

INFORME FINAL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN 2021

Programa Universitario de Estudios para la paz y Educación

Aplicaciones de Inteligencia Artificial, en la enseñanza superior (fase I). Diagnóstico parasitológico.

AP8-2021

Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

MSc Blanca Elizabeth Samayoa Herrera

Guatemala, 7 febrero de 2022

Contraportada

Autoridades

Dr. Hugo René Pérez Noriega
Director General de Investigación

Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar
Coordinador General de Programas

Lic. León Roberto Barrios Castillo

Autores

Blanca Samayoa Herrera
Anneliese Moller Sundfeldt
Martin Gil
Mildred Alquijay

Colaboradores

Emilio Garcia, Facultad de CCQQ y Farmacia, Programa de Experiencias con la Comunidad –EDC-
Estudiantes de Química Biológica realizando el Ejercicio Profesional Supervisado-EPS-
Ana Cecilia Cocón Upún
Ana Lucia Morales Ardón
Ayde Jiménez
Cindy Mazariegos
Gabriela Mirtala Segura Morales
Jaqueline Celeste Cano Lemus
Juana Vivel Morales Mateo
Nancy Lisbeth Pineda Saquic
Pamela Stefanya Coronado Lou
Sofía Mariana García Flores
Werner Gustavo González Tul

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (Digi), 2021. El contenido de este informe de investigación es responsabilidad exclusiva de sus autores.

Esta investigación fue cofinanciada con recursos del Fondo de Investigación de la Digi de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de del código AP8 en el Programa Universitario de Investigación: Programa Universitario de Estudios para la paz y Educación.

Los autores son responsables del contenido, de las condiciones éticas y legales de la investigación desarrollada.



Universidad de San Carlos de Guatemala
Dirección General de Investigación



1. Índice general

1. Índice general	3
2. Resumen y palabras claves	7
3. Introducción	9
4. Planteamiento del problema	10
5. Delimitación en tiempo y espacio	11
5.1. Delimitación en tiempo	11
5.2. Delimitación espacial	12
6 Marco teórico	12
6.1. Carga de las infecciones parasitarias intestinales	12
6.2. Diagnóstico de los parásitos intestinales	14
6.3. La inteligencia artificial en el diagnóstico de enfermedades infecciosas	14
6.4. El uso del aprendizaje automático profundo en la interpretación de imágenes	16
6.5. La inteligencia artificial como método alternativo de diagnóstico de parásitos intestinales	17
7 Estado del Arte	18
7.1. La inteligencia artificial y el diagnóstico de parásitos	18
7.2. Diagnóstico parasitológico por inteligencia artificial y las Pruebas en Punto de Atención	19
8 Objetivos	20
8.1. Objetivo General	20
8.2. Objetivos Específicos	20
9 Hipótesis	20
10 Materiales y métodos	20
10.1. Enfoque de la investigación	20
10.2. Método	21
10.3. Recolección de información	21
10.4. Técnicas e instrumentos	21

10.5.	Procesamiento y análisis de la información	23
11	Resultados y discusión	24
11.1.	Resultados	24
11.2.	Discusión de resultados	36
11.3.	Conclusiones	41
12	Referencias	43
13	Apéndice	46
14	Aspectos éticos y legales	52
15	Vinculación	52
16	Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual	52
17	Aporte de la propuesta de investigación a los ODS	53
18	Orden de pago final	54
19	Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación	54
20	Aval del Director(a) del instituto,	54
21	Visado de la Dirección General de Investigación	55

Índice de Tablas y Figuras	Página
<i>Figura 1.</i> Arquitectura de una red neuronal convencional de aprendizaje a través de máquinas. Fuente	15
<i>Figura 2.</i> Diagrama de trabajo para la evaluación de la exactitud y repetibilidad de la aplicación Parasite ID.	25
<i>Tabla 1.</i> Distribución de parásitos y número de fotos	26
<i>Tabla 2.</i> Exactitud y precisión en la identificación de imágenes de parásitos presentadas por expertos (N=181)	27
<i>Tabla 3.</i> Exactitud y fiabilidad en la identificación de imágenes de parásitos por Parasite ID (n=204)	28
<i>Figura 3.</i> Característica ROC de la aplicación de identificación de imágenes de parásitos Parasite ID	29
<i>Figura 4.</i> Identificación de imágenes de parásitos por Parasite ID y patrón de referencia	30
<i>Figura 5.</i> Porcentaje y número de parásitos encontrados en las muestras observadas (N=45,032)	31
<i>Figura 6.</i> Clasificación por tipo de parásitos identificado (N= 8098)	32
<i>Figura 7.</i> Especies de parásitos encontrados por tipo de parásito	33
<i>Tabla 4.</i> Descripción por género, edad y tipo de centro de atención y la presencia de parásitos (n=273)	34
<i>Tabla 5.</i> Parásitos observados en el control de calidad de las muestras incluidas en el estudio con discrepancias.	35
<i>Tabla 6.</i> Diferencias en cuanto al número de parásitos reportados y los encontrados en el control de calidad (N=273)	35
<i>Figura 8.</i> Diferencias de identificación encontradas en el control de calidad	36
<i>Figura 9.</i> Ejemplo de fotografías utilizadas en la identificación de parásitos. A. <i>Hymenolepis nana</i> , B. <i>Trichuris trichiura</i>	46
<i>Figura 10.</i> Ejemplo de la presentación del resultado en Parasite ID.	46
<i>Tabla 7.</i> Evaluación por parásitos por foto. (N=181)	47
<i>Tabla 8.</i> Informes de EPS revisados por lugar, año y meses (N=16)	48
<i>Figura 11.</i> Número de muestras procesadas por año y mes (N=42,532)	48
<i>Figura 12.</i> Número de muestras procesadas por lugar de EPX (N=42,532)	49
<i>Figura 13.</i> Porcentaje de carga del diagnóstico de parásitos con respecto al total de trabajo por laboratorio según el lugar de EPS.	49
<i>Tabla 9.</i> Número y porcentaje de parásitos por lugar de EPS (N=8098)	50

<i>Tabla 10.</i> Lugar de EPS y tipo de parásitos por morfología (n=8098)	50
<i>Tabla 11.</i> Numero de muestras enviadas por lugar de EPS (n= 314)	51
<i>Figura 14.</i> Control de calidad Comparación de los tipos de parásitos historico (8098) y los observados (n=273)	51

2. Resumen y palabras claves

La observación microscópica de la morfología de los parásitos intestinales continúa siendo el estándar de oro en su diagnóstico. Este método, consume recursos y la calidad de los resultados depende de la disponibilidad de profesionales calificados. La búsqueda de alternativas basadas en inteligencia artificial (IA) ha mostrado una alta precisión y un método alternativo en este campo.

Objetivo: Determinar la exactitud y precisión de una herramienta de identificación de parásitos basada en IA y explorar los potenciales parásitos a incluir en el desarrollo de una aplicación basada en IA apropiada a Guatemala.

Métodos: Se utilizó una aplicación de parásitos intestinales Parasite ID (<https://parasite.id/>) de uso gratuito para la identificación de 181 fotografías validadas por expertos. Los datos generados fueron analizados con un intervalo de confianza del 95%. Además, se exploró a partir de informes históricos de EPS, que otros parásitos, podían ser incluidos en una potencial aplicación a desarrollar en Guatemala.

Resultados Se encontró que la sensibilidad de Parasite ID fue pobre (25.2; IC 95%, 17.8 - 34.4%); la especificidad fue buena (79.5%; IC 95%, 69.3-86.9%); la precisión de la prueba fue nula (4.3 %; IC95, 6.9-17.9%), mientras que la exactitud fue baja (48.6%; IC95%, 41.1% - 56.1%). Además, se hace necesario ampliar el catálogo de los parásitos de importancia clínica en el país.

Conclusión La pobre sensibilidad, la precisión nula y baja exactitud, alcanzada por Parasite ID, indican que es necesario desarrollar una aplicación que mejore estos parámetros y que incluyan el amplio abanico de parásitos que se diagnostican en Guatemala.

Palabras clave: Parásitos intestinales, Inteligencia Artificial, precisión, validez, microscopía digital, red neuronal Convolutacional.

Abstract and keywords

Microscopic observation of the morphology of intestinal parasites continues to be the gold standard in their diagnosis. This method consumes resources, and the quality of the results depends on the availability of qualified professionals. The search for alternatives based on artificial intelligence (AI) has shown high precision and an alternative method in this field.

Objective: To determine the accuracy and precision of an AI-based parasite identification tool and to explore the potential parasites to include in the development of an appropriate AI application for Guatemala.

Methods: A free-to-use intestinal parasite application Parasite ID (<https://parasite.id/>) was used for the identification of 181 expert-validated photographs. The generated data were analyzed with a 95% confidence interval. In addition, it was explored from historical EPS reports that other parasites could be included in a potential application to be developed in Guatemala.

Results: The sensitivity of Parasite ID was found to be poor (25.2; 95% confidence interval: 17.8, 34.4%); specificity, good (79.5%; 95% confidence interval: 69.3, 86.9%); precision, null (4.3%; 95% confidence interval: 6.9, 17.9%), while the accuracy was low (48.6%; 95% confidence interval: 41.1%, 56.1%). In addition, it is necessary to expand the catalog of parasites of clinical importance in the country.

Conclusion: The poor sensitivity, null precision and low accuracy achieved by Parasite ID indicate that it is necessary to develop an application that improves these parameters and that includes the wide range of parasites that are diagnosed in Guatemala.

Keywords: Intestinal parasites, Artificial Intelligence, precision, validity, digital microscopy, Convolutional neural network.

3. Introducción

Las infecciones parasitarias intestinales representan una alta carga de enfermedad en el mundo, especialmente en los trópicos y en países de bajos ingresos. Para el año 2020, la Organización Mundial de la Salud, OMS, estimó que, en los países americanos, una de cada tres personas está infectada, siendo Guatemala, uno de los países en los que más infecciones helmintos se presentan (OMS 2020). Por lo anterior, se hace indispensable optimizar el diagnóstico de los parásitos; no obstante, la observación microscópica de la morfología de los parásitos continúa siendo el estándar de oro (Smith et al. 2020a). Este método de diagnóstico posee las ventajas de ser accesible, económico y fácil de efectuar, especialmente en contextos con recursos restringidos; pero presenta desventajas como una baja sensibilidad y especificidad para detectar algunos protozoos intestinales provocadas por los métodos de tratamiento de las muestras, por falta de personal y el tiempo dedicado a la observación de muestras, la mayoría negativas, lo que causa cansancio en el personal (Smith et al. 2020b), (Ryan et al. 2017). En Guatemala la observación directa de la morfología de los parásitos sigue siendo el método de elección para el diagnóstico de estos (Alquijay M., Reyes E., Morales M., Hernández R., Flores L., Castro 2021).

En la práctica la inteligencia artificial (IA) puede aumentar la sensibilidad en la observación microscópica de parásitos aumentando el valor predictivo negativo (Smith et al. 2020a).

La búsqueda de alternativas como la detección automatizada de parásitos y en el análisis de las imágenes, a través de la inteligencia artificial (Smith et al. 2020a), pueden convertirse en una solución para esta problemática. Este tipo de análisis se basa en la conectividad de la corteza óptica humana y puede mejorarse a través de una serie de algoritmos interconectados en programas diseñados a través de la IA. Cada uno de estos algoritmos, simplifica una imagen a datos que se clasifican en probabilidades de salida. Este proceso ha sido reconocido como Red Neuronal Convolucional (*CNN: Convolutional Neuronal Network*) y es una aplicación de los sistemas de las máquinas de aprendizaje (*machine learning*) de las aplicaciones de IA (Smith et al. 2020a).

A pesar de que este tipo de aplicaciones no se ha desarrollado en el país, se tiene la oportunidad de contar con una herramienta de manera gratuita: Parasite ID | Home (Bell C, Foss V, Henderson V n.d.). Esta aplicación utiliza un microscopio acondicionado a un teléfono móvil o la opción de subir imágenes captadas desde un teléfono inteligente o de un microscopio óptico convencional; sin embargo, solo cuenta con una gama limitada de parásitos. Por esta razón, el uso de la misma

crea un espacio de oportunidad para apropiarse este tipo de herramientas al contexto guatemalteco y a su vez sentar las bases necesarias para desarrollar, a futuro, una aplicación a nivel local.

La validación de una aplicación de esta IA, y posterior desarrollo de una herramienta de IA para Guatemala, no solo ayudaría a optimizar el diagnóstico de los parásitos intestinales, sino también, al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el país (ONU 2015); mientras que la USAC, como la única institución pública a nivel nacional, podría integrar nuevas formas de enseñanza, investigación y servicio interdisciplinario, lo cual la aumentaría la calidad educativa de la institución (Xing and Marwala 2018).

Por lo anterior, en este proyecto se determinó la exactitud y precisión de una IA para identificar parásitos y se realizó una revisión sistemática de los parásitos que sería necesario incluir para el desarrollo a futuro de una propuesta a nivel local.

4. Planteamiento del problema

La IA se ha utilizado en el reconocimiento automático de imágenes microscópicas de parásitos intestinales. La razón de su uso en esta área, estriba en que el análisis morfológico por microscopía de los parásitos intestinales, permanece como el estándar de oro; esto a pesar de que esta metodología consume tiempo, produce errores, necesita capacitación intensiva de personal, además de la confirmación del diagnóstico por profesionales capacitados, por lo que los resultados de los diagnósticos parasitológicos no son lo suficientemente sensibles y específicos o no presentan la calidad esperada (Smith et al. 2020a).

Por consiguiente, la búsqueda de alternativas basadas en inteligencia artificial puede encontrar una solución en la detección automatizada de parásitos. El uso del aprendizaje profundo (*Deep learning*) y la Red Neuronal Convolutiva, como una aplicación de IA, en el diagnóstico de parásitos en muestras de heces, ha mostrado precisión y una opción en la interpretación de imágenes médicas y por lo tanto sería el camino para llegar a esta solución.

Este tipo de aplicaciones no se ha desarrollado en el país, sin embargo, un grupo de profesionales puesto a disposición, de manera gratuita, una herramienta IA, la cual reconoce imágenes de huevos de parásitos de *Schistosoma mansoni*, *S. haematobium*, *S. japonicum*, *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Taenia* sp., *Hymenolepis nana* y *Fasciola hepatica*, con una

sensibilidad y especificidad del 90 al 99 %. La aplicación no incluye a la mayoría de los parásitos que afectan a la población guatemalteca, sin embargo, informan que es factible identificar automáticamente las imágenes de los parásitos en el sitio web de la aplicación, utilizando un teléfono móvil o cargando las imágenes directamente al sistema. La disponibilidad de los creadores de esta aplicación (Bell C, Foss V, Henderson V n.d.), creó un espacio oportuno en la evaluación de este tipo de herramientas en el país. A su vez se pudo determinar las bases necesarias para desarrollar, a futuro, una aplicación a nivel local. Para el efecto, se determinó la exactitud y fiabilidad de esta herramienta, acompañada de una revisión sistemática de los parásitos que sería necesario incluir, para el desarrollo de una propuesta para Guatemala.

5. Delimitación en tiempo y espacio

5.1 Delimitación en tiempo

El estudio se realizó de febrero a diciembre de 2021. Se inició en el mes de febrero con los procesos administrativos y con la validación de los procesos de recolección, preparación, embalaje y envío de las muestras de heces, preparación de las formas de recolección de datos y almacenamiento, tanto de las muestras como de las imágenes. En el mes de mayo se prepararon capacitaciones y los materiales que se necesitaron para el envío de las muestras. En el mes de julio se inició con la colección de muestras y la captura de imágenes a partir del microscopio óptico con microcámara y teléfono celular. Del mes de julio al mes de diciembre se recolectaron las muestras y se evaluaron en triplicado de la siguiente manera: 1) observación directa por medio del microscopio óptico; 2) control de calidad por expertos con microfotografías y observaciones microscópicas directas y 3) usando imágenes cargadas directamente a la aplicación. En paralelo del mes de junio hasta noviembre, se revisaron los resultados alcanzados en el año 2019 con el propósito de establecer los parásitos a incluir en futuras aplicaciones. Al final del mes de noviembre se inició con la comparación de resultados de validación, exactitud, precisión y curvas ROC (por sus siglas en inglés- *Receiver operating characteristic curve*). Finalmente, en el mes de diciembre y enero, se procedió a redactar el informe final.

5.2 Delimitación espacial

Aunque se proyectó que las muestras fueran captadas en el Laboratorio Clínico Popular (LABOPCLIP), Programa de Experiencias en la Comunidad (EDC), situado Centro Histórico, 3a. Calle 6-47 Zona 1, Guatemala Ciudad; sin embargo, por la presencia de la pandemia de SARS CoV2, el laboratorio no procesó muestras de heces, por lo que se decidió solicitar la colaboración de los estudiantes de Química Biológica que se encontraban realizando Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), en diferentes centros asistenciales del país. Los estudiantes en EPS y los centros participantes fueron: Nancy Lisbeth Pineda Saquic en el Hospital Nacional de San Marcos; Ana Cecilia Cocón Upún, EPSUM CAP Chichicastenango; Gabriela Mirtala Segura Morales, Hospital Nacional de Jutiapa; Sofía Mariana García Flores, Hospital Nacional de Antigua; Juana Vivel Morales Mateo, Hospital distrital de Fray Bartolomé de las Casas; Werner Gustavo González Tul, Hospital Nacional de Puerto Barrios; Pamela Stefanya Coronado Lou, Hospital Distrital Nebaj; Jaqueline Celeste Cano Lemus, Hospital Nacional de El Progreso; Ana Lucía Morales Ardón, EPSUM Tactic; Cindy Mazariegos, Centro de Salud de Santa Cruz del Quiché y Ayde Jiménez, Hospital Regional de Huehuetenango. Las muestras fueron transportadas por mensajería privada y luego llevadas al laboratorio del Departamento de Microbiología de la Escuela de Química Biológica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia (Fac. CCQQ y Farmacia), Ciudad Universitaria zona 12, para proceder a buscar los parásitos intestinales y la captura de las imágenes.

6 Marco teórico

6.1. Carga de las infecciones parasitarias intestinales

Las infecciones parasitarias intestinales representan una alta carga de enfermedad en el mundo y especialmente en los trópicos y en países de bajos ingresos. Algunas de ellas como las provocadas por *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Ancylostoma duodenale* y *Necator americanus*, *Taenia* spp., se encuentran entre el grupo de enfermedades tropicales desatendidas (*Neglected Disease*) (World Health Organization n.d.).

Los helmintos que se transmiten por el suelo, (*A. lumbricoides*, *T. trichiura*, *A. duodenale*, *N. americanus*, *Strongyloides stercoralis*), afectan a más de 1,500 millones de personas en el mundo, lo que representa casi un 24% de la población mundial (OMS 2020). De estas infecciones 267

millones corresponden a niños en edad preescolar y 568 millones a escolares, viven en áreas donde los parásitos son transmitidos frecuentemente y necesitan tratamiento para eliminarlos; *S. stercoralis* afecta a cerca de 600 millones de personas que habitan en lugares con bajos estándares de desinfección. Para el año 2018, OMS reportó que 676 millones de escolares recibieron tratamiento preventivo para estas infecciones, lo que corresponde al 53% de los niños en riesgo (WHO 2020).

En 2011, se encontró una prevalencia de 29.26% de parasitismo intestinal en 4 escuelas públicas de Quetzaltenango, las especies de protozoos comensales y patógenos más observados fueron; *Endolimax nana* (55, 37.67%), *Blastocystis hominis* (34, 23.29%), *Entamoeba histolytica* (29, 19.86%), *Entamoeba coli* (12, 8.22 %) y *Giardia lamblia* (8, 5.48%) (Son and Gil 2011). Durante 2013-2014, Alquily y colaboradores, encontraron un total de 5,347 parásitos, patógenos y no patógenos, en 23,913 en muestras de pacientes que acudieron al laboratorio Clínico Popular de la USAC en la zona, de la capital. Los patógenos intestinales más frecuentemente observados fueron *E. histolytica / dispar* y *G. lamblia* (Figueroa, R., Alquijay, M., Alvarado, C., Méndez, D., Hernández, R., Vásquez, A. 2015). Mientras que, en Atitlán, se encontró una disminución en la prevalencia, de parásitos específicos, en los años 2005-2010 versus 2014-2016, entre los parásitos patógenos encontrados están: *E. histolytica*, *Dientamoeba fragilis*, *Giardia spp*, *A. lumbricoides*, *T. trichiura*, uncinarias, *S. stercoralis* y *Taenia sp*; entre los comensales se detectaron: *E. coli* y *Blastocystis hominis* (Dougherty, Michael; Nuss, Emily; Dougherty, Jennifer P.; Crockett 2017).

Para el año 2017, los años de vida ajustados por discapacidad (AVAD o DALY, siglas en inglés) provocada por nematodos, se estimaron 1661 millones, de 960 a 2708 millones (GBD 2018). Mientras que la anemia inducida por *Ancylostoma sp* se estimó en 245.9 (164.0 -360.4) de AVAD, con pérdidas económicas de \$ 7,5 mil millones a \$ 138,9 mil millones anuales (Bartsch et al. 2016).

A pesar de que la terapia preventiva (administración repetida de antihelmínticos a las poblaciones a riesgo) se considera la principal estrategia de control de las infecciones parasitarias intestinales, la misma no previene reinfecciones, ya que factores ambientales, como la educación en salud de la población, la contaminación de aguas y alimentos, pueden favorecer el proceso de reinfección (Jia et al. 2012). Entre los parásitos, que más frecuentemente presentan reinfecciones se encuentran *A. lumbricoides* y *T. trichiura*. Las infecciones o reinfecciones también pueden estar

asociadas a desnutrición, promovida por la falta de apetito que provocan algunos parásitos como *Taenia* sp. o *A. lumbricoides*, este último disminuye la ingesta alimentaria, con puntajes más altos para el índice de masa corporal, IMC, y una estatura más baja, para la edad, en escolares en un área rural en México; este estudio también mostró que la presencia de *E. coli*, se asoció con mayor energía y aumento en la ingesta de macronutrientes y comida en los niños que participaron en el estudio, lo contrario ocurrió en las infecciones por *A. lumbricoides*, sugiriendo que la ingesta sería específica para cada tipo de parásito (Zavala et al. 2017).

6.2. Diagnóstico de los parásitos intestinales

En la actualidad existen diferentes métodos para el diagnóstico de parásitos intestinales. Sin embargo, el estándar de oro sigue siendo la observación microscópica de los huevos, quistes o trofozoítos de los parásitos en muestras de heces. En Guatemala la observación directa de la morfología de los parásitos, por medio de un microscopio, es el método de elección para el diagnóstico parasitológico (Figuroa, R., Alquijay, M., Alvarado, C., Méndez, D., Hernández, R., Vásquez, A. 2015). Este método posee las ventajas de ser accesible, es relativamente fácil de efectuar en contextos con recursos restringidos, pudiendo detectar todos los parásitos presentes, patógenos y no patógenos, en la misma preparación. No obstante, presenta desventajas como una baja sensibilidad para detectar algunos protozoos intestinales (Hashmey, Genta, and White 1997). Actualmente se encuentran disponibles técnicas de Biología Molecular que detectan varios tipos de parásitos al mismo tiempo, sin embargo, se requiere de personal altamente capacitado, instalaciones y reactivos y equipo apropiado. Entre estos métodos se encuentra el uso de PCR en tiempo real, como complemento a las observaciones microscópicas de los trofozoítos de protozoos (Incani et al. 2017). Las técnicas de PCR, al ser más específicas, podrían complementarse con las otras técnicas de preparación de las muestras de heces por métodos convencionales, así como tinciones, esto con el objetivo de aumentar su sensibilidad (Verweij 2014).

6.3. La inteligencia artificial en el diagnóstico de enfermedades infecciosas

La problemática en el diagnóstico de las enfermedades infecciosas es que son imprevisibles al ser afectadas por múltiples factores que influyen en su desarrollo y en la transmisión (Smith et al. 2020a). Actualmente, el uso de programas de computación que reaccionan como lo harían los humanos cuando llevan a cabo funciones cognitivas, es cada vez más extendido en el diagnóstico

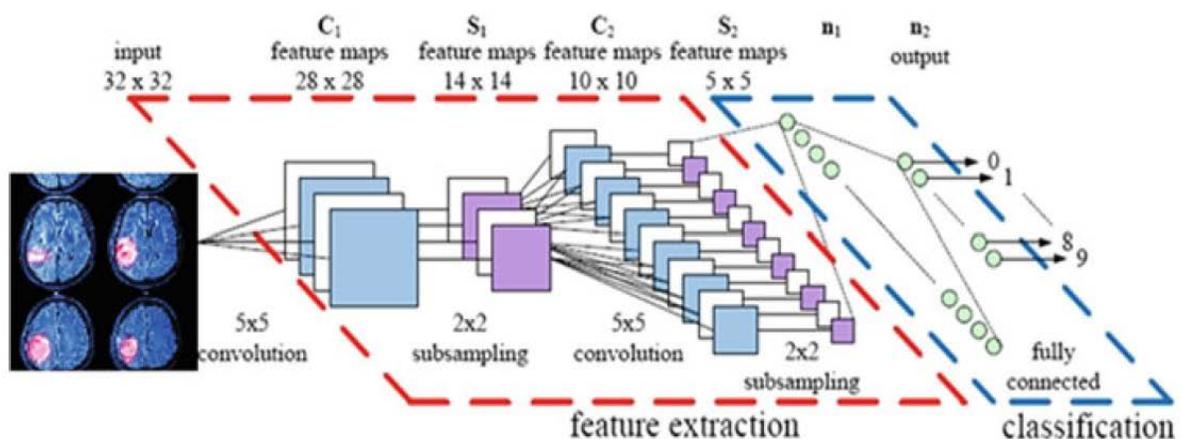
de las infecciones (Agrebi and Larbi 2020). Las plataformas de inteligencia artificial están adaptando constantemente sus algoritmos de trabajo y en consecuencia modificando sus reacciones. Con este enfoque, las máquinas están siendo diseñadas para analizar, interpretar y resolver un problema, este proceso es conocido como aprendizaje automático o aprendizaje profundo (*Deep Learning*), el cual se adapta más a la variabilidad de las enfermedades infecciosas (Chen and Asch 2017). El valor agregado del uso de este tipo de aprendizaje es que tiene un amplio uso en la interpretación de imágenes (Beam and Kohane 2018).

Estas interpretaciones se llevan a través del uso de una unidad básica o neurona que conforma una red neuronal, este concepto se deriva del estudio del cerebro humano. La red toma una variedad de señales, que luego combina de forma lineal para asignarle un peso con lo que se transforman en señales no lineales de salida. Estos procesos se conocen como redes neuronales profundas, la más utilizada para el diagnóstico de parásitos intestinales es la Red Neuronal Convolutiva (CNN, *Convolutional Neuronal Network*), la cual ha sido utilizada en la transformación de datos de dos dimensiones a datos de tres dimensiones. Los algoritmos de aprendizaje profundo se han convertido rápidamente en la metodología de elección en la interpretación de imágenes. Entre estos los generados por las redes convolucionales (Litjens et al. 2017).

Este tipo de aplicación ha presentado un buen desempeño ya que aprende rápidamente, sin embargo, necesita de datos marcados para su clasificación (Razzak, Naz, and Zaib 2018). Un esquema desarrollado por Razzak y colaboradores se presenta en la Figura 1.

Figura 1. Arquitectura de una red neuronal convencional de aprendizaje a través de máquinas.

Fuente: (Razzak et al. 2018)



Se considera que, en los próximos 15 años, las máquinas basadas en el aprendizaje profundo tomarán muchas de las decisiones humanas en la atención médica, aunque se anticipa que su inclusión se realizará de manera lenta, especialmente, en la interpretación de imágenes (Razzak et al. 2018).

6.4. El uso del aprendizaje automático profundo en la interpretación de imágenes

Regularmente los algoritmos de IA son reconocidos de dos formas: 1) no adaptativos o rígidos y definidos y que necesitan de humanos para tomar decisiones; 2) adaptativos, lo cuales son versátiles y evolucionan a medida que la máquina aprende, estos son reconocidos como los de aprendizaje automático profundo (*Machine Learning*). En un laboratorio clínico, una aplicación de estos aprendizajes es una curva de regresión lineal, la cual se usa para calibrar un instrumento ya que se utiliza para predecir las curvas de calibración. Los datos generados de esta manera por una máquina han producido un impacto en el área de la Microbiología clínica, especialmente en la información visual, como las imágenes microscópicas. Estas imágenes son fáciles de interpretar para un humano, ya que la corteza visual en el cerebro se dedica a estas actividades. Por el contrario, una máquina necesita ser entrenada inicialmente por un humano, para reconocer estas imágenes para luego generar algoritmos que se ajusten interactivamente las variables incluidas, hasta maximizar su precisión y exactitud (Smith et al. 2020a).

En el reconocimiento automático de parásitos, estos entrenamientos se llevan a cabo por medio de modelos matemáticos, como el propuesto por Alva y colaboradores. En este modelo se seleccionaron fotografías representativas las cuales fueron procesadas a través de un algoritmo que convertía la imagen a escala de grises, y luego aplicaba catorce pasos, lo cual producía una imagen filtrada, en esqueleto y tricolor. Estas imágenes se agruparon en características geométricas y descripciones de brillo individual para cada parásito. Luego se cuantificaron y evaluaron a través de un modelo de regresión logística iterativamente. El resultado global de este ejercicio mostró entre un 99.1% a un 100% de sensibilidad y 98.13% a 98.38% de especificidad, sin positividad cruzada para otros parásitos. En conclusión, este algoritmo, logró identificar automáticamente huevos de *Taenia* sp., *Trichuris trichiura*, *Diphyllobothrium latum* y *Fasciola hepatica* con un alto rendimiento de sensibilidad y especificidad (Alva et al. 2017).

Otra aplicación para la identificación automática de parásitos intestinales ha utilizado un entrenamiento del clasificador, a través de la entrada de imágenes de parásitos. En primer lugar, el clasificador localizó al parásito en la muestra de heces y luego regulariza las distancias para iniciar una segmentación de la imagen con lo que se generaron vectores. Los grupos de vectores entonces fueron reducidos a través de un análisis discriminante lineal. Los resultados se convirtieron en las entradas de datos del clasificador en un modelo denominado neuro-difuso, el cual fue agrupando las imágenes con un algoritmo de gradientes. Con este sistema fue posible clasificar 20 tipos de parásitos intestinales humanos, con una alta precisión e independiente de la etapa de desarrollo de los mismos (huevo, quiste o trofozoíto) (Nkamgang et al. 2018).

6.5. La inteligencia artificial como método alternativo de diagnóstico de parásitos intestinales

En la actualidad al contar con algoritmos que reconocen parásitos automáticamente ha sido posible ampliar su uso como alternativas diagnósticas a las que se les pueden incorporar otras herramientas tecnológicas como los teléfonos celulares, los cuales hoy en día son de uso común en la vida cotidiana y de fácil adaptación a un laboratorio clínico.

Entre las aplicaciones que han tomado ventaja de este hecho, se puede mencionar el propuesto por Quinn y colaboradores, quienes emplearon los patrones y las formas de los parásitos para predecir diagnósticos para malaria, tuberculosis y ancilostoma. Las imágenes así generadas fueron analizadas automáticamente a través de un microscopio utilizando modelos de algoritmos con Redes neurales convolucionales profundas (*Deep convolutional neural networks*, DCNN) como clasificadores, logrando una precisión del 100% para malaria; y 99% para tuberculosis y ancilostoma. Este algoritmo a su vez pudo ser leído por teléfonos inteligentes, con lo que se convierte en una excelente herramienta a utilizar en el punto de cuidado de pacientes (Quinn et al. 2016).

Otro ejemplo de Redes Neuronales Convolucionales profundas para interpretar imágenes es un microscopio adaptado y que puede ser leído a través de un teléfono celular. La aplicación reconoce las imágenes de huevos de parásitos como *S. mansoni*, *S. haematobium*, *S. japonicum*, *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Taenia* sp., *Hymenolepsis nana* y *Fasciola hepatica*, con una sensibilidad y especificidad mayor de 90% para ambas mediciones. El avance en esta aplicación

estriba en el uso de un microscopio portátil el cual puede usarse con una fuente de luz no convencional y enviar las imágenes a un banco de imágenes situadas en una nube de información. Esta aplicación está disponible para su uso en línea o el envío de imágenes directamente de un celular de manera gratuita a <https://parasite.id/>.

Con respecto a las adaptaciones de microscopios, se ha reportado el desarrollo de uno en miniatura con escáner para el diagnóstico de helmintos y *S. haematobium*. Este modelo se basa nuevamente en el uso del aprendizaje profundo a través de Redes Neurales Convolutiva. Las imágenes capturadas con este tipo de microscopio, alcanzó una sensibilidad del 83.3 al 100% en todos los parásitos analizados con respecto a la evaluación manual (Holmström et al. 2017).

Para finalizar, aunque las aplicaciones anteriores utilizan muestras frescas de heces, las Redes Neurales Convolutiva, también han sido adaptadas al diagnóstico de parásitos en muestras teñidas. Uno de los objetivos de este método fue determinar la sensibilidad y especificidad en muestras de heces tratadas con tinciones tricrómicas para que luego pudieran ser confirmadas manualmente. Los resultados alcanzados a través de esta metodología mostraron una concordancia positiva fue del 98.88% (IC 95%, de 93.76% a 99.98%), y el acuerdo negativo fue 98.11% (IC 95%, 93.35% a 99.77%). Este modelo a su vez logró una alta reproducibilidad en muestras con diferentes tipos de parásitos y clasificar parásitos en muestras diluidas hasta 5 veces, con respecto a las evaluaciones manuales (Mathison et al. 2020).

7 Estado del Arte

7.1. La inteligencia artificial y el diagnóstico de parásitos

Se ha encontrado que el proceso efectuado por los parasitólogos al escanear rápidamente las formas orgánicas y luego hacer una comparación con las características morfológicas de los parásitos (tamaño, forma, características internas y externas) se realiza de forma simultánea (Mathison et al. 2020). Estas interpretaciones son modeladas en la conectividad de la corteza óptica humana y pueden ser interpretadas de mejor manera, a través de una serie de algoritmos interconectados. Cada uno de estos algoritmos, transforma una imagen que es simplificada a datos que se pueden clasificar en probabilidades de salida. Esto a través del proceso de la Red Neuronal

Convolutiva y es una aplicación de los sistemas de *machine learning* de la IA (Smith et al. 2020a).

Algunos ejemplos del uso de esta tecnología fueron mostrados por Mathison y colaboradores, en muestras tratadas con tinciones tricómicas; este modelo presentó una excelente reproducibilidad y fue cinco veces más sensible que los resultados obtenidos por observaciones manuales, por lo que se concluyó que el uso de una Red Neuronal Convolutiva, puede ser una herramienta robusta para aumentar la detección convencional de protozoos intestinales (Mathison et al. 2020). Nkamgang OT y colaboradores, utilizaron una combinación de un sistema difuso y una red neural artificial con el objetivo de producir una red de inteligencia artificial adecuada al diagnóstico de parásitos intestinales. Los resultados mostraron una clasificación del 100% de veinte parásitos intestinales (protozoos y helmintos) en distintos estadios, además indicaron que el método puede extenderse a otros parásitos utilizando los mismos procedimientos (Nkamgang et al. 2018).

Otros modelos reportados se basan en cálculos matemáticos como el uso por SCILAB de código abierto, que ha mostrado que es posible identificar parásitos con el uso de algoritmos y el uso de un modelo de regresión logística simple para clasificar y modelar la probabilidad de identificación de los huevos de *Taenia* sp., *Fasciola hepatica*, *Diphyllobothrium latum* y *Trichuris trichiura* (Alva et al. 2017).

7.2. Diagnóstico parasitológico por inteligencia artificial y las Pruebas en Punto de Atención

El diagnóstico parasitológico también ha encontrado aplicaciones de inteligencia artificial en las pruebas en Punto de Atención del Paciente (*Point of care*, POC). Así, Holmström O y colaboradores diseñaron un microscopio digital de pequeño tamaño conectado a la nube para el diagnóstico de parásitos intestinales como *A. lumbricoides*, *T. trichiura*, *Ancylostoma* spp. y *S. haematobium*. El rendimiento de este microscopio móvil alcanzó una sensibilidad para todos los helmintos de 83.3 al 100%, en 217 muestras clasificadas manualmente. Con ello se mostró que el análisis de imágenes basado en el aprendizaje profundo, como una aplicación de la inteligencia artificial es posible para la detección y clasificación automatizada de helmintos en las imágenes capturadas (Holmström et al. 2017).

Por último, se encuentra disponible la aplicación basada en aprendizaje automático, desarrollada por el grupo de Parasite ID, la cual reconoce imágenes de huevos de parásitos como *S. mansoni*, *S. haematobium*, *S. japonicum*, *A. lumbricoides*, *T. trichiura*, *Taenia* sp., *H. nana* y *F. hepatica*, con una sensibilidad y especificidad mayor de 90% para ambas mediciones. En esta aplicación se pueden evaluar imágenes captadas con cámara para microscopio o por medio de un teléfono móvil o alternativamente se puede utilizar un microscopio acondicionado para ser leído con un teléfono móvil (Bell C, Foss V, Henderson V n.d.).

8 Objetivos

8.1. Objetivo General

Evaluar la utilidad de una herramienta basada en inteligencia artificial, para identificar los parásitos intestinales más comunes que afectan a los guatemaltecos que acuden a los centros de EPS en la carrera de Químico Biólogo del país.

8.2. Objetivos Específicos

- Determinar la exactitud y fiabilidad en la identificación de parásitos de una aplicación, basada en inteligencia artificial.
- Determinar la sensibilidad, especificidad en la identificación de parásitos de una aplicación, basada en inteligencia artificial.
- Establecer los parásitos que se deberían incluir en el desarrollo de una aplicación, basada en inteligencia artificial.

9 Hipótesis

No aplica por tratarse de un estudio observacional, descriptivo de corte transversal

10 Materiales y métodos

10.1. Enfoque de la investigación

Enfoque de la investigación: Este estudio posee un enfoque Mixto

Tipo de la investigación: Descriptiva y explicativa.

10.2. Método

Método observacional descriptivo.

10.3. Recolección de información

En esta investigación las alícuotas de las muestras de heces, fueron provistas por los estudiantes de Química Biológica que se encontraban realizando EPS en diferentes centros del país, durante el segundo semestre de 2021. Las muestras se procesaron en un laboratorio del Departamento de Microbiología de la Escuela de Química Biológica, Fac. de CCQQ y Farmacia de la USAC, en donde fueron evaluadas. Todas las muestras fueron identificadas con un código. Las muestras se observaron para determinar si había o no parásitos, los parásitos fueron caracterizados y clasificados por su apariencia morfológica para determinar género y especie. Las muestras, tanto las que tenían como las que no tenían parásitos, fueron preparadas para la toma de imágenes desde diversos aumentos y aspectos, a través de un microscopio óptico (Leica DM750) con cámara de 5.0 mega pixeles (Leica ICC50) y por medio de teléfonos inteligentes con un adaptador para el microscopio. Las imágenes fueron identificadas y almacenadas en disco duro y en la nube para luego ser identificadas con la aplicación de Parasite ID y por expertos que colaboran en el proyecto, los resultados obtenidos se ingresaron a una base de datos. Las mediciones se llevaron a cabo a través de un diseño de estudios diagnósticos con el objetivo de determinar la exactitud y fiabilidad de la aplicación Parasite ID (Bell C, Foss V, Henderson V n.d.). Acompañando esta fase, se recolectó información sobre los datos generados en el año 2019 en el laboratorio Clínico Popular y en los centros de EPS, para determinar los parásitos más frecuentes que sería necesario incluir en el desarrollo futuro de una aplicación basada en IA. Los datos generados y decodificados fueron luego comparados con los resultados reportados en los laboratorios de los centros de EPS.

10.4. Técnicas e instrumentos

Las muestras de heces se procesaron mediante sedimentación rápida (centrifugación) por 5 minutos a 3000 rpm. para concentrar cualquier parásito presente. Los sedimentos se prepararon con yodo de Lugol y se examinaron con microscopio óptico. Sobre estas preparaciones se llevaron a cabo las evaluaciones manuales, con un teléfono celular y se tomaron fotografías necesarias de

cada preparación (Alquijay M., Reyes E., Morales M., Hernández R., Flores L., Castro 2021; Quinn et al. 2016).

Identificación de los parásitos

Los parásitos seleccionados en cada una de las muestras fueron identificados según las características descritas previamente en el manual de identificación de la Organización Mundial de la Salud, de la siguiente manera: Helmintos: *A. lumbricoides*, huevo; *T. trichiura*, huevo; *A. duodenale* y *N. americanus* (Uncinarias), huevos; *H. nana*, huevo; y *Taenia* sp., huevo; *S. stercoralis*, larva; Céstodes: huevos de *Diphyllobothrium latum*, *Dipylidium caninum*, *Hymenolepsis nana*, *Hymenolepsis diminuta*, *Taenia solium* y *Taenia saginata* y Protozoos como quistes de: *Entamoeba histolytica*, *Blastocystis hominis*, *Giardia lamblia*, *Dientamoeba fragilis*, *Balantidium coli*, *Cystoisospora belli*, *Cryptosporidium* spp., *Cyclospora cayetanensis*, *Entamoeba dispar*, *Entamoeba hartmanni*, *Entamoeba coli*, *Endolimax nana*, *Iodamoeba bütschlii*, *Chilomastix mesnili*, *Pentatrichomonas hominis*. El parasitólogo del grupo de investigación efectuó a las confirmaciones necesarias como control de calidad (García 2016; WHO 1991).

Digitalización de imágenes

Para la digitalización de imágenes se utilizó un microscopio óptico (Leica DM750) equipado con una cámara de 5.0 mega píxeles (Leica ICC50) utilizando aumentos de 100x, 400x y 1000x, la digitalización se realizó por medio del programa LAS V49 en formato tif. Para todas las fotos, se utilizó la fuente de luz a una intensidad apropiada con un difusor y colimador para evitar la luz punteada. Las imágenes de los captadas por medio de celulares se tomaron con la cámara en su máximo zoom óptico, con enfoque automático, en formato jpg.

Uso de la aplicación de IA – Parasite ID

Para la identificación de las imágenes digitalizadas se utilizó el sitio de <https://Parasite.ID/> una plataforma de uso gratuito la cual puede identificar huevos de *S. mansoni*, *S. haematobium*, *S. japonicum*, *A. lumbricoides*, *T. trichiura*, *Taenia* sp., *H. nana* y *F. hepatica*, con una sensibilidad y especificidad mayor de 90% para ambas mediciones. La imagen de cada parásito o artefacto incluido en el estudio se cargaron en esta aplicación en formato jpg y con 300 a 900 kbs. La exactitud de la identificación se anotó y evaluó posteriormente al decodificar cada muestra.

Recolección de datos

Para la recolección de la información correspondiente a las muestras enviadas por los estudiantes en EPS se preparó una forma en *Google Forms*, los campos incluidos fueron: fecha y código de colección de la muestra, datos de edad y sexo de los pacientes, parásito observado. Se agregó una variable denominada decodificación para el análisis final de la base de datos. Para el objetivo 3 de la presente propuesta “Establecer los parásitos a incluir en el desarrollo de una aplicación, basada en inteligencia artificial”, se preparó con el software Epi Info™ otra forma de colección de datos históricos de los centros de EPS, los campos incluidos fueron: fecha de colección de la muestra, edad, y procedencia de los pacientes, así como, el nombre del parásito observado.

Procesamiento y análisis de la información

El estudio de la aplicación se llevó a cabo al efectuar mediciones de la exactitud y fiabilidad de Parasite ID. Con este análisis fue posible cruzar los diagnósticos en la muestra de especímenes enviados por los centros de EPS contra los diagnósticos efectuados por los investigadores y las imágenes cargadas en la aplicación de IA (<https://Parasite.ID/>). A través de este análisis fue posible determinar la probabilidad de éxito o sensibilidad y del fracaso de la aplicación. También se determinó la curva ROC (por sus siglas en inglés *-receiver operating characteristic curve*), para obtener una gráfica en la se presentan los valores de corte –, la fracción de verdaderos positivos FVP (sensibilidad) y la fracción de falsos positivos FFP-(1-especificidad) por lo que entre más amplia el área bajo la curva, mejor representada estarían la especificidad y especificidad de la herramienta IA utilizada. Todas las determinaciones se efectuaron con un intervalo de confianza del 95%. Para la determinación de los parásitos que debieron incorporar en el desarrollo de una herramienta IA a futuro, se utilizaron frecuencias y porcentajes. También fue posible efectuar comparaciones de las frecuencias por género, edad y procedencia. Las comparaciones cuando fue necesario se efectuaron a través de tablas de contingencia y una prueba de Chi-cuadrado con un nivel de significancia del 0.05.

11 Resultados y discusión

11.1. Resultados

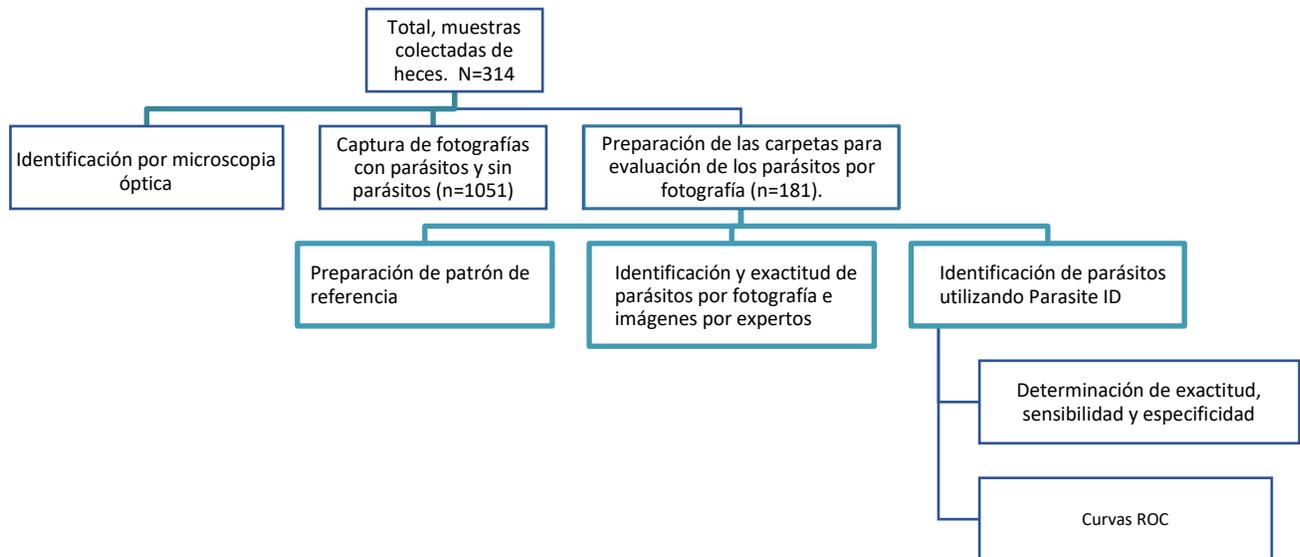
Resultados de exactitud, sensibilidad y especificidad, aplicación disponible

Fotografías de parásitos a evaluar por Parasite ID

Las muestras colectadas provenían de los lugares del Ejercicio Profesional Supervisado, de los estudiantes de Química Biológica, de la Facultad de CCQQ y Farmacia de la Universidad de San Carlos. Los 12 centros participantes, enviaron un total de 314 muestras de heces, conservadas en formalina (10%) al Laboratorio de Microbiología de la Escuela de Química Biológica. Para cada muestra se determinó la presencia, género y especie del parásito reportado y luego se procedió a su ratificación con una segunda observación para corroborar el diagnóstico inicial anotado en el lugar de EPS. Luego para cada parásito identificado se procedió a tomar las respectivas fotografías a través del microscopio óptico (Leica DM750) con una cámara de 5.0 mega pixeles (Leica ICC50) y utilizando un teléfono celular. Para las muestras negativas, se contó con el apoyo de uno de los investigadores del estudio, quien facilitó 100 muestras de heces provenientes de pacientes que acudieron al centro de salud de Clínica Periférica Primero de Julio en los meses de julio a octubre. Del total 314 de las muestras positivas como negativas evaluadas, se logró capturar un total de 1051 fotografías, las cuales fueron almacenadas digitalmente en archivos específicos para cada parásito o como muestras con resultados negativos. Estas fotografías contaban con las siguientes características: 1) morfología básica de identificación del parásito; 2) presencia de uno o varios parásitos en la misma fotografía; 3) Identificación del parásito, aunque estuviera parcialmente oculto; y 4) en el caso de las muestras negativas se seleccionaron aquellas estructuras que simularán la morfología de un parásito. Con este procedimiento fue posible seleccionar al azar un total de 181 fotografías que representaban un solo tipo de parásitos y algunas hasta con dos tipos de parásitos, además de 30 fotografías sin parásitos.

Luego se procedió a su confirmación por los dos expertos del grupo de investigación, esto con el objetivo de simular una aplicación análoga a la inteligencia artificial y que replicara el reconocimiento por imágenes de parásitos llevado a cabo por el cerebro. En el diagrama de la Figura 2, se presenta el flujo de trabajo para la selección de parásitos e imágenes de estos, y la evaluación por los dos expertos del proyecto y la aplicación de Parasite ID.

Figura 2. Diagrama de trabajo para la evaluación de la exactitud y repetibilidad de la aplicación Parasite ID.



La distribución de las fotografías para cada parásito, se presentan en la Tabla 1. Se observa que de las muestras incluyeron con mayor frecuencia fotos de parásitos como *Hymenolepis nana* (n=31), *Ascaris lumbricoides* (n=30) y *Trichuris trichiura* (n=30) y *Taenia* spp (n=12) así como que en algunas fotografías se observó más de una imagen del mismo parásito. Además, se incluyeron protozoos varios *E. coli*, *I. bütschlii*, *E. nana*, *E. histolytica*, *G. lamblia*, *E. coli* y *C. mesnili*. Esto último se tomó en cuenta ya que la aplicación de Parasite ID, reconoce a los parásitos por imágenes presentes en una sola fotografía independiente si corresponde al mismo o diferentes parásitos. Este conjunto de fotografías se estableció como patrón de referencia validada por los expertos para ser utilizada en la evaluación de la aplicación de parasite ID.

Tabla 1. Distribución de parásitos y número de fotos

Parásito	Número de fotos	
	n= 181	
	n	%
<i>Ascaris lumbricoides</i>	30	17
<i>Enterobius vermicularis</i>	14	8
<i>Hymenolepsis nana</i>	31	17
<i>Strongyloides stercoralis</i>	15	8
<i>Taenia</i> sp	12	7
<i>Trichuris trichiura</i>	30	17
<i>Cystoisospora belli</i>	8	4
Protozoos varios	11	6
Muestras sin parásitos	30	17
Total	181	100

Identificación de parásitos por expertos y por la aplicación de inteligencia artificial

Con el objetivo de crear un contexto similar a la identificación que efectuaría el cerebro humano y fuera posible extrapolarlo a una aplicación, se contó con el apoyo de los expertos en parasitología del grupo de investigación. En forma individual, observaron el juego de fotografías con la posterior identificación del parásito. Ante la ausencia o presencia del parásito, cada una de estas evaluaciones fue registrada, en una base de datos como ausencia o presencia o dudosa según el caso.

En relación con la aplicación de inteligencia artificial, fue facilitada para el proyecto por el grupo de trabajo de Parasite ID. Esta aplicación, de uso gratuito, fue apta para esta fase del proyecto ya que cuenta con un sitio en internet con el dominio <https://parasite.id/>. A la fecha esta aplicación puede identificar huevos de parásitos endémicos en Guatemala, como: *Ascaris lumbricoides*, *Hymenolepsis nana*, *Trichuris trichiura*, *Taenia* spp, *Ancylostoma duodenale*, *Necator americanus* (Uncinariás). Además, la aplicación esta entrenada para identificar: *Fasciola hepática*, *Schistosoma haematobium*, *Schistosoma japonicum*, *Schistosoma mansoni*, estos últimos reportados nunca o excepcionalmente en el país.

Por lo anterior, para su uso fue necesario contar con un archivo de fotografías de los parásitos detectados en las muestras disponibles. Las fotografías en formato jpg fueron subidas al sitio

indicado anteriormente. Esta herramienta identificó las imágenes de los parásitos como objetos y brinda la identificación de los parásitos con un porcentaje de confianza (Apéndice, Figura 9, Figura 10). Cada uno de estos resultados fue registrado en una base de datos junto con los resultados alcanzados por los expertos para cada fotografía.

Determinación de la exactitud y viabilidad de la evaluación efectuada por los expertos y Parasite ID.

Los resultados en cuanto a la identificación de imágenes por los expertos fueron similares tanto para la sensibilidad como la especificidad (94.7%; IC¹95%, 0.90-0.97); con idénticos resultados para la fiabilidad (85.6% (75.8-95.3)). Se observa además que los coeficientes de probabilidad no se incrementaron para ninguno de estos resultados. El principal desacuerdo de los expertos giro alrededor las imágenes correspondientes a huevos de *Enterobius vermicularis* y *C. belli*, ya que el tamaño y características morfológicas no representaban los patrones de estos parásitos, sin embargo, se acordó que se presentará la imagen para identificación como muestra negativa ante Parasite ID (Apéndice, Tabla 7).

Tabla 2. Exactitud y precisión en la identificación de imágenes de parásitos presentadas por expertos (N=181)

	Sensibilidad			Especificidad			Fiabilidad		CP Positivo ²	CPN ²
	N	%	(IC ¹ 95%)	N	%	(IC ¹ 95%)	%	(IC ¹ 95%)	(IC ¹ 95%)	(IC ¹ 95%)
Experto 1	143/151	94.7	(90-97)	30/0	100	(89-100)	85.6.	(75.8-95.3)	-	0.05 (0.03-0.10)
Experto 2	143/151	94.7	(90-97)	30/0	100	(89-100)	85.66	(75.8-95.3)	-	0.05 (0.03-0.10)

IC= Intervalo de Confianza; ²CPPositivo= Coeficiente de probabilidad positivo S/1-E; ²CPN=Coeficiente de probabilidad negativo (1-S)/E.

Con el acuerdo alcanzados de los expertos, se preparó el patrón de referencia final para la evaluación de la aplicación de Parasite ID. Para ello, se acordó que 4 parásitos endémicos de Guatemala fueran evaluados ya que aparecían en el catálogo Parasite ID. Al resto de la muestra se le codificó como imágenes negativas, independiente si se observaba a algún parásito o no. De esta manera se esperaba que Parasite ID, pudiera identificar un total de 103 parásitos correctamente (*A. lumbricoides*, *H. nana*, *T. trichiura*, y *Taenia* spp). Para esta evaluación no se contó con las imágenes de parásitos como *A. duodenale* y *N. americanus* (Uncinariar), ya que, en las muestras colectadas

durante el período de estudio no fue diagnosticado este parásito. La evaluación de la exactitud y fiabilidad se efectuó calculando estos parámetros y posteriormente con de una curva ROC para su optimización.

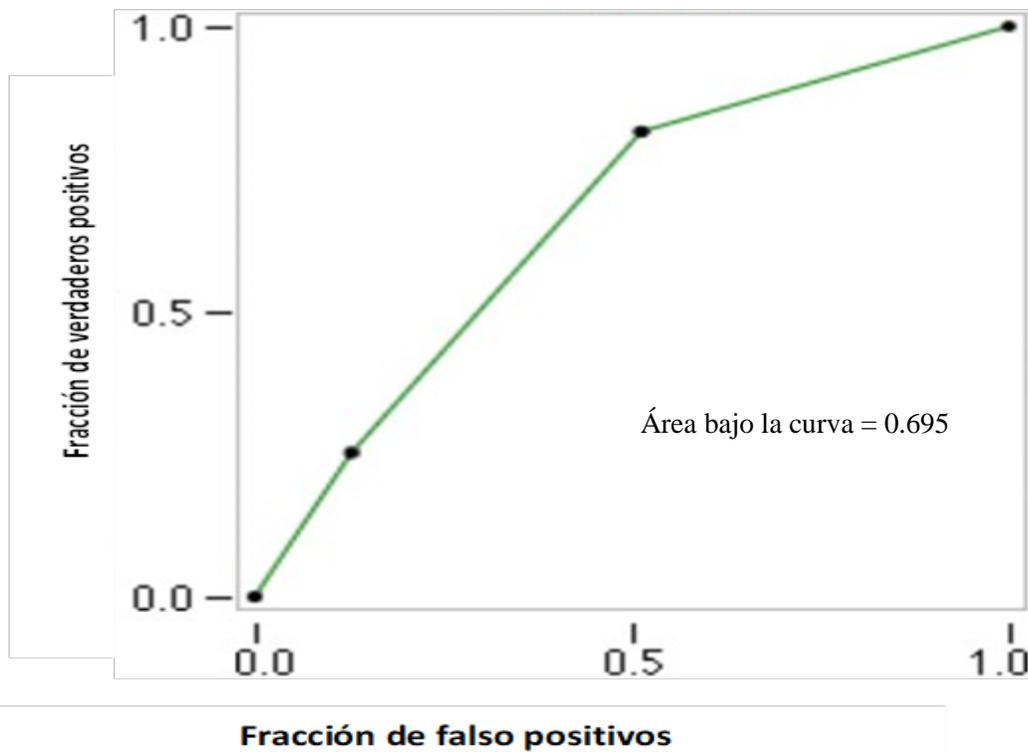
Los resultados de estos análisis se presentan en la Tabla 3. Se observa que la sensibilidad de Parasite ID fue pobre (25.2; IC95%, 17.8 - 34.4%), con lo que la identificación correcta correspondió a uno de cada cuatro parásitos. Con respecto a la especificidad alcanzada fue considerada como buena (79.5%; (IC95%, 69.3-86.9%). Con respecto a la concordancia o precisión, esta fue considerada como pobre ya que alcanzó un 4.3% (IC95%, 6.9-17.9%), mientras que los valores de los coeficientes de probabilidad positivos y negativos alcanzaron valores cercanos a uno. Por último, la exactitud encontrada fue considerada como baja (48.6%; IC95%, 41.1% - 56.1%). En cuanto a los resultados de la optimización de la exactitud a través de la curva ROC, se observó que la sensibilidad aumentó a un 31.1% (CI95%, 22.9 40.5%) y la especificidad a un 87.2 % (CI95%,77.9 92.9). Al comparar esta evaluación con los resultados originales no se encontraron diferencias significativas entre una y otra medición ($p < 0.05$). El valor kappa de la fiabilidad, sin embargo, si presentó una diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.002$), de 4.3 un 16.7% de la evaluación original al escenario de optimización por la curva ROC respectivamente. Sin embargo, el valor de la fiabilidad fue considerado como nulo en ambos escenarios. En lo que concierne a los valores del CPP aumentaron a un 2.4 y el CPN disminuyó a 0.79, respectivamente (Figura 3). La exactitud ajustada de Parasite ID, alcanzó un 55.2% (IC95%, 47.69% - 62.63%).

Tabla 3. Exactitud y fiabilidad en la identificación de imágenes de parásitos por Parasite ID (n=204)

	Sensibilidad			Especificidad			Fiabilidad		CP Positivo ¹	CPN ¹
	N	%	(IC 95%)	N	%	(IC 95%)	%	(IC 95%)	(IC 95%)	(IC 95%)
Parasite ID	26/103	25.2	(17.8 - 34.4)	62/78	79.5	(69.3-86.9)	4.3	(6.9-17.9)	1.2 (0.71- 2.1)	0.94 (0.80-1.1)
Curva ROC Parasite ID	32/103	31.1	(22.9 40.5.)	68/78	87.2	(77.9 92.9)	16.7	(3.1-30.1)	2.4 (1.3- 4.6)	0.79 (0.7-0.9)

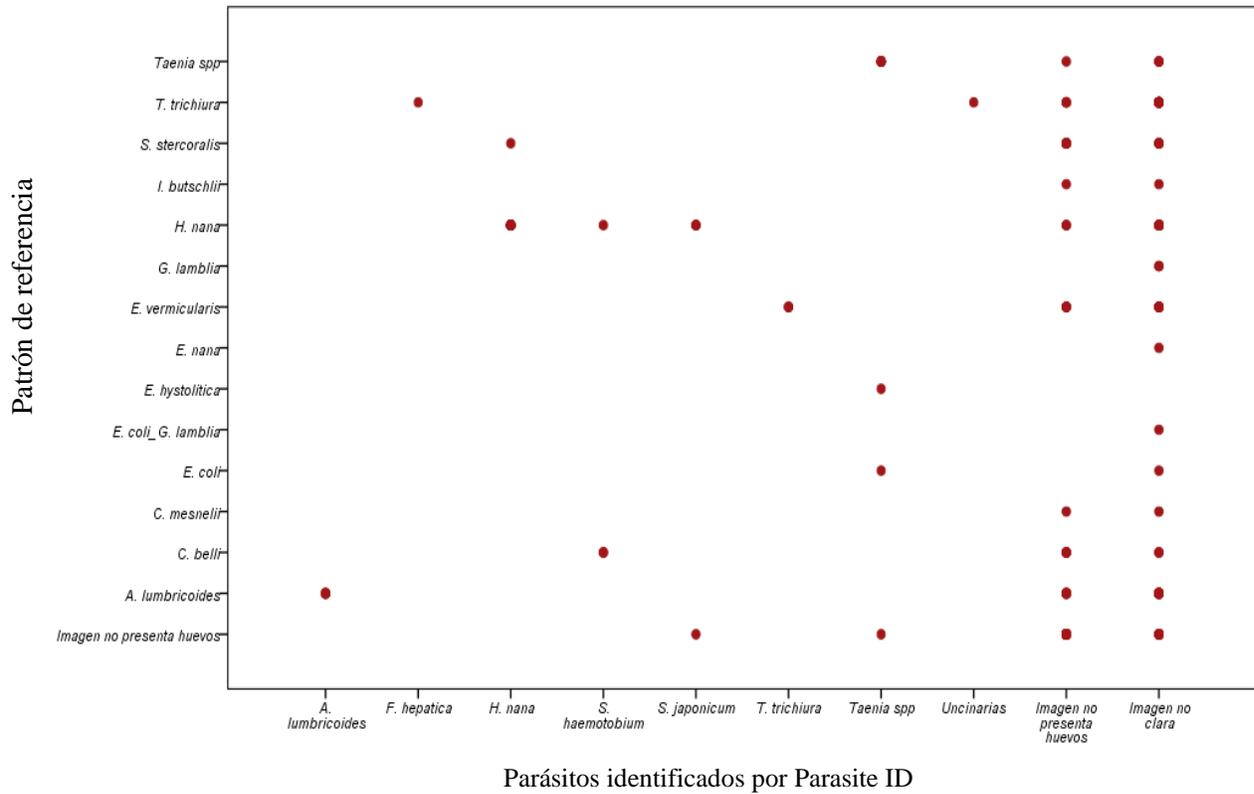
IC= Intervalo de Confianza; ²CPPositivo= Coeficiente de probabilidad positivo S/1-E; ²CPN=Coeficiente de probabilidad negativo (1-S) /E.

Figura 3. Característica ROC de la aplicación Parasite ID para identificación parásitos



En la Figura 4, se observa la comparación de los parásitos identificados por Parasite ID y los incluidos en el patrón de referencia, así las imágenes correspondientes a *T. trichiura* fueron clasificadas como *Fasciola hepática* (1) o *Uncinaria* (1). Mientras que *H. nana* fue identificada como *Schistosoma japonicum* (3) y *Schistosoma haematobium* (1). Para las muestras verdaderamente negativas Parasite ID, clasificó dos de ellas como *Taenia* spp (1) y *S. japonicum* (1).

Figura 4. Identificación de imágenes de parásitos por Parasite ID y patrón de referencia (N=181)



Potenciales parásitos para el desarrollo de una aplicación, basada en inteligencia artificial.

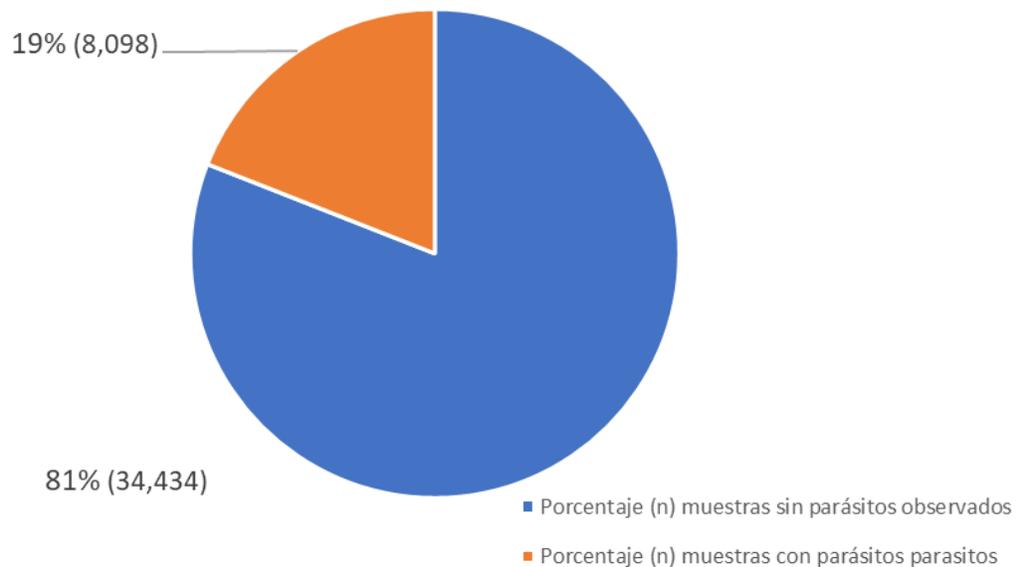
Para esta sección se revisaron un total de 16 informes, derivado de estos documentos se encontró que un total de 42,532 muestras habían sido procesadas del año 2019 al 2021 en los lugares de EPS. Para el año 2019 (n=23,807) y el año 2021 (n=15,424) se presentaron la mayor cantidad de muestras procesadas durante los meses de enero a junio. Para todos los años los meses de julio a diciembre, disminuyó el número de muestras procesadas para cada uno de los lugares (Apéndice, Tabla 8, Figura 11).

En relación con el número de muestras por lugar de EPS (Apéndice, Figura 12), el Hospital Nacional de Retalhuleu fue el que procesó la mayor cantidad de muestras (n= 11,470) durante el año 2019, seguido del Hospital de Nebaj (3,678) y el de Puerto Barrios (n= 3,090). En el año 2020, la mayoría de los hospitales, disminuyeron la carga en el diagnóstico de parásitos. Para el año 2021, el Hospital de Huehuetenango (n= 3,116) procesó la mayor cantidad de muestras seguido del Hospital de Puerto Barrios (n=2,044) (Apéndice, Figura 12).

Con respecto al porcentaje de carga del diagnóstico de parásitos en el laboratorio EPS, se observó que para el año 2019 el HN de Retalhuleu presentó una carga de un 7.9%; mientras que para el año 2020 el CAP de Tactic en Alta Verapaz, el porcentaje de carga fue un 11.0%; y para el año 2021, los hospitales de Sacatepéquez y el centro de atención permanente de Chichicastenango presentaron porcentajes de un 7.0 y 7.03, respectivamente (Apéndice, Figura 13).

A partir de estos datos (N=42,532), se encontró que en el 19% de las muestras procesadas (n=8,098) se reportó la presencia de algún parásito (Figura 5). Estas muestras fueron informadas en un 76.9% (n=6,228), de hospitales nacionales; 12.2% (n=986) en los centros de atención permanente; 8.6% (n=693) en un hospital regional; 1.6% (n=133) en un hospital departamental; y por último un 0.7% de un centro de salud distrital.

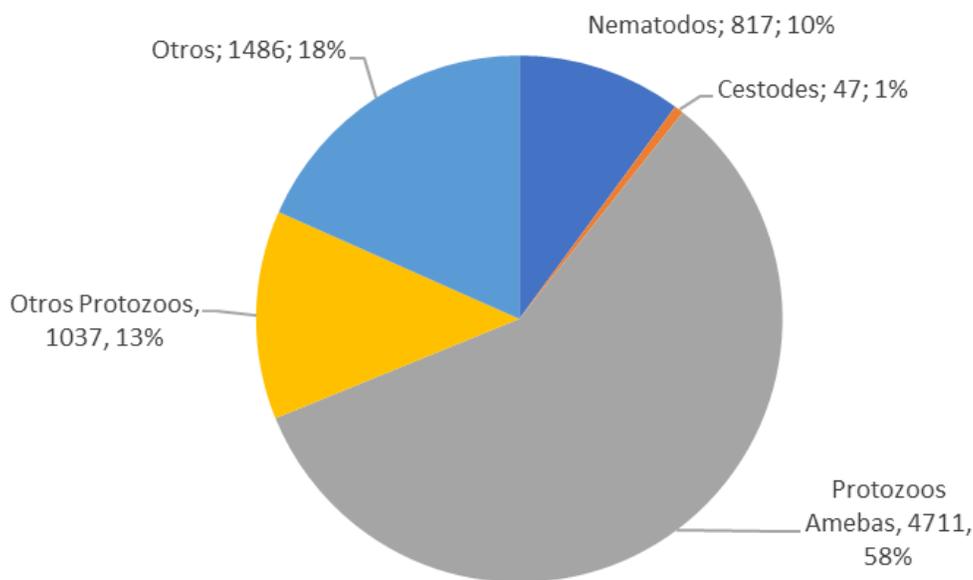
Figura 5. Porcentaje y número de parásitos encontrados en las muestras observadas (N=45,032)



En referencia a estos resultados se observó que el Centro de Atención Permanente en Chichicastenango, Quiché, presentó en el mayor porcentaje de parásitos (49.7%); seguido del Hospital Nacional Fray Bartolomé de las Casas, AV (36.8%) y la DASC en Santa Cruz, QC (25%) entre los más altos. Mientras que los hospitales nacionales de Jutiapa, JU (1.9%) y Sacatepéquez (2.1%), presentaron los valores más bajos (Apéndice, Tabla 9).

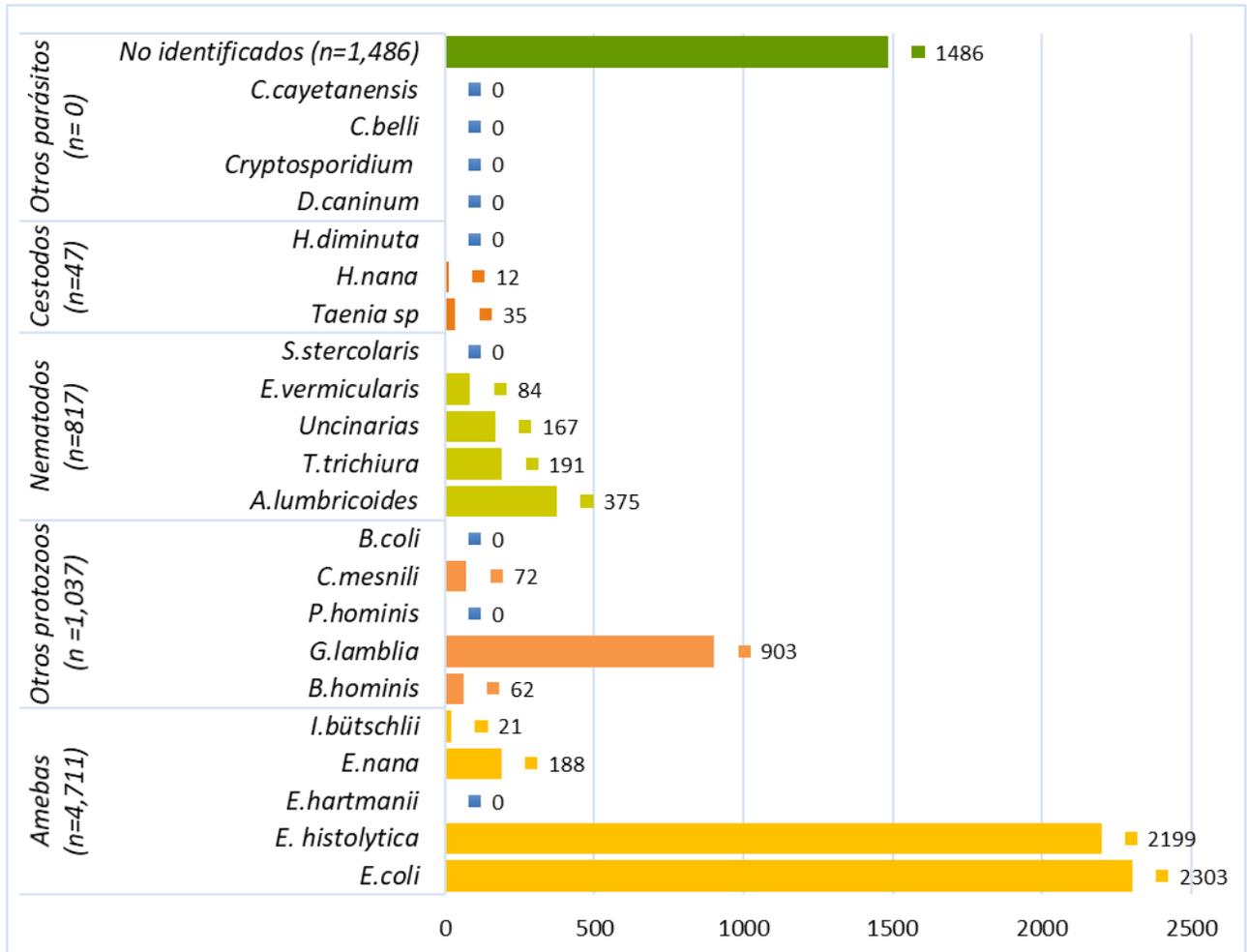
Se encontró que en estos centros, los parásitos en grupos (Figura 6) presentaron la mayor cantidad la presentaron los protozoos tipo amebas (n=4711); protozoos 13% (n =1037); nemátodos 10% (n=817); y cestodos con un 1% (47%). En esta gráfica también se aprecia que un 18% fue clasificado como otros, sin especificar el criterio de clasificación (n=1486).

Figura 6. Clasificación por tipo de parásitos identificado (N= 8098)



De acuerdo con la clasificación por especie, en la Figura 7, en la mayoría de los centros atención se observó que tanto *E. coli* como *E. histolytica* (n=4502), fueron los parásitos más frecuentemente identificados, seguidos de *G. lamblia* (n=903); *A. lumbricoides* y *T. trichiura* (n=566). En relación con los parásitos con resultados de cero, posiblemente fueron clasificados en el renglón de no clasificados.

Figura 7. Especies de parásitos encontrados por tipo de parásito



Los reportes de amebas fueron encontrados con mayor frecuencia en el HN de Retalhuleu (n=1,664), seguidos de los parásitos no clasificados (n=427) en el HN de Puerto Barrios. Mientras en el grupo de otros protozoos nuevamente el HN de Retalhuleu (n=441), presentó las cantidades; más altas; para el grupo de nematodos fue el HN de Tiquisate (n=333), el que mostró la mayor cantidad de los mismos. Por último, en el grupo de los cestodos (47), el HN FB de las Casas (17), presentó la mayor cantidad, seguido del HN de Nebaj (n=15) (Apéndice, Tabla). Para finalizar, los formatos de los reportes revisados no incluyeron la prevalencia de estas infecciones en los centros de lugar de EPS.

Determinación de la calidad en el diagnóstico de las muestras incluidas en el proyecto

Del total de 314 de especímenes recibidos se tomaron 273 muestras, que provenían de 12 centros de atención en salud (Apéndice, Tabla 11), para realizar procesos de control de calidad. El 71.8% procedían de mujeres; promedio de edad de los pacientes en la muestra fue de 29.3 años (DE \pm 1.78 años), aunque se observa que se incluyeron muestras de tres niños menores de un año (Tablaxx1). Un 55.6% (n=109) de las mujeres presentaron algún parásito; los grupos menores o mayores de 26 años, mostraron similares porcentajes de parásitos (50.9 y 47.8%, respectivamente). En relación con el tipo de centro de atención, se observa en la tabla xx1, que los centros de salud fueron los lugares de donde más frecuentemente provenían las muestras, con un porcentaje de 65.9% (n=180) seguidos de los hospitales nacionales con un 27.1% (n=74). Los hospitales nacionales fueron los lugares donde más frecuentemente se observaron muestras de personas con parásitos con un 87.8% (n=65).

Tabla 4. Descripción por género, edad y tipo de centro de atención y la presencia de parásitos (n=273)

Características			Parásitos			
			Presencia (n=147)	(%)	Ausencia (n=126)	(%)
Sexo (n=273)						
Femenino	196	(71.8)	109	55.6	87	44.4
Masculino	74	27.1	35	47.3	39	52.7
NA	3	1.1	3	100	0	0
¹ Edad (n=230)						
Menor de 1 año	3	1.3	0	0	3	100.0
≤ 26 años	117	50.9	60	51.3	57	48.7
≥ 26 años	110	47.8	49	44.5	61	55.5
Muestras por Centro de atención (n= 273)						
Centro de salud	180	65.9	74	41.1	106	58.9
Hospital Distrital	6	2.2	4	6.7	2	33.3
Hospital Nacional	74	27.1	65	87.8	9	12.2
Hospital Regional	13	4.8	4	30.8	9	69.2

¹ X= 29.30 años; DE \pm 1.78 años; Menor: de 1 año ; Mayor de 78 años ; mediana =26; Rango intercuartil = 19 años

Sobre un total de 273 muestras evaluadas en el control de calidad se encontró que 115 (42.12%) muestras tenían alguna diferencia. Entre las principales discrepancias se encontró 1) muestra

informada negativa que presenta parásitos, 2) muestra informada positiva a la cual no se le encuentran parásitos, 3) muestra a la cual le faltan parásitos y 4) muestras que informan más parásitos de los que se encontraron. Una descripción de los parásitos que presentaron discrepancias en la identificación se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Parásitos observados en el control de calidad de las muestras incluidas en el estudio con discrepancias. Tendríamos que agregar el %, y el 47?

Variable	n
Parásitos	47
<i>E.coli</i>	32
<i>E.histolytica</i>	30
<i>E.nana</i>	26
<i>I.bütschlii</i>	10
<i>B.hominis</i>	31
<i>G.lamblia</i>	6
<i>C.mesnili</i>	2
<i>A.lumbricoides</i>	5
<i>T.trichiura</i>	4
<i>H.nana</i>	1
urbanorum	3

Los hallazgos de las discrepancias tuvieron como consecuencia que disminuyeran el número de parásitos reportados en un 9.2% (Tabla 6), con respecto al reporte original. La mayor diferencia en el porcentaje se observó en el hospital regional y un hospital distrital con una reducción del 97% y 33.3%, respectivamente.

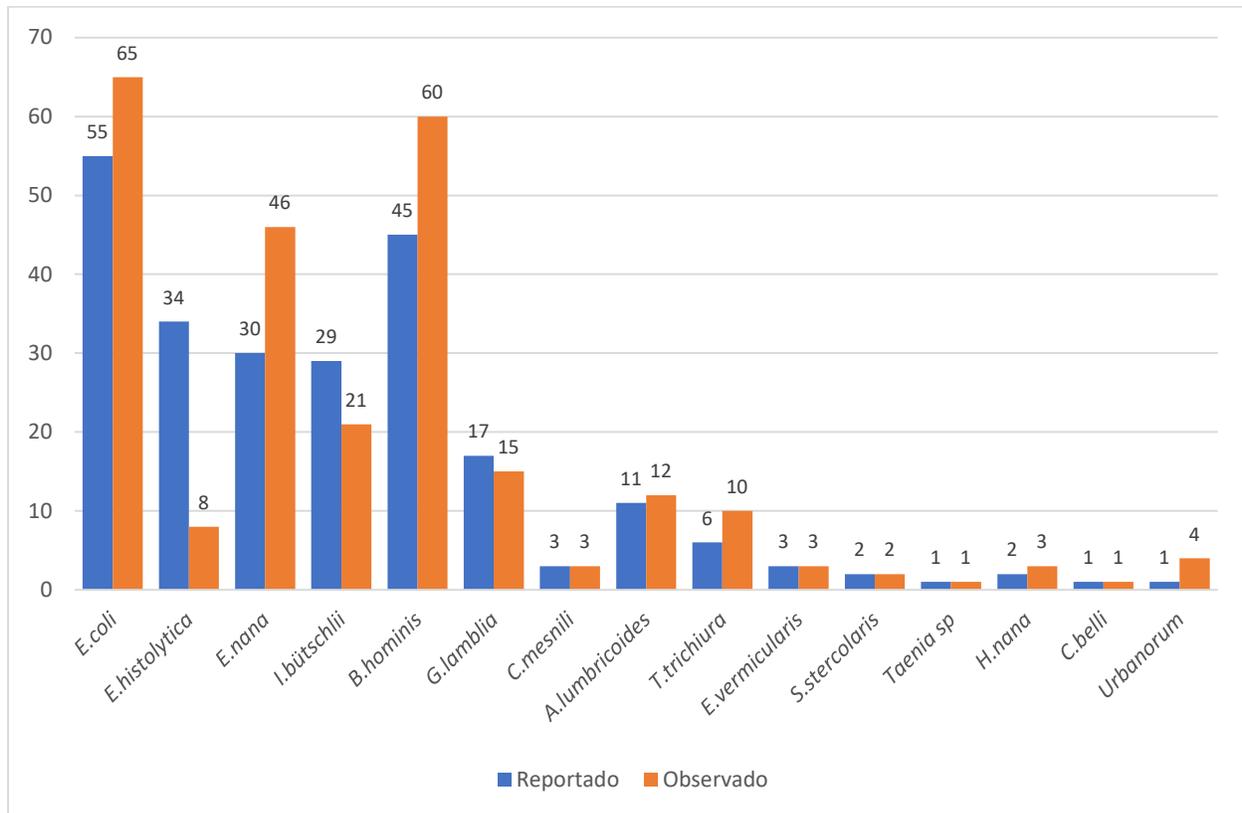
Tabla 6. Diferencias en cuanto al número de parásitos reportados y los encontrados en el control de calidad (N=273)

Centro de atención (N=12)	Total	%	Observado	%	Reportado	%	Diferencia
Centro de Salud (n=4)	180	65.9	74	41.1	79	43.9	-2.8
Hospital Distrital (n=1)	6	2.2	4	66.7	6	100.0	-33.3
Hospital Nacional (n=6)	74	27.1	65	87.8	74	100.0	-12.2
Hospital Regional (n=1)	13	4.8	4	2.7	13	100.0	-97.3
Total	273	100.0	147	53.8	172	63.0	-9.2

Los diagnósticos de parásitos que más frecuentemente presentaron discrepancias fueron las amebas Figura 8. Entre este grupo, *E. histolytica* presentó una disminución entre lo reportado y lo observado

de 26 observaciones; mientras que *E. nana* aumentó 16; *B. hominis* aumentó 15; y por último *E. coli* aumentó en 10. El resto permaneció con menores variaciones.

Figura 8. Diferencias de identificación encontradas en el control de calidad



Al comparar, los datos históricos extraídos de informes anteriores de EPS (n=16), contra los observados en la muestra de este estudio, se observaron discrepancias en el grupo de amebas; así por ejemplo *E. coli* presentó porcentajes de detección (de 34.8% a 25.6%); *E. histolytica* (de 33.3% a 3.1%); *E. nana* (de 2.8% a 18.1%); *I. bütschlii*; (de 0.3% a 8.3%); y *G. lamblia* (de 13.7% a 5.9%). El resto de los parásitos no presentaron mayores cambios gráfica comparativa de lo histórico (Apéndice, Figura 14).

11.2. Discusión de resultados

Las enfermedades parasitarias provocan millones de casos al año además de consecuencias sanitarias y socioeconómicas, principalmente en los países en vías de desarrollo del mundo. En toda

América Latina y el Caribe, afectan desmedidamente a los grupos más desfavorecidos (WHO 2017). Estrechamente vinculado a esto, los métodos de diagnóstico de parásitos intestinales se ven obstaculizado por la falta de mano de obra calificada y equipo de diagnóstico especializado en los países en desarrollo. Por lo anterior, las aplicaciones de inteligencia artificial para la identificación de imágenes de parásitos, podría aumentar la capacidad diagnóstica, así como la calidad de los resultados con el uso de dispositivos robustos económicos y precisos (Rajchgot et al. 2017).

En este estudio, se agruparon por parásito, fotografías validadas por dos expertos para evaluar la utilidad de la aplicación Parasite ID, comparando posteriormente estos resultados. Todas las imágenes identificadas por el grupo de expertos llenaron las características morfológicas descritas para cada uno de los parásitos incluidos en la evaluación. Esto último fue necesario ya que el reconocimiento efectuado por los expertos conformaría el patrón de referencia y de forma análoga sería utilizado como una herramienta de inteligencia artificial en el reconocimiento de imágenes.

Para el estudio se determinó que Parasite ID, globalmente identificó al 25.2% de los siguientes parásitos: *A. lumbricoides*, *H. nana* y *Taenia* spp. Del total de imágenes correspondientes a *T. trichiura*, ninguna fue identificada. Este resultado no fue congruente con lo informado en el sitio web de la aplicación, de un 90 % a un 99% para la sensibilidad y especificidad.

Sin embargo, Bogoch y colaboradores con el teléfono móvil, como una herramienta similar a Parasite ID, informaron una sensibilidad del 69,4% para detectar cualquier huevo de helmintos y sensibilidades del 81,0 % y 54,4 % para el diagnóstico de *A. lumbricoides* y *T. trichiura* respectivamente en comparación con el microscopio óptico. Por ende, Parasite ID presentó una sensibilidad nula además de no detectar a *T. trichiura*. Con respecto a la especificidad fue de 79.5 mientras que en estudio de Bogoch y colaboradores, esta estimación alcanzo un 61.5%, (Bogoch et al. 2013). Esta discrepancia podría explicarse ya que en Parasite ID, las imágenes no claras fueron clasificadas como negativas.

La fiabilidad de la identificación por Parasite ID con respecto al patrón de referencia alcanzó un 4.3%, un valor que indicó que la concordancia entre ambos no existió, y por lo tanto la reproducibilidad de esta aplicación, por el momento, no se podría considerar útil para futuras comparaciones (McHugh 2012). Al usar un patrón de referencia con imágenes validadas por expertos y con un alto porcentaje de acuerdo, la pobre sensibilidad (25.2%), con un área bajo la curva de 0.69, y con una fiabilidad y exactitud (4.3% y 48.6%; respectivamente) alcanzada por Parasite ID, revelan

que, en la aplicación a desarrollar, se deben mejorar estos parámetros en base a la variedad de parásitos que se diagnostican en Guatemala.

Con respecto a los resultados de imágenes falso-positivas identificadas por Parasite ID los resultados mostraron que una potencial aplicación necesita incluir características de entrenamiento más específicas de la morfología de los parásitos para identificarlos correctamente. Con relación a los resultados con Parasite ID, *Taenia* spp fue clasificada en un 66.7 % de los casos; *A. lumbricoides* 20%; *H. nana* 45%; y *T. trichiura* en ninguna ocasión. Alva et al, evaluaron un modelo de regresión logística iterativamente. Los resultados mostraron entre un 99.1% a un 100% de sensibilidad y 98.13% a 98.38% de especificidad, sin positividad cruzada para otros parásitos. En conclusión, este algoritmo, logró identificar automáticamente huevos de *Taenia* sp., *T. trichiura*, *Diphyllobothrium latum* y *F. hepatica* con un alto rendimiento de sensibilidad y especificidad (Alva et al. 2017). Por lo que esta metodología se podría tomar como modelo para aumentar la exactitud y fiabilidad de la aplicación de desarrollar en Guatemala.

Por lo anterior, el aspecto y las características de identificación debe ser parte esencial, junto con una amplia gama de imágenes de parásitos en diferentes estadios o presentaciones para que se incluyan en el desarrollo de una aplicación para Guatemala.

En la revisión efectuada sobre la frecuencia de parásitos a partir de los informes de EPS se encontró que en un 19% de las muestras procesadas se encontraron parásitos. Los más frecuentemente diagnosticados fueron *E. histolytica* y *E. coli*, *A. Lumbricoides*, *G. lamblia* y Uncinarias. Sin embargo, se informaron una cantidad de parásitos que no fueron clasificados y que podrían ser de importancia clínica.

Similar a lo encontrado en los informes de EPS, en 2011, se informó que, en 4 escuelas públicas de Quetzaltenango, se encontraron entre las especies de protozoos comensales y patógenos; *E. nana* (37.67%), *B. hominis* (23.29%), *E. histolytica* (19.86%), *E. coli* (8.22 %) y *G lamblia* (5.48%) (Son and Gil 2011). Durante 2013-2014, Alquily y colaboradores, informaron como patógenos más frecuentes a *E. histolytica/ dispar* y *G. lamblia* (Figueroa, R., Alquijay, M., Alvarado, C., Méndez, D., Hernández, R., Vásquez, A. 2015). Por último, en Atitlán, los parásitos patógenos reportados fueron *E. histolytica*, *D. fragilis*, *Giardia* spp, *A. lumbricoides*, *T. trichiura*, uncinarias, *S. stercoralis* y *Taenia* sp; entre los comensales se detectaron: *E. coli* y *B. hominis* (Dougherty, Michael; Nuss, Emily; Dougherty, Jennifer P.; Crockett 2017).

Con los datos sustraídos de los informes de EPS, se consolidó la lista inicial de parásitos que sería necesario incluir en el desarrollo de una aplicación por IA para Guatemala. Además, se determinaron los lugares en los que se podrían aumentar la probabilidad de encontrarlos. Entre estos se pueden mencionar a los hospitales nacionales Fray Bartolomé de las Casas AV, Puerto Barrios, IZ, Nebaj AV, y Tiquisate ESC. Otro de los lugares que podría ofrecer un contexto más amplio en cuanto al procesamiento tanto de muestras positivas como negativas sería el Hospital Nacional de Retalhuleu. En la mayoría de estos lugares más del 56% correspondió a *E. histolytica* y *E. coli*.

Por último, en la presente investigación no fue posible estimar la prevalencia de estas infecciones ya que los formatos actuales de colección de datos no incluyen este parámetro, probablemente porque los reportes han sido utilizados esporádicamente y como un requisito de grado en los que no se explota el potencial que podrían tener para determinar la carga de estas infecciones en el país (Saboyá et al. 2013).

Control de calidad

Por las razones anteriores, la fiabilidad del diagnóstico parasitario se convierte en una herramienta indispensable en el manejo de estas infecciones en la población. Los métodos convencionales por microscopía óptica para el diagnóstico de parásitos intestinales representan un gran reto (Khurana, Singh, and Mewara 2021). La observación morfológica manual de los mismos conlleva a que profesionales especializados deben estar pendientes de los mismos, y en la práctica este personal es escaso y regularmente los diagnósticos muy difícilmente se someten a una segunda opinión. La poca o nula precisión de los diagnósticos tendría consecuencias en el tratamiento a utilizar en los pacientes. Por lo que la detección de parásitos, debe ser parte de cualquier programa de control de calidad, con el objetivo de reducir la morbilidad por infecciones provocadas especialmente por helmintos (Mutombo et al. 2019). Con respecto a la calidad de los diagnósticos informados de los distintos lugares de EPS, colaboradores en el estudio, se encontraron discrepancias en un 42% (115/273) de la muestra. Los centros con mayores desacuerdos se presentaron en el hospital regional y distrital, esto provocado probablemente por la escasez de personal y en consecuencia de la pandemia por SARS CoV 2. En esta área los diagnósticos con mayores problemas fueron el de las amebas, entre las que *E. histolytica* fue identificada en 34 de muestras, pero luego de la revisión por los expertos en Parasitología, disminuyeron a 8 (de 33.3% a 3.1%). Por lo anterior se hace más evidente la necesidad de contar con profesionales que se encarguen el control de claridad

de las muestras o se desarrollan herramientas con las que se sistematice este proceso como las que se basan en IA (Mutombo et al. 2019).

Por último, con los datos generados por esta muestra, fue posible cotejar el tipo de parásitos con respecto al análisis histórico que se efectuó de los informes de EPS. En este balance, se encontró que el problema de control de calidad representa una brecha que es necesaria superar aún en las condiciones actuales de diagnóstico y que probablemente mejorarían con el uso de una aplicación basada en IA. Además, esta comparación mostro que amplia variedad de parásitos lo que hace obligatorio no solo que se incluyan en el catálogo de identificación sino además marcan la urgencia de desarrollar la aplicación lo antes posible. Con la que al mismo tiempo se optimizaría el tiempo del personal calificado, así como la entrega de resultados precisos. En las instituciones de atención en salud revisadas y de las que se obtuvieron este es un problema en la población que atienden.

En este estudio se encontró que los hospitales nacionales, centros de salud y hospital regional presentaron el mayor porcentaje de positividad (41.1%, 87.8% y 30.8% respectivamente), probablemente porque los centros de salud constituyen los lugares más cercanos para tratar este tipo de infecciones en las comunidades. Mientras que para los hospitales nacionales y regional, estos diagnósticos forman parte de la rutina de atención, limitada hoy en día por los problemas de la pandemia del SARS COV 2. Además, en la muestra, se determinó, que el 55.6%, de las mujeres presentaron algún tipo de parásito. Este grupo como tal ha sido identificado como vulnerable, especialmente en las mujeres embarazadas, niños. Una revisión a través de un metaanálisis reveló una prevalencia relativamente alta de infecciones intestinales por parásitos en mujeres embarazadas en algunos países de ingresos bajos y medios, con lo que se sugiere se mejorar la prevención y control para reducir los riesgos para la salud en esta población (Taghipour et al. 2021). En Guatemala, en niños de alrededor de los 3 años, se encontró una relación entre la prevalencia de protozoos y la frecuencia de enfermedades gastrointestinales con el agua potable del lago (Roegner et al. 2021).

Por último, entre las limitaciones de este estudio, se pueden mencionar que el entorno para obtener el archivo visual de los parásitos se vio afectado por la pandemia del SARS CoV 2, sin embargo, se logró reunir una muestra con el apoyo de los estudiantes de EPS de la Escuela de Química Biológica de la Facultad de CCQQ y Farmacia, USAC. Con respecto a las limitaciones de uso de la aplicación de Parasite ID, se determinó que: 1) Fue imposible incluir imágenes de *Ancylostoma duodenale* y *Necator americanus* (Uncinarias); 2) el catálogo de identificación de

Parasite ID, no incluye la amplia gama de parásitos que se reportan como endémicos en Guatemala; y 3) Las fotografías clasificadas como no claras por Parasite ID, pudieron haber provocado algún tipo de sesgo, sin embargo, estas fotografías fueron identificadas correctamente por los expertos participantes en el estudio. Otra limitación importante fue que la prevalencia para estimar la carga de enfermedad por las infecciones parasitarias intestinales no fue posible determinarla, sin embargo, sería posible solicitar las modificaciones necesarias en los formatos de colección de los datos de los informes de EPS, en consideración a la importancia de esta problemática en la salud de los guatemaltecos.

Aunque esta muestra estuvo limitada por las restricciones de la pandemia y otras mencionados previamente, los datos obtenidos, muestran que las infecciones intestinales parasitarias continuaran siendo un problema permanente y grave en el país que puede llegar a obstaculizar el cumplimiento de los ODS en el país. Por lo tanto, es necesario intervenir lo antes posible con el desarrollo de herramientas como las que se sugieren en esta propuesta la cual podría mejorar el diagnóstico de los parásitos, con resultados objetivos, medibles y precisos. En consecuencia, un horizonte cercano para solucionar este problema se encontraría el desarrollo de una aplicación basada en IA, para Guatemala.

11.3. Conclusiones

1. La pobre sensibilidad (25.2%), con un área bajo la curva de 0.69, con una concordancia y exactitud (4.3%, 48.6% respectivamente), alcanzada por Parasite ID, indican que es necesario desarrollar una aplicación en la cual se mejoren estos parámetros.
2. Los resultados de sensibilidad y especificidad encontrados en el estudio no fueron congruentes con lo informado en el sitio web de la aplicación sobre el 99% de precisión.
3. En esta investigación la aplicación de Parasite ID, identificó solamente a uno de cada cuatro de los siguientes parásitos *Ascaris lumbricoides*, *Hymenolepsis nana* y *Taenia spp*, mientras que fue nula para identificar a parásitos como *T. trichiura*.
4. Una potencial aplicación IA para el diagnóstico de parásitos, necesita incluir características de entrenamiento más específicas de la morfología de los parásitos a identificar, junto a una amplia gama de las imágenes de parásitos en diferentes estadios o presentaciones.

5. En la revisión histórica los parásitos más frecuentemente diagnosticados fueron *E. histolytica*, *E. coli*, *Ascaris lumbricoides*, *Giardia lamblia* y Uncinarias.
6. La informaron de una cantidad de parásitos que no fueron clasificados debe tomarse en cuenta ya que podrían considerarse parásitos de importancia clínica inclusive de origen zoonótico.
7. En esta investigación los centros con mayores desacuerdos en el diagnóstico de parásitos se presentaron en un hospital regional y uno distrital.
8. Los diagnósticos de parásitos con mayores problemas fueron los correspondientes al grupo de las amebas, entre las que *E. histolytica* fue la que presentó las mayores discrepancias en cuanto a su identificación.
9. Las incongruencias con respecto al diagnóstico de parásitos conllevan acciones que deben reflejar en el currículo de estudio de esta materia en los aspectos teóricos y prácticos para las carreras correspondientes.
10. A pesar de las limitaciones identificadas, se hace necesario mejorar el diagnóstico de los parásitos, con herramientas que produzcan resultados objetivos, medibles y precisos, que optimicen el tiempo del personal calificado, así como la entrega de resultados precisos.
11. Una solución al problema del diagnóstico de parásitos se podría encontrar en el desarrollo de una aplicación basada en IA, apropiada al contexto guatemalteco.
12. La determinación de la prevalencia de las infecciones por parásitos es esencial para determinar la carga de estas infecciones en las instituciones, así como medir el impacto de potenciales intervenciones, como la mejora de los diagnósticos, a través del uso de aplicaciones basadas en la IA.
13. El registro de la prevalencia de las infecciones parasitarias puede generarse luego de incluir estos temas en la formación de los estudiantes, la modificación de formatos que utilizan los estudiantes en EPS de Química Biológica.

12 Referencias

- Agrebi, Said, and Anis Larbi. 2020. "Use of Artificial Intelligence in Infectious Diseases." *Artificial Intelligence in Precision Health* (January):415–38. doi: 10.1016/b978-0-12-817133-2.00018-5.
- Alquijay M., Reyes E., Morales M., Hernández R., Flores L., Castro, Nancy. 2021. *Manual de Procedimientos Del Área de Coprología Del Laboratorio Clínico Popular*.
- Alva, Alicia, Carla Cangalaya, Miguel Quiliano, Casey Krebs, Robert H. Gilman, Patricia Sheen, and Mirko Zimic. 2017. "Mathematical Algorithm for the Automatic Recognition of Intestinal Parasites." *PLoS ONE* 12(4):1–13. doi: 10.1371/journal.pone.0175646.
- Bartsch, Sarah M., Peter J. Hotez, Lindsey Asti, Kristina M. Zapf, Maria Elena Bottazzi, David J. Diemert, and Bruce Y. Lee. 2016. "The Global Economic and Health Burden of Human Hookworm Infection." *PLoS Neglected Tropical Diseases* 10(9). doi: 10.1371/journal.pntd.0004922.
- Beam, Andrew L., and Isaac S. Kohane. 2018. "Big Data and Machine Learning in Health Care." *JAMA - Journal of the American Medical Association* 319(13):1317–18. doi: 10.1001/jama.2017.18391.
- Bell C, Foss V, Henderson V, Shub N. n.d. "Parasite ID | Home." Retrieved June 28, 2020 (<https://parasite.id/>).
- Bogoch, Isaac I., Jason R. Andrews, Benjamin Speich, Jürg Utzinger, Shaali M. Ame, Said M. Ali, and Jennifer Keiser. 2013. "Short Report: Mobile Phone Microscopy for the Diagnosis of Soil-Transmitted Helminth Infections: A Proof-of-Concept Study." *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 88(4):626–29. doi: 10.4269/ajtmh.12-0742.
- Chen, Jonathan H., and Steven M. Asch. 2017. "Machine Learning and Prediction in Medicine-beyond the Peak of Inflated Expectations." *New England Journal of Medicine* 376(26):2507–9. doi: 10.1056/NEJMp1702071.
- Dougherty, Michael; Nuss, Emily; Dougherty, Jennifer P.; Crockett, Seth. 2017. "Changes in Intestinal Parasitosis Over a 12-Year Period in R... : Official Journal of the American College of Gastroenterology | ACG." *American Journal of Gastroenterology* 112(p S63).
- Figueroa, R., Alquijay, M., Alvarado, C., Méndez, D., Hernández, R., Vásquez, A. 2015. "Prevalencia de Infecciones Parasitarias En Un Laboratorio Universitario de Guatemala." edited by P. C. 2015. XII Congreso Centroamericano y del Caribe de Parasitología y Medicina Tropical. Punta Cana.
- Garcia, Lynne Shore. 2016. *Diagnostic Medical Parasitology*. 6th ed. Washington, DC, USA: ASM Press.
- GBD. 2018. "Global, Regional, and National Incidence, Prevalence, and Years Lived with Disability for 354 Diseases and Injuries for 195 Countries and Territories, 1990–2017: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2017." *The Lancet* 392(10159):1789–1858. doi: 10.1016/S0140-6736(18)32279-7.
- Hashmey, Rayhan, Robert M. Genta, and A. Clinton White. 1997. "Parasites and Diarrhea. I: Protozoans and Diarrhea." *Journal of Travel Medicine* 4(1):17–31.
- Holmström, Oscar, Nina Linder, Billy Ngasala, Andreas Mårtensson, Ewert Linder, Mikael Lundin, Hannu Moilanen, Antti Suutala, Vinod Diwan, and Johan Lundin. 2017. "Point-of-Care Mobile Digital Microscopy and Deep Learning for the Detection of Soil-Transmitted Helminths and Schistosoma Haematobium." *Global Health Action* 10(3). doi: 10.1080/16549716.2017.1337325.

- Incani, Renzo Nino, Elizabeth Ferrer, Denise Hoek, Robbert Ramak, Jeroen Roelfsema, Lapo Mughini-Gras, Titia Kortbeek, and Elena Pinelli. 2017. "Diagnosis of Intestinal Parasites in a Rural Community of Venezuela: Advantages and Disadvantages of Using Microscopy or RT-PCR." *Acta Tropica* 167:64–70. doi: 10.1016/j.actatropica.2016.12.014.
- Jia, Tie Wu, Sara Melville, Jürg Utzinger, Charles H. King, and Xiao Nong Zhou. 2012. "Soil-Transmitted Helminth Reinfection after Drug Treatment: A Systematic Review and Meta-Analysis." *PLoS Neglected Tropical Diseases* 6(5). doi: 10.1371/journal.pntd.0001621.
- Khurana, Sumeeta, Shreya Singh, and Abhishek Mewara. 2021. "Diagnostic Techniques for Soil-Transmitted Helminths – Recent Advances." *Research and Reports in Tropical Medicine* Volume 12:181–96. doi: 10.2147/RRTM.S278140.
- Litjens, Geert, Thijs Kooi, Babak Ehteshami Bejnordi, Arnaud Arindra Adiyoso Setio, Francesco Ciompi, Mohsen Ghafoorian, Jeroen A. W. M. van der Laak, Bram van Ginneken, and Clara I. Sánchez. 2017. "A Survey on Deep Learning in Medical Image Analysis." *Medical Image Analysis* 42(December 2012):60–88. doi: 10.1016/j.media.2017.07.005.
- Mathison, Blaine A., Jessica L. Kohan, John F. Walker, Richard Boyd Smith, Orly Ardon, and Marc Roger Couturier. 2020. "Detection of Intestinal Protozoa in Trichrome-Stained Stool Specimens by Use of a Deep Convolutional Neural Network." *Journal of Clinical Microbiology* 58(6):1–13. doi: 10.1128/JCM.02053-19.
- McHugh, Mary L. 2012. "Interrater Reliability: The Kappa Statistic." *Biochemia Medica* 22(3):276–82. doi: 10.11613/bm.2012.031.
- Mutombo, Polydor Ngoy, Nicola W. Y. Man, Peter Nejsum, Robert Ricketson, Catherine A. Gordon, Gemma Robertson, Archie C. A. Clements, Nathalie Chacón-Fonseca, Veeranoote Nissapatorn, Joanne P. Webster, and Mary Louise McLaws. 2019. "Diagnosis and Drug Resistance of Human Soil-Transmitted Helminth Infections: A Public Health Perspective." Pp. 247–326 in *Advances in Parasitology*. Vol. 104.
- Nkamgang, Oscar Takam, Daniel Tchiotso, Beaudelaire Saha Tchinda, and Hilaire Bertrand Fotsin. 2018. "A Neuro-Fuzzy System for Automated Detection and Classification of Human Intestinal Parasites." *Informatics in Medicine Unlocked* 13(October):81–91. doi: 10.1016/j.imu.2018.10.007.
- OMS. 2020. "Helminthiasis Transmitidas Por El Suelo." Retrieved December 6, 2021 (<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/soil-transmitted-helminth-infections>).
- ONU. 2015. "Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible - Desarrollo Sostenible." Retrieved December 6, 2021 (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>).
- Quinn, John A., Rose Nakasi, Pius K. B. Mugagga, Patrick Byanyima, William Lubega, and Alfred Andama. 2016. "Deep Convolutional Neural Networks for Microscopy-Based Point of Care Diagnostics." 1–12.
- Rajchgot, Jason, Jean T. Coulibaly, Jennifer Keiser, Jürg Utzinger, Nathan C. Lo, Michael K. Mondry, Jason R. Andrews, and Isaac I. Bogoch. 2017. "Mobile-Phone and Handheld Microscopy for Neglected Tropical Diseases." *PLoS Neglected Tropical Diseases* 11(7). doi: 10.1371/JOURNAL.PNTD.0005550.
- Razzak, Muhammad Imran, Saeeda Naz, and Ahmad Zaib. 2018. "Deep Learning for Medical Image Processing: Overview, Challenges and the Future BT - Classification in BioApps: Automation of Decision Making." *Springer* 323–50. doi: 10.1007/978-3-319-65981-7_12.

- Roegner, Amber, Mónica N. Orozco, Claudia Jarquin, William Boegel, Clara Secaira, Marlin E. Caballeros, Lujain Al-Saleh, and Elika Rejmánková. 2021. "Childhood Parasitic Infections and Gastrointestinal Illness in Indigenous Communities at Lake Atitlán, Guatemala." *PeerJ* 9:e12331. doi: 10.7717/PEERJ.12331/SUPP-6.
- Ryan, U., A. Paparini, C. Oskam-Trends in parasitology, and undefined 2017. 2017. "New Technologies for Detection of Enteric Parasites." *Elsevier*. doi: 10.1016/j.pt.2017.03.005.
- Saboyá, Martha Idalí, Laura Catalá, Rubén Santiago Nicholls, and Steven Kenyon Ault. 2013. "Update on the Mapping of Prevalence and Intensity of Infection for Soil-Transmitted Helminth Infections in Latin America and the Caribbean: A Call for Action" edited by S. Brooker. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 7(9):e2419. doi: 10.1371/journal.pntd.0002419.
- Smith, Kenneth P., Hannah Wang, Thomas J. S. Durant, Blaine A. Mathison, Susan E. Sharp, James E. Kirby, S. Wesley Long, and Daniel D. Rhoads. 2020a. "Applications of Artificial Intelligence in Clinical Microbiology Diagnostic Testing." *Clinical Microbiology Newsletter* 42(8):61–70. doi: 10.1016/j.clinmicnews.2020.03.006.
- Smith, Kenneth P., Hannah Wang, Thomas J. S. Durant, Blaine A. Mathison, Susan E. Sharp, James E. Kirby, S. Wesley Long, and Daniel D. Rhoads. 2020b. "Applications of Artificial Intelligence in Clinical Microbiology Diagnostic Testing." *Clinical Microbiology Newsletter* 42(8):61–70. doi: 10.1016/j.clinmicnews.2020.03.006.
- Son, Gloria, and Martín Gil. 2011. "Prevalencia de Parasitismo Intestinal En Escuelas Públicas de Quetzaltenango, Ciudad de Quetzaltenango." *Revista Científica USAC* 20(1).
- Taghipour, Ali, Sahar Ghodsian, Mahdi Jabbari, Meysam Olfatifar, Amir Abdoli, and Fatemeh Ghaffarifar. 2021. "Global Prevalence of Intestinal Parasitic Infections and Associated Risk Factors in Pregnant Women: A Systematic Review and Meta-Analysis." *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 115(5):457–70.
- Verweij, Jaco J. 2014. "Application of PCR-Based Methods for Diagnosis of Intestinal Parasitic Infections in the Clinical Laboratory." *Parasitology* 141(14):1863–72. doi: 10.1017/S0031182014000419.
- WHO. 1991. "WHO Parasite Bench Aid."
- WHO. 2017. *Integrating Neglected Tropical Diseases into Global Health and Development: Fourth WHO Report on Neglected Tropical Diseases*. Geneva: World Health Organization; 2017.
- WHO. 2020. "Soil-Transmitted Helminth Infections." Retrieved (<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/soil-transmitted-helminth-infections>).
- WHO. 2021. "Soil-Transmitted Helminthiases. Number of Children (Pre-SAC and SAC Requiring Preventive Chemotherapy for Soil-Transmitted Helminthiases: 2020." Retrieved December 6, 2021 (https://apps.who.int/neglected_diseases/ntddata/sth/sth.html).
- World Health Organization. n.d. "Neglected Tropical Diseases." Retrieved (https://www.who.int/neglected_diseases/diseases/en/).
- Xing, Bo, and Tshilidzi Marwala. 2018. "Implications of the Fourth Industrial Age on Higher Education." *Tạp Chí Nghiên Cứu Dân Tộc* (23):10–15. doi: 10.25073/0866-773x/87.
- Zavala, Gerardo A., Jorge L. Rosado, Colleen M. Doak, Maria del Carmen Caamaño, Maiza Campos-Ponce, Dolores Ronquillo, Katja Polman, and Olga P. García. 2017. "Energy and Food Intake Are Associated

with Specific Intestinal Parasitic Infections in Children of Rural Mexico." *Parasitology International* 66(6):831–36. doi: 10.1016/J.PARINT.2017.07.005.

13 Apéndice

Figura 9. Ejemplo de fotografías utilizadas en la identificación de parásitos. A. *Hymenolepis nana*, B. *Trichuris trichiura*

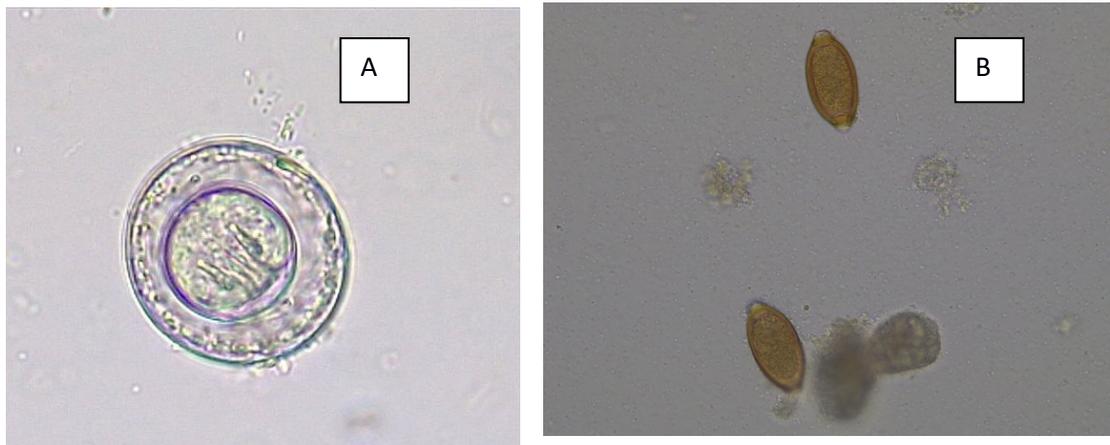


Figura 10. Ejemplo de la presentación del resultado en Parasite ID.

ParasiteID

2. Click "Get Prediction" below to see it in action.

- OR -

Upload your own microscopy image to get a prediction:

Choose File 21-186-3oram.tif.jpg

Yes, this image may be saved by Parasite ID. This helps us further our research and improve the tool.

Get prediction!

This app is not FDA approved for commercial use.

Results according to our analysis of your image:

Object	Parasite	Percent Confidence
1	Roundworm (<i>Ascaris lumbricoides</i>)	99.16%
2	Unclear object*	-

*Sorry, we can't make a good prediction for this object. Please try uploading a clearer picture.

Tabla 7. Evaluación por parásitos por foto. (N=181)

Parasito	Patrón de Referencia n= 181		Identificados por experto 1		Identificados por experto 2		Identificados por Parasite ID ¹	
	n	%	n	%	n	%	n	%
<i>Ascaris lumbricoides</i>	30	17	30	16.6	30	16.6	6	3.3
<i>Enterobius vermicularis</i>	14	8	13	7.2	6	3.3	3 ^a	1.7
<i>Hymenolepis nana</i>	31	17	31	17.1	31	17.1	16 ^b	8.8
<i>Strongyloides stercoralis</i>	15	8	11	6.1	15	8.3	1 ^c	0.6
<i>Taenia sp</i>	12	7	12	6.6	12	6.6	8	4.4
<i>Trichuris trichiura</i>	30	17	30	16.6	30	16.6	2 ^d	1.1
<i>Cystoisospora belli</i>	8	4	5	2.8	8	4.4	2 ^e	1.1
<i>E. coli</i>	1	1	1	0.6	1	0.6	1 ^f	0.55
<i>I. bütschlii</i>	1	1	1	0.6	1	0.6	0	0.0
<i>I. bütschlii</i>	1	1	1	0.6	1	0.6	0	0.0
<i>E. nana</i>	1	1	1	0.6	1	0.6	0	0.0
<i>E. histolytica</i>	1	1	1	0.6	1	0.6	1 ^g	0.55
<i>G. lamblia</i>	1	1	1	0.6	1	0.6	0	0.0
<i>G. lamblia</i>	1	1	1	0.6	1	0.6	0	0.0
<i>E. coli, G. lamblia</i>	1	1	1	0.6	1	0.6	0	0.0
<i>C. mesnili</i>	1	1	1	0.6	1	0.6	0	0.0
<i>C. mesnili</i>	2	1	1	0.6	1	0.6	0	0.0
Total de muestras con parásitos observados	151	83	143	78.5	143	78.5	42	23.2
Muestras sin parásitos observados	30	17	38	16.6	38	16.6	139 ^h	76.8
Total	181	100	172	95.1	172	95.0	181	100

Identificación errónea por Parasite ID ^a Identifica tres (3) parásitos como *Trichuris trichiura*; ^b Identificó cuatro parásitos como *Schistosoma haematobium* (1) y *Schistosoma japonicum* (3); ^c Identificó un parásito como *H. nana*; ^d Identificó dos (2) parásitos como *Fasciola hepática* (1) y *S. haematobium* (1); ^e Identificó un parásito como *S. haematobium* ^f Identificó un parásito como *Taenia sp* (1); ^g Identificó un parásito como *Taenia sp*; ^h Identificó dos (2) muestras como *Taenia sp* y *Schistosoma japonicum*.

Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

Tabla 8. Informes de EPS revisados por lugar, año y meses (N=16)

Lugar de EPS (N=16)	Año					
	2019		2020		2021	
	Número de meses	Meses	Número de meses	Meses	Número de meses	Meses
Hospital Nacional (n=11)	42	-	42	-	92	-
Amatitlán, GU	6	Ene-Jun	-	-	-	-
Cobán, AV	-	-	-	-	10	Ene-Oct
El Progreso, PR	-	-	-	-	3	Jul-Sept
FB de las Casas, AV	6	Ene-Jun	6	Jul-Dic	6	Ene-Jun
Jutiapa, JU	-	-	-	-	4	Jul-Oct.
Nebaj QC	12	Ene-Dic	12	Ene-Dic	6	En-Jun
Puerto Barrios, IZ	6	Ene-Jun	6	Jul- Dic	10	Ene-Oct
Retalhuleu, RE	6	Ene-Jun	-	-	-	Jul-Sept
Sacatepéquez, SA	-	-	-	-	3	Jul-Jul
San Marcos, SM	-	-	-	-	4	Jul-Oct
Tiquisate, ES	6	Ene-Jun	-	-	-	-
Hospital Departamental (n=1)						
Sayaxché, PE	-	-	12	Ene-Dic	6	Ene-Jun
Hospital Regional (n=1)						
Huehuetenango, HU	-	-	-	-	10	Ene-Oct
Centro Atención Permanente (n=2)						
Chichicastenango, QC	-	-	-	-	10	Ene-Oct
Tactic, AV	-	-	6	Jul-Dic	10	Ene-Oct
Centro de Salud Distrital(n=1)						
Santa Cruz, QC	-	-	-	-	10	Ene-Oct

Figura 11. Número de muestras procesadas por año y mes (N=42,532)

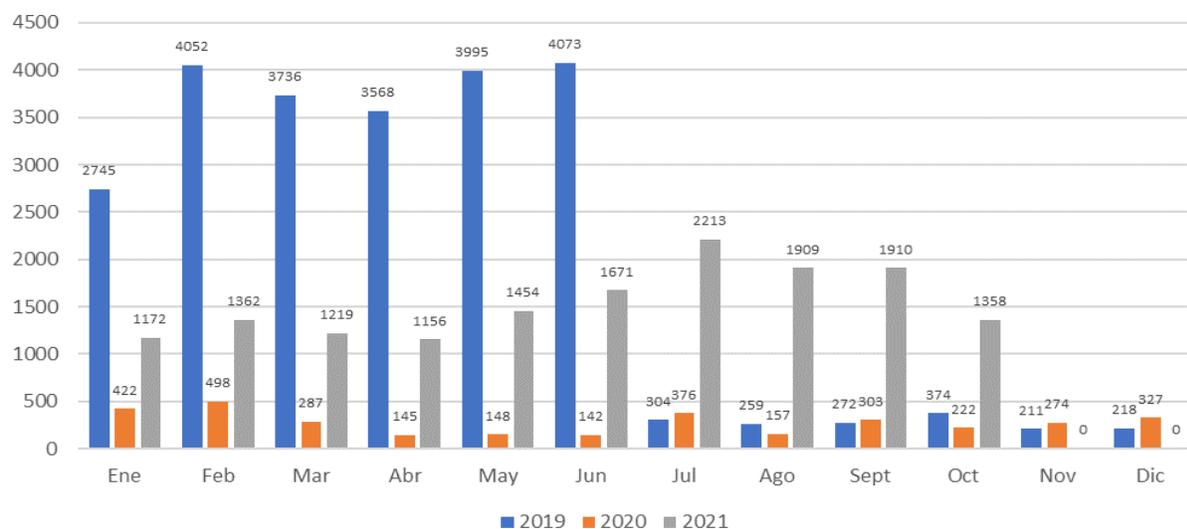


Figura 12. Número de muestras procesadas por lugar de EPX (N=42,532)

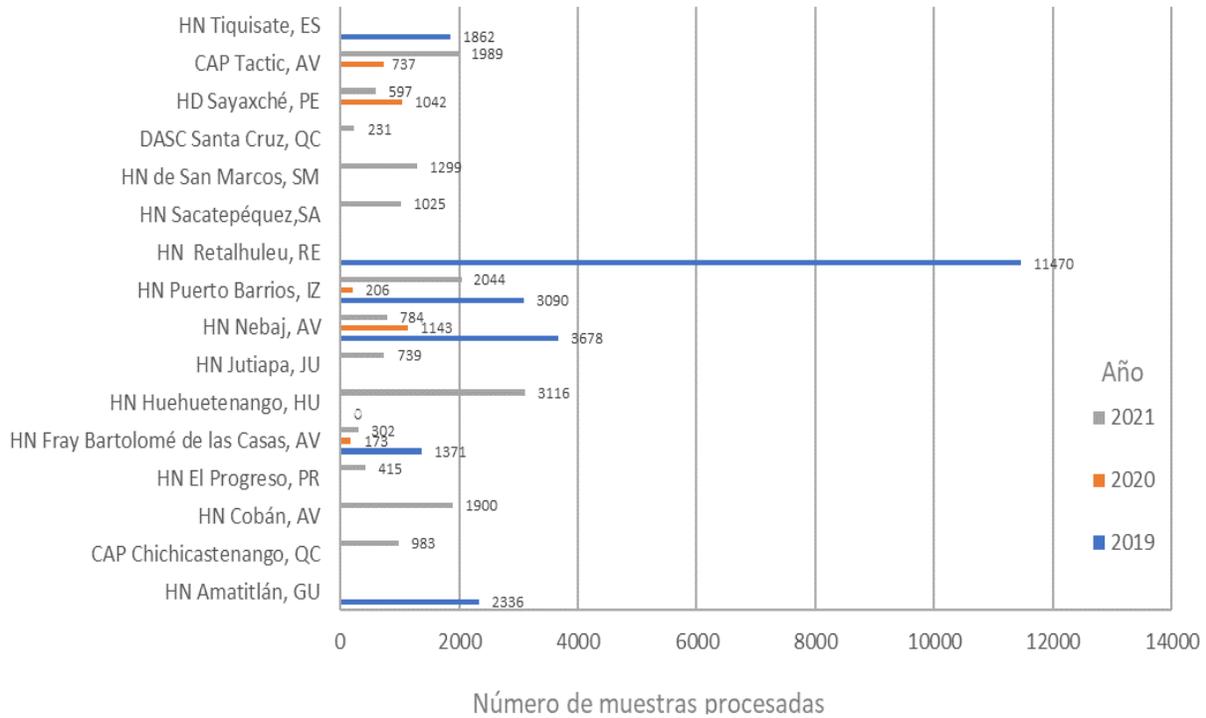


Figura 13. Porcentaje de carga del diagnóstico de parásitos con respecto al total de trabajo por laboratorio según el lugar de EPS.

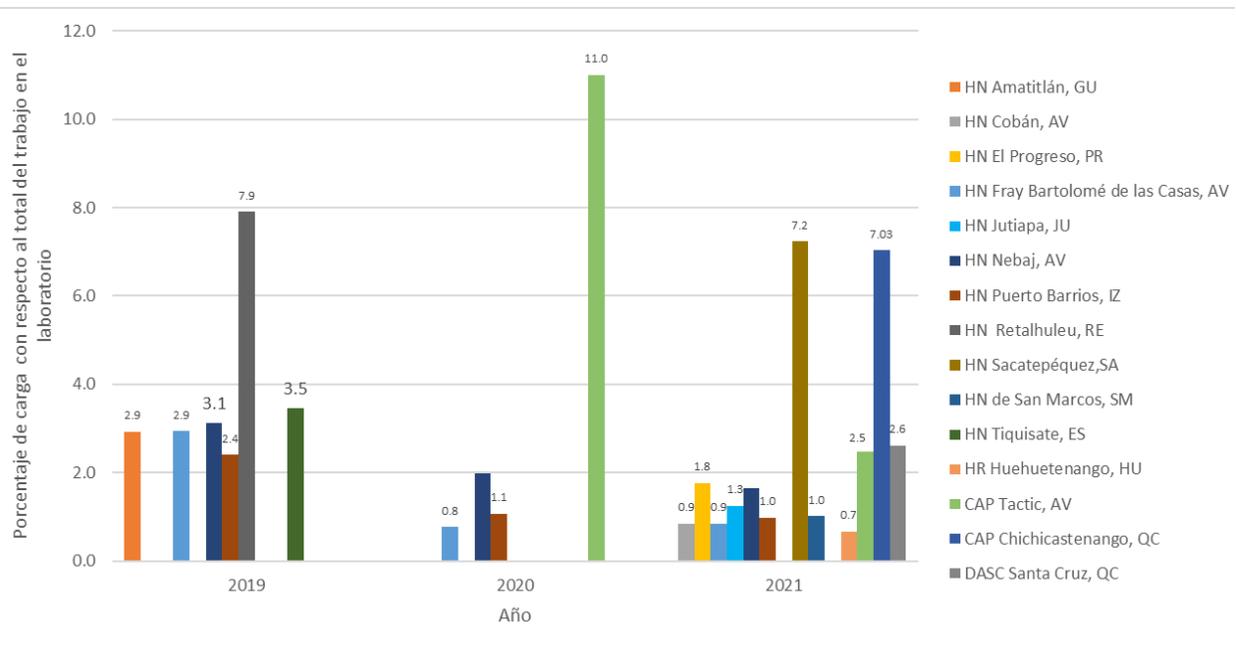


Tabla 9. Número y porcentaje de parásitos por lugar de EPS (N=8098)

Lugar de EPS	Número de muestras	Número de parásitos encontrados	Porcentaje de parásitos
HN Amatitlán, GU	2336	307	13.1
CAP Chichicastenango, QC	983	489	49.7
HN Cobán, AV	1900	149	7.8
HN El Progreso, PR	415	118	28.4
HN Fray Bartolomé de las Casas, AV	1846	680	36.8
HN Huehuetenango, HU	3116	693	22.2
HN Jutiapa, JU	739	14	1.9
HN Nebaj, AV	5605	997	17.8
HN Puerto Barrios, IZ	5340	1014	19.0
HN Retalhuleu, RE	11470	2140	18.7
HN Sacatepéquez, SA	1025	22	2.1
HN de San Marcos, SM	1299	131	10.1
DASC Santa Cruz, QC	231	58	25.1
HD Sayaxché, PE	1639	133	8.1
CAP Tactic, AV	2726	497	18.2
HN Tiquisate, ES	1862	656	35.2

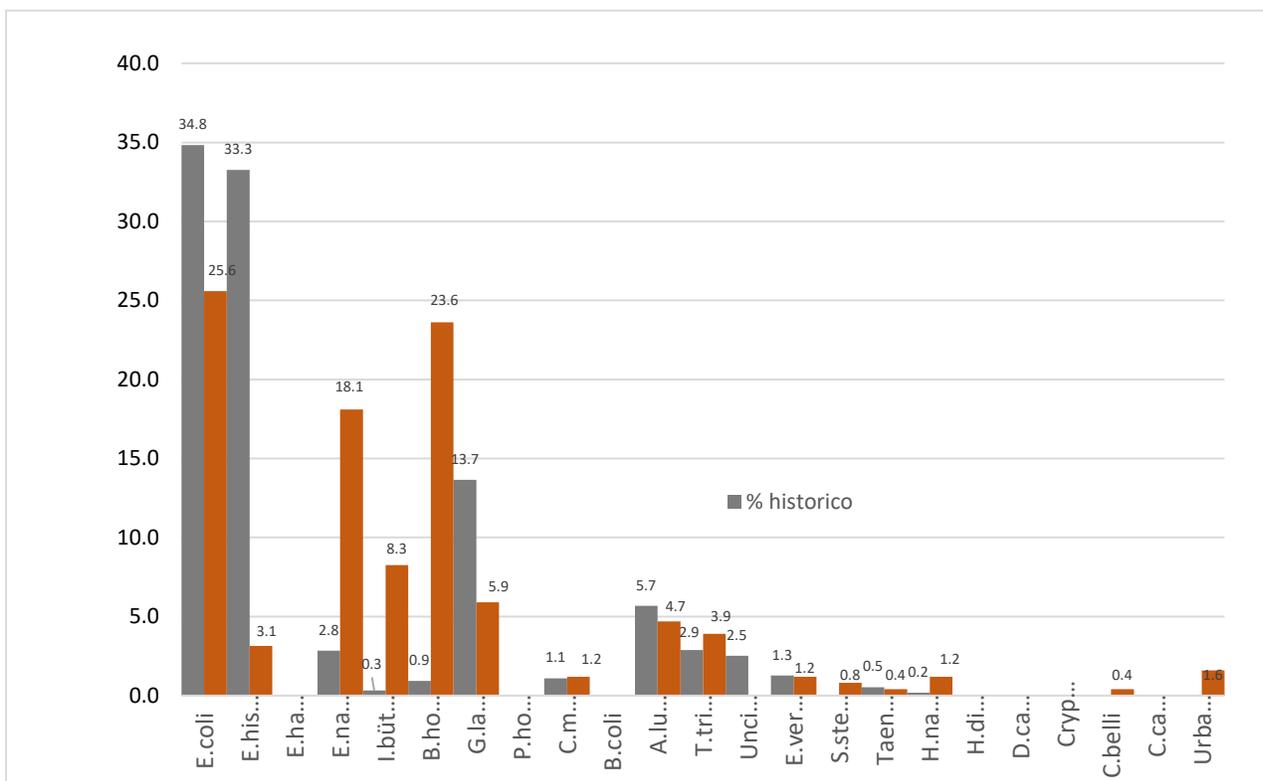
Tabla 10. Lugar de EPS y tipo de parásitos por morfología (n=8098)

	Amebas	Otros Protozoos	Nemátodos	Cestodos	No clasificados	Total
HN Amatitlán, GU	224	82	1	0	0	307
CAP Chichicastenango, QC	153	16	0	2	318	489
HN Cobán, AV	124	5	15		5	149
HN El Progreso, PR	87	8	0		23	118
HN Fray Bartolomé de las Casas, AV	181	56	183	17	243	680
HN Huehuetenango, HU	577	35	4		77	693
HN Jutiapa, JU	6	5	3		0	14
HN Nebaj, AV	709	64	69	15	140	997
HN Puerto Barrios, IZ	371	88	127	1	427	1014
HN Retalhuleu, RE	1664	441	23	12	0	2140
HN Sacatepéquez, SA	18	3	1		0	22
HN de San Marcos, SM	23	4	2		102	131
DASC Santa Cruz, QC	37	10	0		11	58
HD Sayaxché, PE	28	42	21		42	133
CAP Tactic, AV	328	36	35		98	497
HN Tiquisate, ES	181	142	333		0	656
Total	4711	1037	817	47	1486	8098

Tabla 11. Numero de muestras enviadas por lugar de EPS (n= 314)

Centro	Muestras (n)
Clínica Periférica Primero de Julio	111
Hospital Nacional de Puerto Barrios	44
EPSUM CAP Tactic	40
EPSUM CAP Chichicastenango	36
Hospital Nacional de El Progreso	16
Hospital Regional de Huehuetenango	13
Hospital Nacional de Antigua Guatemala	11
Hospital Nacional de Fray Bartolomé de las Casas	9
Centro de Salud Santa Cruz del Quiché	9
Hospital Nacional de Jutiapa	9
Hospital Nacional de San Marcos	8
Hospital Distrital de Nebaj	8
Total	314

Figura 14. Control de calidad Comparación de los tipos de parásitos historico (8098) y los observados (n=273)



14 Aspectos éticos y legales

La información necesaria para el presente estudio no utilizó ningún identificador personal de los pacientes, ya que se trabajarán las muestras de heces codificadas tanto positivas como negativas. A su vez, los registros clínicos como los de laboratorio fueron codificados apropiadamente, sin incluir ninguna información personal vinculada al paciente. Ninguna información utilizada para este estudio se extrajo directamente de los pacientes y los datos históricos se revisaron a partir de bases de datos preexistentes de manera retrospectiva.

15 Vinculación

Vicki Foss, Chief Technology Officer Parasite ID, Corp. <https://parasite.id/> +52-1-33-3598-8048 (México) +1-605-939-0829 (USA).

16 Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual

NOTA: La difusión y divulgación, por cualquier medio, de los resultados de las investigaciones tiene que incluir los créditos a la Digi y unidad avaladora. En la publicación de un libro debe anotarse en la contraportada lo siguiente: “Este libro es producto del proyecto de investigación: Nombre del proyecto, avalado, aprobado y cofinanciado por el Fondo de Investigación de la Dirección General de Investigación, el nombre de la unidad avaladora de la Universidad de San Carlos de Guatemala, fecha, y código del proyecto de investigación”. En las publicaciones en medios escritos y revistas científicas debe anotarse lo siguiente: “Esta investigación: Nombre del proyecto, fue cofinanciada por el fondo de investigación de la Dirección General de Investigación Digi/Usac 2020, y código del proyecto de investigación”. En la filiación debe de anotarse la USAC. Caso contrario no se concederá nuevos financiamientos de ninguna índole. Para los proyectos de investigación que gestionen el registro de un invento o patente, la Digi emitirá las disposiciones que deben aplicarse de conformidad con las leyes y/o políticas de propiedad intelectual que correspondan.

17 Aporte de la propuesta de investigación a los ODS

En el 2020, la OMS estimaba que 5,052,069 de niños en Guatemala, preescolares y escolares, necesitaban tratamiento preventivo contra los parásitos (WHO 2021), por lo que la validación de una aplicación y posterior desarrollo de una herramienta de IA, no solo apoyaría a optimizar el diagnóstico de los parásitos intestinales, sino también al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en el país (ONU 2015), pues, al recibir un diagnóstico certero y un tratamiento adecuado para la enfermedad parasitaria, se contribuye a cumplir el ODS3, garantizar una vida sana y el bienestar para todos en todas las edades, indicador 3.3 que se refiere que para 2030, se espera poner fin a las enfermedades tropicales desatendidas y las enfermedades transmitidas por el agua y otras enfermedades transmisibles, entre otras. La colección de imágenes y muestras se utilizarán con fines de control de calidad diagnóstico y como apoyo a la enseñanza de los estudiantes de pregrado de la USAC por parte de docentes que utilizan tecnología de punta; las colecciones se almacenarán de manera adecuada para que se utilice en las actividades de laboratorio, virtuales y magistrales con los estudiantes y en programas de control de calidad, el ODS4 busca garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad, busca promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.

El indicador 4.4 espera que para 2030, se aumente considerablemente el número de jóvenes y adultos que tienen las competencias necesarias, técnicas y profesionales, para acceder al empleo, el trabajo decente y al emprendimiento, y el indicador 4.c espera aumentar considerablemente la oferta de docentes calificados. Para garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, debe conocerse la prevalencia de los parásitos, para que las medidas de saneamiento alcancen su objetivo y posteriormente, será más fácil realizar los controles de calidad en base a la prevalencia de los parásitos en la población, el ODS6 pretende garantizar el acceso universal al agua potable segura y asequible para todos, es necesario realizar inversiones adecuadas en infraestructura, proporcionar instalaciones sanitarias y fomentar prácticas de higiene; el Indicador 6.2 pretende lograr acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre (ONU 2015).

Informe final proyecto de investigación 2021

Dirección General de Investigación –DIGI-

18 Orden de pago final

Nombres y apellidos	Categoría (investigador)	Registro de personal	Procede pago de mes (Sí / No)	Firma
Anneliese Moller Sundfeldt	Investigador III	12384	Si	

19 Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación

El Coordinador de proyecto de investigación con base en el *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación*, artículos 13 y 20, deja constancia que el personal contratado para el proyecto de investigación que coordina ha cumplido a satisfacción con la entrega de informes individuales por lo que es procedente hacer efectivo el pago correspondiente.

Blanca Elizabeth Samayoa Herrera Coordinadora del proyecto de investigación	 Firma
Fecha: 07/02/2022	

20 Aval del Director(a) del instituto,

De conformidad con el artículo 13 y 19 del *Reglamento para el desarrollo de los proyectos de investigación financiados por medio del Fondo de Investigación* otorgo el aval al presente informe mensual de las actividades realizadas en el proyecto (escriba el nombre del proyecto de investigación) en mi calidad de (indique: Director del instituto, centro o departamento de investigación o Coordinador de investigación del centro regional universitario), mismo que ha sido revisado y cumple su ejecución de acuerdo a lo planificado.

Vo.Bo. Aval al informe Dra. María Eunice Enríquez Cotton Directora del Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas	  Firma
Fecha: 07/02/2022	

21 Visado de la Dirección General de Investigación

Vo.Bo. Lic. León Roberto Barrios Castillo Coordinador Programa Programa Universitario de Estudios para la paz y Educación	Firma
Fecha: 07/02/2022	

Vo.Bo. Ing. Agr. MARN Julio Rufino Salazar Coordinador General de Programas Universitarios de Investigación	Firma
Fecha: 07/02/2022	