

FORMATO DE INFORME FINAL, CARÁTULA

Programa Universitario de Educación

Aplicaciones de Inteligencia Artificial, en la enseñanza superior (fase II). Diagnóstico parasitológico de parásitos humanos y zoonóticos

Partida presupuestaria: 4.8.63.0.41

Código: AP8-2022

Instituto Investigaciones Químicas y Biológicas (IIQB)

MSc Blanca Elizabeth Samayoa Herrera
MSc Anneliese Moller Sundfeldt
Br Rossana Ruano

nombre del coordinador del proyecto y equipo de investigación contratado por Digi

Guatemala, 28 de febrero de 2023

lugar y fecha de presentación del informe final dd/mm/año

Contraportada

Autoridades

Dra. Alice Burgos Paniagua
Directora General de Investigación

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

Lic. León Roberto Barrios Castillo
Coordinador del Programa Universitario de Investigación
Programa Universitario de Educación

Autores

Coordinadora:
MSc Blanca Elizabeth Samayoa Herrera

Investigadores:
MSc Luis Felipe Choc Martínez
MSc Anneliese Moller Sundfeldt
MSc Mildred Alquijay
MSc Martín Gil
Br. Edelwaiz Morataya
Br. Rossana Ruano

Colaboradores:

Liliana Vides, Facultad de CCQQ y Farmacia, Programa de Experiencias con la Comunidad –EDC-
y de Ejercicio Profesional Supervisado-EPS-

Emilio Garcia, Facultad de CCQQ y Farmacia, Escuela de Química Biológica, Programa de
Ejercicio Profesional Supervisado-EPS-

Rosa María de Menéndez, directora del Laboratorio Clínico Popular -LABOCLIP

Ana Rodas de García, Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos -LAFYM

Estudiantes de Química Biológica realizando EPS:

Kevin Francisco Del Cid Tobar
Miguel Antonio Sicá Ochoa
Tiffany Arlin España Lemus
Angelica Rene Larrazabal Morales
David Antonio Rustrian Salanic
Esteban Alexander Toño Chacaj
Flor de María Ramírez Franco
Gladys Mayté Estrada Estrada
Jaqueline Graciela Rodríguez Samol
Jennifer Paola Rodríguez Aguirre
Jessica Paola Ruíz Jiménez

José Morataya Pedroza
Juan Fernando Bolaños González
Keli Vanesa Herrarte Corado
Magali Mariana Coyoy Say
María Montserrath López Guillén
Naara González Gölcher
Onelia Saraí Hernández Herrera
Oscar René Arreola Castillo
Steffanie Joan Paz Arango
Tiffany Arlin España Lemus
Vanesca Analy Campos Ramos

Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección General de Investigación (Digi), 2022. 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 la partida presupuestaria 4.8.63.0.41, con código AP8-2022, 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



Índice general

2.	Resumen y palabras claves	1
3.	Introducción	2
4.	Planteamiento del problema.....	4
5.	Delimitación en tiempo y espacio.....	5
6.	Marco teórico	6
7.	Estado del arte.....	14
8.	Objetivos (generales y específicos)	17
9.	Materiales y métodos	17
10.	Resultados y discusión.....	22
1.1.	Resultados	22
11.2.	Discusión de resultados	42
12.	Referencias.....	59
13.	Apéndice	66
14.	Aspectos éticos y legales	75
15.	Vinculación.....	75
16.	Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual	75
17.	Aporte de la propuesta de investigación	75
18.	Orden de pago final.....	77
19.	Declaración del Coordinador(a) del proyecto de investigación.....	78
20.	Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación	78
21.	Visado de la Dirección General de Investigación.....	78

Índice de Tablas y Figuras	Página
Figura 1 Países del mundo que han implementado la terapia preventiva contra los Helmintos transmitidos por suelo contaminado, en niños de edad escolar, 2015.	8
Tabla 1 Características demográficas de profesionales en salud humana (N=85)	22
Figura 2 Resultados Conocimientos (CAP) profesionales salud humana (N=85)	65
Figura 3 Actitudes (CAP) profesionales salud humana. Parásitos que deberían reportarse	65
Figura 4 Actitudes (CAP) profesionales el diagnostico de parásitos intestinales de origen humano	66
Figura 5 Recomendación sobre la observación de muestras seriadas cuando se sospecha de infecciones por parásitos intestinales	66
Figura 6 Número de muestras utilizadas para el diagnóstico parasitológico	67
Figura 7 Otras técnicas de empleadas para el diagnóstico parasitológico	67
Figura 8 Parásitos frecuentemente diagnosticados	68
Figura 9 Parásitos que presentan el mayor problema de identificación a profesionales salud humana	25
Figura 10 Uso de una aplicación que apoye la identificación de parásitos intestinales en los laboratorios	26
Figura 11 Palabras para describir uso de una herramienta IA en parasitología	26
Tabla 2 Características demográficas de profesionales en salud veterinaria (N=64)	27
<i>Figura 12 Conocimientos (CAP) profesionales salud veterinaria</i>	28
Figura 13 Resultados actitudes (CAP) profesionales salud veterinaria (n=64)	69
Figura 14 Actitudes (CAP) profesionales salud veterinaria (n=64) para el diagnóstico por flotación de las muestras de heces y la calidad del equipo óptico	69
Figura 15 Criterio de importancia en el reporte de los siguientes parásitos	70
Figura 16 Resultados recomendación de hacer pruebas seriadas cuando se sospecha de infecciones por protozoos	70
Figura 17 Número de toma de muestras para el diagnóstico según tipo de paciente	71
Figura 18 Importancia de las prácticas (CAP) profesionales veterinarios para la disponibilidad de materiales y realización de muestreo	71

Figura 19 Resultado alguna vez ha solicitado técnicas diagnósticas avanzadas para el diagnóstico coproparasitológico	72
Figura 20 Resultados parásitos diagnosticados de forma rutinaria	72
Figura 21 Resultados utilización de una herramienta de inteligencia artificial para el diagnóstico de parásitos gastrointestinales.	30
Figura 22 Parásitos observados en muestras conservadas en formalina al 10%	31
Tabla 3 Aspectos demográficos muestras veterinarias	32
Tabla 4 Agentes parasitarios diagnosticados en muestras coprológicas de perros y gatos	33
Figura 23 Huevo de nemátodos característicos	34
Figura 24 Huevos de cestodos característicos	34
Figura 25 Larvas y otros huevos de nemátodos, característicos	35
Figura 26 Protozoos característicos	35
Figura 27 Helminintos con características diferentes	36
Figura 28 Protozoos con características diferentes	36
Figura 29 Artefactos encontrados que pueden causar confusión	37
Figura 30 Fotografías de huevos con características morfológicas normales y comúnmente observadas de <i>Toxocara</i> sp	38
Figura 31 Fotografías de huevos con características morfológicas normales y comúnmente observadas de <i>Ancylostoma</i> sp	39
Figura 32 Fotografías de cápsulas ovígeras y huevo con características morfológicas normales y comúnmente observadas de <i>Dipylidium caninum</i>	39
Figura 33 Fotografías de protozoos con características morfológicas normales y comúnmente observadas de las fases vegetativas de estas especies	40
Figura 34 Fotografías de huevos de <i>Toxocara</i> sp, con características morfológicas poco comunes que podrían dificultar el diagnóstico tradicional	40
Figura 35 Fotografías de huevos de <i>Ancylostoma caninum</i> con características morfológicas poco comunes que podrían dificultar el diagnóstico tradicional	41
Figura 36 Imágenes no comunes de parásitos veterinarios	41
Figura 37 Artefacto encontrado que puede causar confusión	42

Lista de Acrónimos y abreviaturas

AIA	Aplicación basada en Inteligencia Artificial
DIGI	Dirección General de Investigación
EPS	Ejercicio Profesional Supervisado
EDC	Experiencias Docentes con la Comunidad
HTS	Helmintos que se Transmiten por Suelo contaminado
NTD	<i>Neglected Tropical Diseases</i> , siglas en inglés
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMS	Organización Mundial de la Salud
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
VC	Visión por computadora

2. Resumen y palabras claves

Resumen

Las infecciones intestinales afectan a un 24% de la población mundial, entre ellos Guatemala hasta con un 40%. El desarrollo de una aplicación basada en IA para la detección automatizada de parásitos debe contar con datos a nivel local.

Objetivo: Determinar los CAP de profesionales de la salud humana y veterinaria, diagnóstico parasitológico y ampliar el banco de imágenes de parásitos de origen humano y zoonótico.

Metodología: La encuesta de CAP y una aplicación basado en IA fue distribuida a través de la plataforma Google Forms. Las imágenes se colectaron de muestras provenientes de lugares de EPS en el país y clínicas veterinarias. La observación y captura de imágenes se efectuó con microscopio óptico marca Leitz y Leica DM1000 y una cámara Sony Cyber-Shot DSC-RX100. Los datos generados se trasladaron a una hoja Excel y luego fueron analizados con estadística descriptiva en R.

Resultados: 83 profesionales de la salud humana y 40 de veterinaria completaron la encuesta y se recopilaron 6,876 imágenes, de éstas 5,579 imágenes corresponden a parásitos de humanos y el resto a parásitos de origen zoonótico, éstas se utilizarán para elegir las más apropiadas para alimentar la aplicación en un futuro próximo.

Conclusiones

Los profesionales indicaron que una AIA los apoyaría y mejoraría la calidad y eficiencia de los resultados generados en el diagnóstico parasitológico. Mientras las imágenes capturadas aumentan el potencial para el desarrollo de una AIA para el diagnóstico de parásitos intestinales de origen humano y zoonótico, para uso en educación y laboratorio de diagnóstico.

Palabras clave: Parásitos humanos, parásitos zoonóticos, inteligencia artificial

Summary

Intestinal infections affect 24% of the world population, including Guatemala with up to 40%. The development of an AI-based application for automated parasite detection must rely on data at the local level.

Objective: To determine the CAP of human and veterinary health professionals for parasitological diagnosis and to expand the image bank of parasites of human and zoonotic origin.

Methodology: The CAP survey and an AI-based application were distributed through the Google forms platform. The images were collected from samples from EPS locations in the country and veterinary clinics. Observation and image capture were carried out using a Leitz and Leica DM1000 optical microscope and a Sony Cyber-Shot DSC-RX100 camera. The generated data was transferred to an Excel sheet and then analyzed with descriptive statistics in R.

Results: 83 human health professionals and 40 veterinary professionals completed the survey, and 6,876 images of the project were collected, of these 5,579 images correspond to human parasites and the rest to parasites of zoonotic origin, these will be used to choose the most appropriate for feed the app in the near future.

Conclusions

The professionals indicated that an AI application would support them and improve the quality and efficiency of the results generated in the parasitological diagnosis. While the captured images increase the potential for better development of an AI application for the diagnosis of intestinal parasites of human and zoonotic origin.

Keywords: Diagnosis human parasites, zoonotic parasites, IA

3. Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS), ha reportado datos específicos sobre el problema de parásitos intestinales en la población guatemalteca, con un umbral de hasta un 40%, considerando esta situación como un problema generalizado de salud pública (PAHO, 2011). La mayor parte se concentra en las zonas rurales o barrios marginales, donde los ancianos, las mujeres, las poblaciones indígenas, los migrantes y los niños, sufren

desproporcionadamente los efectos por estas infecciones (PAHO, 2011). En estas áreas, no solo los parásitos del suelo son los más comunes, sino también los transmitidos a través de puntos de contacto con animales domésticos, agrícolas o salvajes. Estos últimos, reconocidos hoy en día como las zoonosis parasitarias emergentes, que también entran en la categoría enfermedades desatendidas (Pisarski, 2019).

Ante esta problemática, las aplicaciones con base a inteligencia artificial (IA), para el cuidado de la salud, ofrecen mejores oportunidades para la atención de pacientes, sustentando las decisiones de los equipos de la salud y reduciendo los costos de la atención clínica (Matheny et al., 2020). Las aplicaciones fundamentadas en IA en general, y la visión por computadora (VC) específicamente, se reconocen hoy en día como herramientas emergentes que los microbiólogos necesitan estudiar, desarrollar e implementar para mejorar la práctica de la Microbiología (Rhoads, 2020). Un ejemplo de adaptación es el diagnóstico morfológico por microscopía (estándar de oro) para un reconocimiento de visión por computadora de los parásitos gastrointestinales (Smith et al., 2020). Este procedimiento no solo ha acelerado la revisión de una gran cantidad de preparaciones libres de parásitos, sino también, ha permitido que los parasitólogos se concentren en confirmar los parásitos que se detectan (Mathison et al., 2020).

No obstante, a pesar de estas ventajas, existen desafíos para poder alcanzar el potencial de una Aplicación basada en inteligencia artificial (AIA), especialmente en países como Guatemala: 1) la aplicación debe estar validada con datos representativos de la población, esto con el objetivo de garantizar la precisión y lograr los niveles de desempeño necesarios que aseguren un éxito escalable; y 2) el uso adecuado de los productos y servicios, de una AIA, debe incorporarse a la rutina de trabajo sin que exista un rechazo o percepciones de reemplazo por el personal a cargo (Matheny et al., 2020).

Por lo anterior, fue de suma importancia contar con los comentarios y opiniones de una muestra de profesionales de la salud encargados del diagnóstico humano y veterinario. La información, generó los datos necesarios para determinar los parásitos a incluir en el banco de imágenes, así como, los puntos esenciales de capacitación al momento de contar con una AIA para el diagnóstico de parásitos intestinales. En su conjunto, con este proyecto se logró enriquecer el banco de imágenes para iniciar, en un futuro próximo, el desarrollo de una AIA

apropiada al contexto guatemalteco. Además, con este estudio, se completó la segunda fase del proyecto “**Aplicaciones de Inteligencia Artificial, en la enseñanza superior. Diagnóstico Parasitológico**”, AP8, el cual fue financiado por la Dirección General de Investigación (DIGI) durante 2021, en su fase I (DIGI, 2020).

Al final de la fase II, año 2022, se cuenta con una colección de 5,579 imágenes de parásitos humanos y 1,297 zoonóticos, que permitirán, en la fase III (2023), desarrollar la aplicación basada en el conocimiento, requerimientos, necesidades y comentarios de profesionales en el sector salud y docente. Además de una colección de 505 muestras humanas y 51 de origen veterinario; inventariadas y clasificadas que se utilizarán en las actividades de laboratorio con los estudiantes.

Los beneficiarios del proyecto, al culminar todas sus fases, serían los estudiantes de pregrado y posgrado de las Facultades de Farmacia y Veterinaria de la USAC, los técnicos y profesionales que la utilicen con fines diagnósticos, el MSPAS al contar con datos de calidad, y la población del país, en general, al recibir un diagnóstico certero y un tratamiento adecuado para la enfermedad parasitaria, permitiendo cumplir con los ODS 3, 4 y 6 (ONU, 2015).

4. Planteamiento del problema

Las aplicaciones en base a inteligencia artificial (AIA) en Microbiología, se están convirtiendo en un componente para la investigación y el diagnóstico, al permitir mejoras en cuanto a calidad y costo de las pruebas, (Rhoads, 2020). El uso de una AIA, con visión por computadora (VC) para el diagnóstico de protozoos (Mathison et al., 2020) ha demostrado que es posible: 1) tener una AIA de diagnóstico parasitológico en un laboratorio clínico y 2) es factible contar con software para detección de parásitos, combinado con la confirmación humana de la clasificación realizada, por la computadora (Rhoads, 2020).

A pesar de estas ventajas, existen retos para alcanzar el potencial de una AIA, especialmente en Guatemala: 1) La AIA debe estar validada con datos representativos de la población local y 2) incorporarse a la rutina de trabajo (Matheny et al., 2020; Rhoads, 2020).

Guatemala es un área endémica de parásitos, tanto protozoos como helmintos, y la carga parasitaria es alta, sobre todo en niños preescolares y escolares. La aplicación permitirá tener un diagnóstico certero en menor tiempo, incluyendo parásitos que no se observan

frecuentemente, pero que son importantes para la salud, como los zoonóticos. Cuando se conoce la etiología, el tratamiento es más efectivo, sobre todo si hay resistencia a los medicamentos; por lo tanto, se evitan secuelas en relación con el crecimiento físico y cognitivo. Se cumpliría con el ODS3: Salud y bienestar, “Garantizar una vida sana y promover el bienestar en todas las edades es esencial para el desarrollo sostenible” (ONU, 2015). Por ello en el desarrollo de una AIA para el diagnóstico de parásitos intestinales, el banco de imágenes es necesario que incluya los parásitos intestinales humanos y los de origen zoonótico, principalmente de caninos y felinos, con el objetivo de incrementar el campo de acción de la aplicación y contar con un diagnóstico diferencial en el contexto guatemalteco.

Las AIA y la VC son herramientas emergentes que se deben estudiar, desarrollar e implementar para mejorar la práctica de la Microbiología (Rhoads, 2020). Por estas razones, son importantes los comentarios y opiniones de una muestra de profesionales de la salud. Esta encuesta y la revisión de literatura permitió definir los grupos taxonómicos que se incluirán, posteriormente, en la aplicación.

La AIA se utilizará con fines de diagnóstico y como apoyo en la enseñanza de los estudiantes de pregrado y postgrado en las facultades de Ciencias Químicas y Farmacia y de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), cumpliendo con el ODS4: Educación de calidad, “Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos” (ONU, 2015). La colección de muestras se almacenará de manera adecuada para que se utilice en las actividades de laboratorio de los estudiantes, evolucionando el plan de estudios de educación en salud (Hasan Sapci & Aylin Sapci, 2020), ya que en un futuro la formación docente, estudiantil y profesional requerirá el conocimiento y uso adecuado de tecnologías IA, para la atención de la salud de los guatemaltecos y para contribuir al control en el saneamiento ambiental, ODS6.

5. Delimitación en tiempo y espacio

5.1 Delimitación en tiempo

El estudio se realizó en el período entre febrero a diciembre de 2022. Se inició en el mes de febrero, con la preparación y validación de la encuesta que se pasó a los profesionales de la salud. En el mes de marzo a junio se proporcionó la encuesta y luego se analizaron

los resultados, paralelamente se empezó la colección de muestras humanas y veterinarias para ampliar el banco de imágenes. Del mes de julio al mes de diciembre se capturaron imágenes y se almacenaron apropiadamente las muestras a ser utilizadas en docencia. En paralelo durante este período se analizaron resultados de la encuesta, así como, artículos científicos, con el propósito de establecer los grupos taxonómicos de parásitos que serán incluidos en la aplicación. Finalmente, en el mes de enero se procedió a redactar el informe final, para entregarlo el mes de febrero.

5.2 Delimitación espacial

Debido a la pandemia de SARS CoV2, el Laboratorio Clínico Popular (LABOPCLIP) del Programa de Experiencias Docentes con la Comunidad (EDC), no procesó muestras de heces, por lo que se decidió solicitar, nuevamente, la colaboración de los estudiantes de Química Biológica que se encontraban realizando el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) en diferentes centros asistenciales del país. Los estudiantes en EPS y los centros participantes fueron: 11. Las muestras de animales domésticos, caninos y felinos, fueron colectadas en Clínicas Veterinarias de la Ciudad de Guatemala y en el interior del país. Las muestras, humanas y veterinarias, fueron transportadas por mensajería privada y luego llevadas al laboratorio de Introducción del Programa de Experiencias Docentes con la Comunidad (EDC), (situado en 3a. Calle 6-47 Zona 1, Guatemala, ciudad), para proceder a buscar los parásitos intestinales y realizar la captura de las imágenes.

6. Marco teórico

6.1 Generalidades sobre parásitos de importancia médica

Epidemiología de las enfermedades parasitarias intestinales

Determinar la prevalencia y la distribución de los parásitos intestinales es fundamental para establecer un programa de control que sea efectivo (Abbaszadeh Afshar et al., 2020).

Estas enfermedades se encuentran ampliamente distribuidas en el trópico y subtropico, ligadas a escasas medidas sanitarias y pobreza. A nivel mundial, los más comunes son los helmintos que se transmiten por suelo contaminado (HTS), tres grupos son predominantes, *Ascaris* (*Ascaris lumbricoides*), tricocéfalo (*Trichuris trichiura*) y las uncinarias (*Ancylostoma duodenale* y *Necator americanus*). Gran parte de la población del mundo está

infectada con uno o más HTS, considerando que son, aproximadamente, mil millones de personas. De estos 807-1,121 millones con *Ascaris*, 604-795 millones con *Trichuris* y 576-740 millones con uncinarias; los más afectados son los niños, se estima que 800 millones necesitan tratamiento) (CDC, 2022; WHO, 2020, 2022) (CDC, 2022). Otros parásitos comunes que infectan millones de personas son: *Strongyloides stercoralis* 30–100, *Enterobius vermicularis* 4–28% de los niños, *Toxocara canis* y *Toxocara cati* afectando al 2–80% de los niños (Bethony et al., 2006). Se considera que las enfermedades por HTS representan 5.2 millones de DALYs (Siglas del inglés: *disability-adjusted life years*) (GAHI, 2021).

En todos los países de América se encuentran parásitos intestinales coincidiendo su presentación con lo observado a nivel mundial tanto de parásitos prevalentes como en las condiciones en que se presentan (Choi & Kim, 2017; Espinosa Aranzales et al., 2018; Gabrie et al., 2016; *Geohelminthiasis - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud*, s/f; Saboyá et al., 2013; Sprenger et al., 2014; Zonta et al., 2019).

En Guatemala, se ha encontrado que la estación lluviosa, niños más pequeños, el sexo femenino y la severa malnutrición correlacionan de forma positiva con un incremento en las tasas de infección; la mejora de las medidas sanitarias y el lavado de manos ha permitido que la prevalencia de las infecciones parasitarias disminuya, pero a pesar de esto, la carga se mantiene alta (Cook et al., 2009; Dougherty et al., 2017).

Oficialmente no se tienen datos específicos de estas infecciones, pero, forman parte de la vigilancia de las Enfermedades Transmitidas por Agua y Alimentos, este grupo incluye agentes etiológicos muy variados: virus, bacterias, protozoos, y nematodos, comprendiendo enfermedades como: enfermedad diarreica, Disentería, Hepatitis A, Fiebre Tifoidea, Intoxicación por alimentos, Cólera y Marea Roja; de las cuales, las enfermedades diarreicas representan el 98%, pero, no se tiene información de agentes etiológicos, lo mismo ocurre con la disentería (MSPAS, 2018).

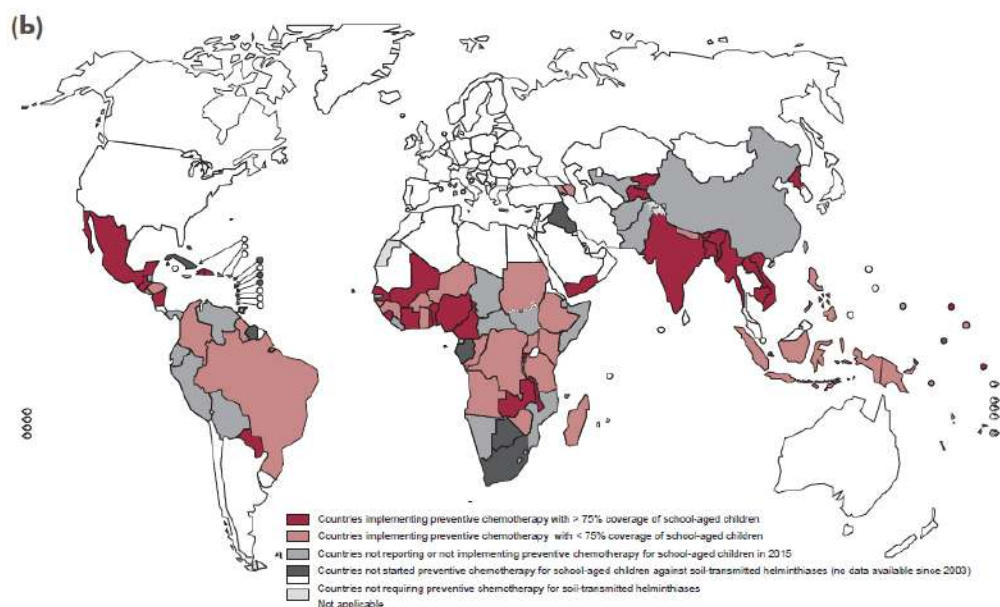
La Organización Mundial de la salud (OMS) consideraba en 2019 que 4,965,871 de niños requerían tratamiento contra HTS, 1,991,584 en edad preescolar y 2,966,286 en edad escolar; pero el país no cuenta con datos sobre la cobertura de tratamiento ni sobre las áreas geográficas o sobre unidades de implementación que se utilizaron para dar tratamiento, por

lo tanto, no se tiene información sobre cuántos niños recibieron tratamiento para determinar porcentaje de cobertura (WHO, 2021b).

En el cuarto informe de OMS, sobre NTD (*Neglected Tropical Diseases*, NTD), se informa que Guatemala tenía en 2015, una cobertura de tratamiento preventivo contra HTS de menos del 75% en niños preescolares, pero más del 75% en los escolares, ver Fig.1. (WHO, 2017).

Figura 1

Países del mundo que han implementado la terapia preventiva contra los Helmintos transmitidos por suelo contaminado, en niños de edad escolar, 2015



Tomado de: WHO. (2017). Integrating neglected tropical diseases into global health and development: fourth WHO report on neglected tropical diseases. Geneva: World Health Organization; 2017. In *World Health Organization*.

Diagnóstico diferencial y características principales

Los parásitos intestinales se encuentran presentes en las heces (humanas o de animales) y contaminan el suelo si las condiciones higiénicas son deficientes, pueden dividirse en dos grandes grupos: protozoos y helmintos (Harhay et al., 2010). Entre los protozoos se

encuentran 4 grupos: Sarcodina, amebas (*Entamoeba*); Mastigophora, flagelados (*Giardia*); Ciliophora, ciliados (*Balantidium*) y Sporozoa, (*Cryptosporidium*) (CDC, 2020). Los Helmintos de importancia en enfermedades gastrointestinales, incluyen: a los gusanos planos o platelmintos, como los cestodos; gusanos de cabeza espinosa o acantocefalinas; los acantocéfalos son de origen animal que pueden infectar al humano, así como, los gusanos redondos o nemátodos (CDC, 2020).

Los más comunes son los HTS, los cuales se transmiten por medio de huevos en las heces o larvas en el suelo y son la causa más frecuente en las enfermedades tropicales desatendidas, (*Neglected Tropical Diseases, NTDs*); para el año 2030 se pretende terminar con las NTD. Resolver la situación requiere de la erradicación de la pobreza, acceso a fuentes de energía y agua potable, además del correcto manejo de desechos sólidos humanos, entre otros (ONU, 2015; WHO, 2017). Las HTS en el hospedero no presenta síntomas agudos, raramente causan la muerte, pero la cronicidad e intensidad de la infección puede llevar a malnutrición, anemia y afectar física y cognitivamente el desarrollo de los niños (Truscott et al., 2016).

Parásitos humanos patógenos

Los protozoos son organismos unicelulares, eucariotas, microscópico; son ubicuos a nivel mundial. Se consideran patógenas las siguientes especies: *Entamoeba histolytica*, *Entamoeba moshkovskii*, *Blastocystis hominis*, *Giardia duodenalis*, *Dientamoeba fragilis*, *Balantidium coli*, *Cystoisospora belli*, *Cryptosporidium spp.*, *Cyclospora cayetanensis*. El diagnóstico se realiza principalmente por la observación de quistes y trofozoítos, pueden utilizarse, además, métodos inmunológicos o moleculares, pero, no para todas las especies (García et al., 2018; Ricciardi & Ndao, 2015; Tille, 2017).

Los Helmintos son parásitos comunes, incluyen a los platelmintos y los nemátodos (contienen a los HTS) son los principales implicados en las infecciones. El cuerpo de los nemátodos está cubierto por una cutícula o tegumento que lo protege, por ejemplo, de los líquidos intestinales; tiene estructuras que le sirven para fijarse (espinas, ganchos, ventosas, etc.) o enzimas para digerir el tejido intestinal y permitir la penetración y posterior migración. Pueden ser transmitidos por suelo, agua o alimentos contaminados y por vectores; pueden presentar ciclos de vida complicados, con varios hospederos; las

infecciones pueden ir de asintomáticas a graves; pueden identificarse por su estadio de huevo, larva o adulto (Garcia, 2016); la mayoría de estas enfermedades puede prevenirse si hay buena higiene, establecer una correcta disposición de desechos sólidos, no comer carne cruda y evitar el contacto con agua y suelos contaminados. La población principalmente afectada son los niños, de áreas rurales de países de bajos ingresos económicos (Al Amin ASM & Wadhwa R., 2021; Lindquist & Cross, 2017) .

Los nematodos no son segmentados; presentan un tracto digestivo y reproductivo bien desarrollado; la forma adulta tiene sexos separados; la transmisión del parásito puede ser por la ingestión o inhalación de huevos o por larvas que atraviesan la piel a partir de un suelo contaminado; sus ciclos vitales son diversos. Las principales especies de nemátodos que infectan al humano son: *A. lumbricoides*, *E. vermicularis*, *T. trichiura*, *A. duodenale* / *N. americanus*, *S. stercoralis* (Al Amin ASM & Wadhwa R., 2021; CDC, 2020; Lindquist & Cross, 2017; Tille, 2017).

Los platelmintos son los gusanos planos, incluyen a los cestodos y a los tremátodos. Los cestodos, presentan diferentes hospederos: bovinos, cerdos, peces, o insectos como pulgas, algunos presentan hospederos intermedios y definitivos. Su cuerpo está formado por escólex, cuello, y proglótides maduros e inmaduros. Entre los cestodos se encuentran los siguientes patógenos: *Diphyllobothrium latum*, *Dipylidium caninum*, *Hymenolepis nana*, *Hymenolepis diminuta*, *Taenia solium* y *Taenia saginata*, pueden permanecer en el intestino como adultos y causar síntomas como dolor abdominal, distensión o problemas más graves como anemia megaloblástica (*D. latum*) o pueden producir cisticercosis (*T. solium*) ((Al Amin ASM & Wadhwa R., 2021; Tille, 2017). Los tremátodos intestinales no son comunes en América, las principales especies patógenas son: *Fasciolopsis buski*, *Heterophyes* y *Metagonimus yokogawai*. Requieren un hospedero intermediario y generalmente se produce la infección por el consumo de plantas acuáticas o peces crudos, el adulto vive en el intestino delgado expulsa huevos a través de las heces al ambiente. El huevo es la fase de diagnóstico más utilizada (Tille, 2017).

Organismos Comensales

Los comensales pueden ser hongos, protozoos o helmintos que no se han relacionado directamente con una patología, al contrario, se consideran no parásitos y algunos hasta

beneficiosos. Se establecen en el lumen del intestino por largos períodos de tiempo y son bien tolerados por el sistema inmunológico, en condiciones de malnutrición o inmunosupresión, pueden desarrollar características parasíticas (Lukeš et al., 2015). Su importancia radica en que una persona que presenta organismos comensales puede tener patógenos, ya que se transmiten de la misma forma (Tille, 2017). Entre las amebas comunes sin importancia médica, se encuentran: *Entamoeba dispar*, *Entamoeba hartmanni*, *Entamoeba coli*, *Endolimax nana*, *Iodamoeba bütschlii*, *Chilomastix mesnili*, *Pentatrichomonas hominis* (Tille, 2017).

Parásitos de origen no humano

Hay más de 200 enfermedades zoonóticas y entre estas se pueden encontrar: ántrax, brucelosis, tuberculosis bovina y leptospirosis. La OMS ha establecido las siguientes NTD zoonóticas que necesitan atención: la equinococosis, teniasis/cisticercosis, trematodos transmitidos por perros, tripanosomiasis africana humana zoonótica, leishmaniasis y esquistosomiasis zoonóticas (WHO, 2021a). Para resolver estas infecciones, se requiere un trabajo colaborativo entre instituciones de salud humana, de salud animal y del ambiente (WHO, 2021a).

Existen enfermedades parasitarias zoonóticas que por la epidemiología de su transmisión y sus efectos graves sobre la salud humana, es importante establecer su diagnóstico mediante diferentes técnicas diagnósticas, utilizándose en el caso de protozoos el método directo por frotis con coloración de Lugol para observación de quistes y trofozoítos y la técnica de Sheather (flotación) para diagnóstico de ooquistes, así como huevos de helmintos (Girard, 2014). Mientras que para la identificación de fases larvarias es útil la técnica de Baermann (Rodríguez & Figueroa, 2007).

6.1 Aplicación para el reconocimiento de imágenes

Importancia de las IA de imágenes microscópicas

Las aplicaciones desarrolladas en base a inteligencia artificial (IA) para el cuidado de la salud, ofrecen mejores oportunidades para la atención de pacientes, sustentando las decisiones de los equipos de la salud y reduciendo los costos de la atención clínica (Matheny et al., 2020). En el área de Microbiología esas aplicaciones se están convirtiendo

en un componente para la investigación y el diagnóstico, ya que permiten mejoras a través del tiempo en cuanto a la calidad y costos de las pruebas (Rhoads, 2020). Un ejemplo de esta transición es el análisis morfológico por microscopía de los parásitos intestinales (estándar de oro), hacia el reconocimiento automático de imágenes microscópicas, a través de aplicaciones de IA (Smith et al., 2020). Se utilizó la técnica de VC, para el diagnóstico de protozoos, en preparaciones fecales teñidas con tinción Tricrómica (Mathison et al., 2020), este procedimiento aceleró la revisión de una gran cantidad de preparaciones libres de parásitos, lo que permitió a los parasitólogos, concentrarse en confirmar y caracterizar los protozoos que se detectaban. Este estudio demostró que con el uso de la VC fue posible: 1) tener una herramienta de diagnóstico parasitológico en base a IA, en un laboratorio clínico; 2) detectar imágenes grandes en busca de eventos raros pero definidos, como la detección de huevos de parásitos; 3) utilizar software como herramienta de detección de parásitos y la revisión humana como medio de verificación de la clasificación realizada por una computadora; y 4) emplear en conjunto el entrenamiento de la computadora y la validación de un algoritmo de IA (Rhoads, 2020).

Existen desafíos para poder alcanzar el potencial de una AIA: 1) debe estar validada con datos representativos de la población en la cual se utilizará, esto para garantizar la precisión y lograr los niveles de desempeño necesarios que aseguren un éxito escalable; y 2) el uso adecuado de los productos y servicios, deben incorporarse a la rutina de trabajo sin que exista un rechazo o percepciones de reemplazo del personal a cargo (Matheny et al., 2020; Rhoads, 2020).

Las AIA de diagnóstico parasitológico por imágenes, han sido desarrolladas en base a la demanda diagnóstica de países donde la carga de enfermedad por parásitos es baja. En los Estados Unidos, la incidencia de infecciones parasitarias se considera una de las más bajas con respecto a otros países, suele ser inferior al 5%. Las aplicaciones desarrolladas buscan eliminar el tiempo dedicado a estas evaluaciones (Smith et al., 2020). Sin embargo, en Latinoamérica y Guatemala las enfermedades parasitarias han sido consideradas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como un problema generalizado de salud pública.

Algunos profesionales reconocen que la automatización puede aumentar la productividad de los trabajadores, pero puede reemplazar o transformar el trabajo, perdiendo la oportunidad de un empleo (Frank et al., 2019). Sin embargo, las aplicaciones fundamentadas en IA y la VC se reconocen hoy en día como herramientas emergentes que los microbiólogos necesitan estudiar, desarrollar e implementar para mejorar la práctica de la Microbiología (Rhoads, 2020).

Desarrollo de una aplicación para reconocimiento de imágenes

El desarrollo de una AIA parte de una amplia colección de imágenes y su preparación, para posteriormente, determinar que técnica de procesamiento digital de imágenes se utilizará para la preparación de la aplicación (Reyes Ortiz et al., 2019). Para contar con un microscopio inteligente, Traore y colaboradores, han propuesto, cinco fases de aprendizaje: 1) Banco de datos de entrenamiento de las imágenes proporcionadas; 2) entrenamiento a través de algoritmos de CNN o del programa de la computadora; 3) datos de prueba preparación; 4) modelo generado por CNN con datos para pruebas; y finalmente (5) evaluación de las imágenes clasificadas (Traore et al., 2018). Reyes Ortiz y colaboradores, presentan una revisión sobre el procesamiento digital de imágenes y su implementación, enfocándose en las siguientes técnicas de IA: los sistemas difusos, las redes neuronales, la inteligencia de enjambre y los sistemas inmunes artificiales, ver tabla en Anexo 1 (Reyes Ortiz et al., 2019). La red neuronal multicapa o MPL (MultiLayer Perceptron) es la más utilizada en medicina, pero también se ha sugerido el uso, en conjunto, de dos técnicas para aplicaciones de reconocimiento de imágenes: uno basado en un enjambre de abejas y el otro, un enjambre de partículas basado en un árbol de decisión que pueden realizar un mejor reconocimiento (Reyes Ortiz et al., 2019).

El primer paso para la creación de una aplicación para reconocimiento de imágenes es crear una colección de imágenes variada, sobre lo que se requiere que reconozca; esto, para establecer diferencias y permitir el reconocimiento por medio de VC, que se define como el arte y ciencia para que las computadoras puedan entender las imágenes (Deepomatic, 2020a). El propósito es enseñar a la computadora a reconocer, identificar y localizar los objetos de interés en las imágenes, con diferentes grados de precisión. El proceso requiere de clasificación, etiquetado, detección y segmentación de las imágenes para luego proceder

a realizar la aplicación en base a *Deep learning* o *computer vision*, la diferencia es que con *Deep learning* se desarrollan algoritmos que aprenden a crear sus propias reglas (Deepomatic, 2020b).

La AIA para reconocimiento de parásitos debe incluir las imágenes basadas en la forma en la que se realiza el diagnóstico de la enfermedad parasitaria (ver ejemplo en Anexo 2).

7. Estado del arte

La inteligencia artificial y el diagnóstico de parásitos gastrointestinales en humanos

Las Redes Neuronales Convolucionales -visión por computadora de imágenes- son un campo emergente, siendo el área más innovadora y prometedora de la IA, los microbiólogos, especialmente aquellos que efectúan diagnósticos por microscopía, se encuentran interesados en su uso (Rhoads, 2020).

Sin embargo, para contar con un microscopio inteligente, Traore y colaboradores, han propuesto, cinco fases de aprendizaje: 1) Banco de datos de entrenamiento de las imágenes proporcionadas; 2) entrenamiento a través de algoritmos de *Convolution Neural Network* (CNN) o del programa de la computadora; 3) datos de prueba preparación; 4) modelo generado por CNN con datos para pruebas; y finalmente (5) evaluación de las imágenes clasificadas. Este proceso de aprendizaje, aunque fue utilizado para manejar epidemias por *Vibrio cholerae* y malaria, representan los pasos genéricos para la informática móvil en los microscopios del futuro (Traore et al., 2018). Estas mismas fases se llevan a cabo en la corteza cerebral de los parasitólogos, en forma simultánea, al escanear rápidamente las diferentes formas en una muestra de heces y luego hacer una comparación de las características morfológicas de los parásitos y emitir un diagnóstico (Mathison et al., 2020).

Algunos ejemplos del uso de esta tecnología fueron mostrados por Nkamgang OT y colaboradores. En este caso utilizaron una combinación de un sistema difuso y una red neural artificial, con el objetivo de producir una red de inteligencia artificial apropiada al diagnóstico de parásitos intestinales. Los resultados mostraron una clasificación del 100% de veinte parásitos intestinales (protozoos y helmintos) en distintos estadios (quistes, trofozoítos, huevos, larvas o adultos), además indicaron que el método puede extenderse a otros parásitos utilizando los mismos procedimientos (Nkamgang et al., 2018). No obstante, otros modelos

publicados, se basan en cálculos matemáticos, tal como el programa SCILAB de código abierto. Este utiliza una combinación de algoritmos y 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).

Entre las aplicaciones más avanzadas, se encuentra el modelo propuesto por Mathison y colaboradores. Este grupo de investigadores validó este tipo de tecnologías, en preparaciones fecales teñidas con tinción Tricrómica, para el diagnóstico de protozoos (Mathison et al., 2020). Con de esta aplicación, no sólo se agilizaron las revisiones de una gran cantidad de preparaciones libres de parásitos, sino también, permitió a los parasitólogos, enfocarse en la confirmación y caracterización de los protozoos, que se detectaban. A su vez, este modelo presentó una excelente reproducibilidad y fue cinco veces más sensible que los resultados obtenidos por observaciones manuales. Este estudio, demostró que el uso de una Red Neuronal Convolutacional, puede ser una herramienta robusta para aumentar la detección convencional de protozoos intestinales (Mathison et al., 2020).

Optimización del diagnóstico de parásitos gastrointestinales humanos por IA

El diagnóstico parasitológico, también puede optimizarse hasta una convertirse en una prueba de Punto de Atención del Paciente (*Point of care*, POC por siglas en inglés). Una de estas aplicaciones fue reportada por Holmström O y colaboradores, quienes diseñaron un microscopio digital de un pequeño tamaño conectado a una nube para el diagnóstico de parásitos intestinales como *A. lumbricoides*, *T. trichiura*, *Ancilostoma* 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 helmintos en las imágenes capturadas en puntos de atención a los pacientes (Holmström et al., 2017).

La inteligencia artificial y el diagnóstico de parásitos gastrointestinales de origen veterinario

Los parásitos de origen veterinario causan enfermedades a un costo considerable para la salud pública y representan un riesgo para el apareamiento de nuevas infecciones humanas. Entre estos, los parásitos intestinales caninos tienen un potencial zoonótico significativo, al estar presentes a nivel mundial (Sprenger et al., 2014).

El sistema VETSCAN IMAGYST consta de tres componentes: un dispositivo de preparación de muestras, un escáner disponible comercialmente y un software de análisis. El escáner automático VETSCAN IMAGYST y el algoritmo de aprendizaje profundo se mantienen en la nube. Este escáner, localiza, clasifica e identifica los huevos de parásitos que se encuentran en portaobjetos microscópicos con muestras fecales. El rendimiento del algoritmo de VETSCAN IMAGYST, presentó resultados que correlacionaron con lo reportados por los parasitólogos (correlación de Pearson entre 0,83 y 0,99) en relación con la identificación de especies de *Ancylostoma*, *Toxocara*, *Trichuris* y *Taeniidae* (Nagamori et al., 2020).

Percepción acerca de las infecciones por parásitos gastrointestinales y zoonóticos.

A pesar de que las metodologías de IA para el diagnóstico de parásitos intestinales ofrecen grandes ventajas, aún no están disponibles a nivel comercial, por lo que las prácticas de diagnóstico se siguen apoyando en la observación directa, por microscopía, especialmente en países como Guatemala. En un estudio, llevado a cabo por Hindi AI, de la percepción de esta práctica en 371 profesionales de la salud en Palestina, mostró que tanto los médicos (57.8%) como los tecnólogos de laboratorio (31.7%), dependían de la microscopía directa en el diagnóstico de parásitos intestinales en Gaza, concluyendo que el uso de estos diagnósticos era muy bajo (Hindi, 2014). A su vez estos resultados podrían verse afectados de la falta de microscopistas, la baja sensibilidad de los análisis microscópicos de heces, la falta de programas de capacitación continua, carencia de procedimientos operativos estandarizados para recolección y preparación de muestras y ausencia de programas de control de calidad (van Lieshout & Yazdanbakhsh, 2013).

En relación con lo antes expuesto, se ha demostrado que el uso de inteligencia artificial en el diagnóstico de parásitos intestinales en humanos es posible a través de la visión e interpretación de imágenes por computadora, utilizando redes neuronales convolucionales. Que estas tecnologías pueden ser utilizadas como técnicas de punto final de atención a los pacientes. No obstante, estos avances, la tecnología para el diagnóstico de parásitos de origen veterinario, utilizando los mismos principios, presentan avances hacia la automatización. Por último, es necesario contar con la opinión de un grupo de expertos en el diagnóstico parasitológico, con el objetivo de comprender las percepciones, el estado actual y lo que esperarían de esta disciplina en el país.

8. Objetivos (generales y específicos)

7.1 Objetivo General

Determinar qué imágenes de parásitos de origen humano y zoonótico deben ser incluidas, en el desarrollo de una aplicación de inteligencia artificial, para el diagnóstico diferencial de parásitos intestinales, en Guatemala.

7.2 Objetivos Específicos

1. Determinar a través de una encuesta, dirigida a una muestra de profesionales de la salud, que parásitos de origen humano y zoonótico deben ser incluidos, en el desarrollo futuro, de una aplicación de inteligencia artificial.
2. Definir los grupos taxonómicos de parásitos intestinales que permitirían realizar, en el futuro, una aplicación de reconocimiento por imágenes para el diagnóstico diferencial en Guatemala.
3. Establecer qué imágenes de parásitos intestinales de origen humano y zoonóticos deben capturarse para ser incluidos en una colección para el desarrollo de una aplicación, en el futuro, de inteligencia artificial en Guatemala.

8 Hipótesis

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

9 Materiales y métodos

Enfoque de la investigación

Enfoque de la investigación: Este estudio posee un enfoque Mixto

Tipo de investigación: Descriptiva y explicativa.

Método

Observacional

Para determinar qué imágenes de parásitos de origen humano y zoonótico deberían ser incluidas en el desarrollo de una aplicación de inteligencia artificial para el diagnóstico de parásitos intestinales en Guatemala, se llevó a cabo un estudio transversal descriptivo acerca

de los conocimientos, actitudes y prácticas durante los meses de marzo a junio de 2022, que incluyó a profesionales de la salud, humana y veterinaria, se utilizó la plataforma de Google (*Google Forms*) la cual no contó con ningún identificador personal. Los profesionales fueron invitados a través de correo electrónico, desde los Colegios o Asociaciones profesionales. Luego de contar con las respuestas a la encuesta se procedió a la tabulación y análisis de datos. En forma paralela se colectaron, muestras fecales de origen humano y veterinario. Estas muestras fueron identificadas con un código de ingreso. Tanto las muestras fueron preparadas para la toma de imágenes desde diversas tomas, a través de los microscopios ópticos Leitz y Leica DM1000 utilizando una cámara externa Sony Cyber-Shot DSC-RX100 y un trípode. Se recopilaron en formatos TIF, JPG y RAW, con aumentos 100x, 400x, 1000x y más, según el aumento de la cámara Sony Cyber-Shot DSC-RX100, que se utilizó para la captura de la mayoría de las imágenes. Todas las imágenes fueron identificadas y los parásitos caracterizados, clasificados por su apariencia morfológica y confirmados por los parasitólogos participantes en el estudio. Estas imágenes se guardarán para utilizarlas en las siguientes fases del proyecto. Posteriormente se determinó cuáles fueron los parásitos más frecuentes. Los datos fueron triangulados para verificar y completar la información recopilada de las tres fuentes: 1) la información generada de la encuesta, con la que se profundizará acerca del estado del diagnóstico microscópico de estas infecciones en la práctica real; 2) los resultados de la observación de las muestras, y 3) estimación de la prevalencia de los parásitos de origen humano como zoonótico según la literatura revisada.

Recolección de información

Para el objetivo 1, “Establecer a través de una encuesta, dirigida a una muestra de profesionales de la salud, que parásitos de origen humano y zoonótico deben ser incluidos, en el desarrollo futuro, de una aplicación de inteligencia artificial”, en la encuesta participaron los profesionales de la salud por medio de la plataforma de Google (Google formularios) y no hubo ningún identificador personal.

Los profesionales fueron invitados a través de correo electrónico enviado por los Colegios o Asociaciones profesionales. Luego de contar con las respuestas a la encuesta, los datos fueron trasladados a una hoja Excel y se procedió a la curación de la base de datos. La encuesta consistió en preguntas acerca del perfil demográfico y profesional, además, de preguntas de

conocimientos, actitudes, práctica en el diagnóstico de parásitos y preguntas relacionadas con el uso de aplicaciones de inteligencia IA. En todas estas secciones, se exploraron aspectos como el diagnóstico parasitológico por microscopía, identificación diferencial entre huevos y parásitos de origen humano o zoonótico (Kassaw et al., 2020; Nasr et al., 2013).

Para los objetivos 2 y 3, “Distinguir los grupos taxonómicos de parásitos intestinales que permitirían realizar, en el futuro, una aplicación de reconocimiento por imágenes para el diagnóstico diferencial en Guatemala” y 3, “Determinar imágenes de parásitos intestinales de origen humano y zoonóticos deben ser incluidos, en el desarrollo futuro, de una aplicación de inteligencia artificial, en Guatemala”. Para la documentación de las muestras fecales, se utilizó el software Epi Info™ de uso gratuito y se preparó una forma de colección de datos en donde aparecerán la fecha, edad, sexo, procedencia geográfica, origen de la muestra (humano o veterinario) y código de colección de la muestra. También se incluyeron campos con la identificación de cada parásito. Se agregó una variable denominada decodificación para el análisis final de la base de datos.

Cálculo del tamaño de muestra

Tamaño del número de profesionales de la salud

El tipo de muestra será probabilística, ya que la misma dependía de la relación con las características que se estudiaban en esta investigación, sin depender de un procedimiento formal de selección sino de criterios determinados por el objetivo de la investigación. La muestra estuvo conformada por personas que cumplieran los criterios de inclusión y de los que se tenía un fácil acceso a través de los distintos colegios profesionales. El tamaño de muestra fue calculado utilizando la siguiente fórmula para una proporción utilizando el manual de la determinación del tamaño de muestra por la OMS (Lwanga & Lemeshow, 1991) :

$$n = z_{1-\alpha/2}^2 P(1 - P)/d^2$$

Los siguientes parámetros fueron utilizados para estos cálculos: La precisión absoluta es de 5% (d) y el nivel de confianza de 95%. Este cálculo produjo un tamaño de muestra de 77 ± 5 asumiendo que un 10% (n=170) profesionales de una población de 1,695 Químicos Biólogos activos (H. Choy, comunicación personal, abril de 2022, Colegio de Farmacéuticos y Químicos de Guatemala). Para los Médicos Veterinarios, la población fue de 905

profesionales activos, asumiendo que menos del 5% (45) de estos profesionales contaban con una clínica (L. Choc, comunicación personal, abril de 2022, Facultad de Veterinaria y Zootecnia, USAC) por lo que el tamaño de muestra calculado fue de 41 ± 5 , usando los mismos parámetros. Por lo anterior, el tamaño de muestra para este estudio se estimó en 118 profesionales encuestados.

Tamaño del número de muestras fecales de origen humano y veterinario

Los siguientes parámetros: precisión absoluta de 5% (d) y el nivel de confianza de 95%, se fueron utilizados (Lwanga & Lemeshow, 1991) para el cálculo en el número de muestras de origen humano, se tomó como base el número muestras colectadas en la fase I del proyecto, el cual alcanzó 273 muestras. Con estas estimaciones el cálculo produjo un tamaño de muestra de 160 ± 5 muestras a colectadas durante el año 2022.

Con respecto a las muestras veterinarias de perros y gatos, para el año 2019 se recibieron un total de 50 muestras en un trimestre en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia L. Choc, comunicación personal, abril de 2022, Facultad de Veterinaria y Zootecnia, USAC), por lo que el tamaño de muestra calculado fue de 45 ± 5 , usando los mismos parámetros. Con lo anterior, el tamaño de muestra para este estudio se estimó en 269 muestras.

Técnicas e instrumentos

Parasitología: actividades de campo y laboratorio

Para la observación inicial, las muestras de heces se procesaron mediante sedimentación rápida por centrifugación durante 5 minutos a 3000 rpm., con el propósito de concentrar cualquier parásito presente. Los sedimentos se prepararon en fresco, con yodo de Lugol y sin colorantes, luego se examinaron bajo el microscopio óptico. A cada muestra se le asignó un código antes de su almacenamiento. Las muestras se conservaron en solución salina tamponada con fosfato \pm formaldehído al 10%, en el Laboratorio de Introducción, Programa de Experiencias Docentes con la Comunidad, de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Sobre estas preparaciones, se llevaron a cabo las evaluaciones para identificar los parásitos y la toma de las distintas imágenes (García et al., 2018).

La observación de muestras de heces provenientes de caninos y felinos domésticos se realizó mediante las mismas técnicas utilizadas para la observación de muestras humanas; éstas también se conservan en solución salina tamponada con fosfato \pm formaldehído al 10%.

Identificación de los parásitos

Los parásitos seleccionados en cada uno de las muestras fueron identificados según las características descritas previamente en el manual de identificación de la Organización Mundial de la Salud, atlas para consulta y en colecciones de láminas, de la siguiente manera: Helmintos; *Ascaris lumbricoides*, huevo *Trichuris trichiura*, huevo *Ancylostoma duodenale* y *Necator americanus* (Uncinarias), huevos son iguales, *Hymenolepis nana*, huevo, *Dipylidium* y *Taenia* spp, huevo, entre otros, los protozoos se identificaron por medio de los quistes; también se identificaron las larvas presentes (Garcia et al., 2018). Los parasitólogos del grupo de investigación realizaron las confirmaciones necesarias el control de calidad de los parásitos zoonóticos estará a cargo del investigador médico y parasitólogo veterinario.

La identificación de fases parasitarias y preparasitarias de protozoos y helmintos zoonóticos de origen animal, se realizaron mediante microscopía óptica de la siguiente manera: quistes y trofozoítos con aumento de 100x y 400x; huevos de helmintos 100x y 400x según el espécimen a identificar y larvas de helmintos a 100X (Rodriguez & Figueroa, 2007).

Digitalización de imágenes

Para la digitalización de imágenes se utilizaron los microscopios ópticos Leitz y Leica DM1000 y una cámara digital Sony Cyber-Shot DSC-RX100 con trípode, para digitalizar los frotis fecales con un aumento de 100x, 400x o 1000x, también se utilizaron teléfonos celulares para la captura de imágenes. No fue posible utilizar la cámara adicionada al microscopio que se encuentra en el laboratorio de Microbiología en el campus universitario de la zona 12.

Procesamiento y análisis de la información

El análisis de datos se realizó utilizando el programa R de uso gratuito. Para los resultados de la encuesta, las características demográficas y perfil profesional, se trataron como variables categóricas y continuas, se presentaron a través de frecuencias, porcentajes, medianas y cuartiles, respectivamente. También se recodificaron todos los elementos de la encuesta CAP en variables dicotómicas para facilitar la interpretación como sigue: opciones de respuesta frecuente, muy frecuente, ocasionalmente y nunca a variables dicotómicas según fuera el caso. Con respecto a las características de las muestras, grupos y parásitos seleccionados se

presentarán a través de frecuencias y porcentajes. Todas las determinaciones de efectuaron a un nivel de significancia del 0.05%.

10 Resultados y discusión

1.1. Resultados

Resultados encuesta CAP dirigida a profesionales en salud humana

Por medio de una encuesta, se recolectó información acerca los conocimientos, actitudes y prácticas (CAP) de una muestra de profesionales en salud, acerca de que parásitos gastrointestinales, humanos y zoonóticos deberían ser incluidos en una aplicación de inteligencia artificial, para el diagnóstico diferencial de parásitos intestinales en Guatemala. La encuesta se dividió en dos segmentos, el primero de ellos se enfocó en los profesionales que atienden la salud humana y el segundo en la salud veterinaria.

Las características de los 85 profesionales en la salud humana que participaron contestando la encuesta, se presentan en la Tabla 1. Se observó que 56 (61.3%) correspondieron al género femenino, la edad de los participantes osciló entre 22 y 74 años (\bar{x} = 42.51 años; $DE \pm 14.56$ años). Con respecto, al grado académico se encontró que 42 (49.2%) habían finalizado la licenciatura o bien, eran estudiantes de la carrera de Química Biológica, 18. Con respecto a los años de experiencia, oscilaron entre 0 a 38 años (\bar{x} = 10.16 años; $DE \pm 9.44$ años), de ellos, 33 (39%) fungían a jefes del laboratorio y 22 (25.9 9%) como supervisores de laboratorio. Treinta y siete (43.6%) de los participantes reportó que siempre o frecuentemente observaban parásitos; 58 (68.2%) trabajaban en hospitales y laboratorios clínicos, 39 (45.9%) estaban ubicados en el sector privado y 38 (44.7%) en el público.

Tabla 1

Características demográficas de profesionales en salud humana (N=85)

Características demográficas	n	%
Género (n=85)		
Femenino	56	61.3
Masculino	29	38.7
¹ Edad (n=85) X= 42.51 años; $DE \pm 14.56$ años; mínima 22 años; máxima de 74 años; mediana =40; Rango inter cuartil = 21 años		
Educación (n=85)		
Licenciatura	42	

Características demográficas	n	%
Post grado Maestría	23	27.1
Estudiante	18	21.1
Técnico de laboratorio	1	1.2
Otro	1	1.2
Área de laboratorio donde trabaja		
Parasitología humana	18	21.2
Microbiología	5	5.9
Control de calidad	2	2.4
Biología Molecular	1	1.2
Otra	27	31.8
No especificado	32	37.6
Experiencia X= 10.16 años; DE±9.44 años; mínima 0 años; máxima de 38 años; mediana =8; Rango intercuartil = 13 años		
Puesto que desempeña		
Jefe de laboratorio	33	38.8
Supervisor de área	22	25.9
Docente e investigador	10	11.8
Técnico de laboratorio	2	2.4
No especificado	18	21.2
Observación de parásitos		
Siempre	23	27.1
Frecuentemente	14	16.5
Ocasionalmente	38	44.7
Nunca	10	11.8
Institución		
Hospital	29	34.1
Laboratorio de diagnóstico	29	34.1
Centro de salud	3	3.5
Institución educativa	10	11.8
Otro	10	11.8
No especificado	4	4.7
Sector		
Privado	39	45.9
Publico	38	44.7
Seguro Social	3	3.5
Otro	4	4.7
Desconocido	1	1.2

Con relación a los conocimientos expresados por los encuestados, ver Figura 2 en Anexo 1, se encontró que 74 (87.1%) conocía las técnicas estandarizadas de diagnóstico parasitológico, y 49 (57.6%) manifestó que conocían los parásitos zoonóticos que se reportaban en la rutina de los

laboratorios donde laboraban, aunque solo 30 (35.3%) indicó conocer algún programa de control de calidad parasitológico. Cuarenta (50.6%) expresó que nunca reportarían solamente los parásitos patógenos y 35 (41.2%) usarían el manual de procedimientos estandarizados solo para parásitos que presentan problema para la identificación. Sesenta y tres (74.1 %) de los encuestados indicaron que tanto los parásitos patógenos, comensales y zoonóticos deberían reportarse, ver Figura 3 en anexo 1.

Con respecto a que se utilicen los signos y síntomas de un cuadro clínico como suficientes para un diagnóstico médico, 3 (3.5%) de los participantes expresaron estar de acuerdo en un siempre o frecuentemente. En tanto que el requerimiento de más de una muestra para el diagnóstico parasitológico 23 (27.2%) aceptaron siempre y 18 (21.2%) frecuentemente. Sesenta y cuatro (75.3%) indicaron, siempre y frecuentemente, que se debería contar con la observación de los parásitos intestinales como un requerimiento para iniciar un tratamiento. Por último, 22 (25.9%) consideraron, siempre o frecuentemente, que para el diagnóstico de los parásitos intestinales es suficiente la observación con solución salina, ver Figura 4 en Anexo 1.

Se incluyó, además, una pregunta sobre la recomendación de observación de muestras seriadas cuándo se sospechaba de infección intestinal, se encontró que solo 19 (22.3%) nunca lo realiza o solo raramente, ver Figura 5 en Anexo 1.

Otras de las prácticas que se exploraron en el diagnóstico parasitológico fue la observación de una o más muestras de heces. Se encontró que 39 (45.9%) utilizaban este procedimiento en niños y adultos seguido de 23 (27.1%) en niños, 17 (39, 2%) no lo utilizaba, 3 (3.5%) en niños y 3 (3.5%), con respuestas no especificadas. En relación con el uso de una sola muestra se indicó que la empleaban 31 (36.5%) en niños y adultos, 27 (31.8%) en adultos, 4 (4.7%) en niños y 21 (24.7%) en ningún tipo de paciente, Figura 6, Anexo1.

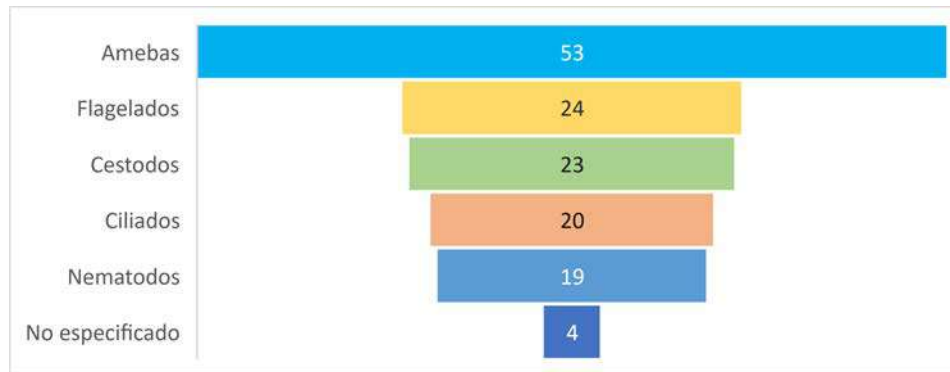
Cincuenta y cuatro (63.5%) afirmaron estar de acuerdo que para la identificación de parásitos intestinales se es suficiente la observación con microscopía óptica, aunque otras técnicas como reacción en cadena polimerasa (PCR) en combinación con las tinciones fue indicado por 65 (77%) de los encuestados, las tinciones fueron mencionadas por 9 (11%), 7 (8%) indicaron tinciones específicas y cultivo; uno (1%) informó que utilizaban detección por antígenos y cultivos, Figura 7 en Anexo 1.

También se exploró en la encuesta los parásitos más frecuentemente observados y los que representaban más problema para su identificación. Entre los primeros, las amebas como *E. coli*,

71 (83.5 %) y *E. histolytica/dispar*, 62 (72.9%) fueron las más señaladas, seguido de los flagelados en el cual *G. lamblia* con 68 (80%), seguido por los nemátodos como 58 (68.2%) *A. lumbricoides* y 58 (68.2%) *T. trichiura*. En cuarto lugar, los cestodos *Taenia* sp., fueron mencionados 46 (54.1%) de las veces. Por último, en el grupo de otros parásitos, tales como *Cryptosporidium* sp., fueron citados por 20 (23.5%) y 14 (23.5%) para *D. caninum*, ver Figura 8 en Anexo 1. Con respecto a los grupos de parásitos que presentaban mayor problema de identificación, ver Figura 9, el grupo más frecuentemente señalado fue el de las amebas con 53 (62%) menciones, seguido de 24 (28.2%) flagelados, 23 (27.1%) cestodos, 20 (20%), 19 nemátodos (22.4%) y no especificaron un 4 (4.7%).

Figura 9

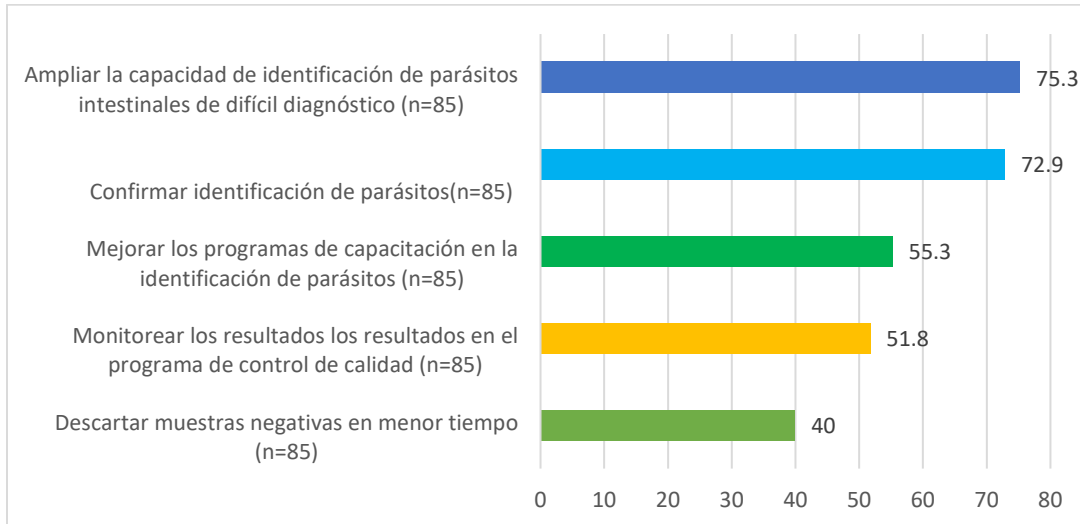
Parásitos que presentan el mayor problema de identificación a profesionales salud humana



Al respecto del uso de una aplicación que pudiera apoyar la identificación de parásitos intestinales en los laboratorios, 81 (95.3%) indicaron que sí la utilizaría, los participantes señalaron que la emplearían de la siguiente manera: 62 (72.9%) la utilizarían para confirmar identificación de parásitos, 64 (75.3%) para ampliar la capacidad de identificación de parásitos intestinales de difícil diagnóstico, 44 (51.8%) la usaría para monitorear los resultados de un programa de control de calidad, 47 (55.3%) para mejorar los programas de capacitación en la identificación de parásitos y 34 (40%) para descartar muestras negativas en menor tiempo, ver Figura 10.

Figura 10

Uso de una aplicación que apoye la identificación de parásitos intestinales en los laboratorios



Para conocer acerca de las percepciones de los encuestados sobre el uso de una herramienta basada en IA. De 61 respuestas libres registradas, se observó que la mayoría identificó el uso de una herramienta IA como un apoyo para mejorar el diagnóstico de parásitos, identificándola como confiable, accesible, estándar para confirmar los parásitos más frecuentes y su gran uso en la docencia, ver Figura 11.

Figura 11

Palabras para describir uso de una herramienta IA en parasitología



Resultados encuesta CAP dirigida a profesionales en salud veterinaria

Las características de los profesionales en salud veterinaria que participaron en la encuesta se presentan en la Tabla 2. Se observó que 38 (59.4%) participantes correspondían al género femenino, en edades que oscilaban de 23 a 69 años (\bar{x} = 41 años; $DE \pm 10.95$ años); en su mayoría los participantes eran personas que habían finalizado la licenciatura 42 (65.6%) seguido de profesionales con maestría 15 (23.4%). El área de especialidad de los profesionales veterinarios se observó que 64 (84.4%) indicaron ejercer como médico veterinario clínico y 9 (14.1%) como médicos veterinarios laboratoristas. La experiencia de los participantes fluctuó de 0 a 45 años (\bar{x} = 8 años; $DE \pm 10.95$ años). Con respecto al puesto que desempeñaban, 38 (59.4%) eran médicos. De los participantes 48 (75.0%) reconocieron que su institución se encontraba en el sector privado y 51 (79.7%) en el urbano.

Tabla 2

Características demográficas de profesionales en salud veterinaria (N=64)

Características	n	%
Género (n=64)		
Femenino	38	59.4
Masculino	25	39.1
No especificado	1	1.6
Edad: X= 41 años; $DE \pm 10.95$ años; mínima 23 años; máxima 69 años; mediana 39 años; Rango intercuartil 12 años		
Educación (n=64)		
Licenciatura	42	65.6
Maestría	15	23.4
Pensum cerrado	4	6.3
Doctorado	2	3.1
Técnico de laboratorio	1	1.6
Área de especialidad (n=64)		
Médico veterinario clínico	54	84.4
Médico veterinario laboratorista	9	14.1
No especificado	1	1.6
Experiencia: X= 8 años; $DE \pm 9.91$ años; mínima=0; máxima=45; mediana 4; Rango intercuartil= 9 años		
Puesto que desempeña (n=64)		
Médico ^a	38	59.4
Docente ^a	15	23.4
Otros	8	12.5
No especificado	3	4.7
Asesor	2	3.1

Características	n	%
Institución (n=64)		
Sector privado ^b	48	75.0
Institución pública ^b	17	26.6
Sector (n=64)		
Urbano	51	79.7
Rural	13	20.3

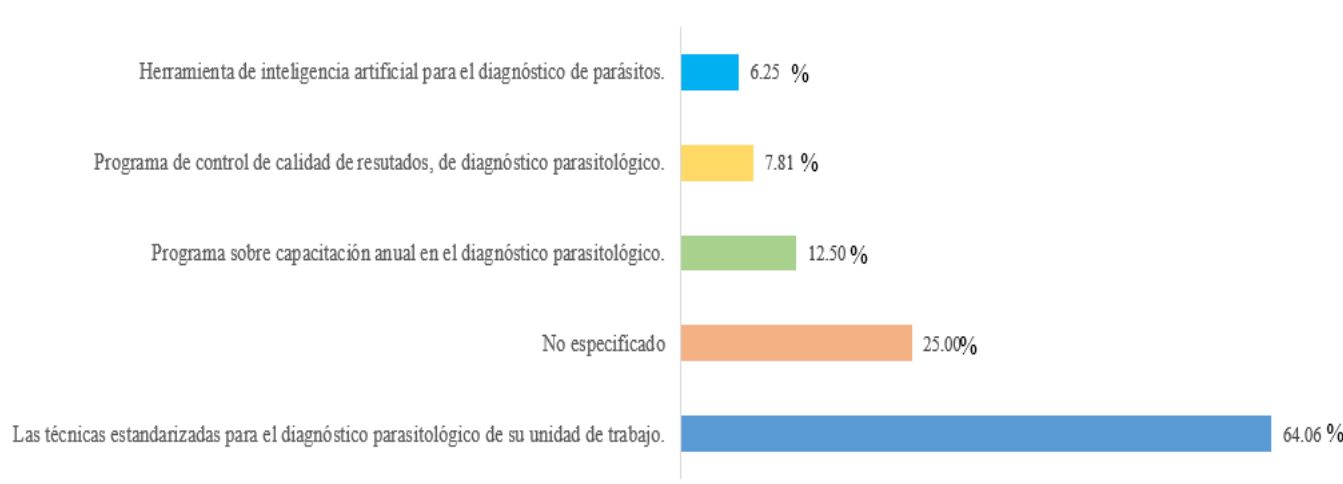
^a Participantes desempeñan tanto el puesto de médico como el docente (n=2).

^b Participante laboran tanto el sector privado e institución pública (n=1).

En relación con los conocimientos se observó que un 41 (64.1%) indicaron tener conocimiento de las técnicas estandarizadas para el diagnóstico parasitológico en su unidad de trabajo; 8 (12.5%) conocía algún programa sobre capacitación anual en el diagnóstico parasitológico y 5 (7.8%) de un programa de control de calidad. Con respecto al conocimiento de alguna herramienta de inteligencia artificial para el diagnóstico de parásitos el 60 (93.8%) indicaron no conocer herramienta alguna, ver Figura 12.

Figura 12

Conocimientos (CAP) profesionales salud veterinaria



En relación con los parásitos observados 44 (68.8%) de los encuestados indicaron que, frecuentemente y muy frecuentemente, debería realizarse únicamente por examen microscópico. Con relación al examen directo con solución salina 36 (56.3%) indicaron que debería ser suficiente para el diagnóstico de protozoos y 31 (48.4%) indicaron que muy frecuentemente el diagnóstico

de parásitos intestinales debería ser un complemento para el examen clínico. Treinta y cuatro (53.1%) de los encuestados indicaron que ocasionalmente no se debería solicitar más de una muestra de heces para el diagnóstico parasitológico, ver Figura 13 en anexo 1. Para los participantes, no existe diferencia entre los resultados del cuadro clínico y el resultado del laboratorio de un examen parasitológico 43 (67.2%), ocasionalmente. Con relación al uso de un manual de operaciones estandarizado, debería utilizarse solo cuando los parásitos no puedan ser identificados, 30 (46.9%) indicaron que ocasionalmente debería consultarse, en relación con la importancia de reportar los parásitos reconocidos como patógenos, 28 (43.8%) indicaron que esto procedía en ocasiones y 20 (31.3%) expresaron que nunca, ver Figura 13 en anexo 1.

En cuanto a que el diagnóstico por flotación de las muestras de heces debería establecerse como una práctica, 57 (89.1%) los consideraron importante y muy importante. Por otra parte, la calidad de los microscopios para el diagnóstico parasitológico 59 (92.2%) lo consideraron muy importante e importante, ver Figura 14 en Anexo 1.

En tanto que los parásitos como *Toxocara* sp 39 (60.9%), *Ancylostoma* sp 35 (54.7%), *Echinococcus granulosus* 33 (51.6%) y *Dipylidium caninum* 39 (60.9%) fueron considerados como importantes, mientras *Trichuris vulpis* 31 (48.4%), *Capillaria aerophila* 32 (50%) y *Strongyloides stercoralis* 30 (46.9%) como importantes, ver Figura 15 en Anexo 1.

En cuanto a la recomendación de hacer pruebas seriadas cuando se sospechaba de infecciones por protozoos el 23 (35.9%) lo indicaron frecuentemente, 19 (29.7%) ocasionalmente, ver Figura 16 Anexo 1.

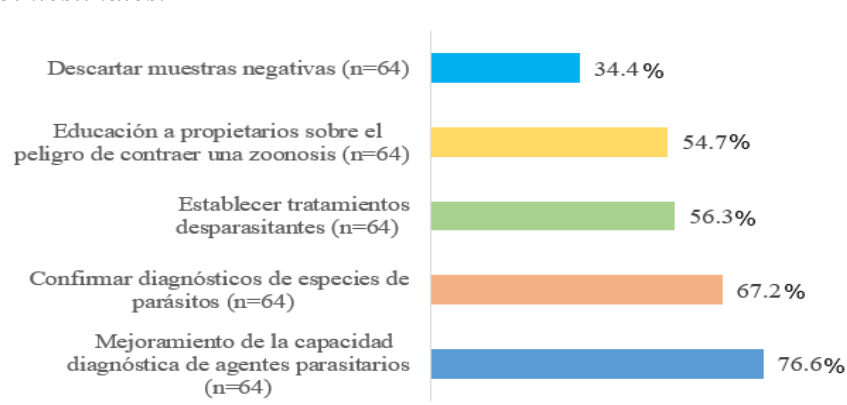
Mientras que el requerimiento de una muestra, 38 (59.4%) lo recomendaron para animales adultos y 20 (31.3%) para cachorros menores de un año. Con relación a solicitar dos o más muestras, 48 (75.0%) de los encuestados señalaron su uso para cachorros menores de un año, seguido de 20 (31.3%) para animales adultos, ver Figura 17 en Anexo 1. En lo relacionado con la disposición de materiales y equipo para diagnóstico coproparasitológico en la clínica/laboratorio 23 (35.9%) de los participantes indicaron su uso muy frecuentemente, ver Figura 18 en Anexo 1. En relación con, la solicitud de técnicas diagnósticas avanzadas 24 (37.5%) expresaron no haber utilizado ninguna mientras que 23 (35.9%) habría solicitado cultivos y 22 (34.4%) tinciones específicas, ver Figura 19 en anexo 1.

Referente a los parásitos diagnosticados de forma rutinaria fueron mencionado *Toxocara* por 57 (89.1%), *Dipylidium caninum* por 55 (85.9%) y *Ancylostoma* sp por 39 (60.9%) de los

encuestados, ver Figura 20 en Anexo 1. En referencia a la utilización de herramientas de inteligencia artificial para el diagnóstico de parásitos gastrointestinales 49 (76.6%) indicaron que la utilizarían para el mejoramiento de la capacidad diagnóstica de agentes parasitarios, seguido de 43 (67.2%) que manifestaron que la utilizarían para confirmar el diagnóstico de especies de parásitos, ver Figura 21.

Figura 21

Resultados utilización de una herramienta de inteligencia artificial para el diagnóstico de parásitos gastrointestinales.



Selección de parásitos humanos

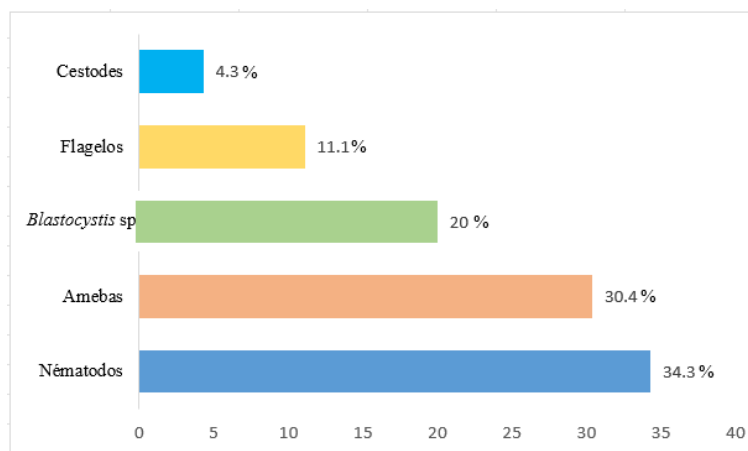
Se definieron los grupos taxonómicos que serán incluidos en base a los resultados de la encuesta realizada a profesionales de la salud humana, la observación de muestras de heces preservadas en formalina y la revisión de artículos.

En la encuesta, se encontró que los grupos de parásitos que presentaban mayor problema en la identificación fueron: 53 (62%) amebas, seguido de los flagelados 28.2 (28.2%), cestodos 23 (27.1%), ciliados 20 (20%), nemátodos 19 (22.4%) y 4 (4.7%) no especificaron el grupo. También 63 (74.1%) estuvieron de acuerdo que comensales, patógenos y zoonóticos deberían incluirse en el informe; correspondiendo a lo observado en la información sobre los parásitos más diagnosticados, Figura 9, fueron entre el grupo de las amebas 71 (83.5%): *E. coli* 83.5 seguido de 62 (72.9%) *E. histolytica /dispar* fueron las más observados; luego los flagelados donde 68 (80%) *G. lamblia* fueron identificadas, a continuación, los nemátodos donde 58 (68.2%) *A. lumbricoides* y 58 (68.2%) *T. trichura* fueron mencionados, en cuarto lugar, los cestodos como *Taenia* sp., mencionados 46 (54.1%) de las veces, por último, en el grupo de otros parásitos fueron citados *Cryptosporidium* sp. 20 (23.5%) veces y 14 (23.5%) para *D. caninum*, ver Figura 8 en Anexo 1.

Las muestras humanas que se analizaron durante el año 2022 fueron 191; procedentes de Hospital Nacional de Antigua, Hospital Nacional de Tiquisate, Hospital Nacional de Coatepeque, Centro de Salud Primero de Julio, Hospital Nacional de Retalhuleu, Hospital Regional de Sayaxché, Hospital Infantil Elisa Martínez, Hospital Nacional de Puerto Barrios, Hospital Regional de Quiché, Hospital Nacional San Pedro Necta y del Hospital Regional de Huehuetenango. En las muestras recibidas y conservadas en formalina al 10%, el total de parásitos observados fue de 280, 64 (33.5 %) con infecciones simples y 72 (37.7%) con mixtas. En estas últimas, se encontraron de 2 a 6 especies parasitarias diferentes. Las amebas representaron 85 (30.4%), 56 (20%) *Blastocystis* sp, 31 (11.1%) flagelados, 96 (34.3%) nemátodos y 12 (4.3%) cestodos. Veinte (10.5%) de 191 de muestras fueron colectadas en el preservante PVA para realizar tinciones en el futuro, ver Figura 22.

Figura 22

Parásitos observados en muestras conservadas en formalina al 10%



Por lo anterior, se deben incluir los reinos *Protozoa*, (Filo Amoebozoa, Metamonada), *Chromista* (Filo Ciliophora), *Sar* (Filo Stramenopiles) y el reino *Animalia* (Filo Nematoda, y Platyhelminthes) (Stensvold et al., 2020; The Global Biodiversity Information Facility, s/f).

Selección de parásitos veterinarios

De las 51 muestras de heces analizadas, 14 muestras (27.45%) fueron colectada de gatos, mientras que 37 (72.55%) fueron colectadas de perros, ver tabla 3. En el caso de las muestras colectadas de

perros, 9 (24.32%) se observaron *Toxocara canis* siendo esta la especie parasitaria prevalente, y *Ancylostoma caninum* 4 (10.81%).

Tabla 3

Aspectos demográficos muestras veterinarias

Características	N	%
Especie		
Perro	37	72.55
Gato	14	27.45
Género		
No especificado	29	56.86
Macho	13	25.49
Hembra	9	17.65
Edad		
No especificado	39	76.47
Menor a un año	9	17.65
Mayor a un año	3	5.88
Departamento		
Guatemala	44	86.27
Retalhuleu	6	11.76
Chimaltenango	1	1.96

Así también se observaron infecciones mixtas, en éstas, la combinación de *T. canis* + *A. caninum* fue la más observada 4 (10.81%), ver Tabla 4.

Otras combinaciones de agentes parasitarios observadas fueron *T. canis* + *Isoospora canis* con una prevalencia de 2 (5.41%) y *T. canis* + *A. caninum* + *I. canis* 1 (2.70%). Las infecciones mixtas en caninos fueron 7 (14.29%) mientras que las infecciones por un solo agente parasitario correspondieron a 17 (34.69%) de las muestras procesadas. Otras especies parasitarias diagnosticadas en estas muestras fecales fueron *Dipylidium caninum* como infección simple 2 (5.41%), además de protozoos como *Isoospora canis* 1 (2.70%) y *Giardia canis* 1 (2.70%), ver Tabla 4.

Las muestras coprológicas colectadas en gatos presentaron únicamente infecciones mixtas por *Toxocara mystax* + *Dipylidium caninum* en 5 de 14 (35.71%) muestras procesadas.

Tabla 4

Agentes parasitarios diagnosticados en muestras coprológicas de perros y gatos

Infección	N	%
Perros		
<i>Toxocara canis</i>	9	24.32
<i>Ancylostoma caninum</i>	4	10.81
<i>Toxocara canis</i> / <i>Ancylostoma caninum</i>	4	10.81
<i>Toxocara canis</i> / <i>Isospora canis</i>	2	5.41
<i>Dipylidium caninum</i>	2	5.41
<i>Toxocara canis</i> / <i>Ancylostoma caninum</i> / <i>Isospora canis</i>	1	2.70
<i>Isospora canis</i>	1	2.70
<i>Giardia canis</i>	1	2.70
Negativos	13	35.14
Gatos		
<i>Toxocara mystax</i> / <i>Dipylidium caninum</i>	5	35.71
<i>Ancylostoma tubaeforme</i>	2	14.29
Negativos	7	50.00

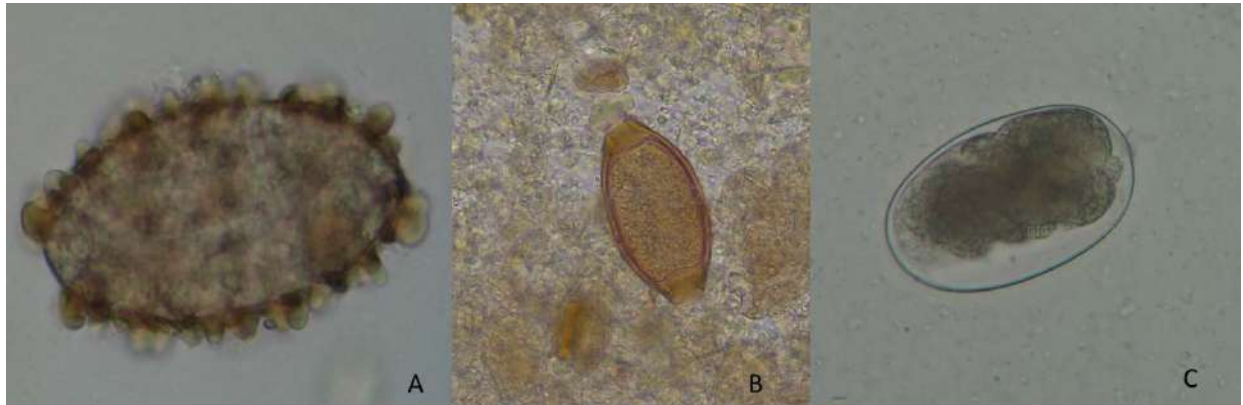
Ejemplo de imágenes de parásitos humanos a incluir en la aplicación

Durante el año 2022 se capturaron 4,487 imágenes de parásitos que incluyeron a las siguientes especies de parásitos: *Entamoeba coli*, *Entamoeba histolytica*, *Endolimax nana*, *Iodamoeba bütschlii*, *Blastocystis* sp, *Giardia lamblia*, *Chilomastix mesnili*, *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Uncinaria*, *Enterobius vermicularis*, *Strongyloides stercoralis*, *Taenia* sp, *Hymenolepis nana* y *Blastocystis* spp; este total comprendió también la toma de imágenes de artefactos que podrían ser confundidos con parásitos. Con estas imágenes se realizó un reconocimiento de aquellas que presentan las características típicas por grupo y especie de parásitos, como por ejemplo las medidas, ver Anexo 2.

Algunos de los ejemplos de las imágenes captadas de parásitos que presentan morfología característica, todas las fotografías tienen marca de agua "DIGI AP8-21/22".

Figura 23

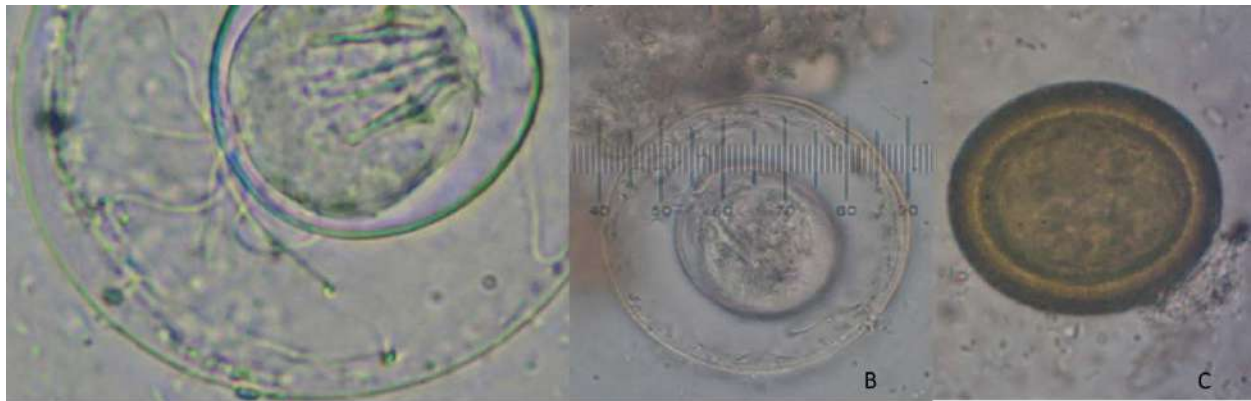
Huevo de nemátodos característicos



Descripción: (A) 22-317-006, Huevo infértil *A. lumbricoides*, (B) 21-048-008 Huevo, *T. trichiura*, (C) 22-367-007 Huevo, uncinaria.

Figura 24

Huevos de cestodos característicos



Descripción: (A) 22-342-039, Huevo, *H. nana*, (B) 22-374-044, Huevo, *H. nana*, (C) 22-21-202-022 Huevo, *Taenia* sp.

Figura 25

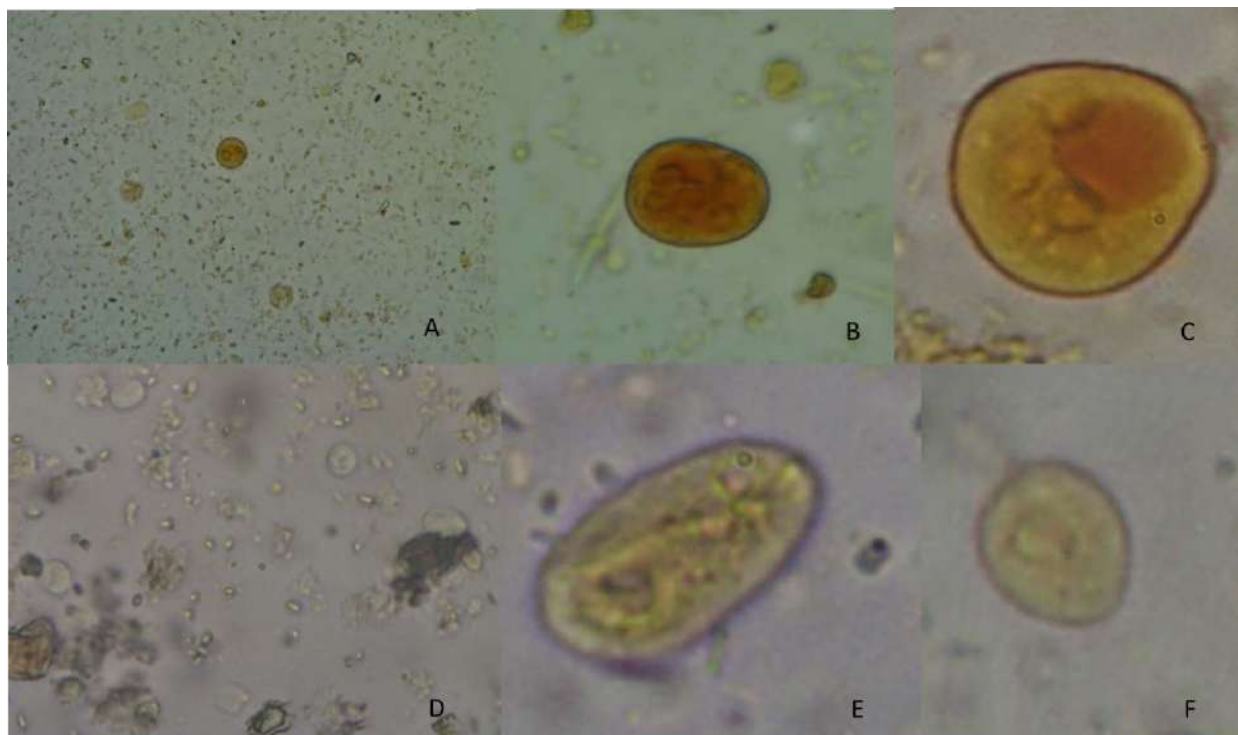
Larvas y otros huevos de nemátodos, característicos



Descripción: (A) 22-432-086, Huevo, *E. vermicularis*, (B) 22-21-229-030, Larva, *S. stercoralis*, (C) 22-21-229-052 Larva, *S. stercoralis*.

Figura 26

Protozoos característicos

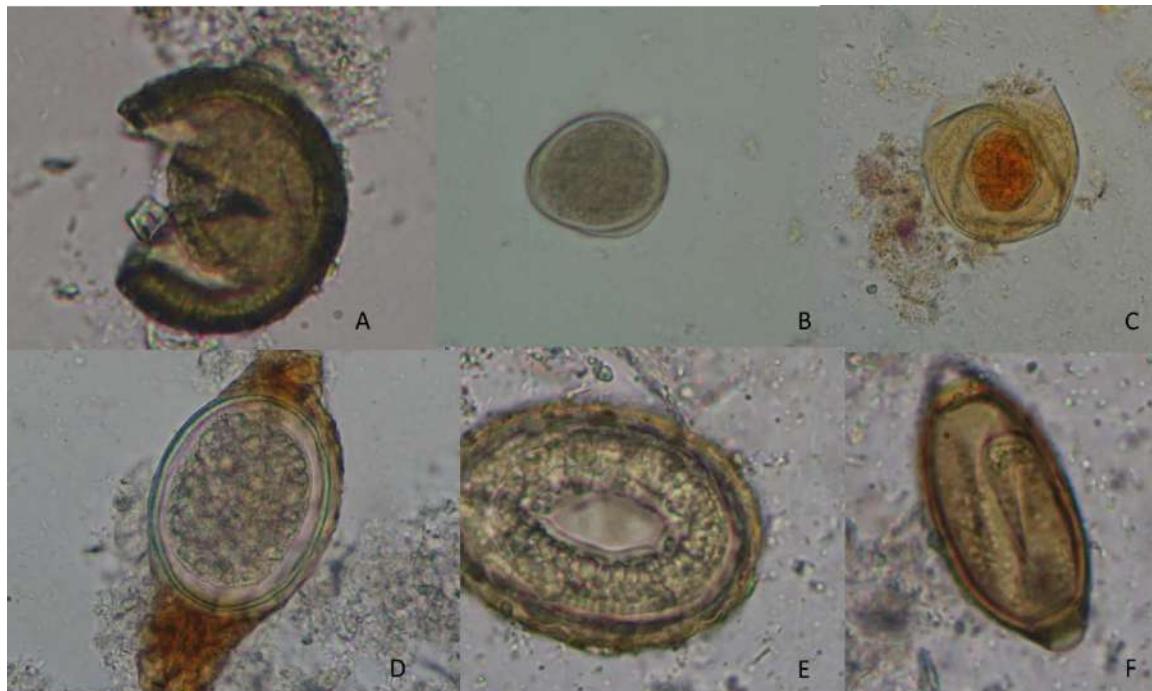


Descripción:(A) 22-329-025, Quiste, *E. histolytica*, (B) 22-256-176, Quiste, *E. coli*, (C) 22-355-059, Quiste, *I. butschlii*, (A) 22-21-250-009, Quiste, *E. nana*, (B) 22-21-184-093, Quiste, *Giardia* sp, (C) 22-356-068, Quiste, *C. mesnili*.

Ejemplo de imágenes captadas de parásitos que no presentan la morfología característica.

Figura 27

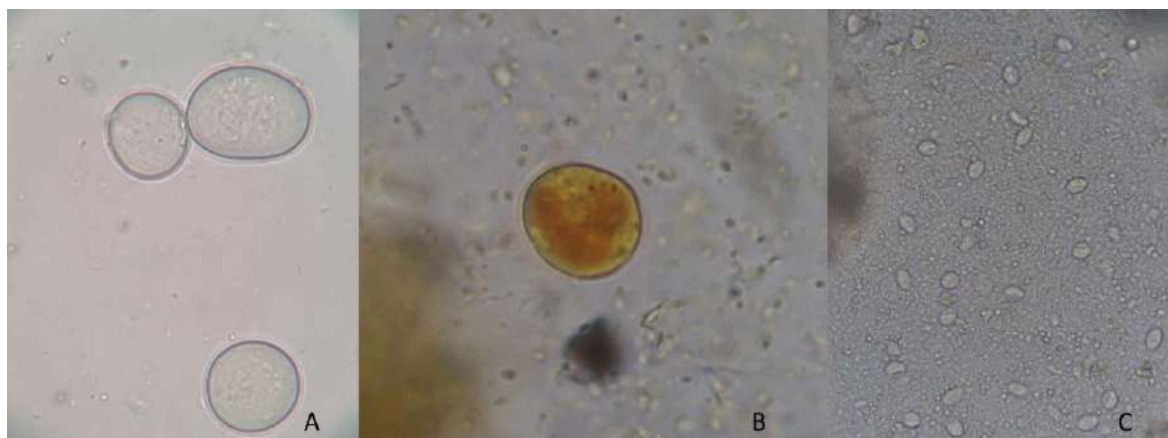
Helmintos con características diferentes



Descripción: (A) 22-21-202-032, Huevo destruido, *Taenia* sp, (B) 22-326-011, Huevo redondo con polos no en su sitio, *T. trichiura*, (C) 22-426-006, Huevo parcialmente destruido, *H. nana*, (D) 22-338-040, Huevo parcialmente decorticado, *A. lumbricoides*, (E) 22-368-019, Huevo larvado, *A. lumbricoides*, (F) 22-368-005, Huevo larvado, *T. trichiura*.

Figura 28

Protozoos con características diferentes



Descripción: (A) 202220121_090857-236, Quiste diferentes formas, *E. coli*, (B) 22-21-184-087, Quiste en estado inmaduro, *E. coli*, (C) 22-363-025, Quiste diferentes formas, redondas y ovaladas, *Giardia* sp.

Otras fotografías por incluir, que representan artefactos para un reconocimiento negativo.

Figura 29

Artefactos encontrados que pueden causar confusión



Descripción: Artefactos que se pueden confundir con: (A) 22-356-009, con *Taenia* sp (B) 21-048-008 y (C) 22-21-307-007, con *Hymenolepis* sp.

Ejemplo de imágenes de parásitos veterinarios a incluir en la aplicación

Para el caso de las muestras veterinarias se capturaron 1,297 imágenes de parásitos que incluyeron *Toxocara* sp., *Ancylostoma* sp., *Isoospora* sp., *Dipylidium caninum* y *Giardia canis*.

Las imágenes que se colectaron reflejan las fases vegetativas (huevos) y preparasitarias (larvas) de cinco géneros de agentes parasitarios nemátodos, cestodos y protozoos. Los géneros de nemátodos identificados fueron: *Toxocara* spp., y *Ancylostoma* spp., mientras que se identificaron especies como *Dipylidium caninum* como única especie de cestodo. También se identificaron fases vegetativas (quistes y ooquistes) de *Cystoisospora (Isoospora) canis*, *C. felis* y *Giardia canis*.

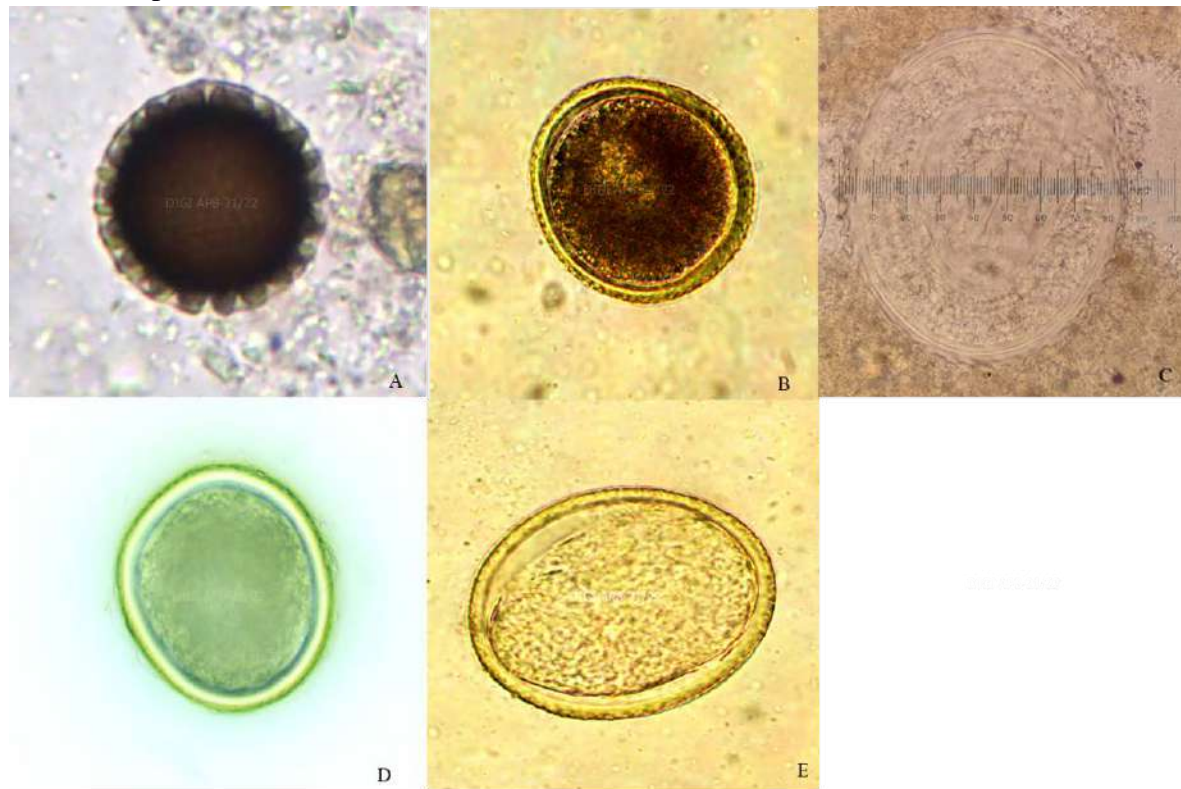
Las imágenes de huevos de helmintos, por la observación de estructuras internas y externas características, permitieron la identificación de *T. canis* y *T. mystax*, *A. caninum* y *A. tubaeforme*. Además, se documentaron características que pueden dificultar el diagnóstico de los especímenes, por ejemplo, la presencia de huevos larvados o eclosionados de *T. canis*, o algunas alteraciones que origina características poco comunes, alteración de la forma del huevo y del contenido interno originando cambios en *T. mystax*, *A. caninum*.

En el caso de cestodos se documentaron dos estructuras claves de *Dipylidium caninum*, siendo estas, la cápsula ovígera y detalles individuales del huevo con sus estructuras bajo condiciones ideales y en forma alterada. Las imágenes de fases vegetativas (quistes y ooquistes) de *Giardia canis* y *Cystoisospora* spp. respectivamente, permitieron la observación, *Giardia canis*, *Cystoisospora canis*, *C. felis*, permitiendo la documentación de una pared celular que protege a un esporonte en etapas inmaduras, esporoquistes en esporulación observándose la división del esporonte, ooquistes maduros con dos esporoquistes una vez que han esporulado, ooquistes en fases degenerativas.

a. Imágenes clásicas del parásito

Figura 30

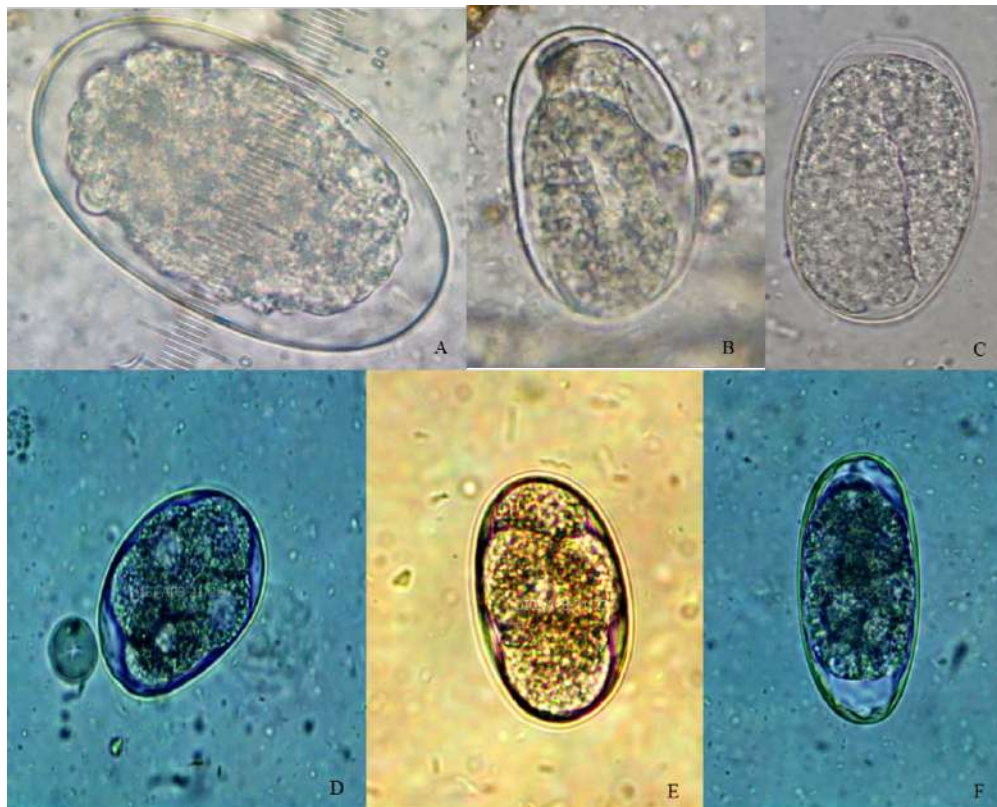
Fotografías de huevos con características morfológicas normales y comúnmente observadas de *Toxocara* sp



Descripción: (A) 22-2809-T5 Huevos de *Toxocara canis* (B) 22-1311-T1 Huevos *Toxocara mystax* (C) 22-2111-T2 Huevo de *Toxocara canis* embrionado. (D) 22-3010-T1 y (E) 22-0611-T4 Huevos *Toxocara mystax*.

Figura 31

Fotografías de huevos con características morfológicas normales y comúnmente observadas de Ancylostoma sp



Descripción: (A) 22-1611-A7, (B) 22-1412-A3 y (C) 22-1412-A5 Huevo de *Ancylostoma caninum*, (D) 22-2012-A5, (E) 22-1320-A1 y (22-2012-A3) Huevos de *Ancylostoma tubaeforme*

Figura 32

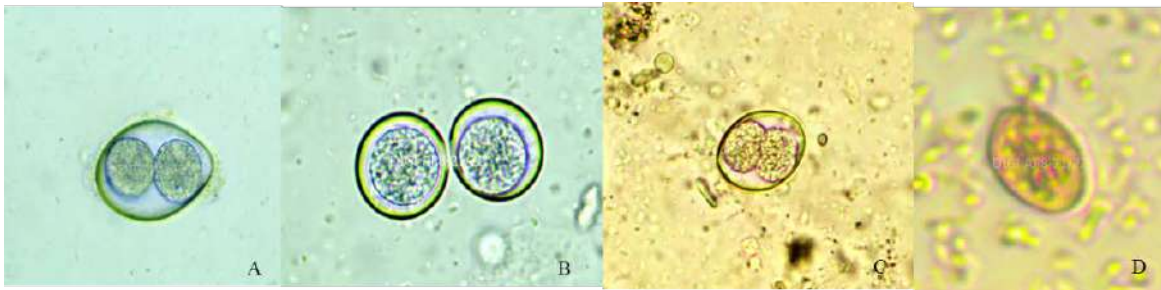
Fotografías de cápsulas ovígeras y huevo con características morfológicas normales y comúnmente observadas de Dipylidium caninum



Descripción: (A) 22-0611-D8, (B) 22-3011-D5 y (C) 22-2010-D4 Cápsula ovígera *Dipylidium caninum*, (D) 22-3011-D8 Huevo *Dipylidium caninum*.

Figura 33

Fotografías de protozoos con características morfológicas normales y comúnmente observadas de las fases vegetativas de estas especies

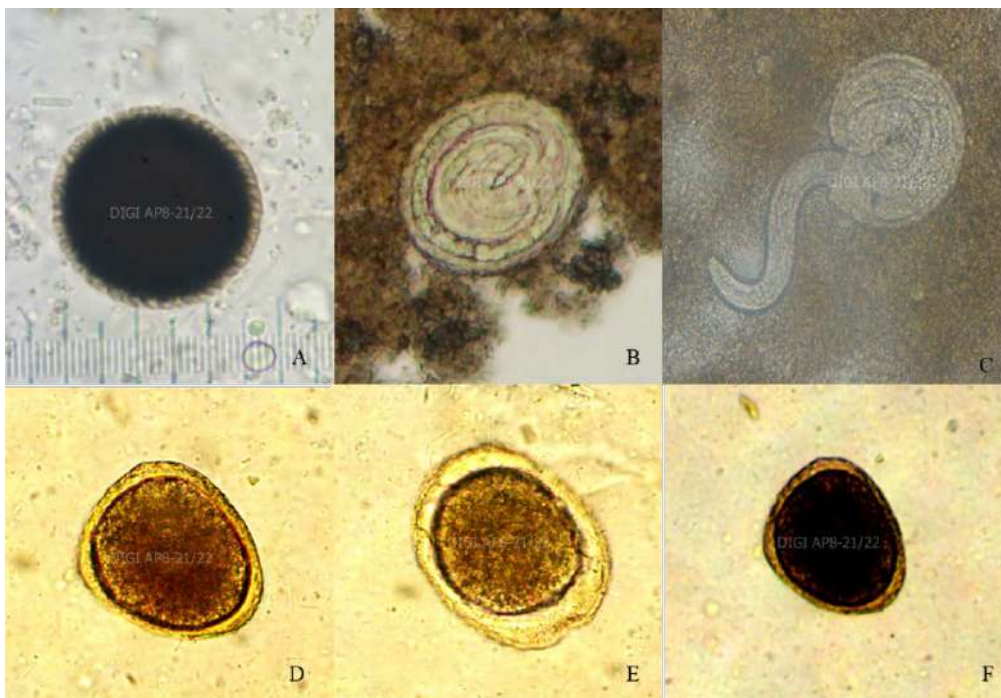


Descripción: Ooquistes *Cystoisospora (Isospora) canis* (A) 22-3010-15 esporulado y (B) 22-0611-13 No esporulado ;(C) 22-2011-11 *Cystoisospora (Isospora) felis* y (D) 22-1608-G1v Quistes de *Giardia canis*.

b. Imágenes que se desvían del diagnóstico tradicional

Figura 34

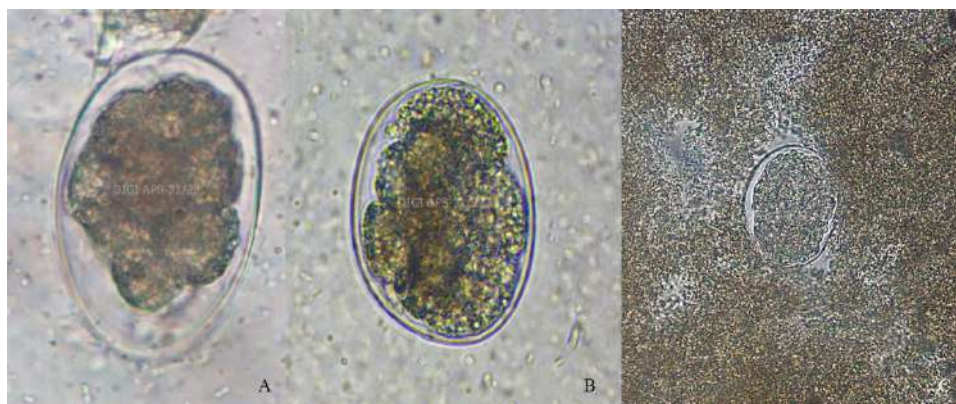
Fotografías de huevos de *Toxocara sp*, con características morfológicas poco comunes que podrían dificultar el diagnóstico tradicional



Descripción: (A) 22-2809-T10 Huevo *Toxocara canis*, (B) 22-2111-T100 Huevo *Toxocara canis* embrionado, (C) 22-2111-T98 Huevo *Toxocara canis* con larva L2; (D) 22-0611-T1, (E) 22-0611-T4 y (F) 22-0611-T3 Huevos de *Toxocara mystax (cati)*.

Figura 35

Fotografías de huevos de Ancylostoma caninum con características morfológicas poco comunes que podrían dificultar el diagnóstico tradicional

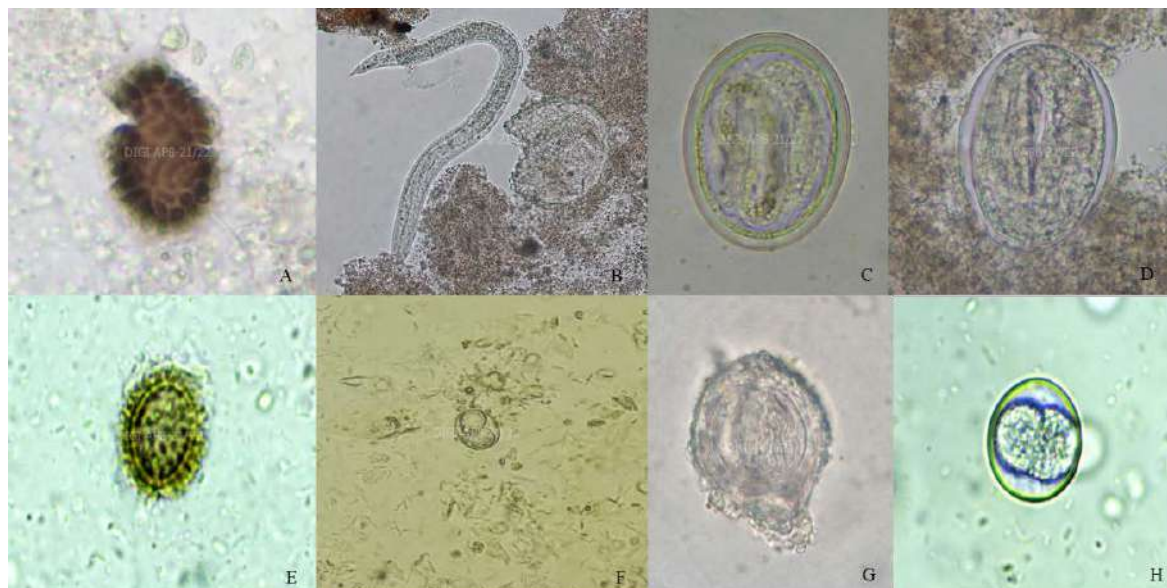


Descripción: (A) 22-1611-A4, (B) 22-3011-A6 y (C) 22-2111-T30 Huevos de *Ancylostoma caninum*.

c. Imágenes no comunes del parásito

Figura 36

Imágenes no comunes de parásitos veterinarios



Descripción: *Toxocara canis*: (A) 22-2809-T6 Huevo (B)22-2111-T45 Larva en fase L2, (C) 22-1412-20; (D) 22-2111-26 Huevo *Ancylostoma caninum*; (E) 22-2211-T1 Huevo *Toxocara mystax (cati)*, (F) 22-1511-I1 Ooquiste esporulado de *Isospora (Cystoisospora)* (G) 22-3012-D3 Huevo de *Dipylidium caninum* y (H) 22-0611-12 Ooquistes de *Cystoisospora (Isospora) felis*, en fase de esporulación.

Figura 37

Artefacto encontrado que puede causar confusión



Descripción (A) 22-1122-R3 artefacto que se puede confundir con huevo de *Ancylostoma caninum*

11.2. Discusión de resultados

Las aplicaciones basadas en inteligencia artificial (IA), producen adaptaciones del diagnóstico tradicional de los parásitos intestinales, hacia un diagnóstico de visión por computadora más ágil y sensibles en la revisión de grandes volúmenes de muestras (Mathison et al., 2020), optimizando las tareas de los profesionales dedicados a estas áreas del diagnóstico (Mathison et al., 2020).

No obstante, de contar con estas ventajas se deben tomar en cuenta lo siguiente: 1) la aplicación debe estar validada con datos representativos de la población y 2) el uso adecuado de una IA debe integrarse a la rutina de trabajo, sin que exista un rechazo o percepciones de reemplazo por el personal a cargo (Matheny et al., 2020). Es por estas razones que reconocer a través de una encuesta los conocimientos, actitudes y prácticas en el diagnóstico de parásitos intestinales en Guatemala enriquecería el desarrollo de este tipo de herramientas apropiadas a Guatemala.

Con respecto a la muestra de encuestados, en su mayoría, eran mujeres, profesionales y estudiantes, jóvenes y adultos, con experiencia en el laboratorio clínico; la mayoría de los profesionales contaban con un puesto de dirección o supervisión, seguidos de docentes e investigadores, con lo que se considera que estos resultados reflejan un grupo diverso de personas que se dedican al diagnóstico clínico. Dos quintos de los participantes reportaron que siempre o frecuentemente observaban parásitos; la mayoría trabajaba en hospitales y laboratorios clínicos, ubicados tanto en el sector privado y público.

Con estos datos se infiere que la carga de trabajo provocada por el diagnóstico de los parásitos intestinales sería alta en el lugar de trabajo de los encuestados. Por lo anterior el uso de aplicación basada en IA, podría ser prometedora al innovar el laboratorio de parasitología clínica, al aumentar no solo la detección de parásitos sino también la interpretación de los resultados (Mathison et al., 2020).

Aunque la parasitología diagnóstica se traduce en la identificación visual de parásitos y/o desechos derivados de parásitos, la calidad de estos diagnósticos depende en gran medida del microscopista individual. Es por estas razones que se hace indispensable proporcionar una referencia para la identificación morfológica de los parásitos humanos. En este sentido se han publicado manuales que identifican parásitos médicamente importantes (Girard, 2014). A su vez una aplicación IA, podría incorporar estos manuales como un complemento y ponerlos a la disposición de los usuarios (OPS, 2020).

Por otro lado, los encuestados reconocieron que el diagnóstico del grupo de las amebas, seguido de los flagelados presentaban la mayor dificultad para su identificación, este contexto refleja un problema común que afrontan los profesionales en Guatemala. En un reporte sobre un total de 273 muestras de heces evaluadas, como control de calidad se encontró que 115 (42.12%) muestras tenían: 1) alguna diferencia. como muestras informadas como negativas, pero con parásitos, 2) muestras informadas positiva a la cual no se le encontraron parásitos, 3) muestras con reporte incompleto de parásitos y 4) muestras que con parásitos inexistentes. Los diagnósticos de parásitos que más frecuentemente presentaron discrepancias fueron las amebas con hasta un 50% de falsos positivos (Samayoa Herrera et al., 2022).

Sin embargo, otras dificultades se podrían mencionar alrededor de esta problemática, tales como diferenciar entre material parásito y no parásito ya que esta situación es compleja de resolver en distintos laboratorios; especialmente aquellos con una alta carga en el número de muestras, tal y

como se ha encontrado en los laboratorios de centros de atención pública en Guatemala (Samayoa Herrera et al., 2022). y deberían buscarse alternativas para solucionar esta problemática.

De igual manera, la observación de los distintos estadios de los parásitos limita el uso generalizado de un programa de garantía de calidad, ya que se ven afectados por las variaciones como el transporte, la manipulación y la distribución de los parásitos en las distintas muestras; inclusive si estas provinieran de una misma fuente. Por lo tanto, implementar un programa a gran escala a los diferentes laboratorios, con muestras definidas e idénticas parecería un objetivo poco realista (Linder et al., 2008).

Con relación a esto, una técnica innovadora en el campo de la parasitología médica para compartir idénticos especímenes parasitológicos con la cual se podían proporcionar un "estándar de oro", que puede superar algunos de los problemas encontrados en el control de calidad de la parasitología diagnóstica fue desarrollada por Linder et al. En esta técnica reconocida como microscopía virtual basada en la web (WMP- Web Virtual Microscopy for Parasitology- por sus siglas en inglés). Las muestras digitalizadas fueron capturas superpuestas, con ello se logró tener una imagen de una preparación completa para la observación de los parásitos, esta imagen luego pudo ser transferida a una computadora personal en donde el personal del laboratorio podía evaluarla de manera virtual (Linder et al., 2008)

En vista de los hechos anteriores es evidente que existe la necesidad de desarrollar una evaluación y educación de calidad para mejorar el diagnóstico parasitológico en Guatemala. Al contar con una AIA, se podría incorporar este tipo de elementos para el control de calidad y educación en el diagnóstico de los parásitos intestinales.

Con relación al conocimiento de alguna herramienta de inteligencia artificial para la identificación de parásitos un 10% de los encuestados, indicó afirmativamente. En los sistemas de salud con recursos limitados, el uso de la microscopía para el diagnóstico de los parásitos intestinales representa ventajas como un mínimo de los costos laborales. A su vez estos procedimientos han sido suficientes para detectar las especies de parásitos más comunes en las regiones con una alta prevalencia de parásitos intestinales. Consecuentemente, los incentivos para invertir en el desarrollo e implementación de nuevas pruebas parasitológicas de rutina han sido relegado. Sin embargo, la distribución y el control exitoso de los parásitos aumentan la demanda de procedimientos contar con diagnósticos más sensibles y de alto rendimiento en la identificación de estos (van Lieshout & Roestenberg, 2015).

Más de la mitad de los encuestados indicaron que deben utilizar el método de concentración de muestras para la identificación de parásitos, de manera rutinaria. Mientras que para el procesamiento de más de una muestra la mayoría coincidió en que deben solicitarse frecuentemente o siempre. En concordancia con estos datos los profesionales expresaron el uso de muestras seriadas. Especialmente en niños.

Sobre esto, Senay et al, lograron estimar que en un 93% de los parásitos entéricos fueron detectados en la primera muestra en los conjuntos de dos muestras y un 90% en los conjuntos de tres muestras. Además, reportaron que estos parásitos fueron detectados en la primera muestra, un 8% en la segunda y 2% en la tercera. En base a esta evidencia, los autores recomendaron esperar al resultado de la primera muestra de heces en lugar de enviar rutinariamente tres muestras para la recuperación de parásitos entéricos. Los autores además mostraron el efecto del número de muestras recomendadas y el volumen de muestras de heces recibidas. Así estimaron en general un aumento general del 57,1%, cuando se solicitaba más de una muestra (Senay et al., 1989).

Si bien el número de muestras en un laboratorio de parasitología es importante, lo es también la práctica de la observación microscópica con solución salina, en este caso la mayoría señaló que era necesario ir más allá de este tipo de procesamiento. En este sentido, la carga de parásitos y la cantidad de heces de niños en edad escolar podrían comprometer la sensibilidad de la microscopía directa de heces con solución salina. En un reporte se documentó que el rendimiento de los métodos de solución salina directa (DS), Kato Katz (KK) y concentración de éter de formol (FEC) como “patrón de oro” en 778 muestras. Se registró sensibilidad de DS, FEC y KK del 61,1 %, 92,3 % y 58,7 %, respectivamente, concluyendo que la FEC fue la más sensible que DS y KK. Por lo tanto, sugirió que el uso de este último para la observación de parásitos (Hailu et al., 2015) . Sin embargo, el tiempo de preparación y procesamiento de las muestras por cualquiera de estos métodos, representaría un impacto a la carga de trabajo, con los que ya cuentan los laboratorios del país, especialmente los del sector público. Por lo anterior, se hace necesario encontrar otros métodos que apoyen la fluidez en la preparación y observación de las muestras, por lo que una AIA, podría agilizar la revisión e identificación de parásitos en las muestras y apoyaría la mejora del diagnóstico en los laboratorios.

Con respecto a que los signos y síntomas de un cuadro clínico podrían ser utilizados exclusivamente para el diagnóstico de infección parasitaria la mayoría mostro su desacuerdo. Este resultado fue coherente con el diagnóstico de los parásitos intestinales para iniciar el tratamiento.

Tanto los síntomas inespecíficos, las técnicas diagnósticas poco sensibles, portación y la transmisión asintomática de los parásitos, así como las infecciones recurrentes en áreas endémicas, plantean un desafío para el diagnóstico de las infecciones parasitarias y por lo tanto retrasan el tratamiento (Khurana et al., 2021).

Aunque los tratamientos existentes para infecciones por parásitos intestinales han sido considerada adecuada, en la actualidad con la distribución de fármacos antiparasitarios, la administración repetida se vuelve común y una solución a corto plazo por lo que la resistencia a los medicamentos podría provocar un aumento en la prevalencia de estas infecciones. Además, cada fármaco posee una eficacia diferente que en muchos casos es desconocida, por lo tanto, deben explorarse más a fondo su uso en las distintas poblaciones. Por lo que es esencial mejorar los diagnósticos para detectar la aparición de infecciones intestinales por parásitos en la comunidad. Estos métodos en conjunto pueden servir como futuras estrategias de manejo para las infecciones parasitarias intestinales (Wen Wong et al., 2020).

En cuanto al uso exclusivo de la microscopía óptica dos tercios indicaron estar de acuerdo, no obstante, el uso de técnicas avanzadas para el diagnóstico de parásitos intestinales fue reportado en muy pocos laboratorios, entre los cuales se incluyó particularmente el uso de biología molecular.

En las últimas dos décadas, el uso de la PCR en tiempo real como enfoque molecular para diagnosticar infecciones parasitarias intestinales se está estableciendo como una técnica rentable para la identificación de especies. Además, se ha aplicado PCR multiplex en tiempo real en muestras de heces humanas para detectar e identificar infecciones únicas y mixtas de varios protozoos intestinales con una reducción en el tiempo y el costo del diagnóstico parasitológico. Empero, su uso aún no está ampliamente aceptado en la práctica clínica, en consideración a ciertas limitaciones, como mutaciones impredecibles en los fragmentos de genes objetivo y la falta de disponibilidad de instrumentos de laboratorio para ejecutar esta técnica (Wen Wong et al., 2020). Al mismo tiempo, contar con personal capacitado, equipos, reactivos específicos y costosos, así como un entorno de laboratorio avanzado, hacen que esta técnica poco atractiva en los laboratorios con una alta carga de trabajo. En los sistemas de salud, como los encontrados en Guatemala con recursos limitados y costos laborales bajos, la inversión en nuevas tecnologías como las técnicas moleculares tienen poco que ofrecer para la práctica clínica diaria, por lo que la introducción de una aplicación basada en IA podría complementar y mejorar la identificación de los parásitos,

educación y los programas de calidad de los resultados, mientras que se alcanza el uso de técnicas moleculares.

Para el uso de una aplicación de inteligencia artificial en su mayoría los profesionales expresaron que la usarían para confirmar la identificación de parásitos y ampliar la capacidad de los laboratorios especialmente en el diagnóstico de parásitos intestinales de difícil diagnóstico (). A su vez indicaron que esta aplicación les apoyaría en los programas de capacitación, monitorear los resultados de programas de control de calidad y descartar muestras negativas en menor tiempo. Además, la percepción de los encuestados coincidió con estos resultados.

Los investigadores y microbiólogos están interesados en las pruebas basadas en IA porque estas soluciones tienen el potencial de mejorar el rendimiento de una prueba (Diagnostics & 2021, 2021).

Las aplicaciones basadas en IA para detectar parásitos han sido evaluadas. En un reporte de investigación se utilizó un microscopio digital móvil con un algoritmo de visión por computadora para detectar huevos de *A. lumbricoides*, *T. trichiura*, anquilostomas y *S. haematobium* a partir de muestras de heces y orina, logrando un 83,3–100,0 % de sensibilidad. A su vez, las muestras de heces se concentraron y se fijaron con solución de acrilamida y una cantidad de estas se colocó sobre portaobjetos; que luego se escanearon con un microscopio digital pequeño, liviano, económico y conectado a la nube. Las imágenes se procesaron y los huevos se identificaron utilizando algoritmos de aprendizaje automático basados en aprendizaje profundo (Holmström et al., 2017). Mientras Mathison et al. aplicaron IA al diagnóstico de protozoos médicos. Las muestras de heces colocadas en portaobjetos de vidrio fueron tratadas con tinción tricrómica. Las imágenes de los protozoos fueron detectadas con un programa de computadora con un 98,8% de concordancia positiva con los hallazgos de microscopía manual por personal capacitado (Mathison et al., 2020).

En conclusión, estos estudios destacan que los parásitos intestinales, se pueden diagnosticar con tecnología de inteligencia artificial, con equipos económicos. Además, la tecnología de IA se puede utilizar como una herramienta de diagnóstico de alto rendimiento para la detección masiva y para las pruebas en el punto de atención, lo que la hace adecuada para entornos de atención médica de bajos recursos (Ruenchit, 2021).

En el área de la educación la introducción de la IA abrirá nuevos espacios para mejorar drásticamente la calidad de la enseñanza y el aprendizaje. Por un lado, la IA mejoraría la

personalización de los planes y lecciones de aprendizaje de los estudiantes y facilitaría la tutoría al ayudar a los estudiantes a mejorar sus debilidades y mejorar sus habilidades. Por otro lado, los educadores podrían beneficiarse de los sistemas inteligentes que facilitan la evaluación, la recopilación de datos y la mejora del progreso del aprendizaje. Recientemente, la IA se ha introducido en varios campos de la educación en salud, promoviendo efectivamente su desarrollo en una dirección más inteligente y humanizada. Por lo tanto, reformar la educación en salud pública y diseñar un plan de estudios de IA integrado formal en las facultades de las ciencias de salud es indispensable (Du et al., 2019).

La encuesta sobre actitudes y conocimientos diagnósticos con respecto a enfermedades parasitarias en la rama veterinaria, demostró que la mayoría de participantes están familiarizados con las técnicas estandarizadas de diagnóstico de su unidad de trabajo y en menor escala conocen otras técnicas diagnósticas o han recibido capacitación para ampliar sus conocimientos en el área diagnóstica fuera de su rutina laboral, y en menor medida, tienen conocimiento sobre herramientas de inteligencia artificial como apoyo para control de calidad y ayuda diagnóstica. Los profesionales encuestados son mayoritariamente con capacitación profesional a nivel de licenciatura y en menor proporción con título de maestría que se desempeñan en un puesto médico en clínica privada. Esto nos muestra que en el área médico veterinaria no existe una especialización exclusivamente dedicada al diagnóstico de laboratorio, por lo que en la mayoría de los casos, el profesional toma estas actividades como una extensión de su labor, basándose en los conocimientos adquiridos a nivel universitario o bien en capacitaciones profesionales privadas enfocadas a este segmento profesional, esto es algo común en la clínica veterinaria como lo demuestran estudios que han caracterizado estas actividades en otros país de nuestra región como Costa Rica (Fernández et al., 2012).

A pesar de que las herramientas de inteligencia artificial enfocadas en la identificación de organismos biológicos han ganado espacio en otros campos ocupacionales, su conocimiento y aplicación en medicina veterinaria aún es poco explorado, con escasa presencia de herramientas de este tipo para uso en teléfonos celulares o computadoras, esto se evidenció en el conocimiento de la población encuestada, quienes conocen muy poco sobre la naturaleza y utilidad de estas herramientas diagnósticas, que aún están siendo introducidas en el campo veterinario (Ramírez, 2020).

Sobre el grado de importancia que los profesionales encuestados dan al desarrollo de un buen diagnóstico parasitológico, se observó que el principal porcentaje (39.1%) considera el examen microscópico como básico para poder diagnosticar enfermedades parasitarias en su práctica clínica diaria, sin embargo, un amplio segmento de profesionales realiza estas técnicas diagnósticas en forma esporádica (29.7%). Esto podría explicarse al conocer otros factores que influyen en la práctica clínica como el tiempo invertido para realizar exámenes clínicos, que muchos profesionales priorizan sobre el desarrollo de técnicas diagnósticas más elaboradas como las utilizadas para análisis coprológicos (Fernández et al., 2012). De igual manera existieron opiniones divididas sobre qué técnica es la mejor para poder desarrollar un buen diagnóstico parasitológico, la mayoría de los profesionales encuestados indicaron que una sola técnica podría ser suficiente en forma frecuente para realizar un diagnóstico acertado, tal es el caso del muestreo directo (53.6%), la técnica de flotación (45.3%) como importante. Se debe tomar en cuenta que el muestreo directo es una de las técnicas más rápidas y fáciles de montar y aplicar en la práctica clínica, por lo que muchos profesionales la utilizan para diagnosticar tanto parásitos protozoos como helmintos. La técnica es de elección principalmente para el diagnóstico de protozoos, específicamente Giardiasis, sin embargo, es común que sea utilizada rutinariamente para el diagnóstico de huevos de helmintos, por lo que la sensibilidad de la prueba diagnóstica queda comprometida al no ser una técnica que permita obtener una muestra confiable y representativa para diagnosticar estas fases preparasitarias (Zajac y Conboy, 2006). La técnica de flotación ha sido una de las más utilizadas como ayuda diagnóstica para la identificación de huevos de helmintos y ooquistes de *Cystoisospora* spp., ya que su preparación puede ser relativamente sencilla y fácil de implementar en un consultorio clínico (Zajac y Conboy, 2006).

Con respecto a la percepción obtenida sobre la importancia de desarrollar una prueba diagnóstica que permita el hallazgo de fases pre-parasitarias, como huevos, quistes u ooquistes, un alto porcentaje (67.2%) expreso que ocasionalmente podría existir diferencia entre los resultados obtenidos del análisis de laboratorio y el diagnóstico presuntivo desarrollado clínicamente. por lo que se requiere el uso de pruebas coproparasitológicas cuando se requiera confirmar o descartar a otros agentes patógenos sospechosos de producir un cuadro clínico, situación que queda confirmada cuando se observa que un 53.1% ocasionalmente toma una muestra fecal para llevar al cabo el diagnóstico parasitológico y muy pocos llevan a cabo un análisis detallado analizando muestras seriadas (21.9%), y consideran que el análisis fecal es complementario para el

diagnóstico clínico, algo común entre los profesionales de la medicina veterinaria (Fernández et al., 2012).

A su vez, tomar más de una muestra se utilizó en cachorros, en adultos el muestreo fue único. Esta práctica ha obedecido a que el análisis coproparasitológico se realiza como parte del protocolo profiláctico contra enfermedades infecciosas y parasitarias en animales recién nacidos y menores de seis meses, mientras que en animales adultos la profilaxis de enfermedades infecciosas y parasitarias se realiza por protocolo una vez al año, como una única visita al médico veterinario (Greene et al., 2008).

Otro resultado fue la implementación de técnicas diagnósticas para infecciones parasitarias como la adquisición de materiales y equipo especializado para desarrollarlas, la disposición de equipo y de insumos fueron de interés del profesional para realizar muestreos coproparasitológicos en casos de alteraciones gastrointestinales, esto a pesar de que ha sido considerada una práctica extendida. Los resultados de esta encuesta demostraron que la población profesional veterinario da más importancia al diagnóstico confirmativo y deja de basarse únicamente en el diagnóstico clínico para dar diagnósticos definitivos y establecer tratamientos (Fernández et al., 2012).

En cuanto al uso de técnica diagnósticas avanzadas, las tinciones específicas fueron principalmente señaladas (34.4%), especialmente la coloración de estructuras (huevos o larvas) con Lugol y con menos frecuencia el cultivo fecal (35.9%). Este último requiere de inversión de tiempo y los resultados por estas técnicas puede alargarse de 5 a 7 días (Zajac y Conboy, 2006). Otra técnica poco frecuente (20.3%) y que únicamente se ha implementado en centro clínicos veterinarios donde la inversión en materiales y equipo es mayor, ha sido la detección de antígenos. Los profesionales también reportaron diferentes agentes parasitarios, que son de los más observados en el diagnóstico rutinario, siendo el principal *Toxocara* sp. (89.1%), *Dipylidium caninum* (85.9%) y *Ancylostoma* sp. (60.9%), estos datos concuerdan con los hallazgos realizados en el objetivo 2 del presente proyecto de investigación y que son validados por otros estudios en Brasil, y en México, donde la prevalencia de estos agentes parasitarios es similar, por lo que son frecuentemente observados en análisis coproparasitológicos rutinarios en la práctica clínica (Arruda et al., 2021; Hernandez-Valdivia et al., 2022). Otros agentes como *Trichuris vulpis*, *Strongyloides stercoralis*, *Echinococcus granulosus* y *Capillaria aerophyla* suele ser hallazgos diagnósticos poco frecuentes tal como lo mencionaron los profesionales encuestados, sobre todo porque algunos especímenes como es el caso de *Strongyloides* spp. requieren técnicas especiales

para su identificación, mientras que los nemátodos del género *Trichuris* spp., y *Capillaria* spp. suelen ser más frecuentemente aislado en animales menores de 6 meses de edad. Caso similar ocurre con *Echinococcus granulosus* donde otra variable es la región geográfica, asociada al ciclo evolutivo que posee (Taylor et al., 2016; Hernandez-Valdivia et al., 2022).

Finalmente se evaluó la importancia que los profesionales dan al uso de herramientas de inteligencia artificial para el diagnóstico de agentes parasitarios gastrointestinales en animales de compañía, un alto porcentaje (76.6%) destacó que estas herramientas servirían para mejorar la capacidad diagnóstica de las pruebas rutinarias, además de servir como ayuda para confirmar diagnósticos (67.2%) y como ayuda confirmatoria para establecer tratamientos desparasitantes (56.3%). Un menor porcentaje de profesionales indicó su uso como ayuda diagnóstica para descartar pruebas negativas (34.4%) siendo este uso más enfocado a establecer controles de calidad de los protocolos diagnósticos ya implementados, mientras que el uso didáctico enfocado a la educación de propietarios (54.7%) también resulto ser una variable muy importante que los profesionales toman en cuenta al momento de poseer una herramienta diagnóstica de este tipo. La percepción observada de los profesionales encuestados sobre las herramientas de inteligencia artificial resulto entonces ser altamente positiva, lo que ofrece una alta valoración al desarrollo de esta herramienta que vendría a contribuir en diversos aspectos de la actividad diagnóstica en la medicina veterinaria de Guatemala, las herramientas de inteligencia artificial que ya se han desarrollado o están en proceso de implementación en otras regiones de América confirman este valor como herramienta de control de calidad, agilización de obtención de resultados diagnósticos y sobre todo la aplicación didáctica no solo para futuros profesionales, sino también para público en general, ayudando a generar conciencia en la prevención de las enfermedades parasitarias en animales de compañía (Ramírez, 2020).

Con respecto **a los grupos que se podrían incluir en la aplicación** para el reconocimiento de parásitos de origen humano que representan a la mayor parte de los organismos de interés clínico, ya sea como patógenos o comensales, se definió en concordancia con los resultados en la observación de 191 muestras realizados y la encuesta realizada a 85 profesionales, en este proyecto. Se considera que los parásitos comensales deberían incluirse, ya que evidencian el consumo de alimentos con contaminación fecal y forman parte del diagnóstico diferencial de los patógenos (Garcia, 2021; Haidar & Jesus, 2022; Lukeš et al., 2015).

En el informe AP8-2021 del proyecto de investigación “Aplicaciones de Inteligencia Artificial, en la enseñanza superior (fase I). Diagnóstico parasitológico”, se encontró en base a los informes de estudiantes en EPS, que los protozoos fueron los parásitos más frecuentemente encontrados y entre ellos las amebas (n=4711); otros microorganismos del grupo de los protozoos fueron 13% (n =1037); los nemátodos 10% (n=817) y los cestodos en un 1 (47%) y un 18% fue clasificado como otros, sin especificar el criterio de clasificación (n=1486) (Samayoa Herrera et al., 2022).

En este informe se evidencia, además, la importancia de un buen reconocimiento de los parásitos, ya que, de 273 muestras recibidas para el proyecto AP8-2021, y a las que se les realizó control de calidad, se encontró que 115 (42.12%) tenían alguna diferencia. Entre las principales discrepancias se encontró que la muestra fue informada negativa y presentaba parásitos, que la muestra fue informada positiva y no se le encuentran parásitos, que a la muestra le faltan parásitos y que la muestra informa más parásitos de los que se encontraron. Los parásitos que más discrepancias presentaron fueron las amebas y en este grupo, *E. histolytica* presentó una disminución entre lo reportado y lo observado, en 26 observaciones; mientras que *E. nana* aumentó 16; *B. hominis* aumentó 15; y por último *E. coli* aumentó en 10, el resto presenta variaciones menores (Samayoa Herrera et al., 2022).

Todo lo anterior respalda los grupos taxonómicos elegidos: reinos *Protozoa*, (Filo Amoebozoa, Metamonada), *Chomista* (Filo Ciliophora), *Sar* (Filo Stramenopiles) y el reino *Animalia* (Filo Nematoda, y Platyhelminthes) (The Global Biodiversity Information Facility, s/f). El filo de los Ciliophora, que incluye a *Balantidium coli*, no ha sido observado en las muestras procesadas en estos dos años (n=505), pero es un parásito importante, de frecuencia eventual, por lo que se considera incluirlo si se obtiene una muestra que lo contenga; todos los demás grupos se encontraron en ambos años, con frecuencia similar.

Entre las especies que se incluirán en cada filo taxonómico en base a su frecuencia, patogenicidad, ser comensal o presentar importancia en el diagnóstico diferencial se encontrarían: En el primer grupo estarían los protozoos intestinales humanos, con especies de amebas y flagelados tanto patógenos como comensales. De estos las amebas: Filo Amoebozoa: son organismos que se mueven por medio de protuberancias del citoplasma denominadas pseudópodos, contienen endo y ectoplasma; incluyen organismos de vida libre, patógenos para el humano y no patógenos (Tille, 2017). Entre éstas se encuentran el grupo de las *Archamoebae* que incluye los géneros *Entamoeba* y *Endolimax*, que se caracterizan por carecer de mitocondrias. Las especies por incluir serían:

Entamoeba histolytica/dispar, *Entamoeba coli* y *Endolimax nana* (le Bailly et al., 2016). En este grupo también se incluirá a *Iodamoeba bütschili* (*Iodamoeba buetschlii*). Los patógenos son el grupo de *Entamoeba histolytica/dispar*, no se pueden diferenciar las especies por métodos comunes (Garcia, 2016). En el segundo grupo estarían los flagelados: Filo Metamonada. Son flagelados que careen de mitocondrias, las especies a incluir son *Giardia lamblia* (sinónimos: *G. duodenalis*, *G. intestinalis*), patógeno y *Chilomastix mesnili*, comensal (Garcia, 2016). Mientras en el tercer grupo los Cromistas: Ciliados: Filo Ciliophora, estos presentan cilios rodeando su cuerpo, un micronúcleo y un macronúcleo y un citostoma para fagocita; la única especie que se debe incluir es *Blantidium coli*, patógeno (Garcia, 2016) y en cuarto grupo Sar: *Blastocystis* spp (Filo Stramenopiles) de clasificación incierta (Stensvold et al., 2020).

Por otra parte, entre los parásitos a incluir de origen animal que infectan a humanos se incluirá a los nemátodos: Filo Nematoda, gusanos redondos, no segmentados, con simetría bilateral, cuerpos alargados y cilíndricos, tiene bien desarrollados los sistemas digestivo y reproductor, presentando sexos separados, donde el macho es de menor tamaño que la hembra (Garcia, 2016; Tille, 2017). Las especies por incluir son: *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Enterobius vermicularis*, *Strongyloides stercoralis* y uncinaria; todos patógenos humanos, deben incluirse. Así también los cestodos: Filo Platyhelminthes. Gusanos planos, se encuentran en el intestino delgado y se alimentan absorbiendo nutrientes del hospedero, tienen el cuerpo segmentado, conteniendo cada uno, el sistema reproductor femenino y masculino (Garcia, 2016; Tille, 2017) Las especies que deben ser incluidas son: *Taenia* sp (*T. solium*, *T. saginata*), *Hymenolepis diminuta* e *Hymenolepis (Rodentolepis) nana*.

Con respecto al análisis de muestras fecales de especies veterinarias, este, reveló una alta incidencia de nemátodos intestinales de las especies *Toxocara canis* y *Ancylostoma caninum*, ambas especies se han caracterizado por presentar infecciones asociadas en perros menores de un año, lo cual se asocia al escaso desarrollo de inmunidad contra helmintiasis en los primeros meses de vida y las características de las regiones de estudio, donde factores típicos de regiones tropicales y subtropicales favorecen la persistencia de fases infectivas de helmintos en el medio ambiente, tal como se ha demostrado en estudios de otras regiones de Latinoamérica (Aguillón et al., 2021; Naypay et al., 2019).

El porcentaje de infecciones mixtas, donde se combinan varios agentes parasitarios como *Toxocara canis*, *Ancylostoma caninum* e *Isospora canis* en caninos (Tabla 3), se ha considerado

como un grave riesgo para la salud de los caninos afectados, especialmente cuando se trata de cachorros o animales con enfermedades subyacentes de tipo bacteriano o viral (Desai et al., 2021). Estas especies parasitarias se caracterizan por una alta adaptabilidad, por lo que han conseguido prevalecer en animales domésticos a pesar de controles profilácticos (Miró, 2015).

En el caso de las muestras de felinos sometidas a análisis, la presencia de infecciones mixtas por *Toxocara mystax* combinada con *Dypilidium caninum*, e infecciones simples por *Ancylostoma tubaeforme*, nos demostró que el riesgo de transmisión de parasitosis zoonóticas en gatos hacia sus propietarios es altamente probable sobre todo porque estos animales domésticos representan un segmento de la población con escaso acceso a servicios médicos veterinarios, como se observó por la baja remisión de muestras fecales de felino, ya que suelen ser difíciles de obtener y requieren de profesionales capacitados para tal fin, además de propietarios conscientes de la importancia del diagnóstico parasitológico (Pino et al., 2017).

Los gatos con acceso a servicios veterinarios aún representan un segmento poblacional bastante pequeño, ya sea que por consulta veterinaria profiláctica o para diagnóstico de infecciones de diversa índole, esto hace que el gato se considere una fuente importante de infección por enfermedades parasitarias para sus propietarios (Ketzis & Lucio-Forster, 2020), donde se observa que la prevalencia de infección de *T. mystax* puede ser variable pero nunca ausente independientemente de la región geográfica. Esta adaptabilidad y capacidad infectiva hacia hospederos no felinos, también ha quedado demostrada en casos de alimentos destinados al consumo humano contaminados con huevos de esta especie que son viables para su desarrollo en hospederos no felinos (Healy, et al. 2022). Otra especie de importancia observada en los análisis fecales de gatos fue *Ancylostoma tubaeforme*, aunque es un helminto poco asociado a zoonosis, se debe tomar en cuenta por la capacidad de los helmintos de la familia *Ancylostomatidae*, de causar infecciones principalmente en personas inmunocomprometidas (Fu et al., 2019). Tanto *T. mystax* como *A. tubaeforme* representan riesgo latente de infección a niños y personas inmunocomprometidas si estos conviven con gatos que en algún momento pueden infectarse por este nematodo (Taylor, et al. 2016).

Los protozoos que fueron identificados en las muestras analizadas provenientes de perros revelaron la presencia de un bajo porcentaje de infección por *Isospora canis* y *Giardia canis*. El hallazgo de *Isospora canis* a pesar de no ser un agente zoonótico, cobró importancia por conformar una infección mixta con *Ancylostoma caninum* y *Toxocara canis*, los cuales pueden exacerbar la

signología gastroentérica y complicar los cuadros clínicos de los caninos afectados, siendo este muchas veces, el motivo de consulta veterinaria de los propietarios ya que muchas veces puede llegar a ser mortal (Taylor, et al. 2016). *Giardia canis* es un protozoo común en cachorros menores de 6 meses, siendo uno de los principales agentes causales de gastroenteritis (Taylor, et al. 2016), también se caracteriza por provocar enteritis complicadas en animales de compañía que pueden llegar a ser mortales, pero el riesgo de provocar una zoonosis a los propietarios de los perros infectados, tal como lo demuestran estudios recientes sobre la especificidad de *Giardia* spp. (Weilong et al., 2021).

En el caso de cestodos, *Dipylidium caninum* se observó principalmente en cachorros menores de 6 meses. El hallazgo de este cestodo en muestras fecales que pertenecían a gatos puede explicarse por la capacidad de infección que posee hacia perros y seres humanos, especialmente niños, dado la interacción con caninos cachorros y gatos; aunado a los pocos hábitos de higiene que generalmente se presentan en esta población (Rousseau et al., 2022).

Actualmente, se cuenta con 6,876 imágenes del proyecto, de éstas 5,579 imágenes corresponden a parásitos de humanos, 1,092 fueron capturadas en el año 2021 y 4,487 en el año 2022, éstas se utilizarán para elegir las más apropiadas para alimentar la aplicación. Se capturaron imágenes de parásitos con todas sus estructuras bien definidas y otros con morfología no tan característica, como huevos de *A. lumbricoides* decorticados o con larvas; de *T. trichiura* ovoides o sin polos bien definidos, *S. stercoralis* parcialmente ocultos, prequistes de amebas, etc., se incluyó la captura de imágenes de artefactos que pueden ser confundidos con parásitos, además se realizaron mediciones y esas imágenes forman parte de la colección. Esta cantidad de imágenes es similar a la utilizada en la preparación de aplicaciones para el reconocimiento de imágenes de importancia clínica (Liu et al., 2019). Se logró la captura de imágenes de la mayoría de los parásitos más comunes en estadios de huevo, larva o quiste, éstas serán las que se utilicen para preparar la aplicación en el año 2023; dos especies no se encontraron: *Balantidium coli* e *Hymenolepis diminuta*. Tampoco se incluirán los trofozoítos de los protozoos, ni las especies que se presentan preferentemente como trofozoítos ya que la formalina los destruye, por lo que sólo hay imágenes de formas quísticas (García, 2021).

Los huevos de helmintos veterinarios que se presentan en muestras fecales se caracterizaron por ser subesféricos o ligeramente redondeados, variando en coloración y conformación de estructuras internas de acuerdo con la especie, se encuentra protegido por una cáscara gruesa o delgada,

variando en la textura de su superficie, como se observa en especies del género *Toxocara* o bien puede ser lisa y delgada como en el género *Ancylostoma* (Zajac y Conboy, 2006).

En términos generales la conformación de los huevos de helmintos en caninos y felinos domésticos es de fácil identificación variando ligeramente en tamaño, por lo que, si el observador se encuentra familiarizado con sus características estructurales, las técnicas diagnósticas adquieren una sensibilidad y especificidad aceptables para lograr diagnósticos certeros (Nielsen, 2021). Esta característica puede ser una ventaja o una desventaja de acuerdo con el grado de agudeza visual y experiencia que puede tener el personal a cargo de realizar los diagnósticos coproparasitológicos, por lo que en muchas ocasiones se hace necesario el uso de claves o guías morfológicas de identificación para evitar falsos positivos o negativos por la incorrecta interpretación de las estructuras observadas (Nielsen, 2021).

En el caso de la morfología de los huevos viables se ve alterada fuera del estándar dictado por la literatura (Zajac y Conboy, 2006), es posible observar formas de las estructuras internas según su grado de desarrollo, observándose huevos más redondeados conteniendo escaso número de blastómeros en el caso de *Ancylostoma* spp. o de con adelgazamiento y engrosamiento de la cáscara sin perder su morfología característica en el caso de *Toxocara* sp.

Entre los errores comúnmente observados en la interpretación diagnóstica de los análisis fecales por microscopía óptica está la identificación errónea de la especie de helminto observada, sobre todo cuando las muestras fecales han pasado un proceso de almacenamiento y transporte prolongados sin la adecuada conservación, lo que origina en consecuencia el desarrollo de fases larvianas que eclosionan y quedan libres dentro de la muestra fecal, por lo que se hace necesaria una clave morfológica para la identificación de estados larvales (Nielsen, 2021). Otra alteración de la morfología de las estructuras contenidas en los huevos se da por la degeneración de sus tejidos, por lo que pueden aparecer huevos inviables con deformación de membranas o contenido interno que los hace mimetizarse con el contenido fecal o bien parecer artefactos que forman parte del contenido intestinal expulsado junto con las heces (Zajac y Conboy, 2006).

En el caso de fases vegetativas de cestodos en caninos, hay estructuras que son obvias para el diagnóstico de la especie parasitaria, como el caso de las cápsulas ovígeras de *Dipylidium caninum*, sin embargo, cuando estas estructuras se degradan, los huevos quedan libres dentro del contenido fecal por lo que la identificación de huevos resulta un reto para el observador (Nielsen, 2021). Las cápsulas ovígeras contienen en su interior cantidades variables de huevos con diferente

tamaño, textura y coloración. Los huevos suelen ser esféricos con un embrión hexacanto en su interior, observándose los ganchos de su protoescólex. La observación de estas estructuras requiere de entrenamiento y experiencia para no confundirlos con artefactos como burbujas, o con huevos de otros helmintos que han degenerado sus estructuras, como algunos huevos de ascaroideos, en estos casos, es importante tomar en cuenta el tamaño de la estructura observada, por lo que el uso de claves es básico para una correcta identificación (Zajac y Conboy, 2006).

Las fases infectivas o vegetativas de protozoos también representan un reto cuando no se cuenta con experiencia o con claves para identificar al espécimen observado, en estos casos el reporte de falsos negativos o falsos positivos es común al no diferenciarlos de artefactos como burbujas. En algunos casos la preparación y montaje de la muestra suele ser un factor que favorece la correcta o incorrecta observación de quistes u ooquistes según sea el agente parasitario presente en la muestra (Nielsen, 2021). Los ooquistes de *Isospora* sp. suele ser pequeños de forma ovoide o semi esférica conteniendo uno o dos esporoquistes en su interior según sea el grado de desarrollo que posean, algunas fases intermedias pueden no ser identificada al confundirse con artefactos contenidos dentro de la materia fecal como esporas, mismo caso aplica cuando la muestra ha sufrido un mal manejo de almacenaje y transporte provocando la degeneración de la pared celular del ooquiste o de sus esporoquistes como lo explican Zajac y Conboy, (2006).

Giardia canis desarrolla quistes una vez que el trofozoíto entra en contacto con el medio ambiente externo, siendo esta la forma más comúnmente observada. Los trofozoítos pueden ser visibles cuando la muestra es fresca, las muestras colectadas en el presente estudio no presentaron este tipo de estructuras observándose únicamente el desarrollo de quistes los cuales son muy difíciles de diferenciar incluso para el ojo entrenado cuando no se tiene el cuidado necesario para observar detenidamente el contenido de las muestras (Zajac y Conboy, 2006).

Entre las limitaciones se identificaron que los profesionales en la salud humana y veterinaria que respondieron la encuesta no podrían reflejar a la población general y por lo tanto se vería comprometida la validez externa del estudio, sin embargo, los participantes que llenaron la encuesta representaron a los laboratorios cuya carga de trabajo en el diagnósticos podría reflejar muchas de las necesidades actuales en el diagnostico parasitológico, por lo que lo expresado por esta muestra de población deberían tomarse en cuenta al momento de desarrollar para el país este tipo de herramientas. Otra limitación identificada fue en que pocos laboratorios se utilizaban técnicas diagnósticas de parásitos intestinales distintas a la microscopia, con lo que el uso de una

herramienta artificial podría significar un sesgo positivo para su uso. Por último, la búsqueda de otros parásitos no encontrados en los muestreos veterinarios, señalan la necesidad de extender la búsqueda a otras entidades y no necesariamente clínicas veterinarias establecidas.

A pesar de estas limitaciones, con este proyecto se ha logrado identificar a través de un CAP los elementos necesarios a incluir en el desarrollo de una aplicación IA, las imágenes capturadas de parásitos de origen humano y veterinario, apropiadas para alimentar la aplicación, así como la identificación de las características genéricas que una potencial de identificación basada en IA, debería incluir.

CONCLUSIONES

1. Los conocimientos, actitudes y prácticas expresados por los participantes, pueden contribuir a que una herramienta basada en IA para Guatemala pueda apropiarse a las necesidades de los profesionales encargados de la identificación, diagnóstico, educación y control de calidad.
2. Los profesionales encargados del diagnóstico parasitológico consideraron el uso de aplicaciones de IA de laboratorio, como apoyo al diagnóstico clínico, para confirmar y mejorar su calidad y eficiencia en las ramas de parasitología humana y veterinaria.
3. Se conocen y siguen las técnicas diagnósticas más frecuentemente utilizadas en el diagnóstico rutinario de cuadros clínicos provocados por agentes parasitarios.
4. Se hace necesario contar con materiales e instrumentos de calidad, así como el informe de todos los parásitos observados.
5. Las imágenes obtenidas (Humanas y Veterinarias) muestran diferentes fases evolutivas de los agentes parasitarios comúnmente observados en el diagnóstico clínico cotidiano.
6. La base de imágenes generada representa la base para iniciar la estandarización del aprendizaje al desarrollar una AIA destinada al diagnóstico rutinario de parásitos gastrointestinales con fines clínicos y de docencia.
7. La falta de experiencia y conocimientos sobre la morfología de los especímenes al realizar análisis copro parasitológicos, influye en la calidad del diagnóstico parasitológico.
8. El acceso a bases de datos de imágenes que incluyan tanto características normales como alteraciones morfológicas contribuye a mejorar la sensibilidad y especificidad de las

pruebas diagnósticas se hace esencial en la práctica del diagnóstico de parásitos intestinales

9. El desarrollo de una herramienta IA, podría apoyar los programas de capacitación tanto de profesionales en la práctica diaria como también los que se encuentran en formación.

12 Referencias

- Abbaszadeh Afshar, M. J., Barkhori Mehni, M., Rezaeian, M., Mohebbali, M., Baigi, V., Amiri, S., Amirshkari, M. B., Hamidinia, R., & Samimi, M. (2020). Prevalence and associated risk factors of human intestinal parasitic infections: a population-based study in the southeast of Kerman province, southeastern Iran. *BMC Infectious Diseases*, 20(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s12879-019-4730-8>
- al Amin ASM, & Wadhwa R. (2021). *Helminthiasis - StatPearls - NCBI Bookshelf*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK560525/>
- Alva, A., Cangalaya, C., Quiliano, M., Krebs, C., Gilman, R. H., Sheen, P., & Zimic, M. (2017). Mathematical algorithm for the automatic recognition of intestinal parasites. *PLoS ONE*, 12(4), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175646>
- Arruda, I. F., Ramos, R. C. F., Barbosa, A. da S., Abboud, L. C. de S., dos Reis, I. C., Millar, P. R., & Amendoeira, M. R. R. (2021). Intestinal parasites and risk factors in dogs and cats from Rio de Janeiro, Brazil. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2021.100552>
- Bethony, J., Brooker, S., Albonico, M., Geiger, S. M., Loukas, A., Diemert, D., & Hotez, P. J. (2006). Soil-transmitted helminth infections: ascariasis, trichuriasis, and hookworm. En *Lancet* (Vol. 367, Número 9521, pp. 1521–1532). Elsevier B.V. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)68653-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)68653-4)
- CDC. (2020). *Parasites - About Parasites*. <https://www.cdc.gov/parasites/about.html>
- CDC. (2022). *CDC - Soil-transmitted Helminths*. <https://www.cdc.gov/parasites/sth/index.html>
- Choi, B., & Kim, B. (2017). Prevalence and Risk Factors of Intestinal Parasite Infection among Schoolchildren in the Peripheral Highland Regions of Huanuco, Peru. *Osong Public Health and Research Perspectives*, 8(5), 302–307. <https://doi.org/10.24171/j.phrp.2017.8.5.03>
- Cook, D. M., Swanson, R. C., Eggett, D. L., & Booth, G. M. (2009). A Retrospective analysis of prevalence of gastrointestinal Parasites among school children in the Palajunoj Valley of Guatemala. *Journal of Health, Population and Nutrition*, 27(1), 31–40. <https://doi.org/10.3329/jhpn.v27i1.3321>
- Deepomatic. (2020a). *Introduction to Image Recognition*. <https://deepomatic.com/en/introduction-to-computer-vision-and-image-recognition>
- Deepomatic. (2020b). *The 6 steps to create your own image recognition system*. <https://deepomatic.com/the-6-steps-to-create-your-own-image-recognition-system>

- Diagnostics, P. R.-, & 2021, undefined. (2021). State-of-the-Art Techniques for Diagnosis of Medical Parasites and Arthropods. *mdpi.com*. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11091545>
- Dougherty, M., Nuss, E., ... J. D.-A. J. of, & 2017, U. (2017). Changes in Intestinal Parasitosis Over a 12-Year Period in Rural Guatemala. *journals.lww.com*, 112(p S63). https://journals.lww.com/ajg/Fulltext/2017/10001/Changes_in_Intestinal_Parasitosis_Over_a_12_Year.133.aspx
- Du, Y., Abbas, S., Liu, X., Wang, X., He, X., Wei, J., Liu, J., & Li, Y. (2019). Application of artificial intelligence to the public health education. *scienceopen.com*. https://www.scienceopen.com/document_file/9e94a66a-dd2a-44c3-980f-6be39303be9f/PubMedCentral/9e94a66a-dd2a-44c3-980f-6be39303be9f.pdf
- Espinosa Aranzales, A. F., Radon, K., Froeschl, G., Pinzón Rondón, Á. M., & Delius, M. (2018). Prevalence and risk factors for intestinal parasitic infections in pregnant women residing in three districts of Bogotá, Colombia. *BMC Public Health*, 18(1). <https://doi.org/10.1186/s12889-018-5978-4>
- Fernández, D., de Oliveira, J. B., Calderón, S., & Romero, J. J. (2012). Práctica de control y diagnóstico de parásitos caninos y felinos en 50 clínicas veterinarias del área metropolitana de Costa Rica. *Ciencias Veterinarias*, 26(2), 51–71.
- Frank, M. R., Autor, D., Bessen, J. E., Brynjolfsson, E., Cebrian, M., Deming, D. J., Feldman, M., Groh, M., Lobo, J., Moro, E., Wang, D., Youn, H., & Rahwan, I. (2019). Toward understanding the impact of artificial intelligence on labor. En *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* (Vol. 116, Número 14, pp. 6531–6539). National Academy of Sciences. <https://doi.org/10.1073/pnas.1900949116>
- Fu, Y., Liu, Y., Abuzeid, A. M. I., Huang, Y., Zhou, X., He, L., Zhao, Q., Li, X., Liu, J., Ran, R., & Li, G. (2019). Establishment of a Tm-shift method for detection of cat-derived hookworms. *Korean Journal of Parasitology*, 57(1), 9–15. <https://doi.org/10.3347/kjp.2019.57.1.9>
- Gabrie, J. A., Rueda, M. M., Rodríguez, C. A., Canales, M., & Sanchez, A. L. (2016). Immune Profile of Honduran Schoolchildren with Intestinal Parasites: The Skewed Response against Geohelminths. *Journal of Parasitology Research*, 2016, 13. <https://doi.org/10.1155/2016/1769585>
- GAHI. (2021). *Global burden | Global Atlas of Helminth Infections*. <http://www.thiswormyworld.org/worms/global-burden>
- García, L. S. (2016). Diagnostic Medical Parasitology. En *Diagnostic Medical Parasitology* (6th ed.). ASM Press. <https://doi.org/10.1128/9781555819002>
- García, L. S. (2021). *Practical guide to Diagnostic Parasitology* (Third). ASM Press.
- García, L. S., Arrowood, M., Kokoskin, E., Paltridge, G. P., Pillai, D. R., Procop, G. W., Ryan, N., Shimizu, R. Y., & Visvesvara, G. (2018). Laboratory diagnosis of parasites from the gastrointestinal tract. *Clinical Microbiology Reviews*, 31(1). <https://doi.org/10.1128/CMR.00025-17>
- Geohelminthiasis - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud*. (s/f). Recuperado el 17 de octubre de 2022, de <https://www.paho.org/es/temas/geohelminthiasis>

- Girard, R. (2014). *Manual de Técnicas para Laboratorios de Atención Primaria de Salud y para el diagnóstico de enfermedades infecciosas desatendidas*. <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-de-guadalajara/laboratorio-de-parasitologia/manual-rina-kaminsky-2014/14525785>
- Greene, C., Geryll, G., & Calpin, J. (2008). Recomendaciones para vacunaciones esenciales y no esenciales en perros. En A. Diane (Ed.), *Enfermedades infecciosas del perro y el gato* (Tercera Edición, Vol. 2, pp. 1233–1235). Inter-Médica.
- Haidar, A., & Jesus, O. de. (2022). Entamoeba Coli. *Parasiten des Menschen*, 134–135. https://doi.org/10.1007/978-3-642-85397-5_38
- Hailu, T., doctor, B. A.-T., & 2015, undefined. (2015). Performance evaluation of direct saline stool microscopy, Formol ether concentration and Kato Katz diagnostic methods for intestinal parasitosis in the absence of gold. *journals.sagepub.com*, 45(3), 178–182. <https://doi.org/10.1177/0049475515581127>
- Harhay, M. O., Horton, J., & Olliaro, P. L. (2010). Epidemiology and control of human gastrointestinal parasites in children. *Expert Review of Anti-infective Therapy*, 8(2), 219–234. <https://doi.org/10.1586/eri.09.119>
- Hasan Sapci, A., & Aylin Sapci, H. (2020). Artificial Intelligence Education and Tools for Medical and Health Informatics Students: Systematic Review. *JMIR Med Educ* 2020;6(1):e19285 <https://mededu.jmir.org/2020/1/e19285>, 6(1), e19285. <https://doi.org/10.2196/19285>
- Hernandez-Valdivia, E., Martínez-Robles, J., Valdivia-Flores, A. G., Cruz-Vazquez, C., Ortiz-Martinez, R., & Quezada-Tristan, T. (2022). Prevalence of digestive parasites of dogs in Central Mexico. *Revista MVZ Cordoba*, 27(3). <https://doi.org/10.21897/rmvz.2686>
- Hindi, A. (2014). The awareness of health professionals in diagnostic techniques for intestinal parasites in Gaza strip, Palestine. *Annals of Medical and Health Sciences Research*, 4(1), 80. <https://doi.org/10.4103/2141-9248.126621>
- Holmström, O., Linder, N., Ngasala, B., Mårtensson, A., Linder, E., Lundin, M., Moilanen, H., Suutala, A., Diwan, V., & Lundin, J. (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). <https://doi.org/10.1080/16549716.2017.1337325>
- Kassaw, M. W., Abebe, A. M., Abate, B. B., Zemariyam, A. B., & Kassie, A. M. (2020). Knowledge, Attitude and Practice of Mothers on Prevention and Control of Intestinal Parasitic Infestations in Sekota Town, Waghimra Zone, Ethiopia. *Pediatric Health, Medicine and Therapeutics, Volume 11*, 161–169. <https://doi.org/10.2147/phmt.s229610>
- Ketzis, J. K., & Lucio-Forster, A. (2020). Toxocara canis and Toxocara cati in domestic dogs and cats in the United States, Mexico, Central America and the Caribbean: A review. En *Advances in Parasitology* (Vol. 109, pp. 655–714). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2020.01.027>
- Khurana, S., Gur, R., & Gupta, N. (2021). Chronic diarrhea and parasitic infections: Diagnostic challenges. *Indian Journal of Medical Microbiology*, 39(4), 413–416. <https://doi.org/10.1016/J.IJMMB.2021.10.001>

- le Bailly, M., Maicher, C., & Dufour, B. (2016). Archaeological occurrences and historical review of the human amoeba, *Entamoeba histolytica*, over the past 6000 years. *Infection, Genetics and Evolution*, 42, 34–40. <https://doi.org/10.1016/J.MEEGID.2016.04.030>
- Linder, E., Lundin, M., Thors, C., Lebbad, M., Winiecka-Krusnell, J., Helin, H., Leiva, B., Isola, J., & Lundin, J. (2008). Web-based virtual microscopy for parasitology: A novel tool for education and quality assurance. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 2(10). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PNTD.0000315>
- Lindquist, H. D. A., & Cross, J. H. (2017). Helminths. *Infectious Diseases, 1763-1779*.e1. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7020-6285-8.00195-7>
- Liu, Z. Y.-C., Chamberlin, A. J., Shome, P., Jones, I. J., Riveau, G., Ndione, R. A., Bandagny, L., Jouanard, N., Eck, P. van, Ngo, T., Sokolow, S. H., & Leo, G. A. de. (2019). Identification of snails and parasites of medical importance via convolutional neural network: an application for human schistosomiasis. *bioRxiv*, 713727. <https://doi.org/10.1101/713727>
- Lukeš, J., Stensvold, C. R., Jirků-Pomajbíková, K., & Wegener Parfrey, L. (2015). Are Human Intestinal Eukaryotes Beneficial or Commensals? En *PLoS Pathogens* (Vol. 11, Número 8, p. e1005039). Public Library of Science. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1005039>
- Matheny, M. E., Whicher, D., & Thadaney Israni, S. (2020). Artificial Intelligence in Health Care: A Report from the National Academy of Medicine. En *JAMA - Journal of the American Medical Association* (Vol. 323, Número 6, pp. 509–510). American Medical Association. <https://doi.org/10.1001/jama.2019.21579>
- Mathison, B. A., Kohan, J. L., Walker, J. F., Smith, R. B., Ardon, O., & Couturier, M. R. (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. <https://doi.org/10.1128/JCM.02053-19>
- Miró, G. (2015). Protozoos. En *Atlas de diagnóstico parasitológico del perro y el gato* (Vol. 1). Grupo Asís Biomédica S.L.
- MSPAS. (2018). *ANÁLISIS ANUAL DE LA SITUACIÓN EPIDEMIOLÓGICA DE ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR AGUA Y ALIMENTOS EN GUATEMALA, 2018*. <http://epidemiologia.mspas.gob.gt/informacion/salas-situacionales/vigilancia-epidemiologica>
- Nagamori, Y., Hall Sedlak, R., Derosa, A., Pullins, A., Cree, T., Loenser, M., Larson, B. S., Smith, R. B., & Goldstein, R. (2020). Evaluation of the VETSCAN IMAGYST: An in-clinic canine and feline fecal parasite detection system integrated with a deep learning algorithm. *Parasites and Vectors*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s13071-020-04215-x>
- Nasr, N. A., Al-Mekhlafi, H. M., Ahmed, A., Roslan, M. A., & Bulgiba, A. (2013). Towards an effective control programme of soil-transmitted helminth infections among Orang Asli in rural Malaysia. Part 2: Knowledge, attitude, and practices. *Parasites and Vectors*, 6(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-6-28>
- Nkamgang, O. T., Tchiotso, D., Tchinda, B. S., & Fotsin, H. B. (2018). A neuro-fuzzy system for automated detection and classification of human intestinal parasites. *Informatics in Medicine Unlocked*, 13(October), 81–91. <https://doi.org/10.1016/j.imu.2018.10.007>

- ONU. (2015). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- OPS. (2020). Medios auxiliares para el diagnóstico de las parasitosis intestinales. En *Manual básico de formación especializada sobre discapacidad auditiva* (segunda ed). <https://iris.paho.org/handle/10665.2/52295?locale-attribute=pt>
- PAHO. (2011). *A Call to Action: Addressing Soil-transmitted Helminths in Latin America & the Caribbean*. <https://www.paho.org/en/documents/call-action-addressing-soil-transmitted-helminths-latin-america-caribbean-2011>
- Pino, P., Prieto, E., & Valmisa, P. (2017, marzo). Como evitar el estrés del gato en la consulta. *ATEUVES*, 28–30.
- Pisarski, K. (2019). *Tropical Medicine and Infectious Disease The Global Burden of Disease of Zoonotic Parasitic Diseases: Top 5 Contenders for Priority Consideration*. <https://doi.org/10.3390/tropicalmed4010044>
- Ramírez, D. (2020). *Creación de una guía interactiva de imágenes de laboratorio clínico veterinario enfocada en animales de compañía*. Universidad Cooperativa de Colombia.
- Reyes Ortiz, O. J., Mejia, M., & Useche Castelblanco, J. S. (2019). Técnicas de inteligencia artificial utilizadas en el procesamiento de imágenes y su aplicación en el análisis de pavimentos. *Revista EIA*, 16(31), 189–207. <https://doi.org/10.24050/reia.v16i31.1215>
- Rhoads, D. D. (2020). Computer vision and artificial intelligence are emerging diagnostic tools for the clinical microbiologist. *Journal of Clinical Microbiology*, 58(6). <https://doi.org/10.1128/JCM.00511-20>
- Ricciardi, A., & Ndao, M. (2015). Diagnosis of parasitic infections: What's going on? *Journal of Biomolecular Screening*, 20(1), 6–21. <https://doi.org/10.1177/1087057114548065>
- Rodríguez, M., & Figueroa, L. (2007). *Manual de Técnicas Diagnósticas en Parasitología Veterinaria*.
- Rousseau, J., Castro, A., Novo, T., & Maia, C. (2022). *Dipylidium caninum* in the twenty-first century: epidemiological studies and reported cases in companion animals and humans. En *Parasites and Vectors* (Vol. 15, Número 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s13071-022-05243-5>
- Ruenchit, P. (2021). State-of-the-art techniques for diagnosis of medical parasites and arthropods. *Diagnostics*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/DIAGNOSTICS11091545>
- Saboyá, M. I., Catalá, L., Nicholls, R. S., & Ault, S. K. (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. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 7(9), e2419. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002419>
- Samayoa Herrera, B., Moller Sundfeldt, A., Gil, M., & Alquijay, M. (2022). *INFORME FINAL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN 2021*.
- Senay, H., Association, D. M.-C. C. M., & 1989, undefined. (1989). Parasitology: diagnostic yield of stool examination. *ncbi.nlm.nih.gov*, 140. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1269192/>

- Smith, K. P., Wang, H., Durant, T. J. S., Mathison, B. A., Sharp, S. E., Kirby, J. E., Long, S. W., & Rhoads, D. D. (2020). Applications of Artificial Intelligence in Clinical Microbiology Diagnostic Testing. *Clinical Microbiology Newsletter*, 42(8), 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.clinmicnews.2020.03.006>
- Sprenger, L. K., Green, K. T., & Molento, M. B. (2014). Geohelminth contamination of public areas and epidemiological risk factors in Curitiba, Brazil. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinaria*, 23(1), 69–73. <https://doi.org/10.1590/s1984-29612014009>
- Stensvold, C. R., Tan, K. S. W., & Clark, C. G. (2020). Blastocystis. En *Trends in parasitology* (Vol. 36, Número 3, pp. 315–316). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016%2Fj.pt.2019.12.008>
- The Global Biodiversity Information Facility. (s/f). *Species search*. Recuperado el 22 de enero de 2023, de <https://www.gbif.org/species/search>
- Tille, P. (2017). 21. Parasitology. En *Bailey & Scott's Diagnostic Microbiology* (14th ed., pp. 537–635). Elsevier.
- Traore, B. B., Kamsu-Foguem, B., & Tangara, F. (2018). *Deep convolution neural network for image recognition*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2018.10.002>
- Truscott, J. E. E., Turner, H. C. C., Farrell, S. H. H., & Anderson, R. M. M. (2016). Soil-Transmitted Helminths: Mathematical Models of Transmission, the Impact of Mass Drug Administration and Transmission Elimination Criteria. En *Advances in Parasitology* (pp. 133–198). <https://doi.org/10.1016/bs.apar.2016.08.002>
- van Lieshout, L., & Roestenberg, M. (2015). Clinical consequences of new diagnostic tools for intestinal parasites. *Clinical Microbiology and Infection*, 21(6), 520–528. <https://doi.org/10.1016/J.CMI.2015.03.015>
- van Lieshout, L., & Yazdanbakhsh, M. (2013). Landscape of neglected tropical diseases: getting it right. *The Lancet Infectious Diseases*, 13(6), 469–470. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(13\)70094-X](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(13)70094-X)
- Weilong, C., Una, R., Lihua, X., & Yaoyu, F. (2021). Zoonotic giardiasis: an update. *Parasitology Research*, 120(12), 4199–4218.
- Wen Wong, L., Bok Sun Goh, C., Jia Wei, H., Shion Ong, K., Rong Khoo, J., Wei Hor, J., & Mae Lee, S. (2020). Human intestinal parasitic infection: a narrative review on global prevalence and epidemiological insights on preventive, therapeutic and diagnostic strategies for. *Taylor & Francis*, 00(11), 1093–1105. <https://doi.org/10.1080/17474124.2020.1806711>
- WHO. (2017). Integrating neglected tropical diseases into global health and development: fourth WHO report on neglected tropical diseases. Geneva: World Health Organization; 2017. En *World Health Organization*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255011/9789241565448-eng.pdf>
- WHO. (2021a). *Neglected tropical diseases*. https://www.who.int/health-topics/neglected-tropical-diseases#tab=tab_1
- WHO. (2021b). *Soil-transmitted helminthiasis. Number of children (Pre-SAC and SAC requiring preventive chemotherapy for soil-transmitted helminthiasis): 2020*. https://apps.who.int/neglected_diseases/ntddata/sth/sth.html

Zonta, M. L., Cociancic, P., Oyhenart, E. E., & Navone, G. T. (2019). Intestinal parasitosis, undernutrition and socio-environmental factors in schoolchildren from Clorinda Formosa, Argentina. *Revista de Salud Pública*, 21(2), 224–231. <https://doi.org/10.15446/rsap.v21n2.73692>

13. Apéndice

Anexos

Anexo 1: Tablas y figuras de resultados

Figura 2.

Resultados Conocimientos (CAP) profesionales salud humana (N=85)

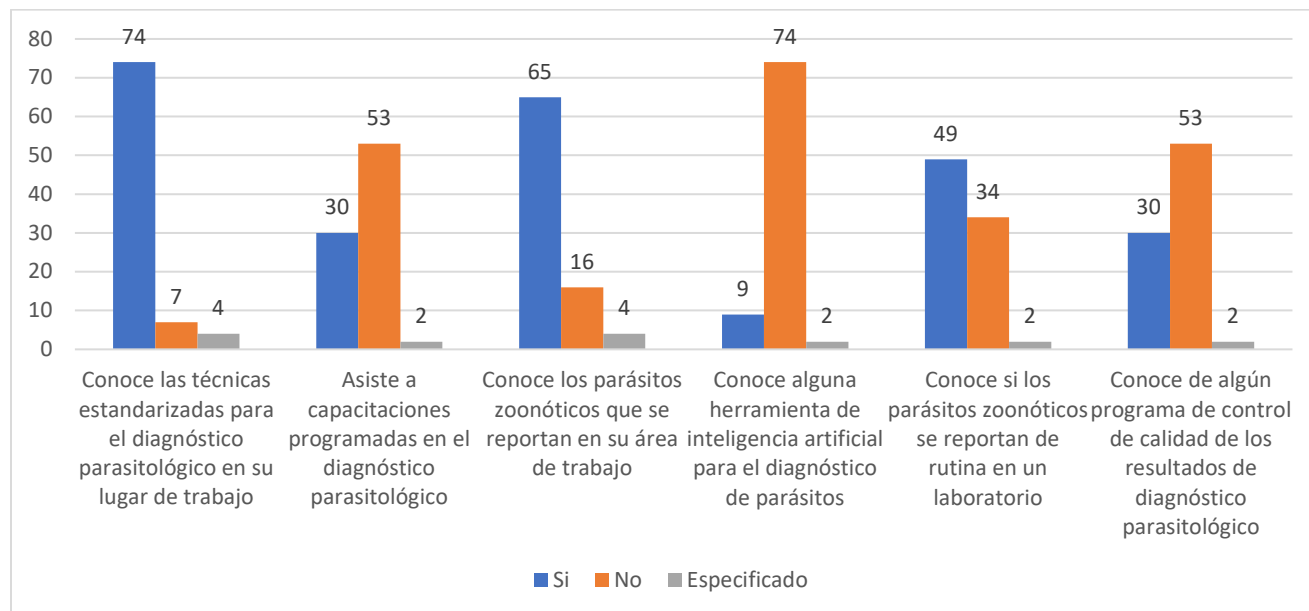


Figura 3

Actitudes (CAP) profesionales salud humana. Parásitos que deberían reportarse

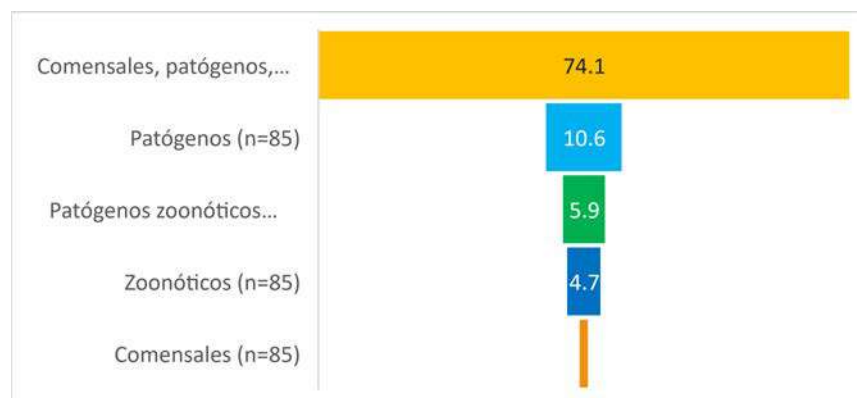


Figura 4

Actitudes (CAP) profesionales el diagnostico de parásitos intestinales de origen humano

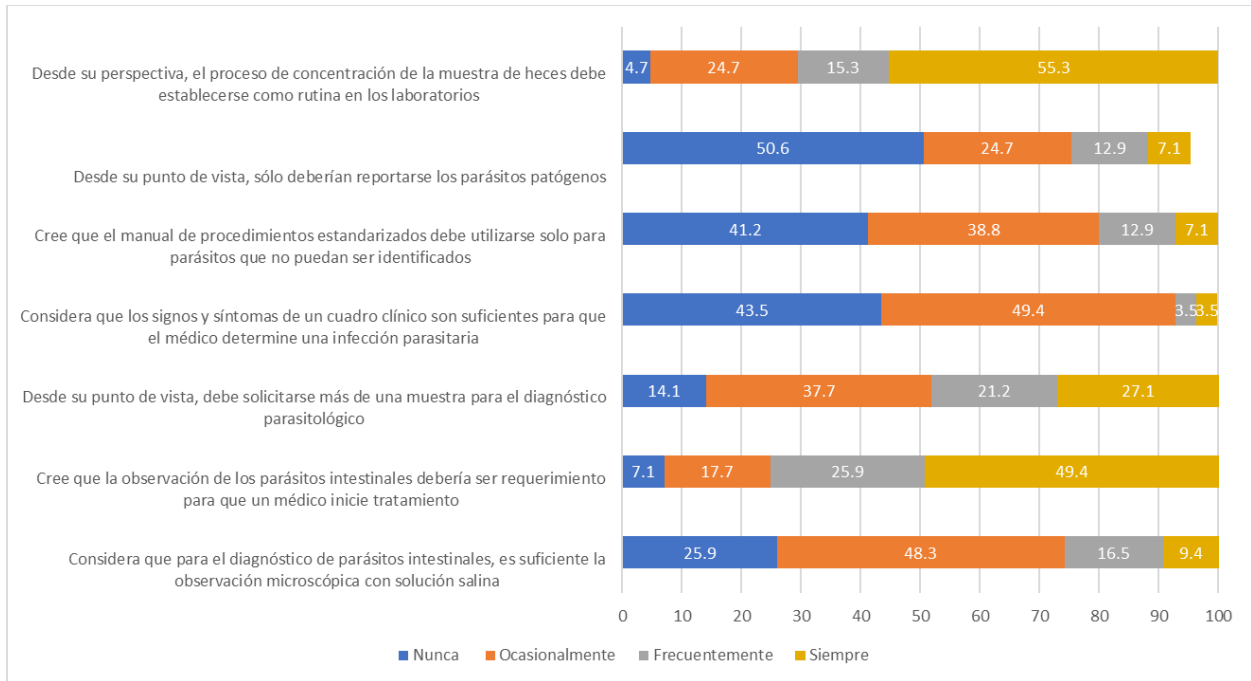


Figura 5

Recomendación sobre la observación de muestras seriadas cuando se sospecha de infecciones por parásitos intestinales

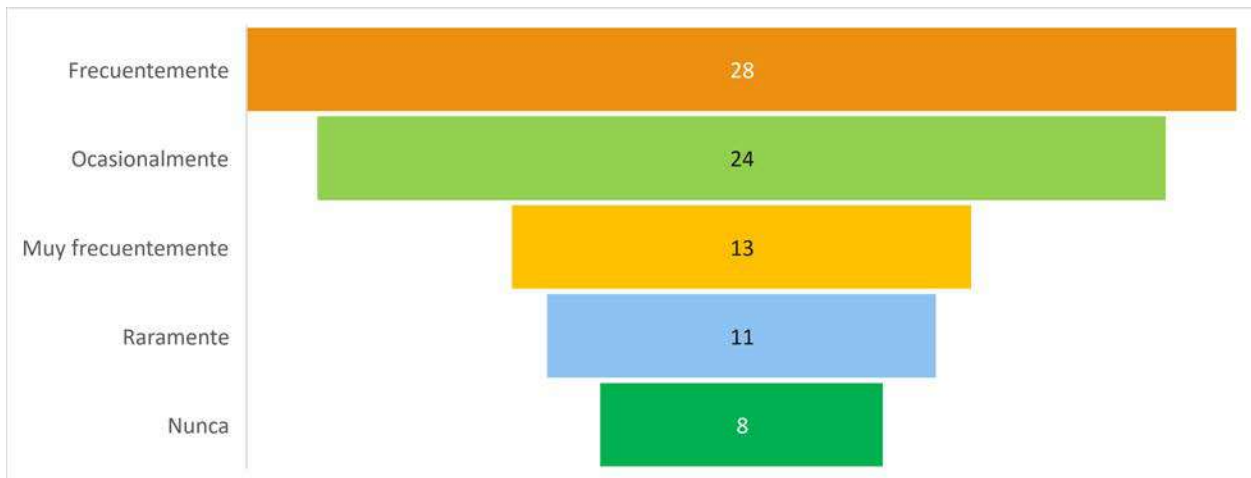


Figura 6

Número de muestras utilizadas para el diagnóstico parasitológico

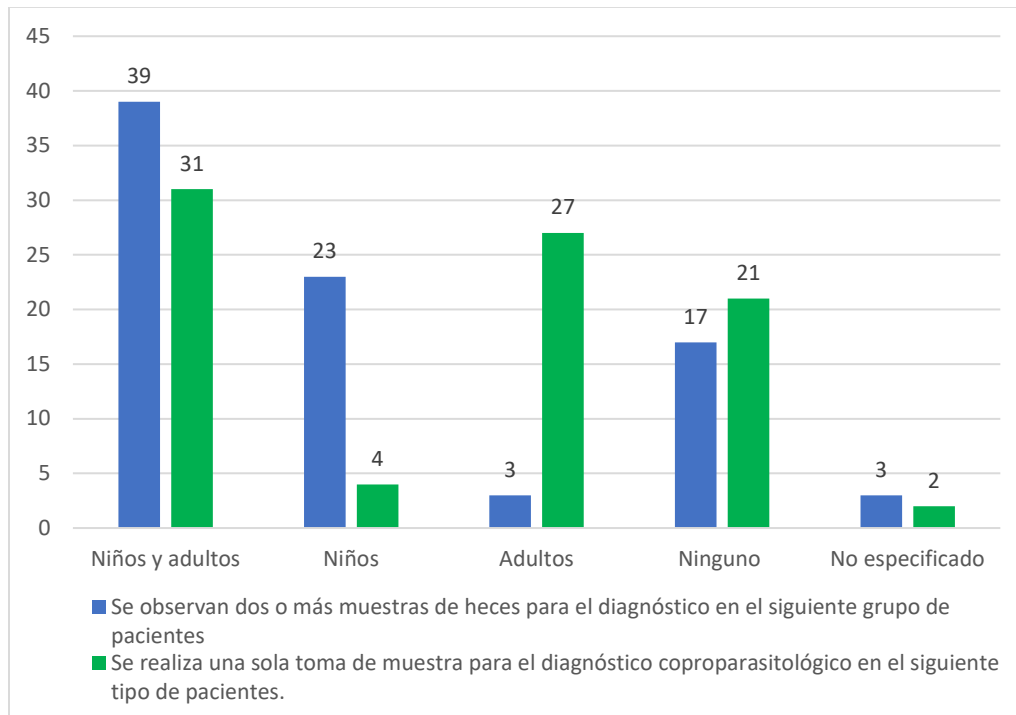


Figura 7

Otras técnicas de empleadas para el diagnóstico parasitológico

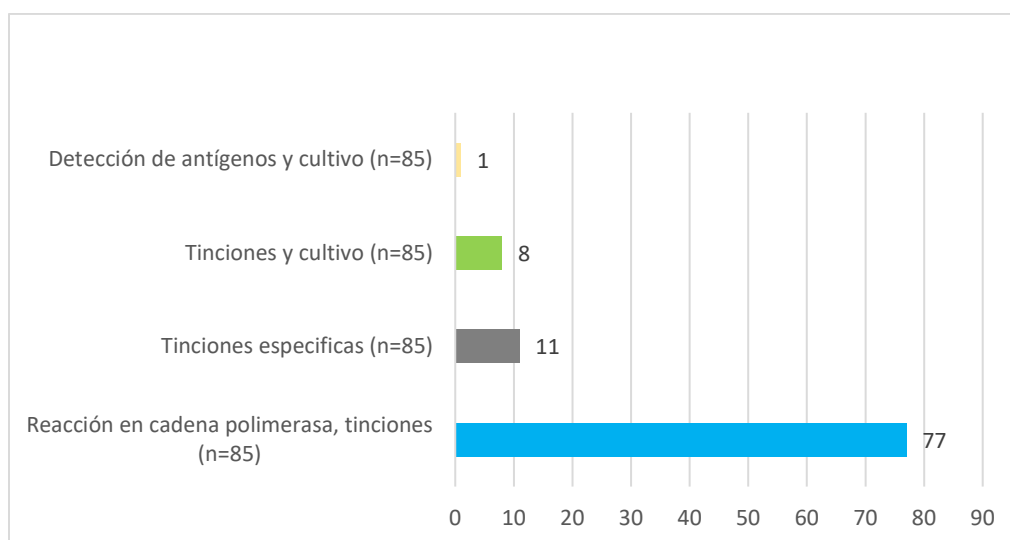


Figura 8

Parásitos frecuentemente diagnosticados

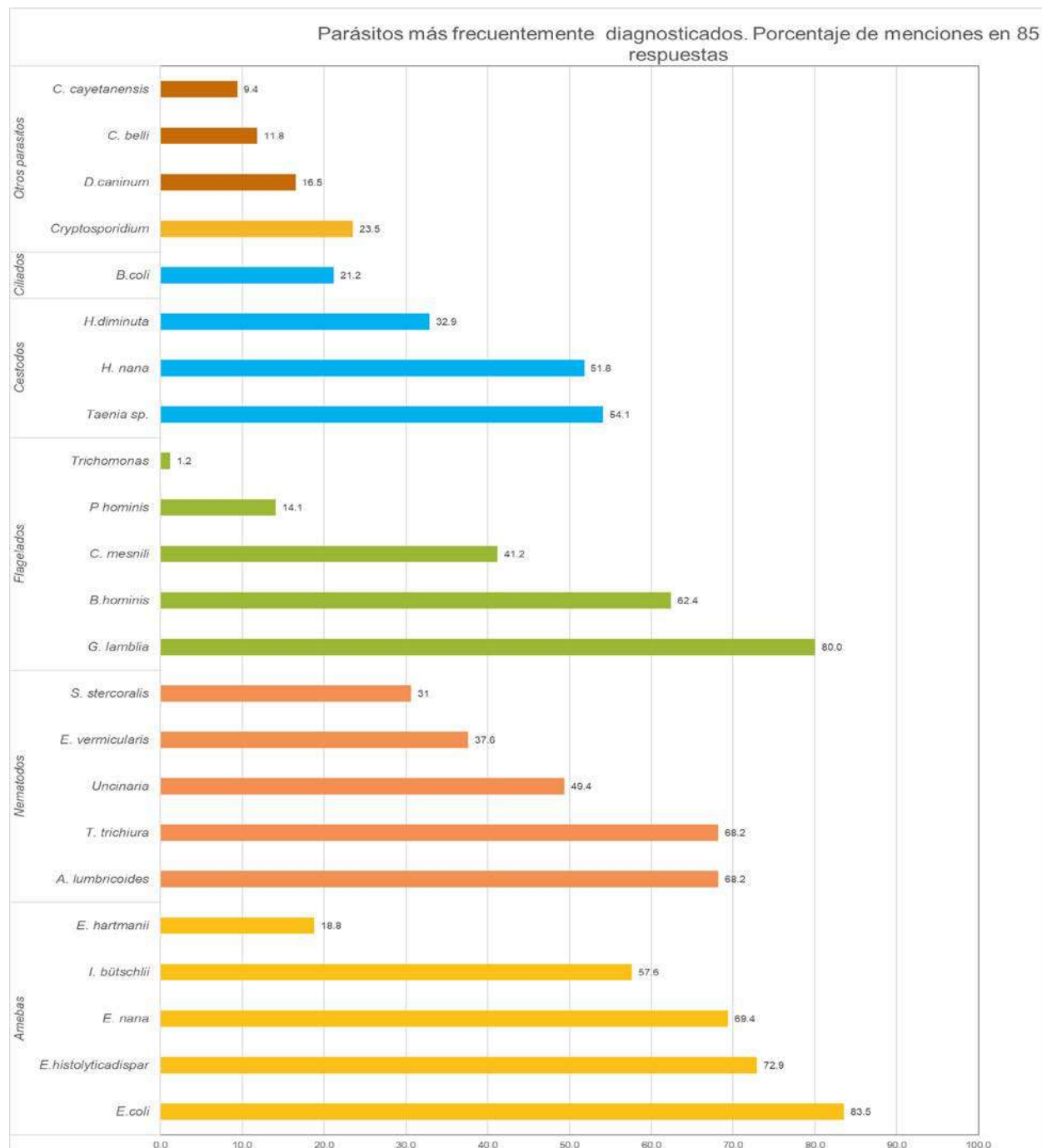
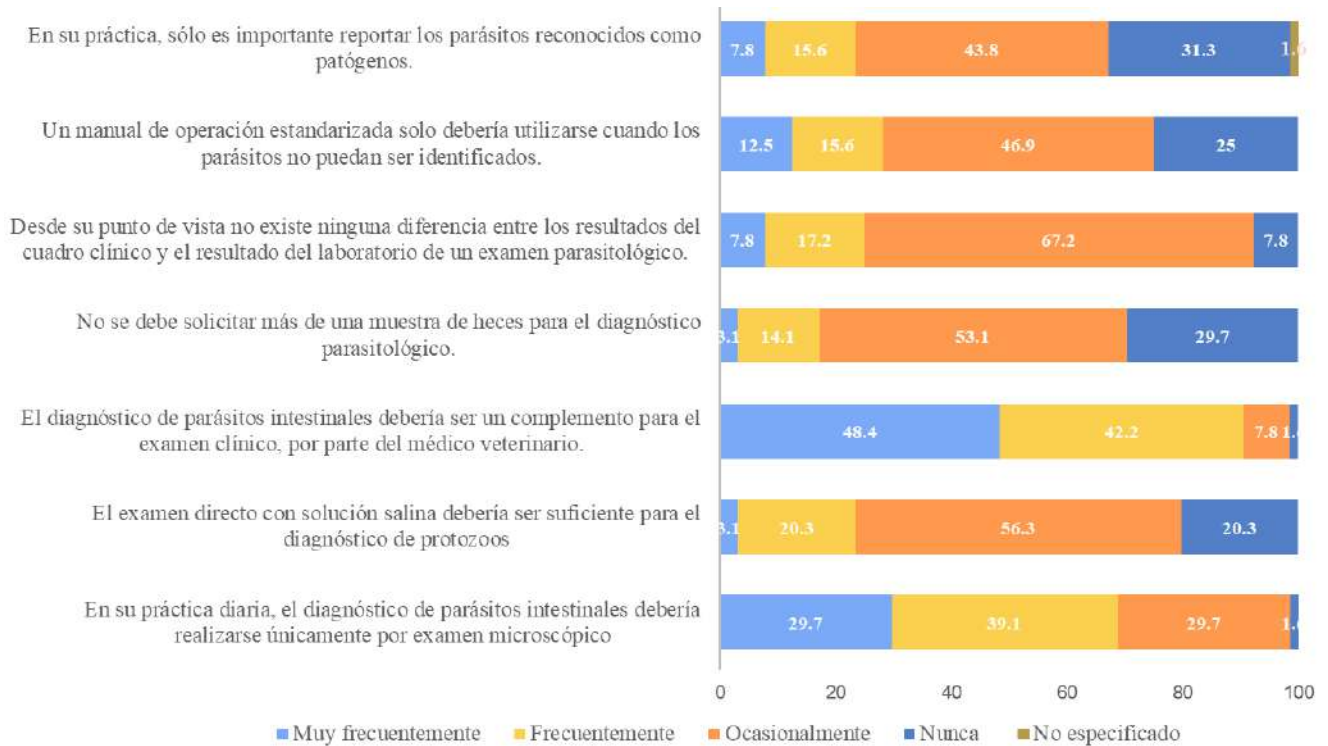


Figura 13

Resultados actitudes (CAP) profesionales salud veterinaria (n=64)



Nota: Se muestran los porcentajes para las actitudes profesionales en salud veterinaria

Figura 14

Actitudes (CAP) profesionales salud veterinaria (n=64) para el diagnóstico por flotación de las muestras de heces y la calidad del equipo óptico

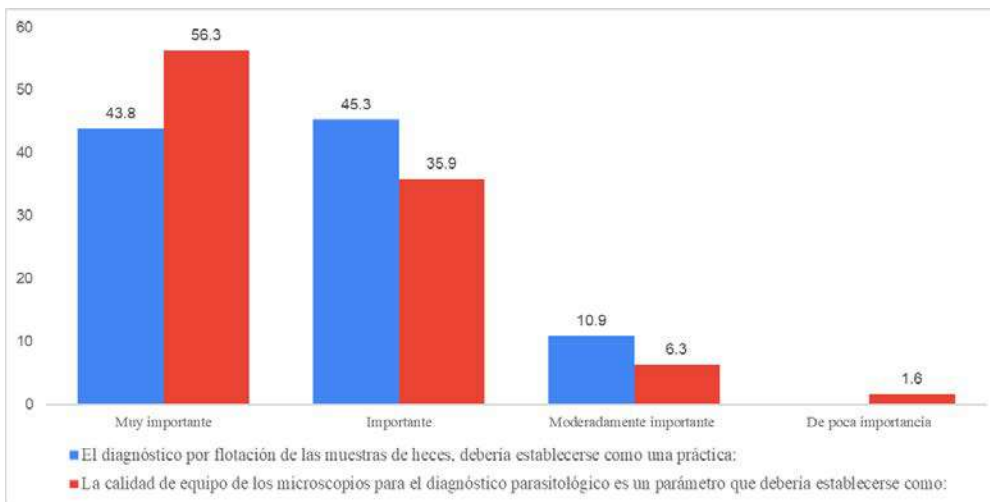


Figura 15

Criterio de importancia en el reporte de los siguientes parásitos

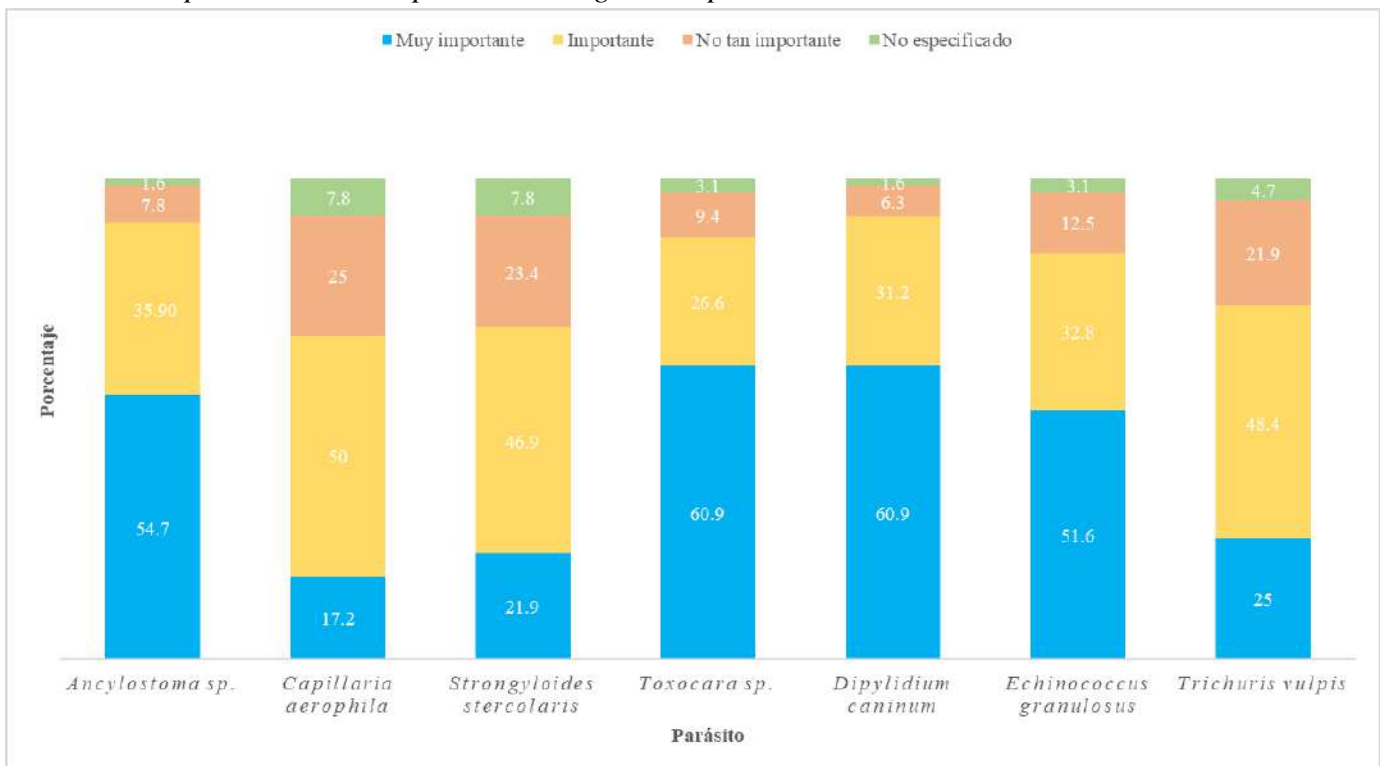


Figura 16

Resultados recomendación de hacer pruebas seriadas cuando se sospecha de infecciones por protozoos

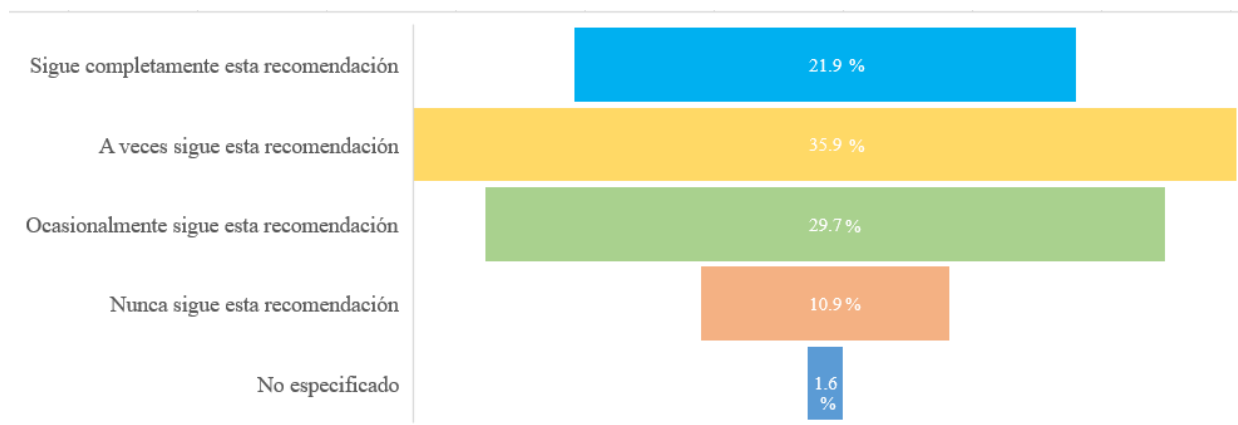


Figura 17

Número de toma de muestras para el diagnóstico según tipo de paciente

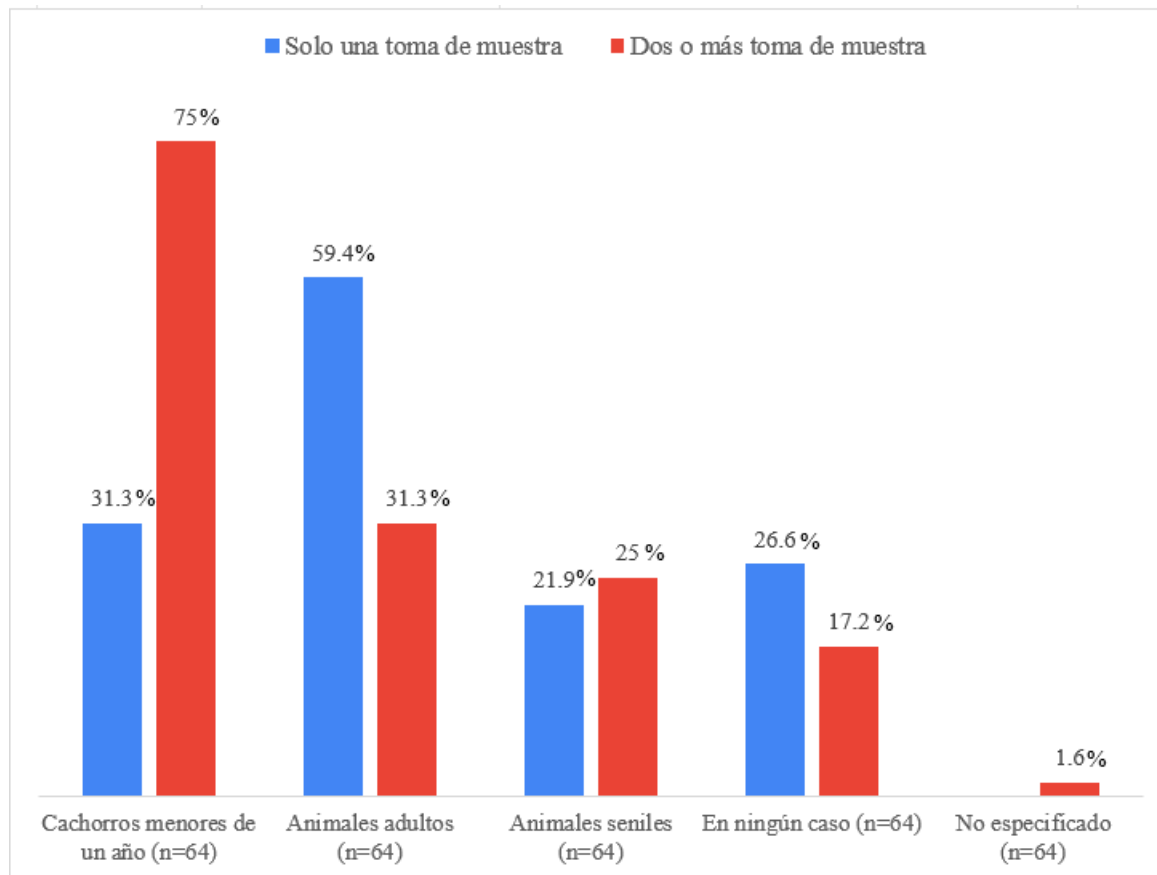


Figura 18

Importancia de las prácticas (CAP) profesionales veterinarios para la disponibilidad de materiales y realización de muestreo

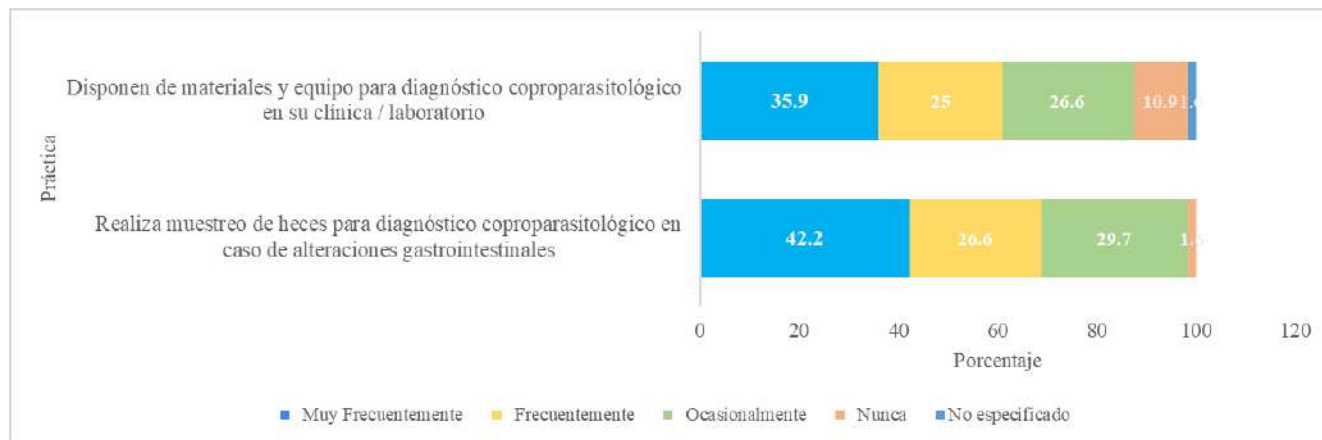


Figura 19

Resultado alguna vez ha solicitado técnicas diagnósticas avanzadas para el diagnóstico coproparasitológico

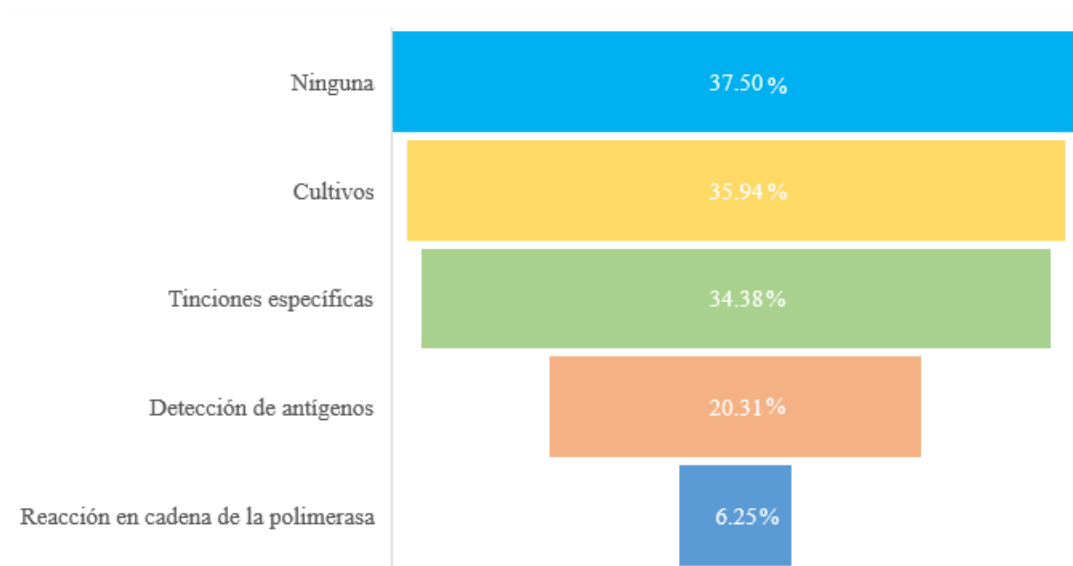
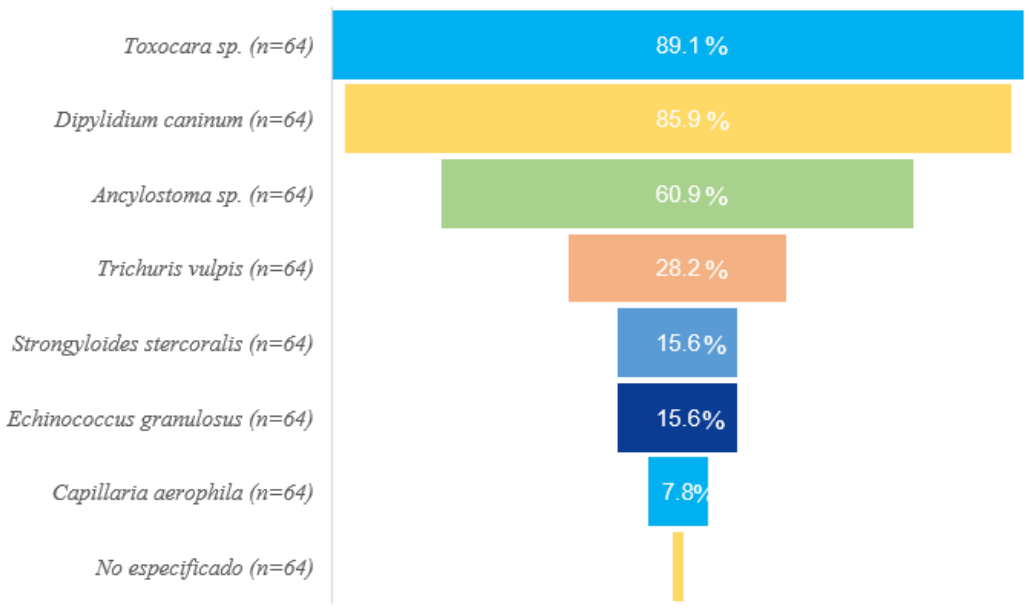
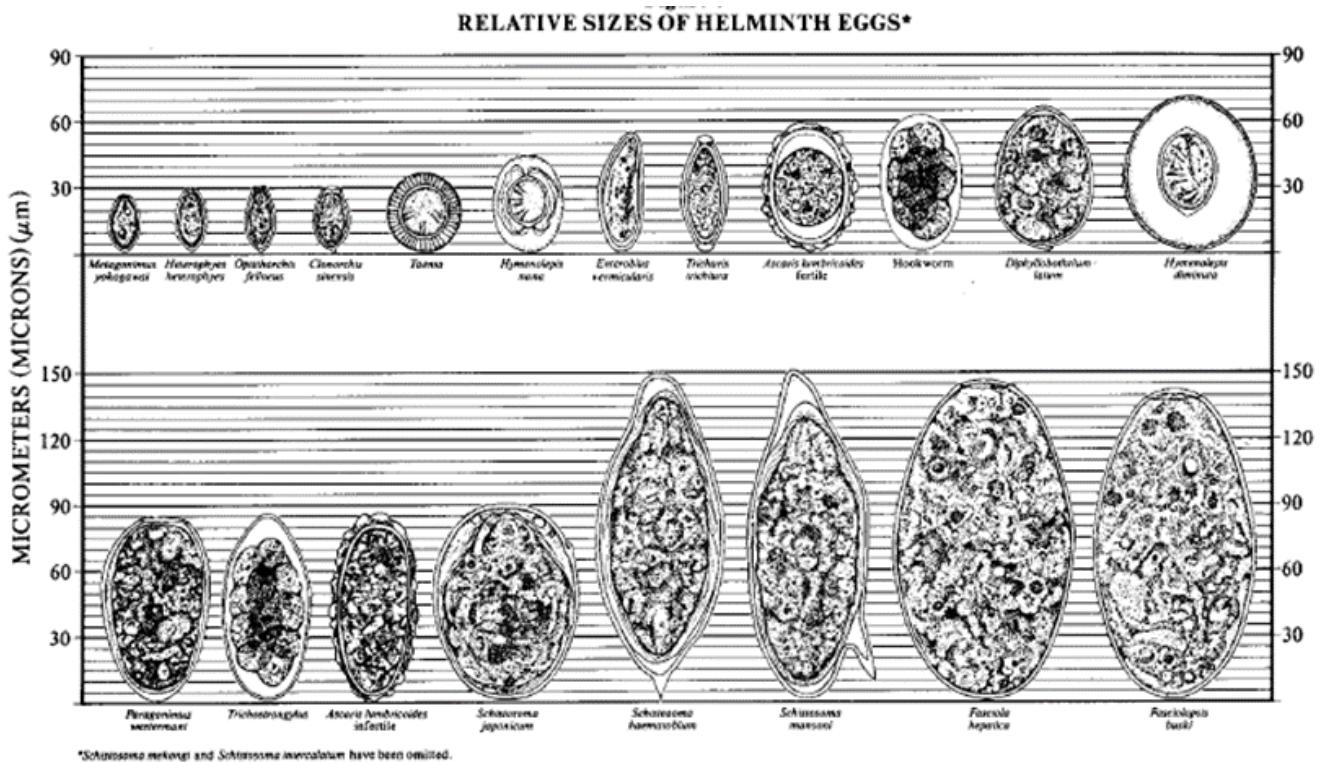


Figura 20

Resultados parásitos diagnosticados de forma rutinaria



Anexo 2: Diferencias en huevos de helmintos. Figura de morfología tomado de (Brooke & Melvin, 1984)



14. Aspectos éticos y legales

La información necesaria para el presente estudio no contará con ningún identificador personal de los pacientes o profesionales entrevistados, ya que las entrevistas se completarán de forma anónima y las muestras de heces serán codificadas con un número. A su vez, los registros clínicos como los de laboratorio serán codificados apropiadamente, sin incluir ninguna información personal vinculada al paciente. Ninguna información utilizada para este estudio se extraerá directamente de los pacientes o el personal.

15. Vinculación

El proyecto se vinculó con los Colegios profesionales de Farmacéuticos y Químicos de Guatemala, Médicos Veterinarios y Zootecnistas de Guatemala, y Asociaciones de profesionales así como con los estudiantes en Ejercicio Profesional Supervisado de la Escuela de Química Biológica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San de Guatemala.

16. Estrategia de difusión, divulgación y protección intelectual

Se efectuaron dos talleres para el fortalecimiento de la enseñanza de la Parasitología humana:

1)

Taller Virtual identificación Microscópica de parásitos, modalidad e-learning y un Taller Presencial identificación Microscópica de parásitos. Además, se creó una página web del curso “Identificación Microscópica de parásitos”. Por otra parte, el proyecto compartió internacionalmente sus avances en la 3era edición de la Noche Iberoamericana de I@s Investigador@s. Se ha preparado un artículo científico “Conocimientos, Actitudes y Practicas (CAP) y una aplicación basada en Inteligencia Artificial (IA) para el diagnóstico de parásitos intestinales, en el sector público (SP) y privado (SPr) de Guatemala” ante la revista Ciencia, Tecnología y Salud de la Dirección General de la Universidad de San Carlos de Guatemala con los lineamientos indicados por la DIGI.

17. Aporte de la propuesta de investigación

La colección de imágenes permitió la crear las bases de una aplicación que se utilizará con fines de diagnóstico y como apoyo a la enseñanza de los estudiantes de pregrado en las

facultades de Ciencias Químicas y Farmacia y de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), ODS4: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos (ONU, 2015). La colección de muestras se almacenará de manera adecuada para que se utilice en las actividades de laboratorio de los estudiantes.

El diseño de esta aplicación, se basará en las imágenes que se capturaron en el 2022, se la cual, además, se espera sea de utilidad diagnóstica en laboratorios a nivel nacional, el utilizar una aplicación electrónica permitirá cumplir con “Garantizar una vida sana y promover el bienestar en todas las edades es esencial para el desarrollo sostenible ODS3” (ONU, 2015) y una mejor información sobre la epidemiología de estas enfermedades a nivel nacional; permitiendo al MSPAS contar con datos de prevalencia en base a etiología; sobre todo porque el diagnóstico será de muy buena calidad. Por lo tanto, los beneficiados del proyecto, al culminar todas sus fases, serán los estudiantes de pregrado de Farmacia y Veterinaria de la USAC, los técnicos y profesionales que la utilicen con fines diagnósticos, el MSPAS al contar con datos de calidad y la población del país, en general, al recibir un diagnóstico certero y un tratamiento adecuado para la enfermedad parasitaria, contribuyendo, así, a cumplir con el ODS6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos, (ONU, 2015) ya que, conociendo la prevalencia de los parásitos, las medidas de saneamiento alcanzarán su objetivo y posteriormente, será más fácil realizar los controles de calidad en base a la prevalencia de los parásitos en la población.

La propuesta contribuirá a los siguientes ODS (ONU, 2015):

ODS 3 “Garantizar una vida sana y el bienestar para todos en todas las edades, indicador 3.3 “Para 2030, poner fin a las epidemias del SIDA, la tuberculosis, la malaria y las enfermedades tropicales desatendidas y combatir la hepatitis, las enfermedades transmitidas por el agua y otras enfermedades transmisibles”

ODS 4: “Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos, indicadores: 4.4 De aquí a 2030, aumentar considerablemente el número de jóvenes y adultos que tienen las competencias necesarias, en particular técnicas y profesionales, para acceder al empleo, el trabajo decente y el emprendimiento y 4.c De aquí a 2030, aumentar considerablemente la oferta de docentes


calificados, incluso mediante la cooperación internacional para la formación de docentes en los países en desarrollo, especialmente los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo”

ODS 6: “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”. Indicadores 6.2 De aquí a 2030, lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad”

Impacto esperado


Al validar externamente las imágenes necesarias para el desarrollo posterior de aplicación de inteligencia artificial para la identificación de parásitos, este estudio no solo podrá cimentarlas bases para el uso de una herramienta automatizada para el diagnóstico de parásitos intestinales, sino también, determinará cuales son las brechas que deben superarse para el desarrollo de una aplicación a nivel local y especialmente en el grupo de profesionales que se dedican a esta área. Se conocerán, además los procesos necesarios para incorporar este tipo de herramientas para la optimización de estos servicios y la calidad de estos. Al culminar todas sus fases, serán los estudiantes de pregrado y postgrado de Farmacia y Veterinaria de la USAC, los técnicos y profesionales que la utilicen con fines diagnósticos, el MSPAS al contar con datos de calidad y la población del país. En general, al recibir un diagnóstico certero y un tratamiento adecuado para la enfermedad parasitaria, se cumpliría con los ODS 3 ,4 y 6.

18. Orden de pago final

Nombres y apellidos	Categoría (investigador /auxiliar)	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.


NBlanca Elizabeth Samayoa Herrera Coordinadora del proyecto de investigación	 Firma
Fecha: 28/02/2023	

20. Aval del Director(a) del instituto, centro o departamento de investigación

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 Dra. María Eunice Enriquez Directora Instituto de Investigaciones Químicas Biológicas Facultad de CC. QQ yFarmacia	  Dra. María Eunice Enriquez Cottón Directora Firma
Fecha: 28/02/2023	

21. Visado de la Dirección General de Investigación

Vo.Bo. Lic. León Roberto Barrios Castillo Coordinador Programa Universitario de Educación	 Firma
--	---

Informe final proyecto de investigación 2022

Dirección General de Investigación –DIGI-

Fecha: 28/02/2023

Vo.Bo.
Ing. Rufino Salazar
Coordinador General de Programas
Universitarios de Investigación

Firma

Ing. MARI JULIO RUFINO SALAZAR SANCHEZ
Coordinador General de Programas de
Investigación, Digi-Usac

Fecha: 28/02/2023

Digi-2022