agua subterránea contaminada con lixiviado de vertederos, ambientes contaminados con ácidos orgánicos y en sedimentos de sub superficies contaminadas con uranio con desechos orgánicos que promueven la reducción de metales (Lovley, *et al.* 2011). Por lo que el lago de Amatitlán parece un lugar ideal para el crecimiento de esta bacteria, ya que muchos de los desechos sólidos de la ciudad de Guatemala terminan en el lago, como causa de la contaminación producida por más de 700 industrias que desechan residuos sin tratamiento previo, y se convierte en lixiviado (Olayo & Peláez Sánchez, 2015).

La bacteria *Geobacter metallireducens* fue la primera bacteria del género en ser aislada y se encuentra generalmente en sedimentos acuáticos, por lo que se buscó un lugar con sedimento acuático que aumentará la posibilidad de encontrar esta bacteria. Esta especie también se ha demostrado que crece de mejor manera en pH neutros y reduce mejor el Fe(III) con hierro cristalizado desordenadamente como el que se usó en la presente evaluación. Por las razones anteriores, se refuerza la hipótesis de que las bacterias identificadas pueden ser del género *Geobacter*, ya que presentan las características de estas (Nevin *et al.* 2005).

Al realizar la identificación y caracterización de las bacterias presentes, de acuerdo a su morfología y tinción Gram (Cuadro 2), se evidenció que todas las muestras, exceptuando el control positivo y el medio aeróbico, fueron bacilos Gram negativo. Esto concuerda con el estudio de Lovley y colaboradores (2005), quienes llevaron a cabo un estudio similar, ya que sus cepas de bacterias *Geobacter* tuvieron forma de bacilos y fueron Gram negativo. En el control con oxígeno se observaron bacterias con morfología de bacilos y cocos, tanto Gram positivo y negativo. Esto se debió, probablemente, a que el medio fue aeróbico lo que indica crecimiento de bacterias facultativas de otras especies que sobreviven en presencia de oxígeno. Sin embargo, en ningún otro medio se observaron cocos así como tampoco Gram positivos por lo que se puede inferir que no son la misma especie de bacteria, ya que las del género *Geobacter* son estrictamente anaeróbicas. No se observó contaminación por microorganismos en el control negativo, lo que demuestra la validez del método utilizado.

Cuadro 2. Tinciones Gram, morfología y prueba de atracción con magneto de las muestras obtenidas. El signo “+” indica atracción con el magneto, “-” no hay atracción con el magneto.

Número de muestra	Tinción Gram	Morfología	Atracción
1	negativo	bacilos	+
2	negativo	bacilos	+
3	negativo	bacilos	+
4	negativo	bacilos	+
5	negativo	bacilos	+
6	negativo	bacilos	+
7	negativo	bacilos	+
8	negativo	bacilos	+
Control con oxígeno	positivo y negativo	bacilos y cocos	-
Control Negativo	no hay presencia de microorganismos	no hay presencia de microorganismos	-

Debido a la falta de publicaciones acerca de esta bacteria en suelo guatemalteco se recomienda realizar muestreo en otras partes del lago de Amatitlán así como en otros lagos, como el lago de Atitlán, y acuíferos, tanto de agua fresca como contaminada, para evaluar la presencia de esta bacteria. También se recomienda realizar una prueba de solubilidad con citrato de ditionito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) para comprobar que el precipitado obtenido sea específicamente magnetita. La secuenciación de la bacteria sería un paso importante para la identificación de la especie. Por último, se recomienda evaluar la capacidad de biorremediación de la bacteria para sus posibles usos en la recuperación de hábitats contaminados en territorio guatemalteco. De manera que se podrían aprovechar los procesos biológicos de las bacterias del género *Geobacter*, como alternativa para mejorar la calidad del agua en acuíferos contaminados en el país y ayudar a la biorremediación de lagos y ríos.

Conclusiones

En conclusión, se logró determinar la presencia de una bacteria reductora de Fe(III) aislada en el sedimento del lago de Amatitlán que generó un precipitado de color negro con propiedades magnéticas. Lo cual presume que podría ser una bacteria del género *Geobacter*, ya que concuerda con las características de estas. Así mismo, se identificaron bacterias en forma de bacilo Gram negativa, lo que coincide con la morfología de las bacterias de este género. Sin embargo, se recomienda hacer más pruebas con sedimentos de distintas partes del lago de Amatitlán, así como de otros acuíferos, tanto de agua fresca como contaminada, para evaluar así la presencia de este microorganismo y su capacidad de biorremediación en ámbitos contaminados.

Agradecimientos

Agradecemos a Anna Yunuen Soto Fernández, Ángel Cesar Ramírez Sandoval y Claudia Cecilia Alfaro Contreras por su apoyo, conocimiento y recomendaciones durante todas las fases del proyecto de investigación, sin los cuales no se habría podido llevar a cabo. Se agradece también al departamento de Bioquímica y Microbiología de la Universidad del Valle de Guatemala.

Aporte de autores

Autor 1 (MVOE): Promotor del concepto de investigación, diseño de los experimentos, supervisor del análisis de datos.

Autor 2 (RMC): Promotor del concepto de investigación, diseño de los experimentos, supervisor del análisis de datos.

Autor 3 (JDdPG): Participó en el proceso de experimentación, redactor y revisor del artículo.

Autor 4 (MFC): Participó en el proceso de experimentación, redactor y revisor del artículo.

Bibliografía

- Coates, J.D., Phillips, E.J., Lonergan, D.J., Jenter, H., Lovley, D.R. (1996) *Isolation of Geobacter species from diverse sedimentary environments Applied Environmental Microbiology*, 62 (5):1531-1536.
- Das, S., Dash, H.R., Chakraborty, J. (2016) *Genetic basis and importance of metal resistant genes in bacteria for bioremediation of contaminated environments with toxic metal pollutants Applied Microbiology and Biotechnology* 100 (7): 2967-2984.

- DSMZ (s.f). 579. *Geobacter Medium*. Obtenido de:
https://www.dsmz.de/microorganisms/medium/pdf/DSMZ_Medium579.pdf
- DSMZ (s.f). 141. *Methanogenium Medium (H₂/CO₂)*. Obtenido de:
https://www.dsmz.de/microorganisms/medium/pdf/DSMZ_Medium579.pdf
- Morcillo, P., Esteban, M.A., Cuesta, A. (2016) *Heavy metals produce toxicity, oxidative stress and apoptosis in the marine teleost fish SAF-1 cell line* Chemosphere, 144: 225-233.
- Methe, B.A., Nelson, K.E., Eisen, J.A., Paulsen, I.T., Nelson, W., Heidelberg, J.F. Dodson, R. J. (2003) *Genome of Geobacter sulfurreducens: metal reduction in subsurface environments*. Science, 302 (5652): 1967-1969.
- Mori, K., Kamagata, Y. (2014) *The challenges of studying the anaerobic microbial world*. Microbes and Environments, 29 (4): 335-337.
- Nagajyoti, P.C., Lee, K.D., Sreekanth, T.V.M. (2010) *Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review* Environmental Chemistry Letters, 8 (3): 199-216.
- Nevin, K. P., Holmes, D. E., Woodard, T. L., Hinlein, E. S., Ostendorf, D. W., & Lovley, D. R. (2005). *Geobacter bemidjiensis* sp. nov. and *Geobacter psychrophilus* sp. nov., two novel Fe (III)-reducing subsurface isolates. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology, 55(4), 1667-1674.
- Pandey, G., Madhuri, S. (2014) *Heavy metals causing toxicity in animals and fishes*. Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences 2 (2), 17-23.
- Pieper, D.H., Reineke, W. (2000) *Engineering bacteria for bioremediation* Current Opinion in Biotechnology, 11 (3): 262-270.
- Olayo, L.F., Peláez Sánchez, R. (2015) *Crecimiento urbano y contaminación del lago de Amatitlán: el caso de Villa Canales y Villa Nueva 2005-2014*.
- Lovley, D.R., Ueki, T., Zhang, T., Malvankar, N.S., Shrestha, P.M., Flanagan, K.A., Aklujkar, M., Butler, J.E., Giloteaux, L., Rotaru, A-E., Holmes, D.E., Framks, A.E., Orellana, R., Risso, C., Nevin. K.P. (2011) *Geobacter: the microbe electric's physiology, ecology, and practical applications* Advances in microbial physiology 59: 1-100.

Descripción de úlceras por decúbito, manejo quirúrgico, y complicaciones postoperatorias en pacientes masculinos tratados en Hospital General de Accidentes del seguro social de Guatemala, del año 2017 al 2019

Eduardo José Conde Orellana - MSc. Dr. Cirujano Plástico / ejc9@yahoo.com

Servicio de Cirugía Plástica de Hombres, Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, Guatemala

RESUMEN: Las úlceras por decúbito son lesiones de piel y tejido subyacente, que surgen por presión prolongada sobre un área; su prevalencia es del 3-11% en pacientes hospitalizados. Se estima que el 70% de estas úlceras se producen en las primeras dos semanas de hospitalización. Las úlceras por presión se pueden clasificar de acuerdo a su localización, dimensiones y profundidad; necesitando tratamiento quirúrgico las úlceras clasificadas como grado III y IV. En el Seguro Social de Guatemala se desconoce la naturaleza y las tasas de estas complicaciones post operatorias de estas lesiones. En este estudio se describen las complicaciones de pacientes operados de úlcera por decúbito en el Hospital de Accidentes, del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social.

Se realizó un estudio descriptivo de corte transversal, en afiliados hombres operados por úlceras por decúbito durante el período 2017 - 2019. Se recolectaron datos de los expedientes médicos de los pacientes (demográficos, comorbilidades, tipo de úlcera y colgajo realizado, complicaciones entre otros) y se determinó la tasa de complicaciones, la cual se comparó con valores reportados internacionalmente.

Se incluyeron expedientes de 45 participantes. La edad promedio fue de 43 años, 82.2% parapléjicos y 17.8% con comorbilidades. Las principales localizaciones de las úlceras fueron: sacra (40%), isquiática (29%) y trocantérica (19%). El tamaño de las lesiones fue de 4 cm, o menos, en el 46% de los pacientes y el colgajo dermograso se realizó en 59% de los casos. El 26% de los operados presentaron complicaciones post operatorias, principalmente dehiscencia (67%), infección (17%), osteomielitis (8%) y dehiscencia con infección (8%).

Las úlceras por decúbito afectan a pacientes de cualquier edad, en su mayoría parapléjicos. La tasa de complicaciones estimada fue del 26%, que está dentro del rango de valores reportados internacionalmente (20-40%). Esta es la primera descripción de las complicaciones post operatorias de las úlceras por decúbito para el Seguro Social de Guatemala.

PALABRAS CLAVES: Úlcera por decúbito, úlceras por presión, complicaciones post operatorias, úlceras operadas, colgajos y úlceras.

Description of decubitus ulcers, surgical management, and post-operative complications in male patients treated at social security General Trauma Hospital of Guatemala from 2017 to 2019

ABSTRACT: Decubitus ulcers are skin and underlying tissue lesions that arise from prolonged pressure on an area: its prevalence is 3 - 11% in hospitalized patients. It is frequently assumed that 70% of these ulcers occur in the first two weeks of hospitalization. Decubitus ulcers are classified according to their location, dimensions, and depth; ulcers classified as grade III and IV in depth need surgical treatment. The nature and rates of these post-operative complications of these injuries are unknown in Guatemala's Social Security Institute. In this study, were described the complications of patients operated on for a pressure ulcer at the Trauma Hospital of Guatemala's Social Security Institute. A descriptive cross-sectional study was performed in male affiliated to social security health system, operated for pressure ulcers during the period 2017 - 2019. Data was collected from patients' medical records (demographics, comorbidities, type of ulcer and flap performed, complications, among others), and was determined the rate of complications, which was compared with internationally reported values.

Records of 45 participants were included. The average age was 43 years, 82.2% paraplegic and 17.8% with comorbidities. The main locations for the ulcers were sacral (40%), ischial (29%), and trochanteric (19%). The size of the lesions was 4 cm or less in 46% of the patients and the dermo subcutaneous tissue flap was performed in 59% of the cases. Twenty six % of the operated patients presented post-operative complications, mainly dehiscence (67%), infection (17%), osteomyelitis (8%) and dehiscence with infection (8%).

Decubitus ulcers affect patients of any age, mostly paraplegics. The estimated complication rate was 26%, which is within the range of internationally reported values (20-40%). This is the first description of pressure ulcers post-operative complications for Guatemala's Social Security Institute

KEYWORDS: Decubitus ulcer, pressure ulcers, post-operative complications, operated ulcers, flaps and ulcers.

Introducción

Una úlcera por presión o decúbito es aquella lesión que es provocada por isquemia del tejido blando con muerte celular, ocasionada por presión sostenida por un largo período de tiempo o fricción entre dos planos duros, en un área específica del cuerpo que resulta en ulceración y daño al tejido subyacente. En la mayoría de los casos se manifiestan en la piel que recubre las partes óseas del cuerpo, como talones, tobillos, caderas y coxis, siendo la úlcera sacra la que se manifiesta con mayor frecuencia. (10).

Estas lesiones se han reportado desde la antigüedad y se han descrito tratamientos y clasificaciones que se siguen utilizando actualmente. El principal avance en el tratamiento de estas lesiones ocurrió durante la Segunda Guerra Mundial (1). Las úlceras por decúbito se clasifican de acuerdo a su localización, dimensiones y profundidad; siendo esta última la clasificación más utilizada (12). El Panel de Expertos de Europa en Úlceras por Presión (EPUAP, por sus siglas en inglés) clasifica las úlceras en 4 grados de acuerdo con su profundidad (8).

La prevalencia de estas lesiones intrahospitalarias varía entre países, oscilando entre el 3 al 14%, este porcentaje varía dependiendo del servicio de internación del paciente siendo más alto en las unidades de cuidados intensivos (22 a 33%), así como del diagnóstico del paciente evaluado (fracturas de fémur hasta el 66%) (1, 4, 9, 10). Se estima que el 70% de las úlceras formadas se desarrollan en las dos primeras semanas de hospitalización (2).

El tratamiento que recibe cada tipo de úlcera por decúbito se debe de individualizar y se basa en su mayor parte en el grado de profundidad de la misma, así como la presencia o no de infección, fistulas y comorbilidades que tenga el paciente. (1, 2).

Las complicaciones post operatorias que presentan algunos pacientes pueden estar ligadas directamente al acto quirúrgico o bien con las comorbilidades que el paciente presenta. Estudios en Chile y Colombia han estimado que la tasa de complicaciones post operatorias aceptable oscila entre un 20 y 40 %. (10,12).

Actualmente se desconoce la naturaleza y la tasa de complicaciones que presentan los pacientes que han sido operados por úlceras por decúbito en los servicios de Cirugía Plástica de Hombres en el principal hospital de accidentes del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS). En este estudio se describió la condición, las características de los pacientes que la padecieron en el período 2017 - 2019 y se compararon las razones de prevalencia de complicaciones con las reportadas por otros países de Latinoamérica.

La hipótesis de investigación es que la tasa de complicaciones post tratamiento quirúrgico de las úlceras por decúbito en pacientes operados en el Hospital General de Accidentes del seguro social, durante los años 2017 al 2019 está dentro del rango reportado por otros hospitales a nivel internacional.

Métodos

Se realizó un estudio descriptivo retrospectivo de corte transversal; en el Hospital General de Accidentes Ceibal, perteneciente a la red de hospitales del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social de la Ciudad de Guatemala. Este es el hospital de referencia a nivel nacional para todos los pacientes afiliados que sufren un trauma. El hospital cuenta con todas las especialidades relacionadas con traumatología; Medicina Interna, Cirugía General, Cirugía Plástica, Traumatología y Ortopedia, Cirugía de Mano, Pelvis y Cadera, Intensivo (16).

La población bajo estudio fueron todos aquellos pacientes afiliados que cumplieron con la definición de caso de complicación de úlcera por decúbito: *pacientes afiliados al seguro social, que estuvieron internados en los servicios de Cirugía de Hombres I y II del Hospital General de Accidentes, que fueron operados por úlcera por decúbito con cirugías reconstructivas y que presentaron complicaciones antes de ser egresados durante su período post operatorio, durante los años 2017 al 2019.*

Los criterios de inclusión fueron que el paciente estuviera afiliado o fuera beneficiario del seguro social, que tuviera 18 años o más, de sexo masculino, haber sido intervenido quirúrgicamente de úlcera por decúbito durante el período comprendido entre el 1 de enero del 2017 y el 31 de diciembre del 2019, tener un expediente clínico (historia clínica) en el archivo del hospital y que la selección del colgajo realizado se hubiera basado en el protocolo del Instituto de Rehabilitación Psicosfísica (IREP) de la ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, que son los lineamientos adoptados por el Seguro Social. Se excluyó los expedientes los pacientes cuya historia clínica no estuviera documentada adecuadamente en el libro de egresos del servicio.

Se revisaron los libros de egresos de los servicios de Cirugía de Hombres I y II, para identificar aquellos pacientes que tuvieron diagnóstico de egreso de úlcera por decúbito, se revisó las historias clínicas y se seleccionó los casos que cumplieran con los criterios de inclusión. Se recolectaron datos de la información demográfica de los pacientes, comorbilidades, evolución de la condición y complicaciones post operatorias. Se ingresaron los datos a una base de datos en Excel y se realizó el control de calidad del ingreso revisando el 10% de los registros. En caso de discrepancia de más del 5% se ingresó nuevamente la información y se repitió la revisión.

Los datos fueron analizados utilizando el paquete estadístico R versión 3.5.1 (2018-07-02) calculando: la razón de prevalencia de complicaciones post operatorias de úlcera por decúbito y se comparó los valores obtenidos contra los reportados en otras regiones del mundo.

Aspectos éticos: Se mantuvo el anonimato de los pacientes, asignándoles un código único con base al año y número de caso, desvinculado de identificadores personales. El estudio fue

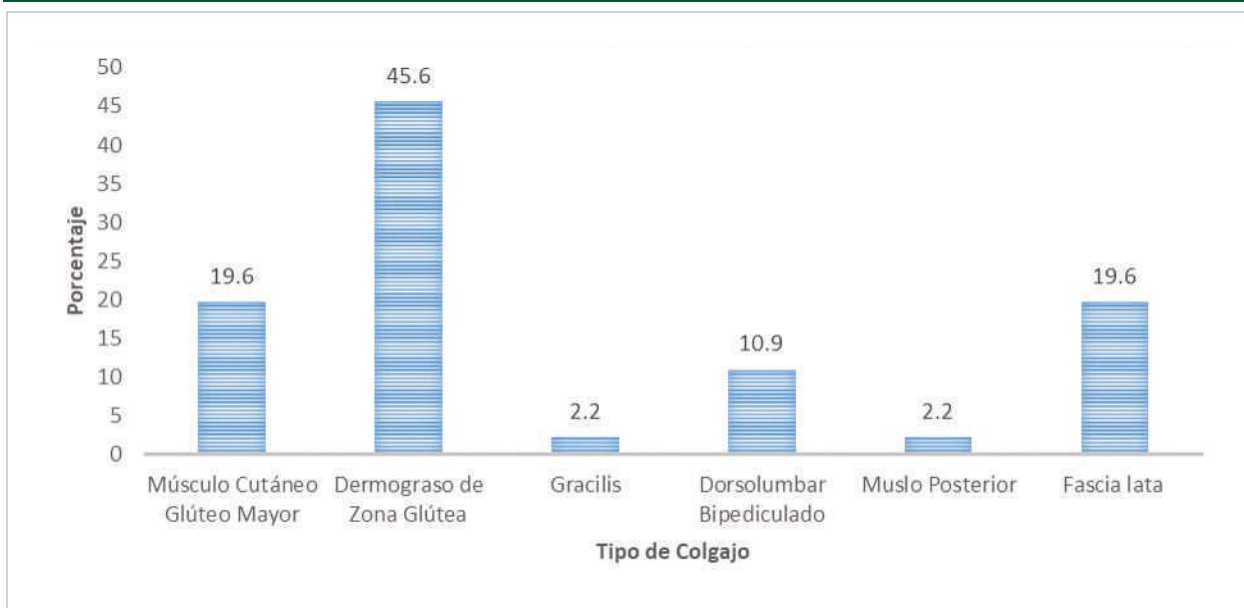


Figura 1. Tipo de colgajo realizado como tratamiento quirúrgico para la úlcera por decúbito en los pacientes del estudio, Hospital General de Accidentes, Ceibal, IGSS, 2017-2019.

aprobado por la oficina de Investigación y Desarrollo del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social y Comité de Ética en Investigación del Centro de Estudios en Salud de la Universidad del Valle de Guatemala (204-01-2020).

Resultados

Se revisaron 201 expedientes y se incluyeron en el estudio a 45 participantes; de los 156 expedientes que se descartaron fue por no tener un expediente en el archivo del hospital (10 expedientes), la selección del colgajo no fue realizada según el protocolo del IREP (40 expedientes) y 106 expedientes no tienen datos completos en el libro de egresos del servicio.

De los participantes todos eran de sexo masculino, con una mediana de edad de 44 años, rango de 20 a 91. El 36% (16/45) estaba comprendido en el grupo de 40 a 49 años; el 73% (33/45) eran menores de 50 años.

En total se incluyó información de 48 úlceras, - ya que tres pacientes presentaron dos úlceras. El 40% (19/48) de las úlceras fueron sacras, el 29% (14/48) isquiáticas y el 19% (9/48) trocantéricas.

El rango de tamaño de las úlceras fue de 2 a 15 cm, con un promedio de 11.59 cm. El 46% (22/48) de las úlceras tuvieron un tamaño de 4 cm o menos, el 37% (18/48) tuvieron un tamaño mayor a 4 cm o igual o menor a 8 cm y el 17% (8/48) tuvieron un tamaño mayor a 8 cm.

Se identificó la realización de 46 colgajos (para dos pacientes con dos úlceras se utilizó el mismo colgajo), la mayoría dermograsos 59% (27/46); de estos, 21 (46%) fueron colgajos

dermograso de la zona glútea a base superior irrigado por las perforantes de la arteria glútea superior, 5 (11%) fueron colgajos dermograso de la región lumbar, bipediculado, con ambas bases en la región glútea, irrigado por las perforantes de las arterias glúteas superiores y 1 (2%) fue colgajo dermograso con irrigación random de la cara posterior del muslo, ver figura 1.

A su ingreso el 17.8% (8/45) de los participantes reportaron comorbilidades, principalmente diabetes 37.5% (3/8), hipertensión 25% (2/8) e insuficiencia renal crónica 25% (2/8).

De los 52 diagnósticos de ingreso, el 13% (6/45) de los participantes tuvieron más de un diagnóstico de ingreso previo al tratamiento quirúrgico, el más frecuente fue infección de la úlcera con un 75% (39/52), trauma craneo encefálico 13% (7/52), insuficiencia renal crónica el 4% (2/52), escara, absceso en glúteo, sepsis urinaria e infección urinaria el 2% (1/52) cada una.

Se determinó que 12 de los 45 pacientes (26.7%) presentaron algún tipo de complicación previo al egreso; siendo dehiscencia la más común (67%, 8 de 12 pacientes).

De las úlceras sacras operadas con colgajo dermograso de la zona glútea a base superior, el 14.3% (3 de 21) presentaron complicaciones, siendo todas dehiscencia; de las úlceras trocantéricas operadas con colgajo músculo cutáneo de fascia lata movilizado en 90 grados, el 55.5% (5 de 9) presentaron complicación, siendo estas 60% dehiscencia y un 40% infección, y las úlceras isquiáticas operadas con colgajo músculo cutáneo de glúteo mayor a pedículo inferior con cierre en VY presentaron complicaciones en el 28.6% (4 de 14) siendo estas 50% dehiscencia, 25% osteomielitis y 25% infección con dehiscencia, ver figura 2.

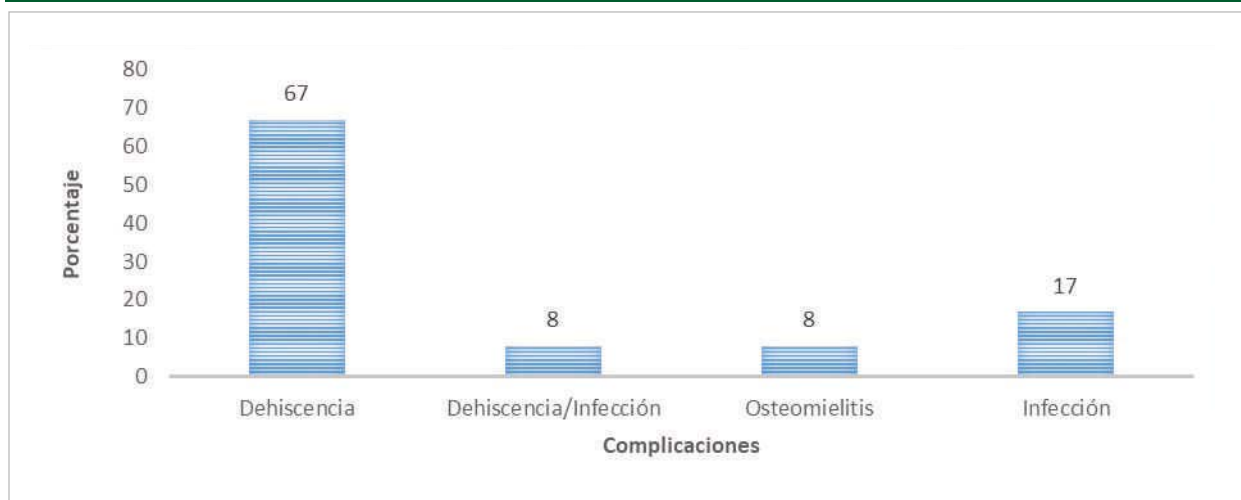


Figura 2. Tipos de complicaciones reportadas en los pacientes operados de úlceras por decúbito en Hospital General de Accidentes, Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, 2017-2019.

De acuerdo al tamaño de la úlcera las de 4 cm o menos presentaron un 27% de complicaciones (6/22) siendo la dehiscencia la más frecuente (50%), de las úlceras mayores de 4 cm pero menores o igual a 8 cm presentaron un 16% de complicaciones (3/18) siendo la dehiscencia la más frecuente (100%) y de las úlceras mayores a 8 cm, el 50% (4/8) presentaron complicaciones siendo la dehiscencia e infección las más frecuentes (50% cada una)

Respecto a la estancia hospitalaria post operatoria el menor tiempo fue de 2 días y el mayor de 60, con un promedio de 19.04 días. Se excluyeron tres pacientes por tener estadías prolongadas no relacionadas con la cirugía (infarto cardíaco, infección de prótesis de cadera y un egreso contraindicado o alta voluntaria por parte del paciente). El 88% (37/42) de los pacientes recibieron el alta hospitalaria el día 30 o antes y el 40% (17/42) tuvieron una estancia de 10 días o menos.

El 82.2% (37/45) de los pacientes con úlceras por decúbito incluidos en el estudio reportaron paraplejía, siendo esta secundaria a una herida por proyectil de arma de fuego en el 68% (25/37) de los casos y trauma raquimedular en el 32% (12/37).

Discusión

Al realizar esta investigación se obtuvo la primera descripción demográfica de los pacientes operados en el seguro social con úlceras por decúbito, así como la razón de prevalencia de las complicaciones postoperatorias.

Todos los participantes fueron de sexo masculino, debido a que se evaluó el servicio de Cirugía Plástica de Hombres. Este tipo de patologías (úlceras por decúbito) son más frecuentes en el género masculino debido a que sufren más accidentes de tránsito

o heridas por proyectil de arma de fuego en comparación con el género femenino.

La mayoría de los participantes (60%) incluidos residen en el departamento de Guatemala.

Las úlceras por decúbito afectan pacientes de cualquier edad, con una mayor incidencia en pacientes adultos mayores por arriba de los 65 años que padecen de alguna condición que predispone a la aparición de las mismas como son la paraplejía o lesiones neurológicas con secuelas, lo que obliga al paciente a permanecer en una misma posición por períodos de tiempo prolongados (9, 13). En este estudio se determinó que el grupo etario más afectado fue el de 40 a 49 años con el 36%, similar a los hallazgos reportados por Sheejan en un estudio realizado en la India en el que el 42.8% de los afectados estaba comprendido entre los 40-49 años (14). Al compararlo con los datos reportados por Soldeville, en un estudio realizado en España, en el que el 84.7% de los afectados era el grupo etario mayor de 65 años; la diferencia de edades encontrada puede ser secundario a que la población guatemalteca que consulta al hospital de accidentes del seguro social son víctimas de accidentes o de lesiones por arma de fuego y no personas mayores debilitadas por edad avanzada como en el caso de España.

En este estudio se logró establecer que el 82.2% de los participantes con úlceras por decúbito tienen paraplejía, el 17.8% restante tienen otros diagnósticos como trauma de cráneo con secuelas neurológicas que son factores predisponentes de formación de las úlceras por decúbito.

La úlcera que se reportó con mayor frecuencia es la sacra, descrita como la del período agudo de la condición, seguida por las isquiáticas y trocántéricas. La facilidad de la formación de la úlcera sacra se puede explicar por el grosor del tejido

celular subcutáneo y de los músculos de la región, lo prominente del hueso sacro, la falta de movilidad de la posición de decúbito supino entre otros. Estas frecuencias son similares a las observadas en estudios realizados en otros hospitales a nivel latinoamericano (4,5, 6, 11).

No es de extrañarse que el colgajo que se realizó con mayor frecuencia haya sido el dermograsso de la zona glútea a base superior tal como lo establece el protocolo propuesto por los doctores Yohena y Olivero Vila en Argentina (15), siendo estas directrices utilizadas en este hospital desde el 2017 por el departamento de Cirugía Plástica. Este es el colgajo establecido como primera elección en el tratamiento reconstructivo para defectos menores de 8 cms de la región sacra que en nuestra investigación fueron el 41.3% de los casos.

Se calculó la razón de prevalencia de las complicaciones presentadas por los pacientes operados en el seguro social obteniendo un valor del 26.7%; valor que está dentro de los valores reportados por otros hospitales (20 a 40%) en estudios realizados en centros de atención médica como el hospital El Tunal, en Bogotá, Colombia (7, 10, 12). Siguiendo la normativa establecida por el Instituto de Rehabilitación Psicosfísica, de Buenos Aires, Argentina, para el tratamiento de las úlceras por decúbito en pacientes parapléjicos se obtuvieron resultados aceptables al momento de operar los pacientes ulcerados; con lo que podemos establecer que al seguir este protocolo estaremos minimizando la incidencia de complicaciones, disminuyendo la estancia hospitalaria y por ende los costos hospitalarios. Por lo que es importante el socializar esta normativa a otros hospitales para que puedan obtener resultados similares a los nuestros.

Dentro de las complicaciones reportadas en la literatura se presentan con mayor frecuencia: las agudas como necrosis del colgajo (18.4%), hematoma (4.3%), seroma (7.6%), infección (3%) y dehiscencia (18.4%) y dentro de las crónicas, la recurrencia (40-79%) (10, 12).

La complicación más frecuente que presentaron los pacientes en el periodo postoperatorio fue la dehiscencia de la herida operatoria en un 67% de los casos, lo cual puede estar relacionado con el estado nutricional del paciente, falta de movilización, no tolerar el decúbito prono, entre otras (12).

Se determinó que 12 de los 45 pacientes (26.7%) presentaron algún tipo de complicación previo al egreso; siendo dehiscencia la más común (67%, 8 de 12 pacientes), en las úlceras sacras operadas con colgajo dermograsso de la zona glútea a base superior, fue del 100% (3 de 3); de las úlceras trocantéricas operadas con colgajo músculo cutáneo de fascia lata movilizado en 90 grados, fue del 60% (3 de 5) y de las úlceras isquiáticas operadas con colgajo músculo cutáneo de glúteo mayor a pedículo inferior con cierre en VY, fue del 50% (2 de 4) dehiscencia.

El 40% de los pacientes tuvieron el alta hospitalaria después del procedimiento quirúrgico a los 10 días o antes. En el 85% de los casos se dio el alta antes de los 30 días y esto fue secundario

a tratamiento antibiótico prolongado por bacterias multiresistentes. Las estancias hospitalarias largas aumentan los costos de internación ya que se requiere de muchos recursos para el tratamiento de las mismas (personal médico, paramédico, insumos), (1, 3).

Como recomendación se debe de trabajar en conjunto con el departamento de rehabilitación y fisioterapia de la institución para evitar la formación de las úlceras sacras (en su mayoría) intra-hospitalarias, así como brindar el apoyo a familiares de los pacientes para el cuidado del mismo en casa y así evitar recidivas o formación de nuevas úlceras. También proporcionar la medicación apropiada para evitar espasmos y contracciones que son factores predisponentes para la dehiscencia de las heridas.

Dentro de las limitaciones encontradas en el estudio, resaltó lo incompleto de la información de los expedientes médicos de los participantes seleccionados, principalmente el tiempo de apareamiento de la úlcera por decúbito; por lo que no fue posible contrastar esta información contra lo reportado en la literatura que establece que las úlceras por decúbito en un ambiente hospitalario se forman en las primeras dos semanas de internación (2). Tampoco se obtiene información referente a si el paciente vive solo o tiene el apoyo de algún familiar, no se establece, peso, estado anímico ni nutricional del paciente.

Conclusiones

- Se obtuvo la primera descripción demográfica de los pacientes operados en el Seguro Social de Guatemala con úlceras por decúbito, las cuales afectan a pacientes en un rango de edad entre 20 a 91 años, con una mayor incidencia en pacientes entre 40 a 49 años, que tienen una condición que los predispone a permanecer en una misma posición por períodos prolongados de tiempo.
- La úlcera que se reportó con mayor frecuencia fue la sacra (40%) lo que concuerda con el colgajo que se realizó con mayor frecuencia fue el dermograsso.
- La razón de prevalencia obtenida de las complicaciones presentadas por los pacientes operados fue de 26%; valor que está dentro de los valores reportados en estudios realizados por otros centros de atención médica (20 a 40%) de América Latina. Se puede decir que, siguiendo la normativa establecida por el Instituto de Rehabilitación Psicosfísica, de Buenos Aires, Argentina, se obtienen buenos resultados al momento de operar a los pacientes ulcerados.
- La principal complicación encontrada fue dehiscencia en un 67% de los casos, siendo esta 100% en úlceras sacras, 60% en trocantéricas y 50% en isquiáticas. En los pacientes evaluados la principal causa de estadías prolongadas hospitalarias fueron las infecciones con gérmenes multi-resistentes que ameritaron esquemas de tratamiento antibiótico endovenoso largos.

- Los resultados de este estudio servirán como referencia para diseñar estrategias para prevenir las complicaciones post operatorias de úlceras por decúbito y disminuir la prevalencia de complicaciones en los pacientes tratados y optimizar el recurso limitado que poseen los servicios de salud.

Agradecimientos

Agradezco a mi supervisor técnico para el desarrollo de esta investigación, Licenciada Renata Mendizábal.

Bibliografía

- Alfonso, J., Cairos, J., López, L. (2007) *Cirugía reconstructiva de las úlceras por presión* Revista Cubana de Cirugía 46 (3) 0-0.
- Arango, C., Fernández, O., Torres, B. (s. f.). Capítulo 21 *Úlceras por presión. Tratado de Geriatria para Residentes*. Antón Jiménez, A., Abellán Van Kan, G, Sociedad Española de Geriatria y Gerontología (2007) *Tratado de geriatría para residentes* (pp. 217-226) Madrid, España: International Marketing and Communication, SA.
- Arévalo Velasco, J.M., y Cabello Granada, P.A. (2013) *Coste en el sistema sanitario español del tratamiento de un paciente lesionado medular con úlcera por presión* Cirugía Plástica Ibero-Latinoamericana, 39 (1): 67-71. <https://doi.org/10.4321/S0376-78922013000100009>
- Blanes, L., Duarte, I. da S., Calil, J.A., Ferreira, L.M. (2004) *Avaliação clínica e epidemiológica das úlceras por pressão em pacientes internados no Hospital São Paulo* Revista da Associação Médica Brasileira 50 (2): 182-187. <https://doi.org/10.1590/S0104-42302004000200036>
- Dicini, S., Camaduro, C., Iida, L.I.S. (2009) *Incidência de úlcera por pressão em pacientes neurocirúrgicos de hospital universitário* Acta Paulista de Enfermagem 22(2), 205-209. <https://doi.org/10.1590/S0103-21002009000200014>
- Gonzalez Consuegra, R.V., Cardona Mazo, D.M., Murcia Trujillo, P.A., Martiz Vera, G.D. (2015) *Prevalencia de úlceras por presión en Colombia: Informe preliminar* Revista de la Facultad de Medicina, 62 (3): 369-377. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v62n3.43004>
- Kwok, A.C., Simpson, A.M., Willcockson, J., Donato, D.P., Goodwin, I.A., Agarwal, J.P. (2018a) *Complications and their associations following the surgical repair of pressure ulcers* The American Journal of Surgery 216 (6):1177-1181. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2018.01.012>
- Louro, M., Ferreira, M., Póvoa, P. (2007) *Avaliação de protocolo de prevenção e tratamento de úlceras de pressão* Revista Brasileira de Terapia Intensiva 19 (3): 337-341. <https://doi.org/10.1590/S0103-507X2007000300012>
- Mejía, J.C., Alosilla, A.D.C. (2019) *Indicadores clínico epidemiológicos asociados a úlceras por presión en un hospital de Lima* Revista de la Facultad de Medicina Humana 19 (2): 9-9.
- Prado, A. (2005) VII. *Úlceras por presión* En: P. Andrades, *Cirugía Plástica Esencial* (Primera, p. 225). Universidad de Chile.
- Rogenski, N.M.B., Santos, V.L.C. de G. (2005) *Estudo sobre a incidência de úlceras por pressão em um hospital universitário* Revista Latino-Americana de Enfermagem 13 (4): 474-480. <https://doi.org/10.1590/S0104-11692005000400003>
- Salazar, M.A. (s. f.). *Tratamiento quirúrgico de úlceras por presión en el Hospital El Tunal de Bogotá* Recuperado 31 de agosto de 2019, de <https://docplayer.es/74277136-Tratamiento-quirurgico-de-ulceras-por-presion-en-el-hospital-el-tunal-de-bogota.html>
- Soldevilla Agreda, J.J., Torra i Bou, J.-E., Verdú Soriano, J., Martínez Cuervo, F., López Casanova, P., Rueda López, J., Mayán Santos, J.M. (2006) *2o Estudio Nacional de Prevalencia de Úlceras por Presión en España, 2005: Epidemiología y variables definitorias de las lesiones y pacientes Gerokomos* 17 (3): 154-172.
- Sheja Ratyan, T.M., Satyan, R., Sreelesh, L.S. (2016) *Surgical reconstruction in pressure ulcers- a retrospective study of the workhorse flap options* Journal of Evidence Based Medicine and Healthcare 3 (92): 5023-5027. <https://doi.org/10.18410/jebmh/2016/1054>
- Yohena, R., Olivero-Villa, R. (2004) *Úlceras sacras. Normatización de la selección de colgajos según la forma del defecto* Revista Argentina de Cirugía Plástica 2004.
- Trifoliar Hospital General de Accidentes Ceibal, 2018. Recuperado de <https://www.igssgt.org/wp-content/uploads/images/prevencion/2018/Trifoliar-Hospital-General-de-Accidentes-Ceibal-2018.pdf>

Reseña del Primer Congreso Mesoamericano de Astronomía Cultural

Tomás Barrientos Q.¹ y
Ernesto Arredondo L.¹

¹Centro de Investigaciones Arqueológicas y Antropológicas,
Departamento de Arqueología, Universidad del Valle de
Guatemala

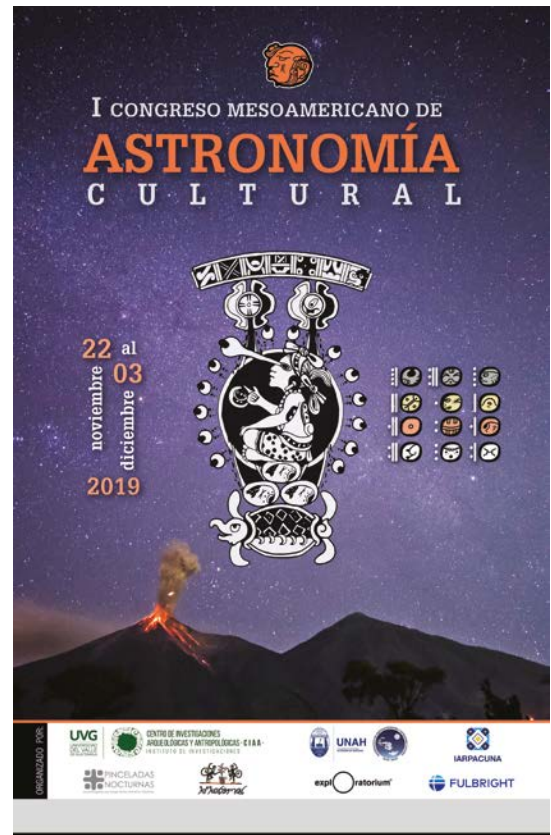


Figura 1. Póster del Primer Congreso Mesoamericano de Astronomía Cultural.

Hace 30 años, Stanislaw Iwaniszewski (1991:287) definió el concepto de *astronomía cultural*, como el estudio de las relaciones humanas - astronómicas llevadas a cabo en un contexto cultural lo cual no solo abarca los estudios tanto de la arqueoastronomía como la etnoastronomía, sino de cualquier ciencia astronómica, incluyendo la Occidental. Desde entonces, el concepto ha sido incorporado recientemente por otros investigadores trabajando en la región maya y mesoamericana (Aveni 2008; Mejuto 2014, 2016). Dentro de este contexto y después del éxito del *Primer Encuentro de Arqueoastronomía en Guatemala* (Barrientos 2012), varios arqueólogos, físicos, científicos mayas, fotógrafos y otros colaboradores de diversos campos académicos crearon el *Primer Congreso Mesoamericano de Astronomía Cultural* (CONMESAC).

Como resultado, en noviembre y diciembre de 2019, se reunieron astrónomos, guías espirituales Mayas, arqueólogos, físicos, astrofotógrafos, autoridades indígenas locales y

representantes de instituciones de gobierno, para presentar, analizar, intercambiar y discutir diferentes temas astronómicos del pasado y presente, considerando la diversidad de fundamentos científicos y culturales, especialmente sobre sus concepciones de los fenómenos celestes.

El evento fue organizado por varias instituciones educativas y otras organizaciones nacionales e internacionales, principalmente la *Universidad del Valle de Guatemala* (Centro de Investigaciones Arqueológicas y Antropológicas, Departamento de Física y la Maestría en Turismo Sostenible), la *Universidad Nacional Autónoma de Honduras* (Departamento de Arqueoastronomía y Astronomía Cultural), *Pinceladas Nocturnas* (Proyecto de Astrofotografía), la *Escuela Ki'kotemal* (Comunidad y Centro Cultural Maya) y el *Exploratorium Museum* de San Francisco, con el apoyo del programa *US Global Scholar Fulbright* (figura 1).



Figura 2. Organizadores y conferencistas del Primer Congreso Mesoamericano de Astronomía Cultural: (Fila posterior, izquierda a derecha) Vicentina Galiano, Aroha Rawson, Arna Turua Tao, Ixkik Poz, Tepeu Poz, Ron Sutcliffe, Tomás Barrientos, Ernesto Arredondo, Javier Mejuto, Guillermo Barreno, Bettymaya Foot. (Primera fila, izquierda a derecha) Sergio Montúfar, Babak Tafreshi, Isabel Hawkins (Foto por Sergio Montúfar)



Figura 3. Presentación de la representante del pueblo Māori de Nueva Zelanda, Aroha Rawson. Universidad del Valle de Guatemala (Foto por Tomás Barrientos)

Jesús Galindo (UNAM), Rodrigo de La Torre (CIESAS), Galina Yershova (CEMYK), Marion Popenoe de Hatch (UVG), Josué Ramos (UNAH), Steffany Martínez (UNAM) y Hans Martz (INAH). Los temas presentados se relacionaron con ciclos lunares y solares, arte rupestre y arqueología de paisaje, entre otros.

En cuanto al conocimiento por parte de los pueblos originarios mesoamericanos, se contó con las presentaciones de María Ávila (Maya Yukateka), Guillermo Barreno (Ki'kotemal), Ixkik Poz (Ki'kotemal), José Tiguilá (Swan Tinamit), Xaab Vargas (Wejen Kajen), Javier Méndez (Ceimat), Rigoberto Iztep (Misión Wajxaqib' B'atz'), María Ixcot (Liga Maya Internacional), Oswaldo Lem (Comunidad Poq'om), Tepeu Poz (Ki'kotemal), José Mucia (Universidad Maya Kaqchikel), Clemente Peneleu (Oxlajuj Winaq') y Baudilio Sis (Balam Saq'be), con temas relacionados a calendarios, códigos, escritura, constelaciones, nombres de astros, ciclos lunares, cosmovisión, el número cero y la descolonización del conocimiento. Fue también de gran relevancia la participación de representantes de pueblos originarios de otras partes del mundo: Aroha Rawson (Maori), Arna Turua Tao (Maori), Vicentina Galiano (Quechua) y Aparna Venkatesan (Hindu) (figura 3).

El congreso se llevó a cabo en nueve diferentes localidades de Guatemala entre el 22 y 29 de noviembre de 2019, y en Copán, Honduras, del 20 de noviembre al 2 de diciembre del mismo año. Se contó con un total de 33 conferencistas originarios de 12 países (Argentina, España, Estados Unidos, Guatemala, Honduras, India, Irán, México, Nueva Zelanda, Perú, Polonia y Rusia), los cuales participaron en conferencias magistrales, mesas redondas y talleres para diferentes audiencias (figura 2).

En el campo de la arqueoastronomía, se contó con la destacada participación del Stanislaw Iwaniszewski (INAH) y Ron Sutcliffe (Chimney Rock National Park), así como Javier Mejuto (UNAH),

Los astrónomos y astrofísicos también tuvieron una participación importante, así como el destacado astrofotógrafo iraní Babak Tafreshi (NGS). Se contó con las presentaciones de Rodrigo Sacahuí (USAC), Enrique Pazos (USAC), Paola Oliva-Altamirano (Alpha-Cen), Eleonora Poitevin (AGA), Isabel Hawkins (Exploratorium), Sergio Montúfar (Pinceladas Nocturnas), Bettymaya Foot (IDA) y Connie Walker (NOAO), quienes expusieron sobre los logros recientes de la astronomía occidental, proyecciones climáticas y la conservación de cielos oscuros (figura 4).

Adicionalmente, Víctor Ayerdi (UVG) presentó sobre el Satélite Quetzal 1; Matilde Ivic (UVG) sobre el evento *Nombrar una Estrella*; Ernesto Arredondo (UVG) sobre el Antropoceno; Claire



Figura 4. Presentación del reconocido astrofotógrafo iraní Babak Tafreshi. Universidad del Valle de Guatemala (Foto por UVG)

Dailles (UVG) sobre la interpretación aplicada al astroturismo; y Tomás Barrientos (UVG) presentó las conclusiones del evento.

Para poder facilitar la expresión e intercambio de ideas, se realizaron varios viajes de campo, especialmente observaciones

nocturnas en tres ciudades Mayas antiguas (Semetabaj, Tak'alik Ab'aj, y Copán) (figura 5), ya que éstas constituyen un marco ideal para unificar diferentes formas de conocimiento astronómico pasado y actual.

Las observaciones con telescopio fueron combinadas con interpretaciones ancestrales del cielo, como una forma de experimentar un diálogo intercultural y así buscar complementariedades interpretativas. También hay que mencionar que el congreso también se asoció a las actividades del evento *Antigua Estelar*, que se realizó en La Antigua Guatemala el jueves 28 de noviembre por la noche.

Todas las actividades del congreso se llevaron a cabo de la forma planificada, gracias a la colaboración de instituciones gubernamentales de Guatemala (*Instituto Guatemalteco de Turismo, Dirección General del Patrimonio Cultural y Natural, Parque Nacional Tak'alik Ab'aj*) y Honduras (*Instituto Hondureño de Antropología e Historia*). También colaboraron varias ONGs, clubes, asociaciones y empresas: *Asociación Guatemalteca de Astronomía (AGA), Asociación Guatemalteca de Física (AGF), Planetario Cosmos, Club Educativo Casiopea, Asociación de Guías de Turismo de Guatemala, Jade Maya S.A., Ecomuseo y Casa de la Cultura de San Andrés Semetabaj*. De las universidades guatemaltecas, se tuvo apoyo por la *Escuela de Ciencias Físicas y Matemáticas de la USAC (ECFM-USAC), Centro de Estudios Atitlán de la UVG (CEA-UVG) y Club de Astronomía de la UVG*. En cuanto a organizaciones internacionales, se contó con el apoyo de *National Geographic*,



Figura 5. Cielo nocturno en el sitio arqueológico Semetabaj, visto desde el Montículo 12. (Foto por Sergio Montúfar)

Astronomical Union (IAU) y *The World at Night* (TWAN). Adicionalmente, para las giras de campo se contó con el patrocinio de varios hoteles, restaurantes y otras empresas.

Para las conferencias y visitas de campo se tuvo una participación total de más de 500 personas de diferentes edades y contextos culturales, donde fue muy importante el involucramiento de muchos estudiantes de UVG de distintas carreras (figura 6).

Objetivos, resultados y conclusiones del evento

El principal objetivo del I CONMESAC fue la incorporación del conocimiento de las poblaciones originarias Mayas a las discusiones astronómicas actuales. Se dio énfasis especial a la asociación entre astronomía y cosmovisión ancestral, así como también el tema de la conservación de cielos oscuros como un patrimonio mundial y su potencial para el desarrollo del astroturismo como una forma sostenible de diseminación del conocimiento cultural de las poblaciones originarias del área.

El congreso también fue concebido usando el concepto del *enfoque de investigación transdisciplinaria*, que puede ser definido como una investigación participativa donde los actores de la ciencia y la sociedad trabajan conjuntamente. Este enfoque ofrece medios para promover la integración del conocimiento y buscar soluciones para los problemas sociales complejos, el cual puede ser aplicado dentro de una multiplicidad de sistemas epistémicos (Berger-González et al. 2016:77, traducción por T. Barrientos). Esta metodología ha probado ser una fuente confiable y efectiva para realizar un diálogo científico entre diferentes culturas y cosmovisiones (Ivic y Azurdia 2008; Consejo Mayor de Médicos Maya'ob' por Nacimiento y Berger-González 2016).

Así, durante este congreso, varias cosmovisiones diferentes, que a veces se han etiquetado como *opuestas* entre sí, pudieron converger con integridad en un modelo de diálogo que vale la pena replicarlo no solo en la región mesoamericana, sino en otras partes del mundo (figura 7).



Figura 6. Asistentes al Primer Congreso Mesoamericano de Astronomía Cultural, Universidad del Valle de Guatemala (Foto por Babak Tafreshi).



Figura 7. Aprendiendo astronomía y agricultura de las palabras del Abuelo Maya Mam, Felix Ixcot, en la Comunidad y Centro Cultural Ki'kotemal, Quetzaltenango (Foto por Tomás Barrientos)

El Primer Congreso Mesoamericano de Astronomía Cultural representa un paso importante en el desarrollo de la astronomía cultural en general, pero especialmente para la región de México y Centroamérica, por lo que se espera que pueda continuar en nuevas ediciones en el futuro. La conclusión

principal del evento fue ratificar que la astronomía pertenece a todos, no importando su contexto cultural, y el conocimiento del cielo es un medio para la comunicación y diálogo entre culturas, lo cual es de suma relevancia en países como Guatemala.

Bibliografía

- Aveni, A. (ed.) (2008) *Foundations of New World Cultural Astronomy: A Reader with Commentary* University Press of Colorado.
- Barrientos, T (2012) *Encuentro de Arqueoastronomía en Guatemala* Revista de la Universidad del Valle de Guatemala 24: 119-120.
- Berger-González, M, Stauffacher, M, Zinsstag, J, Edwards, P, Krütli, P (2016) *Intercultural research on cancer healing systems between biomedicine and the Maya of Guatemala: A transdisciplinary approach to induce reciprocal reflexivity in a multi-epistemological setting* Qualitative Health Research 26 (1):77-91.
- Consejo Mayor de Médicos Maya'ob' por Nacimiento, Berger-González, M (2016) *Raxnaq'it Nuk'aslemal. Medicina Maya' en Guatemala* Asociación At'it'Ala'.
- Ivic, M, Azurdia, I (eds.) (2008) *Ciencia y técnica maya* Fundación Solar Guatemala con la colaboración del Consejo Nacional de Ancianos Principales y Guías Espirituales Mayas, Xincas y Garífunas.
- Iwaniszewski, S (1991) *Astronomy as a Cultural System*. Interdisciplinari izsledvaniya 18: 282-8.
- Mejuto, J (2014) *Tendencias curriculares en Astronomía Cultural* Ciencias Espaciales 7 (1): 116-131.
- Mejuto, J (2016) *Astronomía Cultural* Ciencia y Tecnología 19: 3-8.

Reseña del primer Congreso de Arqueología de la Diversidad: *las Mujeres en la Arqueología Guatemalteca*

Luisa F. Escobar, Jocelyne Ponce, Adriana de León

Centro de Investigaciones Arqueológicas y Antropológicas (CIAA).
arqueodiversidadgt@gmail.com




**CENTRO DE INVESTIGACIONES
ARQUEOLÓGICAS Y ANTROPOLÓGICAS - CIAA -**
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES



I Congreso de Arqueología de la Diversidad

*Las Mujeres en la
Arqueología Guatemalteca*

CONGRESO VIRTUAL

5 y 6 de marzo de 2021

Viernes: 6pm - 8pm
Sábado: 10am - 12pm y 4pm - 7pm

Programa:

- **Aportes y Trayectoria**
 - Marion Popenoe de Hatch
 - Patricia del Aguila
 - Amparo Herrera
 - Lilian Corzo
- **Mesa Redonda: Experiencias y Anécdotas**
 - Marlen Garnica
 - Rosa María Chan
 - Claudia Vela
 - Adriana Linares
 - Claudia Monzón
- **Análisis Crítico**
 - Josefina Iglesias
 - Daniela Triadan
 - Luisa Fernanda Escobar
 - María Auxiliadora Cordero
- **Mesa Estudiantil: UVG - USAC - CUDEP**



Registro: <https://n9.cl/xtbp>

Transmisión: Zoom y Facebook Live.

E - mail: arqueodiversidadgt@gmail.com

Búscanos en Facebook:
[arqueodiversidadgt](https://www.facebook.com/arqueodiversidadgt)

RESUMEN: Tras investigar y percatarse que existen espacios académicos limitados que incluyan temáticas arqueológicas diversas en Guatemala, se decidió crear y organizar el primer Congreso de Arqueología de la Diversidad (CAD). Dicha premisa junto con la conciencia de desigualdad de género sentó las bases para enfocar la temática de CAD en el papel de la mujer en la arqueología guatemalteca. El objetivo principal de CAD 2021 fue discutir la equidad en términos de género, academia y desarrollo profesional en la arqueología guatemalteca a través de una perspectiva interseccional, con el fin de obtener una síntesis de saberes y experiencias comunes a las que se enfrentan las mujeres en la arqueología nacional y global. La pandemia de COVID-19 dio pauta a que el congreso se celebrará de forma virtual el 5 y 6 de marzo de 2021, contando con la participación de 15 arqueólogas de diversas nacionalidades e instituciones, así como con la aportación de 6 estudiantes guatemaltecos de los principales centros educativos en arqueología de Guatemala (UVG, USAC y CUDEP).

PALABRAS CLAVE: Congreso de Arqueología de la Diversidad (CAD), Arqueología, Feminismo, Interseccionalidad, Diversidad, Género.

ABSTRACT: The planning and organization of the first Conference of Archeology of Diversity (CAD) took place because there are limited academic spaces to discuss diverse archaeological topics in Guatemala. These circumstances and awareness of gender inequality led to focus the theme of CAD on the role of women in Guatemalan Archeology. The main objective of CAD 2021 was to discuss equity in terms of gender, academic and professional development in Guatemalan Archeology through an intersectional approach. The conference highlighted common experiences and challenges that women face in national and global archeology. Due to the COVID-19 pandemic the conference was held virtually on March 5 and 6 2021. Fifteen female archaeologists of various nationalities and institutions participated, as well as six Guatemalan students from the main higher education centers of Guatemalan archaeology (UVG, USAC and CUDEP).

KEY WORDS: Conference of Archeology of Diversity (CAD), Archaeology, Feminism, Intersectional approach, Diversity Gender.

El origen del movimiento feminista en Guatemala

Historiadores como Jorge Luján (2019), destacan la primera participación de la mujer guatemalteca en la vida nacional durante la Revolución del 22 de octubre de 1944. Gracias a la lucha de mujeres, especialmente jóvenes y docentes, se establece por primera vez en la historia de Guatemala la ciudadanía de la mujer alfabeta y su derecho al voto. Para ese entonces las mujeres ya jugaban papeles importantes en la arqueología en Guatemala y otras partes del mundo. Esposas de arqueólogos extranjeros participaban en proyectos de investigación apoyando en diferentes ámbitos, principalmente como analistas de materiales; tal es el caso de Edith Bayle Ricketson en Uaxactún en la década de 1930, esposa del arqueólogo estadounidense Oliver Ricketson Jr. Otras mujeres como la arquitecta rusa Tatiana Proskouriakoff jugaron papeles protagónicos al realizar descubrimientos epigráficos que cambiaron la manera en que se percibe a los antiguos mayas.

La participación plena de las mujeres guatemaltecas en la arqueología nacional se dio unas décadas después con el desarrollo de la Licenciatura en Arqueología en la Universidad de San Carlos (USAC) y Universidad del Valle de Guatemala (UVG) en 1982 y 1974 respectivamente. Esto estuvo acompañado del surgimiento de espacios de empoderamiento femenino por parte de activistas, académicas y profesionales en la década de 1980 y 1990 en Guatemala. Se destaca la Unión Nacional de Mujeres Guatemaltecas (UNAMAG) y el rol de las mujeres víctimas del Conflicto Armado Interno (guerra civil entre 1960-1996), quienes formaron CONAVIGUA (Monzón, 2015). En los años 90 se abrieron programas académicos de estudios de género en la Universidad Rafael Landívar, USAC y FLACSO. De igual manera se formó la Red de la No Violencia contra la mujer en 1991 en respuesta al asesinato de Dinorah Pérez, acontecimiento que colocó por primera vez el tema de la violencia contra la mujer en la agenda política del país.

En 2018 la alerta *Isabel-Claudina* se nombra en honor a María Isabel Véliz Franco de 15 años y Claudina Velásquez Paiz de 19 años, ambas víctimas de asesinato y violencia sexual. Según González (2018), las muertes de Isabel y Claudina dieron origen a un nuevo sistema de búsqueda inmediata de mujeres, la violencia con que ambas murieron y la ineficiencia de las autoridades llevó a que el Estado de Guatemala fuese condenado por la Corte Interamericana de Derechos Humanos. Actualmente, en Guatemala las denuncias sobre acoso sexual en las universidades han sido temas a discutir debido a que el mismo está tan enraizado en la sociedad guatemalteca que no se le da la debida importancia y se continúa negando que existe violencia contra la mujer. Lamentablemente, las mujeres en

arqueología y carreras afines no están exentas de este tipo de violencia.

Según la escritora, activista y docente en filosofía, Francesca Gargallo (2007), la última década del siglo XX el feminismo latinoamericano se ha caracterizado por deconstruir el racismo, el heterocentrismo de la visión del cuerpo de la mujer según estándares sociales y provocar un intercambio de saberes con el fin de visibilizar las luchas y las voces de mujeres a lo largo de la región. Algunos grupos de arqueólogas en Latinoamérica y otras partes del mundo se han unido para visibilizar la desigualdad de género en la profesión y luchar por un ámbito profesional más inclusivo, como es el caso de *Arquetipa* en Ecuador y *Projet Paye ta Truelle* en Europa, los cuales cuentan con plataformas virtuales. Es a estos esfuerzos que se suma el I Congreso de Arqueología de la Diversidad en Guatemala, realizado de forma virtual del 5 al 8 de marzo de 2021.

La creación del Congreso de Arqueología de la Diversidad (CAD)

La arqueología enfocada en género se ha orientado en visibilizar los papeles que jugaron mujeres, hombres, niños y otros actores sociales a través de la investigación de los materiales dejados por las sociedades antiguas (Brumfiel, 2006; Conkey y Spector, 1984; Conkey y Gero, 1997; Sørensen, 2000). De igual manera, en los últimos años en Latinoamérica han surgido movimientos de Arqueología de Género que han debatido interpretaciones androcéntricas del pasado, rompiendo así las líneas de investigación tradicionales (Domínguez Sandoval et al, 2018; Hope y Ugalde 2021). Los estudios de género en la arqueología, dieron paso a discutir la equidad e inclusión en el ámbito profesional.

De este modo, la Magíster Jocelyne Ponce, candidata a doctorado en la Universidad de Tulane, y la Magíster Luisa Escobar, catedrática de la Universidad del Valle de Guatemala, dispusieron crear un espacio en donde se discutiese dichas temáticas. Al principio, se tenía la idea de publicar un libro que recuperase la trayectoria y el impacto de las mujeres en la arqueología de Guatemala. Sin embargo, pareció más factible crear un espacio para la discusión de temáticas diversas más allá de aquellas enfocadas en género, dejando así un impacto significativo en el gremio arqueológico de Guatemala con un público más amplio y general.

Fue así como nació el Primer Congreso de Arqueología de la Diversidad (CAD), sumándose Adriana De León, estudiante de 5to. año de Arqueología de la UVG, dentro del comité organizador. El CAD tiene como objetivo principal ser un



Figura 1. Comité Organizador CAD a) Luisa Fernanda Escobar, b) Jocelyne Ponce y c) Adriana de León.

espacio equitativo en la creación y difusión de conocimiento arqueológico. También pretende analizar temas desde distintas perspectivas con enfoque multidisciplinario. Afortunadamente Luisa, Jocelyne y Adriana (fig.1) son arqueólogas de tres diferentes generaciones que comparten la misma visión sobre la difusión de conocimiento y la importancia de empezar a crear espacios inclusivos como CAD; las tres decidieron enfocar el congreso no sólo en temáticas de género, sino también en identidad, etnicidad y demás tópicos académicos importantes, con el objetivo de seguir cuestionando y analizando dichos temas en los próximos años. La temática anual del primer congreso se definió en el marco conmemorativo internacional de la mujer, llamándose “Las Mujeres en la Arqueología Guatemalteca”.

Los objetivos del Primer Congreso de Arqueología de la Diversidad: “Mujeres en la Arqueología Guatemalteca” fueron:

1) discutir las experiencias de mujeres en la arqueología guatemalteca en diferentes ámbitos; 2) conmemorar la trayectoria y contribuciones de las mujeres en la arqueología guatemalteca; y 3) discutir la equidad de género en arqueología desde una perspectiva interseccional. Adicionalmente, se tuvo la misión importante de crear una cooperación académica entre las principales instituciones de educación arqueológica del país: Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) y el Centro Universitario de Petén de la Universidad de San Carlos de Guatemala (CUDEP).

Con el apoyo de la Facultad de Ciencias Sociales y el Doctor Tomás Barrientos, director del Centro de Investigaciones Arqueológicas y Antropológicas de la Universidad del Valle de Guatemala, el I Congreso de Arqueología de la Diversidad se llevó a cabo de forma virtual los días 5 y 6 de marzo de 2021 (fig. 2). Esta actividad estuvo abierta al público, no tuvo costo

CENTRO DE INVESTIGACIONES
ARQUEOLÓGICAS Y ANTROPOLÓGICAS - CIAA -
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES

I Congreso de Arqueología de la Diversidad

*Las Mujeres en la
Arqueología Guatemalteca*

CONGRESO VIRTUAL

5 y 6 de marzo de 2021

Viernes: 6pm - 8pm
Sábado: 10am - 12pm y 4pm - 7pm

Programa:

- **Aportes y Trayectoria**
 - Marion Popenoe de Hatch
 - Patricia del Águila
 - Amparo Herrera
 - Lilian Corzo
- **Mesa Redonda: Experiencias y Anécdotas**
 - Marlen Garnica
 - Rosa María Chan
 - Claudia Vela
 - Adriana Linares
 - Claudia Monzón
- **Análisis Crítico**
 - Josefa Iglesias
 - Daniela Triadan
 - Luisa Fernanda Escobar
 - María Auxiliadora Cordero
- **Mesa Estudiantil: UVG - USAC - CUDEP**

Registro: <https://n9.cl/xtbp>
 Transmisión: Zoom y Facebook Live.

E - mail: arqueodiversidadgt@gmail.com
 Búscanos en Facebook:
[arqueodiversidadgt](#)

Figura 2. Póster del Primer Congreso de Arqueología de la Diversidad (CAD, 2021).

alguno y se transmitió en la plataforma Zoom y Facebook Live. En total, se tuvo un alcance en redes sociales de 1,258 personas por sección con público de Latinoamérica, Norte América y Europa.

Conmemorando a las mujeres en la arqueología guatemalteca

El congreso estuvo dividido en cuatro secciones principales. **Aportes y Trayectoria:** espacio creado para conmemorar la trayectoria y el ejemplo de cuatro admirables arqueólogas (fig. 3): Marion Popenoe de Hatch (UVG), Patricia del Águila (USAC), Amparo Herrera (CUDEP) y Lilian Corzo (USAC). Se consideró importante no sólo festejar a estas pioneras de la arqueología guatemalteca, sino también entender las problemáticas e inequidades de género que vivieron a lo largo de sus carreras.

En la mesa redonda **Experiencias y Anécdotas** se contó con la participación de profesionales de diversos campos (fig. 4): Marlen Garnica (USAC) en el área de trabajo de campo y docencia, Rosa María Chan (CUDEP) en el manejo patrimonial, Claudia Vela (UVG) en el área de educación, Adriana Linares (The University of Texas at Austin) en la multivocalidad arqueológica, y Claudia Monzón (AMG-ICOM Guatemala) en el área museográfica. El Comité Organizador CAD buscó una diversidad de especializaciones para discutir equidad desde una perspectiva interseccional y transdisciplinaria. Esta mesa evidenció los retos que las mujeres guatemaltecas han tenido en distintos ámbitos profesionales y las admirables maneras en que los han sobrellevado. Las narrativas de estas arqueólogas no sólo informaron sobre desafíos académicos y profesionales, sino también inspiraron a estudiantes y futuras profesionales

a superarlos dentro de un contexto guatemalteco machista.

La sección de **Análisis Crítico** (fig. 5) tuvo como objetivo la discusión de equidad de género en la arqueología guatemalteca desde una perspectiva global. Los aportes de Josefa Iglesias (Universidad Complutense de Madrid), Daniela Triadan (University of Arizona), Luisa Escobar (UVG) y María Auxiliadora Cordero (University of Pittsburgh) evidenciaron que los retos a los cuales las mujeres se enfrentan en la arqueología no sólo están limitados a Guatemala, sino también ocurren en contextos norteamericanos, sudamericanos y europeos.



Figura 3. Sección **Aportes y Trayectoria**, conferencistas (de izquierda a derecha): Marion Popenoe de Hatch, Amparo Herrera, Patricia del Águila y Lilian Corzo.



Figura 4. Mesa redonda *Experiencias y Anécdotas*, participantes (de izquierda a derecha): Rosa María Chan, Marlen Garnica, Claudia Vela, Adriana Linares y Claudia Monzón.



Figura 5. Sección *Análisis Crítico*, conferencistas (de izquierda a derecha): Luisa Escobar, Daniela Triadan, Josefa Iglesias y María Auxiliadora Cordero.

Finalmente, se tuvo una *Mesa Redonda Estudiantil*, la cual se encargó de unir a los estudiantes Esteban Viñals y Adriana de León (UVG), Jimmy Isaí Caal y María José Gómez (USAC), y, Jersson Hercules (CUDEP) (fig. 6). Esta mesa unió a estudiantes de las diferentes casas de estudio para la puesta en común de tópicos como: academia, oportunidades laborales, cambio social e inequidades dentro del gremio arqueológico. Los estudiantes representan el futuro de la arqueología guatemalteca y es importante incorporarlos en discusiones para un ámbito académico y profesional más inclusivo.



Figura 6. *Mesa Redonda Estudiantil* a cargo de (izquierda a derecha): Adriana de León, Jersson Hércules, Esteban Viñals y María José Gómez. (Jimmy Caal en micrófono).

El fruto de CAD: una participación diversa y reflexiva sobre la mujer arqueóloga en Guatemala

Durante el congreso se destacó la importancia de la participación femenina en la arqueología guatemalteca. Las contribuciones de las arqueólogas pioneras en diferentes áreas fueron importantes para comenzar a construir una arqueología profesional más equitativa. Desde sus inicios hasta hoy en día, la maternidad y la prevalencia de hombres en la profesión no han sido obstáculos para que las arqueólogas sobresalgan en investigaciones de campo, docencia y manejo de patrimonio cultural. Sin embargo, la guerra interna dejó huellas en las mujeres que ejercieron la arqueología en sus inicios, representando un gran reto dentro del contexto social guatemalteco. El machismo fue causa de desafíos adicionales donde se subestimaron las capacidades de liderazgo y habilidades de las mujeres en el trabajo de campo.

A pesar que se ha romantizado la idea de mujeres en puestos de museos y manejo de colecciones, hoy en día en Guatemala son pocas las mujeres que ocupan puestos de dirección y curación museográfica; dichos puestos conllevan responsabilidades políticas y una variedad de obstáculos. De igual manera, actualmente existe desigualdad de oportunidades académicas dentro del gremio, la cual se debe en parte a la centralización de las universidades en la capital. A pesar de las desventajas que esto conlleva, la diversidad de formaciones académicas en Guatemala tiene gran potencial para enriquecer la investigación y gestión del patrimonio cultural, al igual que las interpretaciones del pasado.

Muchos de los retos a los que se han enfrentado las arqueólogas guatemaltecas no están limitados a este país, ya que mujeres trabajando en diferentes partes del mundo comparten experiencias similares. Arqueólogas internacionales han reportado discriminación académica por parte de colegas hombres en Sudamérica, Norteamérica y Europa; no importa la región geográfica, el idioma o el puesto laboral que la mujer desenvuelve, las condiciones son las mismas, el patrón se repite, es por ello que el movimiento feminista se vuelve global. Así mismo, sus habilidades de trabajo de campo y la validez de sus títulos académicos-especialmente cuando se trata de doctorados- han sido cuestionados. Las discusiones durante el congreso resaltaron la importancia de que hayan mujeres en puestos de dirección para ayudar a cerrar la brecha de desigualdad laboral. Para ello es necesario apoyarse entre colegas, y tanto hombres como personas de diferentes identidades deben participar en este proceso.

Así mismo, es necesario abrir espacios para discutir violencia y acoso en ambientes académicos. Para ello, los protocolos de denuncia en las universidades deben ser mejorados para la prevención y apoyo adecuado. Por último, los estudiantes de las distintas casas de estudio recalcan que el discurso académico en arqueología no debe ser exclusivo de individuos o grupos elitistas. En este aspecto, las arqueólogas ocupando puestos de educación se han percatado de la importancia de incluir contenido arqueológico en el Curriculum Nacional Base para concientizar y sensibilizar sobre la importancia del patrimonio cultural en la población desde una edad temprana. El patrimonio cultural le pertenece a todos, y se tiene derecho a tener voz en su interpretación y manejo. Además, la importancia de tener a mujeres arqueólogas como referente a lo largo de la carrera permite que las estudiantes visualicen su futuro y exploten su potencial sabiendo que hay presencia femenina dentro de un gremio liderado por hombres. El ejemplo permite que el soñar se vuelva una realidad, sólo así nace el empoderamiento.

Conclusiones

- El androcentrismo en los estudios sobre las sociedades antiguas no tiene que ver con los hallazgos, sino con los prejuicios y pensamientos enraizados en la arqueología desde sus inicios. Fue por ello que CAD decidió mostrar las enormes capacidades que tiene la arqueología para contribuir, desde criterios y posicionamientos científicos, a la reconstrucción del pasado desde una perspectiva diversa e interseccional, luchando así en contra de los estereotipos creados desde el presente.
- Al celebrar por primera vez el congreso, se tuvo la grata sorpresa de un público sumamente participador, unas ponentes apasionadas por su trayectoria y lucha, y el apoyo de diversos entes dentro del gremio para seguir impulsando espacios inclusivos, accesibles y diversos. Tanto Luisa Escobar, Jocelyne Ponce y Adriana de León (miembros fundadores de CAD) esperan con ansias el próximo congreso para seguir debatiendo temáticas poco exploradas y ampliar la gama de saberes dentro de la arqueología guatemalteca.
- No cabe duda de que CAD sentó las bases para la creación de un nuevo y diverso espacio académico que discute temas poco explorados dentro de la arqueología a través de diálogo abierto sobre experiencias y presentación de investigaciones académicas. Así mismo, se convirtió en un medio para difundir la importancia de la cooperación institucional y generacional dentro del gremio.

Agradecimientos

Agradecemos a la Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad del Valle de Guatemala por brindarnos el espacio para la creación y ejecución de CAD, en especial al Doctor Tomás Barrientos, director del Centro de Investigaciones Arqueológicas y Antropológicas (CIAA) por el asesoramiento y el apoyo durante los inicios de CAD.

Así mismo, agradecemos a las arqueólogas que participaron en las conferencias del primer CAD: Adriana, Amparo, Claudia M., Claudia V. Daniela, Josefa, Lilian, Luisa, María Auxiliadora, Marion, Marlen, Patricia y Rosa María. Gracias por la lucha, el legado, la sororidad y la pasión para con la arqueología, el entusiasmo de todas nos animó a seguir en la búsqueda por la divulgación y difusión de conocimientos diversos e inclusivos. También agradecemos a las y a los estudiantes que participaron en el primer CAD, sin ustedes no se podría evidenciar la importancia de la denuncia, del cambio, de la multivocalidad y de la innovación en la carrera.

Bibliografía

- Brumfiel, E.M. (2006) *Methods in Feminist and Gender Archaeology: A Feeling for Difference-and Likeness* En: Nelson, S.M. (ed) *The Handbook of Gender in Archaeology* pp 31-58. Altamira Press, Walnut Creek.
- Conkey, M.W., Gero, J.M. (1997) *Programme to Practice: Gender and Feminism in Archaeology*. *Annual Review of Anthropology* 26 (1): 411-437.
- Conkey, M.W., Spector, J.D. (1984) *Archaeology and the Study of Gender* En: Schiffer, M.B. (ed) *Advances in Archaeological Method and Theory* pp 1-36. Academic Press, San Diego.
- Domínguez Sandoval, V., Vásquez Pazmiño, J., Cordero, M.A. (2018) *Introducción: las mujeres y la arqueología ecuatoriana* En: Cordero, M.A. (ed) *De arqueología hablamos las mujeres perspectivas sobre el pasado ecuatoriano* pp 7-14. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
- Hope, H., Ugalde, M.F. (2021) *Retos investigativos en la arqueología de género* En: *Encuentro sobre arqueología de género Colecciones del Museo Arqueológico Nacional Brüning*, Ministerio de Cultura del Perú.
- González, A.L. (2018) *Una voz para las mujeres que no dejan rastro* En: *El Periódico* (en línea): [https://elperiodico.com.gt/noticias/domingo/2018/08/26/una-voz-para-las-mujeres-que-no-dejan-rastro/consultado en mayo de 2021](https://elperiodico.com.gt/noticias/domingo/2018/08/26/una-voz-para-las-mujeres-que-no-dejan-rastro/consultado%20en%20mayo%20de%202021).
- Luján J. (2019) *La década revolucionaria, 1944-1954* En: *Breve historia contemporánea de Guatemala* (4ta. reimpresión) Fondo de Cultura Económica.
- Monzón, A.S. (2015) *Las mujeres, los feminismos y los movimientos sociales en Guatemala: relaciones, articulaciones y desencuentros*. Facultad de Latinoamérica de Ciencias Sociales (FLACSO).
- Sørensen, M.L.S. (2000) *Gender Archaeology* Polity Press, Cambridge.

Revista de la Universidad del Valle de Guatemala



Información general

El objetivo de la Revista de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) es el de divulgar los hallazgos de estudios realizados dentro de la actividad académica, entre los que se encuentran opiniones, resultados de investigación, ensayos y revisiones sobre temas específicos.

Los artículos se aceptarán en el entendido que no han sido publicados con antelación.

1. La revista considera para publicación:

- 1.1 Artículos con los resultados de proyectos de investigación que se hayan llevado a cabo, en la Universidad del Valle de Guatemala, o en asociación con ésta.
- 1.2 Artículos invitados solicitados directamente al autor por el Editor o el Comité Editorial, uno por número de Revista editada.
- 1.3 Artículos de síntesis y opinión que unifiquen e interpreten el avance del conocimiento en un tema, uno por número de Revista editada.
- 1.4 Ensayos y trabajos de crítica y creaciones literarias.
- 1.5 Resúmenes y acotaciones sobre conferencias, seminarios, talleres, foros y coloquios desarrollados en la Universidad del Valle de Guatemala.
- 1.6 Comentarios sobre libros recibidos en Biblioteca de la Universidad del Valle de Guatemala.

En los *números especiales* patrocinados por un proyecto podrán publicarse los artículos en el idioma inglés.

Procedimiento editorial

El Editor convocará a la familia universitaria a elaborar un resumen del artículo propuesto cuyo contenido deberá incluir:

- A. Título
- B. Autor principal y coautores
- C. Nombre del centro/laboratorio/departamento/facultad y/o instituto
- D. Objetivos del trabajo (3 líneas máximo), y
- E. Relevancia e impacto del estudio (5 líneas máximo).

El Consejo Editorial evaluará los resúmenes recibidos de acuerdo a contenido y relevancia.

El Editor informará a los autores de la aprobación del resumen e indicará fecha límite para entregar artículo completo.

El Editor enviará los artículos a revisión. Se comunicará a los autores de la decisión de los revisores. Se informará de fecha límite para recibir manuscritos corregidos.

Artículo de investigación

El cuadro siguiente contiene las características de los elementos que conforman un artículo.

Secciones	Título (español e inglés) Autores Resumen (español e inglés) Palabras clave (español e inglés) Introducción Materiales y métodos Resultados y discusión Conclusiones Agradecimiento Bibliografía
Cantidad de páginas	<20, Times New Roman 11, espaciado entre líneas de 1.5 emplear Word (incluye cuadros, gráficas y bibliografía)
Cuadros	Usar accesorio de Word
Gráficas	Alta resolución, incluyen fotografías y diagramas
Cantidad de cuadros y gráficas	Nueve en total en cualquier combinación
Bibliografía	<30, citadas en texto por obligación
División de texto	En secciones identificadas con subtítulos. No deben numerarse

A continuación se encuentra la descripción de cada elemento en particular.

- **Título:** en dos líneas como máximo, debe, por un lado, enfocarse sobre el tema particular de la investigación, y por el otro, ser lo suficientemente original y conspicuo para captar la atención del lector potencial.
- **Resumen:** no debe ser mayor de 250 palabras a punto y seguido. No debe contener expresiones generales, ni abreviaturas y referencias. Debe estructurarse en tres partes. La primera, de tres o cuatro oraciones, se refiere a la introducción. Es decir, informa de los antecedentes, el tema principal, los particulares y la hipótesis. La segunda se refiere a los experimentos realizados y en dos o tres oraciones ofrecen una visión general de los mismos. La última está dedicada a los resultados obtenidos y su discusión. En ella deben resaltar 1-2 resultados principales basados en una sólida justificación basada en los resultados experimentales, su interpretación, su novedad relativa al desarrollo del conocimiento en el tema tratado, su impacto potencial e importancia para el país. La parte novedosa de los resultados debe expresarse en forma afirmativa... "En este trabajo demostramos que..." "Por primera vez encontramos una correlación significativa entre..." "El modelo matemático desarrollado mejora substancialmente la predicción de..."

(El párrafo anterior consta de 155 palabras)

- **Introducción:** de una longitud máxima de dos páginas, debe empezar exponiendo en forma clara y concisa el problema abordado. Luego, una descripción plenamente documentada de los antecedentes sobre la problemática actual y el estado del conocimiento del tema específico de investigación. Es imprescindible citar referencias de revistas de corriente principal

de los últimos años. Debe evitarse el empleo de citas de internet. Si fuese necesario, las mismas deben ser referidas con una nota a pie de página y no en la bibliografía al final del artículo. En el último párrafo de esta sección debe exponerse en forma sucinta el objetivo general del trabajo efectuado.

- **Materiales y métodos:** sección en la que debe detallarse la metodología experimental empleada, incluyendo los pormenores de los materiales, el equipo principal y los métodos analíticos, el diseño de experimentos, y las herramientas matemáticas de análisis de los datos. La redacción debe realizarse tomando en cuenta a un futuro lector que desee emplear dicha información, de manera que es necesario describir hasta el más mínimo detalle de los procedimientos.
- **Resultados y discusión:** describe empleando cuadros y gráficas, usadas con recato en la cantidad permitida, la información generada en los experimentos. No debe existir duplicidad, datos de un cuadro no deben ser usados para construir un diagrama. Sin embargo es válido ilustrar en una gráfica el resultado de la evaluación matemática de los datos contenidos en un cuadro. Los resultados deben de presentarse en secciones siguiendo una lógica de principio a fin. La significancia de los datos debe evaluarse en cada sección seguida de una discusión que conlleve a especulaciones, conjeturas y conclusiones.
- **Conclusiones:** circunscritas en los datos experimentales obtenidos y no en generalidades. Deben de listarse en orden de importancia.
- **Bibliografía:** contiene las referencias en orden alfabético citadas en el texto como más adelante se detalla.
- **Gráficas y cuadros:** deben numerarse correlativamente aparezcan en el texto empleando números cardinales. Por ejemplo, citadas en texto,... "la gráfica 3 presenta"...en el "cuadro 4 se incluyen"... (notar minúsculas para referirse en el texto a gráficas y cuadros). Puede substituirse tabla por cuadro, y figura por gráfica, sin embargo, no deben mezclarse. Las gráficas pueden subdividirse, empleando la nomenclatura siguiente, gráfica 1a, gráfica 1b, etc., pero cada una cuenta por separado en la estimación de la cantidad permitida. Las gráficas deben presentarse por aparte en formato .jpg con una resolución de 1200dpi preferiblemente (resolución mínima aceptada de 600dpi). Sin embargo, debe indicarse en el texto en donde se encuentran localizadas. Los cuadros deben insertarse en el artículo en el lugar cercano a su cita en el texto. Todas las gráficas y los cuadros deben de tener un enunciado, frase de dos líneas máximo. Si es necesario debe incluirse en el enunciado la identificación de símbolos y caracteres especiales usados. No se aceptan pie de notas en cuadros y gráficas. Si se necesitan deben incluirse en el enunciado. Ejemplos:

Gráfica 3. Perfil de la hidrólisis de la biomasa. Círculos identifican datos a 40 °C. Triángulos datos a 60 °C.

Cuadro 2. Peso promedio de 100 partículas, densidad aparente y cantidad de flotadoras. Nota: Las partículas de diferentes sitios fueron seleccionadas siguiendo criterios de forma y color según ASTM (1984).

Cita de bibliografía en el texto: ejemplos:

De acuerdo con Salazar y colaboradores (2004).

Resultados previos similares han sido informados en la literatura (Espino, 2004; Ortega y Lemus, 2007; Rossiter et al, 2012).

Estilo de las referencias en la bibliografía: ejemplos:

Bruins ME, Sanders JPM (2012) *Small-scale processing of biomass for biorefinery* Biofuels Bioprod Bioref 6: 135-145

Alker HR, Gurr TR, Kumar R (2001) *Journeys through Conflicts: Narratives and Lessons* Rowman & Littlefield Publishers

Lienev IE (1989) *Antinutritional Factors* En: RH Mathews (ed) *Legumes. Chemistry Technology and Human Nutrition* Marcel Dekker pp 339-382

Artículo de revisión

La presentación es de libre contexto de acuerdo a la especialidad. La exposición debe dividirse en secciones con subtítulos de acuerdo a la narrativa. Referencias <100. No existe limitación en la cantidad de cuadros y gráficas permitidas. La bibliografía citada en texto debe cumplir con los requisitos antes mencionados.

Ensayos y Artículos de Opinión

La presentación es de libre contexto de acuerdo a la especialidad. La exposición debe dividirse en secciones con subtítulos de acuerdo a la narrativa. Pueden emplearse citas a pie de nota o acumuladas al final del texto. Las gráficas, fotos, diagramas y reproducciones deben identificarse con números cardinales. La bibliografía citada en texto debe cumplir con los requisitos antes mencionados.

Nota:

Para los autores que utilicen EndNote una vez finalizado el artículo deberán grabarlo utilizando “remove field codes”.

CAMPUS SUR
Universidad del Valle de Guatemala
www.campussur.uvg.edu.gt



Excelencia que trasciende

DEL VALLE
GRUPO EDUCATIVO

km. 92.5 Finca Camantulul Carretera
a Mazatenango, Santa Lucía
Cotzumalguapa, Escuintla.
Teléfono: 7955-2800
www.campussur.uvg.edu.gt

ALTIPLANO
Universidad del Valle de Guatemala
www.altiplano.uvg.edu.gt



Excelencia que trasciende

DEL VALLE
GRUPO EDUCATIVO

Km. 137 Cantón El Xolbé,
Aldea El Tablón, Sololá.
Teléfonos: 7931-0814
www.altiplano.uvg.edu.gt



Universidad del Valle de Guatemala

18 Avenida 11-95, Zona 15, Vista Hermosa III, Zona 15.
01015 Guatemala, Guatemala, C.A.



www.uvg.edu.gt/publicaciones/revista