

## Evaluación de una aplicación basada en inteligencia artificial para el diagnóstico de parásitos intestinales

*Evaluation of an application based on artificial intelligence (AI) for the diagnosis of intestinal parasites and its potential use in Guatemala*

Blanca Samayoá-Herrera <sup>1</sup>, Anneliese Moller-Sundfeldt <sup>1</sup>, Martín Gil-Carrera <sup>1</sup>,  
Mildred Alquijay-Pacheco <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Química Biológica. <sup>2</sup>Programa de Experiencias Docentes con la Comunidad de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala

\*Autor al que se dirige la correspondencia: [besamayoah@gmail.com](mailto:besamayoah@gmail.com)

Recibido: 07 de abril 2022 / Revisión: 08 de mayo 2023 / Aceptado: 14 de noviembre 2023

### Resumen

En Guatemala, las infecciones parasitarias intestinales representan una de las prevalencias más altas en Latinoamérica, sin embargo, la observación de la morfología microscópica de estos microorganismos sigue siendo el estándar de oro para su diagnóstico. Esta metodología compromete los resultados en cuanto a la calidad y disponibilidad de personal calificado, por lo que la búsqueda de alternativas basadas en inteligencia artificial (IA) representan un método preciso y complementario en este campo. El objetivo de este estudio fue determinar la exactitud y precisión de una herramienta de uso gratuito para la identificación de parásitos intestinales basada en IA. Se procesaron 314 muestras, se encontraron 266 parásitos y se generaron 1,051 fotografías. De este archivo, 181 imágenes fueron seleccionadas, como patrón de referencia, que luego fue comparado con la identificación a través de la aplicación de IA Parasite ID (<https://parasite.id/>). El análisis se realizó a través de las métricas de sensibilidad, especificidad, exactitud, concordancia y curva ROC, con un intervalo de confianza del 95%. Los resultados para Parasite ID fueron: sensibilidad 25.2%, IC 95% [17.2,34.4]; especificidad 79.5%, IC 95% [69.8,87.8]; exactitud 48.6%, IC 95% [41.1,56.1] y la concordancia de un 4.3%, IC 95% [-6.9,15.5]. El área bajo la curva ROC, fue de 59.9%, IC 95% [52.4 - 67.1]. Con estos resultados se evidenció la necesidad de mejorar las métricas evaluadas y ampliar el catálogo de los parásitos de importancia clínica en el caso que se desarrolle una aplicación a nivel local.

Palabras clave: Parásitos intestinales, inteligencia artificial, concordancia, validez

### Abstract

In Guatemala, intestinal parasitic infections represent one of the highest prevalence in Latin America; however, the observation of the microscopic morphology of these microorganisms continues to be the gold standard for their diagnosis. This methodology compromises the results in terms of the quality and availability of qualified personnel, subsequently the search for alternatives based on artificial intelligence (AI) represents a precise and complementary method in this field. The objective of this study was to determine the accuracy and precision of a free-to-use AI-based parasite identification tool; 314 samples were processed, 266 parasites were found, and 1,051 photographs were generated. From this file, 181 images were selected, as a reference standard, which was then compared with the identification through the AI application Parasite ID (<https://parasite.id/>). The analysis was carried out through the metrics of sensitivity, specificity, accuracy, agreement grade, and ROC curve, with a 95% confidence interval. The results for Parasite ID were sensitivity 25.2%, CI 95% [17.2,34.4]; specificity 79.5%, 95% CI [69.8,87.8]; accuracy 48.6%, 95% CI [41.1,56.1] and agreement grade 4.3%, 95% CI [-6.9,15.5]. The area under the ROC curve was 59.9%, 95% CI [52.4 - 67.1]. These results highlighted the need to improve the evaluated metrics and expand the catalog of parasites of clinical importance in the event that an application is developed at the local level.

Keywords: Intestinal parasites, artificial intelligence, agreement, validity



## Introducción

Las infecciones parasitarias intestinales presentan altas prevalencias en el mundo, especialmente en los trópicos y en países en vías de desarrollo. Para el 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estimó que en los países latinoamericanos una de cada tres personas estaba infectada, siendo Guatemala uno de los países con más infecciones (OPS/OMS, 2022). La observación microscópica de la morfología de los parásitos continúa siendo el estándar de oro para su diagnóstico (Smith et al., 2020), este método tiene las ventajas de ser accesible, económico y fácil de efectuar; aunque presenta inconvenientes como una baja sensibilidad y especificidad para detectar algunos protozoos intestinales, esto se explica por los métodos de tratamiento de las muestras, falta de recursos humanos y el consumo de tiempo dedicado a la observación, lo que provoca cansancio en el personal (Ryan et al., 2017). En Guatemala, el método de elección para el diagnóstico de los parásitos sigue siendo la observación directa de la morfología (Cook et al., 2009). Por otro lado, ha sido documentado que el uso de una aplicación basada en inteligencia artificial (IA) podría optimizar la observación microscópica de parásitos al apoyar en su identificación (Mathison et al., 2020).

La búsqueda de alternativas como la detección automatizada de parásitos y el análisis de las imágenes, a través de IA pueden convertirse en una solución a esta problemática. Este tipo de análisis representa una analogía de la conectividad de la óptica humana y puede mejorarse a través de una serie de algoritmos en programas de computación que utilizan inteligencia artificial (Smith et al., 2020).

A pesar de que este tipo de aplicaciones no se ha desarrollado en el país, se tuvo la oportunidad de evaluar una aplicación de uso gratuito, Parasite ID (<https://parasite.id/>) que presenta la opción de cargar imágenes de parásitos captadas desde un teléfono móvil, una cámara en un microscopio óptico convencional o tomar las imágenes a partir de un foldoscopio acondicionado a un teléfono móvil; sin embargo, cuenta con una gama limitada de parásitos para identificar.

Por esta razón, el uso de esta creó un espacio de oportunidad para el desarrollo a futuro, de una aplicación a nivel local y por lo tanto apropiarla al contexto guatemalteco.

En consecuencia, el objetivo de esta investigación fue evaluar una aplicación basada en inteligencia artificial para el diagnóstico de parásitos y determinar las brechas para su potencial uso en Guatemala. Para el efecto se evaluó, la sensibilidad, especificidad, exactitud, concordancia y curva ROC de la aplicación Parasite ID (<https://parasite.id/>) para la identificación de parásitos con respecto a un patrón de referencia que incluyó parásitos endémicos reportados en el contexto guatemalteco.

## Materiales y Métodos

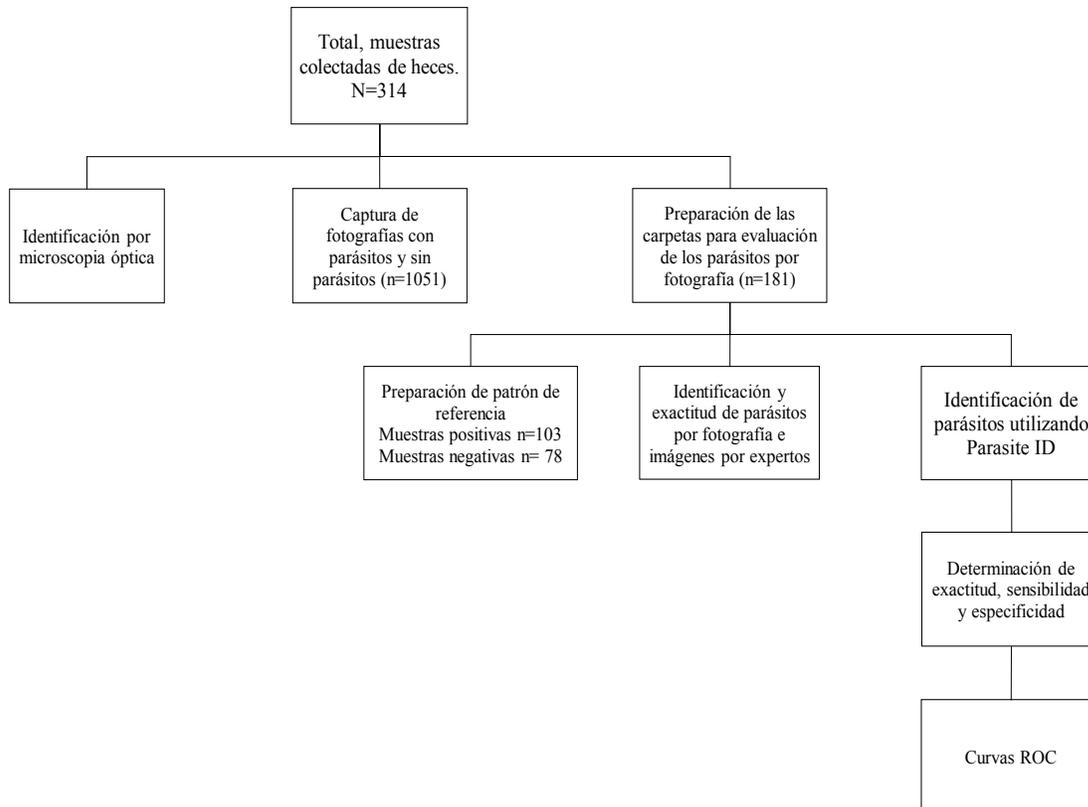
El diseño de esta investigación fue de tipo observacional descriptivo, se desarrolló con el apoyo de los estudiantes en prácticas del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) de la Escuela de Química Biológica en diferentes centros del país, quienes recolectaron y enviaron alícuotas de muestras de heces preservadas en formalina al 10% durante el segundo semestre de 2021. En el diagrama de la Figura 1 se presenta el flujo de trabajo para la selección de parásitos e imágenes, la evaluación por los expertos del proyecto y la aplicación de Parasite ID (<https://parasite.id/>).

### Recolección de datos

Para la recolección de la información de las muestras enviadas por los estudiantes en EPS, se preparó un formulario en *Google Forms*, los campos incluidos fueron: fecha y código de colección de la muestra, datos de edad y sexo de los pacientes, parásito observado. También se agregaron campos de las características para cada parásito, que luego fueron codificadas para la clasificación de estos. Se agregó una variable denominada decodificación para el análisis final de la base de datos.

**Figura 1**

Diagrama de trabajo para la evaluación de la exactitud y concordancia de la aplicación Parasite ID



## Técnicas e instrumentos

Las muestras se recibieron preservadas en formalina al 10% y se procesaron en los laboratorios del Departamento de Microbiología de la Escuela de Química Biológica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Todos los especímenes, fueron identificados con un código. Las muestras se procesaron mediante sedimentación rápida (centrifugación) por 5 min a 3,000 rpm. para concentrar cualquier parásito presente. Los sedimentos se prepararon en solución salina y yodo de lugol (García, 2021), luego se examinaron con microscopio óptico. Sobre estas preparaciones se llevaron a cabo las evaluaciones manuales y se tomaron las fotografías pertinentes a cada parásito utilizando un microscopio óptico Leica DM750 con cámara o con un teléfono móvil; para esto último se utilizó el adaptador diseñado por Quinn y colaboradores (2016).

## Identificación de los parásitos

Los parásitos seleccionados en cada una de las muestras fueron identificados según las características descritas previamente en el manual de identificación de la Organización Mundial de la Salud y literatura complementaria (García, 2021). El parasitólogo del grupo de investigación efectuó a las confirmaciones necesarias como control de calidad.

## Digitalización de imágenes

Para la digitalización de imágenes se utilizó un microscopio óptico (Leica DM750) equipado con una cámara de 5.0 megapíxeles (Leica ICC50) con aumentos de 100x, 400x y 1000x, la digitalización se realizó por medio del programa LAS V49 en formato tif. Para todas las fotografías se utilizó la fuente de luz a

una intensidad apropiada con un difusor y colimador para evitar la luz punteada. Las imágenes captadas por medio de teléfonos móviles se tomaron con la cámara en su máximo acercamiento óptico, con enfoque automático, en formato jpg. Estas imágenes fueron almacenadas digitalmente en archivos específicos para cada parásito o como muestras con resultados negativos, con las siguientes etiquetas: (a) morfología básica de identificación del parásito; (b) presencia de uno o varios parásitos en la misma fotografía; (c) identificación del parásito, aunque estuviera parcialmente oculto; y (d) en el caso de las muestras negativas se seleccionaron aquellas estructuras que simulaban la morfología de un parásito.

### Tamaño de muestra para el patrón de referencia

Para el cálculo del tamaño de muestra se asumió que la aplicación de Parasite ID (<https://parasite.id/>), como una nueva prueba de diagnóstico a comparar con un patrón de referencia de una cohorte en la que se desconocía la prevalencia (Akoglu, 2022). El tamaño de muestra se estimó con un poder del 80% y un error marginal del 5%. La exactitud de la aplicación fue tomada del sitio web de la aplicación (<https://parasite.id/>) menor o igual a un 99%; mientras que para el patrón de referencia se consideró en  $\leq 95\%$ . El tamaño de muestra ascendió a 181 muestras con la corrección de Yates para continuidad (<https://turkjemergmed.com/calculator>). Este número se distribuyó en imágenes con ( $n = 103$ ) y sin imágenes de parásitos ( $n = 78$ ), las cuales conformaron el patrón de referencia.

### Patrón de referencia

Las imágenes incluidas en el patrón de referencia fueron evaluadas por los expertos en Parasitología del equipo de investigación. Estas observaciones fueron ingresadas en una base de datos registrándolas como parásitos/no parásitos según fuera el caso. A su vez el género y especie fueron anotados en las imágenes con presencia de parásitos. Con lo anterior, el patrón de referencia consistió en imágenes con parásitos ( $n = 103$ ) que incluyó a cuatro parásitos endémicos de Guatemala que aparecían en el catálogo Parasite ID (Parasite ID, n.d.). Con esto se esperaba que Parasite ID, debería identificar 103 parásitos correctamente de la siguiente manera: *Ascaris lumbricoides* ( $n = 30$ ),

*Hymenolepis nana* ( $n = 31$ ), *Trichuris trichiura* ( $n = 30$ ) y *Taenia* sp ( $n = 12$ ). Las imágenes sin parásitos incluyeron 48 imágenes con otros parásitos y 30 imágenes que presentaban imágenes de artefactos que simulaban parásitos; de estas se esperaba que fueran reconocidas como imágenes negativas.

### Uso de la aplicación de IA - Parasite ID

Para el reconocimiento de las imágenes se utilizó una plataforma de uso gratuito Parasite ID (<https://parasite.id/>) la cual puede identificar huevos de *Schistosoma mansoni*, *S. haematobium*, *S. japonicum*, *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Taenia* sp, *Hymenolepis nana* y *Fasciola hepatica*, con una sensibilidad y especificidad, según se indica, menor o igual a un 99% para ambas mediciones. La imagen de cada parásito o artefacto incluido en el estudio, se descargó en esta aplicación en formato jpg, con 300 a 900 kbs. La exactitud de la identificación se anotó y evaluó posteriormente al decodificar cada muestra.

### Procesamiento y análisis de la información

Luego de que cada imagen fue subida a la aplicación Parasite ID (<https://parasite.id/>), el rendimiento en cuanto a exactitud y precisión de la aplicación fue medido a través de las métricas de sensibilidad, especificidad, exactitud, cocientes de probabilidad positivo y negativo, la curva ROC (Donis, 2012) y la concordancia (Abraira, 2001). Para ello se construyeron tablas 2x2 para calcular la relación entre la identificación de una imagen con parásitos y sin parásitos en correspondencia con los resultados obtenidos a través del patrón de referencia y Parasite ID (<https://parasite.id/>); Bravo-Grau & Cruz Q., 2015), mientras los cálculos se efectuaron a través de MedCalc Statistical Software, versión 22.009 (MedCalc Software bv, Ostend, Belgium; <https://www.medcalc.org>; 2023). Con respecto al patrón de referencia la sensibilidad se determinó como la identificación correcta de una imagen con parásitos o positiva y la especificidad como la identificación correcta de una imagen sin parásitos o negativa y la exactitud fue definida como el porcentaje de las imágenes clasificadas correctamente por Parasite ID (verdaderos positivos y verdaderos negativos) (Arias & Molina, 2013a). Mientras el cociente de probabilidad positivo (CP+) se definió como los resultados de las imágenes positivas en relación a la proporción de imágenes sin

parásitos con imagen positiva por Parasite ID, los valores mayores de CP+ indicaron mejor capacidad para identificar los parásitos (CP+ = sensibilidad/1-especificidad); mientras el cociente de probabilidad negativo (CP-), se estimó al dividir la proporción de imágenes con imágenes negativas entre la proporción de imágenes sin parásitos con prueba negativa por Parasite ID (CP+ = 1-sensibilidad/ especificidad). Los valores de CP- menores indicaron una mejor identificación por la aplicación (Gómez González et al., 2007). Con la curva ROC (receiver operating characteristic) se relacionó la proporción de verdaderos positivos (sensibilidad) con la proporción de falsos positivos (1-especificidad) y el área bajo la curva ROC (AUC, area under the curve) para determinar la mejor identificación de las imágenes con o sin parásitos según estos parámetros (Arias & Molina, 2013a; Landis & Koch, 1977). El análisis de concordancia se midió como el acuerdo o grado de coincidencia entre los resultados derivados del patrón de referencia y Parasite ID, para ello se estimó el índice Kappa (Abaira, 2001; Gómez González et al., 2007; Landis & Koch, 1977).

Todas las métricas se estimaron con un intervalo de confianza del 95% (Arias & Molina, 2013b; Bravo-Grau & Cruz Q., 2015; O'Brien & Yi, 2016). Las comparaciones de las proporciones se efectuaron a través de tablas de contingencia y una prueba de ji-cuadrado con un nivel de significancia del .05 (MedCalc Software bv, Ostend, Belgium; <https://www.medcalc.org>; 2023).

## Aspectos Éticos

Los datos de este estudio fueron codificados apropiadamente sin identificadores personales de los pacientes. El estudio fue aprobado por el Comité de Bioética en Investigación en Salud de la Universidad de San Carlos de Guatemala (AC-024-2020).

## Resultados

En 314 muestras recibidas, 160 (51.0%) presentaron parásitos y en 154 (49%) no se observaron parásitos. De las muestras, 224 (71.3%) provenían de mujeres y 87 (27.7%) de hombres; la edad osciló desde niños menores de un año hasta personas de 78 años. La mayoría de las muestras positivas a parásitos se encontraron en 117 (52.2%) mujeres; 169 (53.9%) personas en los grupos de edad de 19 a los 50 años; 81 (41.38%)

de los centros de salud y 79 (66.9%) de los hospitales nacionales, ver la Tabla 1.

En relación con el género y especie de los parásitos identificados ( $N = 266$ ); la mayor frecuencia la presentaron las amebas ( $n = 209$ ), con predominio de *E. coli* ( $n = 70$ ). Otros parásitos identificados fueron los nematodos en los que *A. lumbricoides* ( $n = 12$ ) fue el parásito más frecuentemente observado, ver la Figura 2. Los demás grupos presentaron menor cantidad de observaciones o no se encontraron.

Tanto de las muestras, positivas como negativas, se lograron capturar 1,051 fotografías de las cuales se seleccionaron 181 como patrón de referencia, el que fue evaluado por el equipo de expertos parasitólogos. Las estimaciones de este proceso fueron similares tanto para la sensibilidad como la especificidad, 94.7%; IC 95% [90,97] e idénticos para la concordancia, 85.6%, IC 95% [75.8,95.3]. Aunque el principal desacuerdo de los expertos giró alrededor las imágenes correspondientes a huevos de *Enterobius vermicularis* por sus características morfológicas y ooquistes de *Cystoisospora belli* por su grado de inmadurez, sin embargo, se llegó al acuerdo de que fueran presentadas a Parasite ID (<https://parasite.id/>) en la categoría de otros parásitos. El total de imágenes ( $n = 181$ ) así evaluadas por el panel de expertos fueron mostrados para su identificación, ante Parasite ID, tal y como se describió anteriormente, ver Figura 3, Figura 4, Figura 5 y Figura 6.

Los resultados de la evaluación de la exactitud y fiabilidad de Parasite ID, se presentan en la Tabla 2. Se observa que la sensibilidad de Parasite ID fue de 25.2%, IC 95% [17.2,34.4], con una identificación correcta de uno de cada cuatro parásitos. Con respecto a la especificidad fue de 79.5%; IC 95% [69.8,87.8]. En cuanto a la concordancia, esta fue considerada como pobre (McHugh, 2012) ya que alcanzó un 4.3%, IC 95% [-6.9,15.54], mientras que los valores de los coeficientes de probabilidad positivos y negativos alcanzaron valores cercanos a uno. Por último, la exactitud encontrada fue de un 48.6%, IC 95% [41.1,56.1], considerada como baja. En cuanto a la curva ROC, el área bajo la curva (Figura 1. Materiales Suplementarios) fue de 59.9% IC 95% [52.4 - 67.1] (Metz, 2008); la sensibilidad fue de un 26.5%, IC 95% [19.6 - 34.3] y la especificidad de 93.3%, IC 95% [77.9-99.2]. Al comparar ambos resultados no se encontró diferencia significativa para la sensibilidad ( $\chi^2 (1,103) = 0.09, p = .77$ ) mientras que para la especificidad sí fue significativo ( $\chi^2 (1,78) = 6.28, p < .01$ ) entre una y otra medición. En lo que concierne a los valores del CPP aumentó a 3.9%

**Tabla 1**  
*Características demográficas y diagnóstico de parásitos intestinales*

| Características                     | Diagnóstico de parásitos |        |           |        |          |        |
|-------------------------------------|--------------------------|--------|-----------|--------|----------|--------|
|                                     | Total                    |        | Presencia |        | Ausencia |        |
|                                     | n                        | %      | n         | %      | n        | %      |
| Sexo                                |                          |        |           |        |          |        |
| Femenino                            | 224                      | (71.3) | 117       | (52.2) | 107      | (47.8) |
| Masculino                           | 87                       | (27.7) | 40        | (46.0) | 47       | (54.0) |
| ND                                  | 3                        | (01.0) | 3         | (01.0) | (-)      | (-)    |
| Grupos de edad en años <sup>a</sup> |                          |        |           |        |          |        |
| 0-1                                 | 5                        | (01.6) | 5         | (100)  | 0        | (-)    |
| 2-12                                | 26                       | (08.3) | 11        | (42.3) | 15       | (57.7) |
| 13-18                               | 30                       | (09.6) | 14        | (46.7) | 16       | (53.3) |
| 19-30                               | 101                      | (32.2) | 57        | (56.4) | 44       | (43.6) |
| 31-50                               | 68                       | (21.7) | 41        | (60.2) | 27       | (39.8) |
| 51-78                               | 30                       | (09.6) | 16        | (53.3) | 14       | (46.7) |
| ND                                  | 54                       | (17.2) | 10        | (18.5) | 44       | (81.5) |
| Centro de atención                  |                          |        |           |        |          |        |
| Centro de salud                     | 196                      | (62.4) | 81        | (41.3) | 115      | (58.7) |
| Hospital                            | 118                      | (37.6) | 79        | (66.9) | 39       | (33.1) |

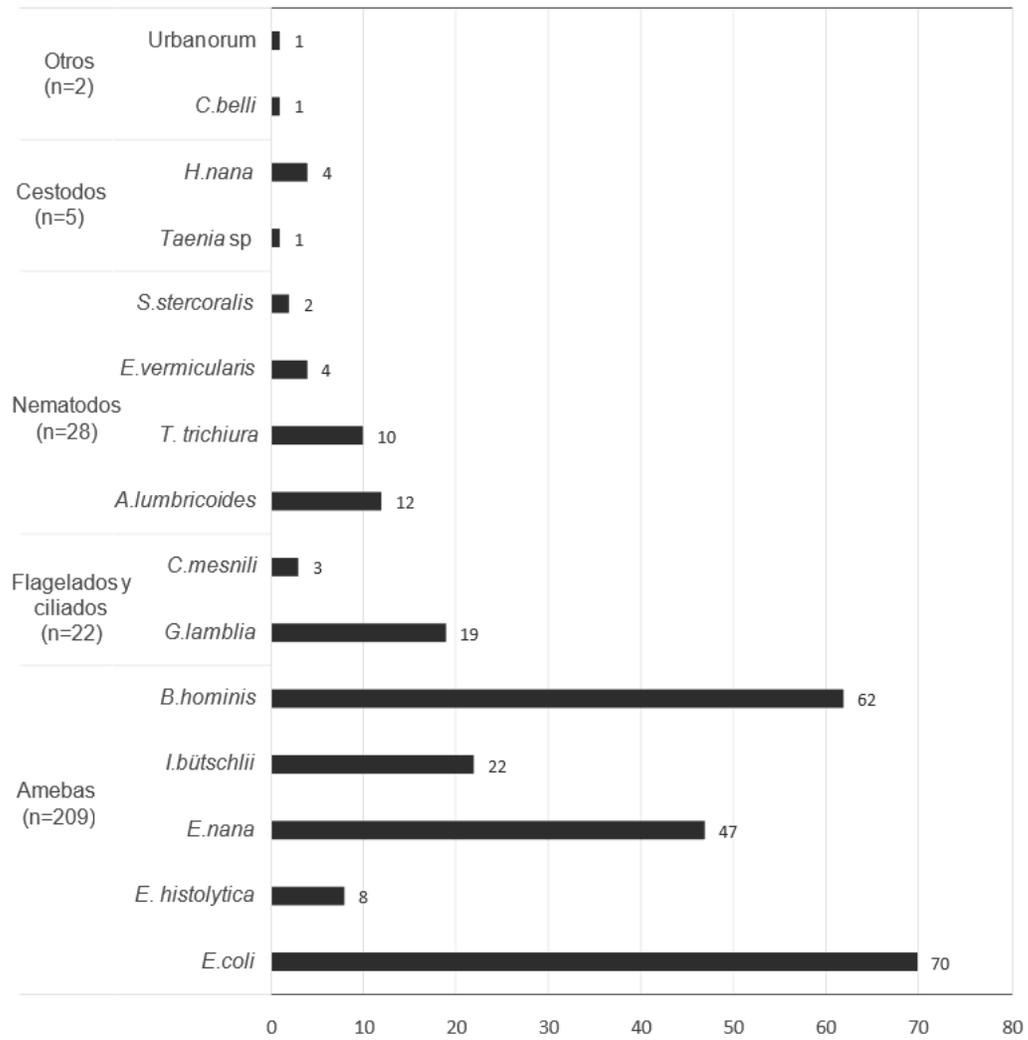
*Nota.* La tabla describe la procedencia de las muestras.  $N = 314$  ( $n = 160$ , Presencia:  $n = 154$ , Ausencia)

<sup>a</sup>La media de edad de los participantes fue de 28.9 años ( $DE = 15.99$  años; mediana = 26 años; rango intercuartil = 18 años)

ND = No determinado

**Figura 2**

Género y especies de parásitos identificados



Nota. N = 314

**Figura 3**

Imágenes de parásitos identificados en la aplicación Parasite ID. Identificación correcta de huevos de *Hymenolepis nana*

**Try it!**

1. Click a sample image above to test this tool.
2. Click "Get Prediction!" below to see it in action.

**- OR -**

**Upload your own microscopy image to get a prediction:**

Choose File | 21-185-7az.tif.jpg

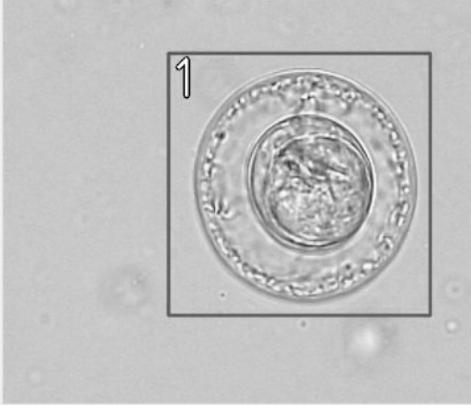
Yes, this image may be saved by Parasite ID. This helps us further our research and improve the tool.

**Get prediction!**

This app is not FDA approved for commercial use.

**Results according to our analysis of your image:**

| Object | Parasite                                   | Percent Confidence |
|--------|--|--------------------|
| 1      | Dwarf tapeworm ( <i>Hymenolepis nana</i> ) | 99.99%             |



**Figura 4**

Imágenes de parásitos identificados en la aplicación Parasite ID. Identificación correcta de Huevos de *Ascaris lumbricoides*

**- OR -**

**Upload your own microscopy image to get a prediction:**

Choose File | 21-011-44 cmra.tif.jpg

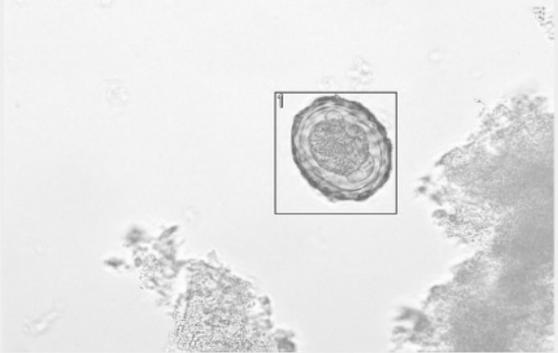
Yes, this image may be saved by Parasite ID. This helps us further our research and improve the tool.

**Get prediction!**

This app is not FDA approved for commercial use.

**Results according to our analysis of your image:**

| Object | Parasite                                  | Percent Confidence |
|--------|---|--------------------|
| 1      | Roundworm ( <i>Ascaris lumbricoides</i> ) | 90.74%             |



**Figura 5**

Imágenes de parásitos identificados en la aplicación Parasite ID. Identificación incorrecta de un artefacto

1. Click a sample image above to test this tool.  
2. Click "Get Prediction!" below to see it in action.

- OR -

**Upload your own microscopy image to get a prediction:**

Choose File 20210728\_115201.jpg

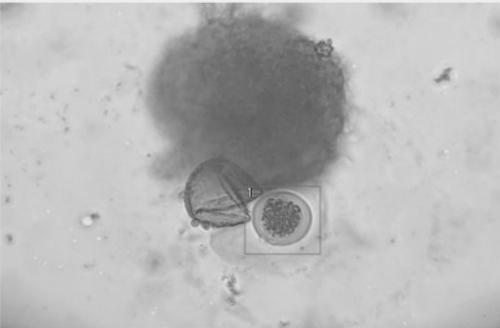
Yes, this image may be saved by Parasite ID. This helps us further our research and improve the tool.

**Get prediction!**

This app is not FDA approved for commercial use.

**Results according to our analysis of your image:**

| Object | Parasite                     | Percent Confidence |
|--------|------------------------------|--------------------|
| 1      | <i>Schistosoma japonicum</i> | 91.77%             |


**Figura 6**

Imágenes de parásitos identificados en la aplicación Parasite ID. Identificación correcta de Huevos de Taenia sp

**Try it!**

1. Click a sample image above to test this tool.  
2. Click "Get Prediction!" below to see it in action.

- OR -

**Upload your own microscopy image to get a prediction:**

Choose File 20211027\_111127-202.jpg

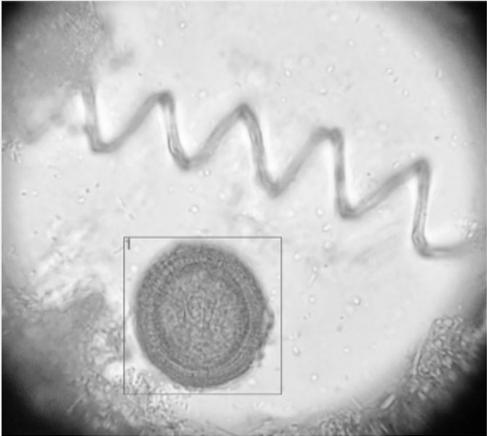
Yes, this image may be saved by Parasite ID. This helps us further our research and improve the tool.

**Get prediction!**

This app is not FDA approved for commercial use.

**Results according to our analysis of your image:**

| Object | Parasite                      | Percent Confidence |
|--------|-------------------------------|--------------------|
| 1      | Tapeworm ( <i>Taenia</i> sp.) | 94.30%             |



**Tabla 2***Exactitud en la identificación de imágenes de parásitos por Parasite ID*

| Evaluación            | Sensibilidad |      |             | Especificidad |      |             | CPP <sup>1</sup> | CPN <sup>1</sup> |
|-----------------------|--------------|------|-------------|---------------|------|-------------|------------------|------------------|
|                       | N            | %    | [IC 95 %]   | N             | %    | [IC 95 %]   | [IC 95 %]        | [IC 95 %]        |
| Parasite ID           | 26/103       | 25.2 | [17.2,34.4] | 62/78         | 79.5 | [69.8,87.8] | 1.2 [07,2.1]     | 0.9 [0.8,1.1]    |
| Curva ROC Parasite ID | 27/103       | 26.5 | [19.6,34.3] | 73/78         | 93.3 | [77.9,99.2] | 3.9 [1.0,15.6]   | 0.8 [0.7,0.9]    |

*Nota:* IC= Intervalo de Confianza; <sup>2</sup>CP Positivo= Coeficiente de probabilidad positivo S/I-E; <sup>3</sup>CPN=Coeficiente de probabilidad negativo (1-S)/E.

( $\chi^2(1,181) = 2.65, p = .10$ ) mientras el CPN disminuyó a 0.8% ( $\chi^2(1,181) = 0.01, p = .91$ ).

En la Figura 7, se observa la comparación de las imágenes de parásitos intestinales incluidos en el patrón de referencia y las identificadas por Parasite ID. Se observó que de las imágenes de los parásitos contenidos en el menú de esta, fueron reconocidos *A. lumbricoides* en un 20% ( $n = 6/30$ ), *H. nana* 39% ( $n = 12/31$ ) y *Taenia* sp en un 66.7%, ( $n = 8/12$ ) mientras que los huevos de *T. trichiura* no fueron distinguidos correctamente. En el caso de las imágenes sin parásitos fueron reconocidas correctamente en un 93.3% ( $n = 28/30$ ) y otros parásitos que no estaban incluidos en la aplicación fueron clasificados como verdaderos negativos en un 70% ( $n = 34/48$ ).

## Discusión

Las infecciones parasitarias provocan millones de casos al año, además de consecuencias sanitarias y socioeconómicas en los países en vías de desarrollo. En toda América Latina y el Caribe estas afectan los grupos más desfavorecidos (Saboyá et al., 2013; World Health Organization [WHO], 2017). A pesar de esto, los métodos de diagnóstico de parásitos intestinales se ven obstaculizados por la falta de mano de obra calificada y equipo de diagnóstico especializado en los países en desarrollo (van Lieshout & Roestenberg, 2015). Por lo anterior, las aplicaciones de inteligencia artificial para la identificación de imágenes de parásitos podrían aumentar la capacidad diagnóstica, así como, la calidad de los resultados con el uso de dispositivos robustos económicos y precisos (Rajchgot et al., 2017).

En este estudio se evaluó una aplicación basada en inteligencia artificial de uso gratuito, para el diagnóstico de parásitos intestinales con respecto a un patrón de referencia validado previamente por un grupo de expertos. Todas las imágenes de parásitos que fueron identificadas por dicho grupo llenaron las características morfológicas descritas en la literatura (García, 2021). Esto último, fue necesario ya que el reconocimiento efectuado por los expertos conformaría el patrón de referencia y de forma análoga sería utilizado como una herramienta de inteligencia artificial en el reconocimiento de las imágenes de los parásitos incluidas en la presente investigación.

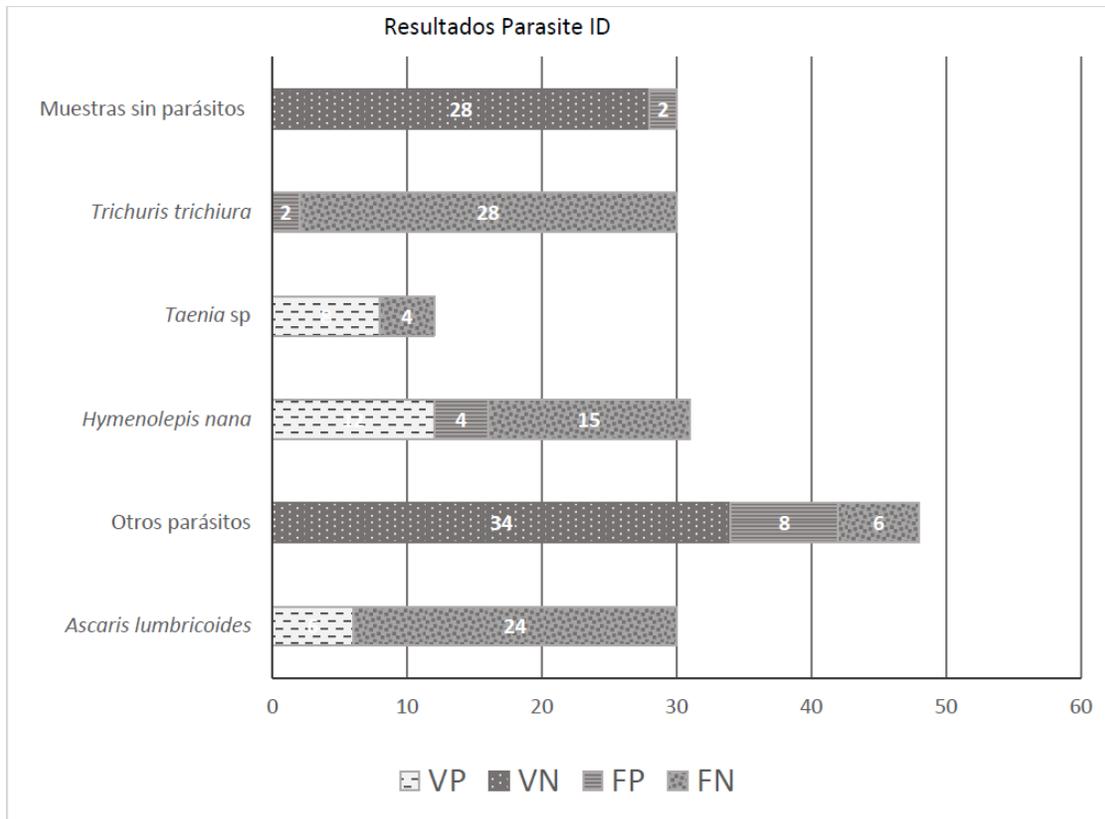
Para el estudio se determinó que Parasite ID, globalmente identificó 1 de cada cuatro de los siguientes parásitos: *Ascaris lumbricoides*, *Hymenolepis nana* y *Taenia* spp. Del total de imágenes correspondientes a *T. trichiura*, ninguna fue identificada.

Este resultado no fue congruente con lo informado en el sitio web de la aplicación, de un 90% a un 99% para la sensibilidad y especificidad. En este aspecto, Bogoch y colaboradores con un teléfono móvil, como una herramienta similar a Parasite ID, informaron una sensibilidad del 69.4% para detectar cualquier huevo de helmintos y sensibilidades del 81.0% y 54.4% para el diagnóstico de *Ascaris lumbricoides* y *T. trichiura* respectivamente, en comparación con el microscopio óptico. Por ende, Parasite ID presentó una baja sensibilidad además de no detectar a *T. trichiura*. Con respecto a la especificidad de esta aplicación, las clasificó en un 79.5%, mientras que en el mismo estudio de Bogoch y colaboradores (2013) esta estimación alcanzó un 61.5%.

La concordancia en la identificación por Parasite ID con respecto al patrón de referencia fue de 4.3%,

**Figura 7**

Identificación de imágenes de parásitos por Parasite ID y patrón de referencia



Nota. VP= Verdadero positivo; VN=Verdadero negativo; FP= Falso positivo; FN= Falso negativo; N= 181.

porcentaje que indicó un acuerdo pobre (McHugh, 2012) entre el patrón de referencia y la aplicación; con lo que el uso de esta aplicación en su estado actual no se podría considerar reproducible. La sensibilidad de 25.2%, con un área bajo la curva de 0.59, y con una baja concordancia de 4.3 y exactitud de 48.6% alcanzada por Parasite ID, revelan que, en una aplicación a desarrollar se deben mejorar estas métricas con base a la variedad de parásitos que se diagnostican en Guatemala. Así mismo, sería necesario mejorar la identificación con respecto a Parasite ID de los huevos de *Taenia* spp. ya que fueron identificados dos tercios las imágenes (66.7%); una de cada cinco de los huevos de *A. lumbricoides* (20%); menos de la mitad para los huevos de *H. nana* (39%); mientras los huevos de *T. trichiura* en ninguna ocasión. Estos resultados mos-

traron a su vez que la exactitud (48.6%) de aplicación fue baja y no contaba con el suficiente entrenamiento.

Alva y colaboradores (2017), evaluaron un algoritmo a través de un modelo de regresión logística, con el que se logró identificar automáticamente huevos de *Taenia* sp., *Trichuris trichiura*, *Diphyllobothrium latum* y *Fasciola hepatica*. Los resultados así obtenidos mostraron entre un 99.1% a un 100% de sensibilidad y 98.13% a 98.3% de especificidad, sin positividad cruzada para otros parásitos (Alva et al., 2017). La metodología de análisis de este modelo podría ser útil al momento de desarrollar una aplicación a nivel local.

Con respecto a las imágenes falso positivas identificadas por Parasite ID, los resultados mostraron que una potencial aplicación a desarrollar necesitaría incluir características de entrenamiento más específicas

y sensibles de la morfología de los parásitos a identificar a nivel local. Por consiguiente, las tipologías de las imágenes de parásitos endémicos en diferentes estadios o presentaciones se deberán describir de forma minuciosa en el desarrollo de una aplicación para Guatemala.

Aun cuando en esta investigación se logró identificar aspectos importantes para el desarrollo de una aplicación IA para el reconocimiento de parásitos, se identificaron las siguientes limitaciones: (a) el catálogo de identificación de Parasite ID no abarcó la amplia gama de parásitos que se reportan como endémicos a nivel local, por lo que no fue posible evaluar en su totalidad y (b) las fotografías clasificadas como no claras por Parasite ID, pudieron haber provocado algún tipo de sesgo para su clasificación tales como imágenes negativas, sin embargo, estas fotografías fueron identificadas correctamente por los expertos participantes en el estudio.

En conclusión, los ajustes a las brechas identificadas en este estudio, el diagnóstico de parásitos utilizando aplicaciones basadas en inteligencia artificial serían obligatorios para mejorar los resultados en cuanto a la exactitud y precisión de una potencial aplicación en el país. Las instituciones de enseñanza superior pueden apoyar en el desarrollo de estas herramientas y así integrar nuevas formas de enseñanza, investigación y a su vez mejorar el servicio de atención en salud que se prestan a nivel local.

## Agradecimientos

**Apoyo en el envío de muestras:** Estudiantes EPS, Werner González T, Werner, Ana Cecilia Cocón U, Ana Lucía Morales, Ayde Raquelina Jiménez Domingo, Jaqueline Cano, Cindy Mazariegos, Vivel Morales, Nancy Pineda S, Sofia Mariana García F, Gabriela Segura M, Pamela Coronado, Programa de Experiencias Docentes con la Comunidad, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

**Coordinación de estudiantes de EPS:** M.Sc. Emilio García, Coordinador Programa de Ejercicio Profesional Supervisado Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

**Apoyo en el uso de recurso e instalaciones:** Licda. Rosa María Zannuncini de Menéndez, Coordinadora Laboratorio Clínico Popular (LABO- CLIP) Programa de Experiencias Docentes con la Comunidad, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. M.Sc. Osberth

Morales, director de Escuela Química Biológica, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

**Apoyo institucional:** Dra. Eunice Enríquez PhD, Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

**Apoyo uso de aplicación Parasite ID:** Kiersten Henderson, Vicki Foss. Parasite ID. (s.f.). Parasite ID. <https://parasite.id/>

## Contribución de los autores

Coordinación, elaboración y revisión del Documento: BS

Diseño de la recolección de datos o del trabajo en campo: AM-S

Recolección o contribución de datos o realización del trabajo de campo: AM-S

Limpieza, sistematización, análisis o visualización de datos: AM-S

Participación en análisis de datos, estructura y en la escritura del documento: AM-S, MG-C, MA-P

## Materiales suplementarios

Los materiales suplementarios de este artículo se encuentran en la página web de la revista a través <https://doi.org/10.36829/63CTS.v10i1.1344>.

## Referencias

- Abraira, V. (2001). El índice kappa. *Semergen-Medicina de Familia*, 25(5), 247-249.
- Akoglu, H. (2022). User's guide to sample size estimation in diagnostic accuracy studies. *Turkish Journal of Emergency Medicine*, 22(4), 177-185. <https://doi.org/10.4103/2452-2473.357348>
- 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>
- Arias, M. M., & Molina, M. (2013a). Características de las pruebas diagnósticas. *Pediatría Atención Primaria*, 15(58), 169-173. <https://doi.org/10.4321/S1139-76322013000200013>

- Arias, M. M., & Molina, M. (2013b). El significado de los intervalos de confianza. *Pediatría Atención Primaria, 15*(57), 91-94. <https://doi.org/10.4321/S1139-76322013000100016>
- Bogoch, I. I., Andrews, J. R., Speich, B., Utzinger, J., Ame, S. M., Ali, S. M., & Keiser, J. (2013). Short report: Mobile phone microscopy for the diagnosis of soil-transmitted helminth infections: A proof-of-concept study. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, 88*(4), 626-629. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.12-0742>
- Bravo-Grau, S., & Cruz Q., J. P. (2015). Estudios de exactitud diagnóstica: Herramientas para su Interpretación. *Revista Chilena de Radiología, 21*(4), 158-164. <https://doi.org/10.4067/S0717-93082015000400007>
- 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 Palajunoy Valley of Guatemala. *Journal of Health, Population, and Nutrition, 27*(1),31. <https://doi.org/10.3329/JHPN.V27I1.3321>
- Donis, J. H. (2012). Evaluación de la validez y confiabilidad de una prueba diagnóstica (Assessment of the validity and reliability of a diagnostic test). *Avances en Biomedicina, 1*(2), 73-81.
- García, L. S. (2021). *Practical guide to diagnostic parasitology* (3rd ed.). ASM Press.
- Gómez González, C., Pérez Castán, J. F., & Martín, J. L. R. (2007). Capítulo 8: Pruebas diagnósticas. Concordancia. *SEMERGEN - Medicina de Familia, 33*(10), 509-519. [https://doi.org/10.1016/S1138-3593\(07\)73955-2](https://doi.org/10.1016/S1138-3593(07)73955-2)
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics, 33*(1), 159-174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- 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), Artículo e02053. <https://doi.org/10.1128/JCM.02053-19>
- McHugh, M. L. (2012). Interrater reliability: The kappa statistic. *Biochemia Medica, 22*(3), 276-282. <https://doi.org/10.11613/bm.2012.031>
- Metz, C. E. (2008). ROC analysis in medical imaging: A tutorial review of the literature. *Radiological Physics and Technology, 1*(1), 2-12. <https://doi.org/10.1007/S12194-007-0002-1>
- O'Brien, S. F., & Yi, Q. L. (2016). How do I interpret a confidence interval? *Transfusion, 56*(7), 1680-1683. <https://doi.org/10.1111/TRF.13635>
- OPS/OMS. (2022). Geohelminthiasis. <https://www.paho.org/es/temas/geohelminthiasis>
- Parasite ID. (n.d.). Parasite ID | Home. Retrieved June 28, 2020, from <https://parasite.id/>
- Quinn, J. A., Nakasi, R., Mugagga, P. K. B., Byanyima, P., Lubega, W., & Andama, A. (2016). Deep convolutional neural networks for microscopy Based point of care diagnostics. *arXiv:1608.02989*, 1-12. <http://arxiv.org/abs/1608.02989>
- Rajchgot, J., Coulibaly, J. T., Keiser, J., Utzinger, J., Lo, N. C., Mondry, M. K., Andrews, J. R., & Bogoch, I. I. (2017). Mobile-phone and handheld microscopy for neglected tropical diseases. *PLoS Neglected Tropical Diseases, 11*(7). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PNTD.0005550>
- Ryan, U., Paparini, A., Oskam, C. (2017). New technologies for detection of enteric parasites. *Trends in Parasitology, 33*(7), 532-546. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2017.03.005>
- 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). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PNTD.0002419>
- 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>

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>

World Health Organization. (2017). Integrating neglected tropical diseases into global health and development: Fourth WHO report on neglected tropical diseases. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/255011/9789241565448-eng.pdf>