

Un nuevo método sencillo y exacto para medir tamaño de los pólipos durante la colonoscopia

Seudónimo: Medidores

Resumen

Introducción. Los pólipos colónicos se miden empíricamente por estimación “visual” y en ocasiones con pinzas de biopsia abierta con dimensiones conocidas. Tales “mediciones” son inexactas. Múltiples métodos se han desarrollado pero no han tenido la exactitud esperada. Por lo anterior se decidió realizar el presente trabajo para construir un algoritmo que permitiera medir los pólipos a partir de fotografías tomadas con el colonoscopio. **Materiales y Métodos.** El trabajo se realizó en tres fases. En la primera fase se hizo el algoritmo MATLAB y se capturaron fotos en formato JPG con el Colonoscopio. En la segunda fase, se midieron con el algoritmo imágenes de objetos con tamaños conocidos para verificar la exactitud del algoritmo. Cuando se comprobó que era exacto, se sometieron fotos de pólipos del colon. En la fase 3 se utilizaron imágenes de pólipos previamente enviadas a tres expertos. Todas las fotografías fueron tomadas con el Colonoscopio Olympus Exera II. **Resultados.** En objetos menos a 5 mm, el algoritmo sobre-estimó el tamaño entre 0.11 a 0.08 mm y sobre-estimó 0.25 mm el tamaño de objetos mayores de 5 mm y 1.76 mm en los de 22 mm. Los expertos sobrestimaron los tamaños de manera importante. Los pólipos de 7, 8 y 9 mm los expertos dijeron que median 12, 15 y 18mm respectivamente. Esa medición errónea implicaría programar los pacientes a colonoscopias de vigilancia cada 3 años aumentando los costos de la atención médica. **Conclusión.** El algoritmo desarrollado es un método exacto para medir pólipos colonicos. Por su fácil consecución y adicionalmente fácil de usar, consideramos que podría ser una excelente herramienta para solucionar la dificultad de medir pólipos durante una colonoscopia y en general las lesiones de otros sitios accesibles endoscópicamente. **Recomendaciones:** Implementar este método en la sala de endoscopia.

Palabras clave: Algoritmo, MATLAB, Pólipos de colon, Pinza de biopsia, píxeles.

Un nuevo método sencillo y exacto para medir tamaño de los pólipos durante la colonoscopia

Seudónimo: Medidores

Introducción.

A nivel mundial, el cáncer del colon y recto (CCR) es el tercer cáncer más común en hombres y el segundo en mujeres [1]. En el 2012, hubo 1.4 millones de casos nuevos y 694.000 muertes [2]. Representa la tercera causa más común de muerte por cáncer en el mundo [2]. En Colombia, el CCR también es la cuarta causa más frecuente de muerte por cáncer tanto en hombres como en mujeres [3]. En las últimas décadas este tumor está aumentando en los países desarrollados, en contraste con los países subdesarrollados en los cuales, ha permanecido estable o incluso ha disminuido [1,3, 4]. La incidencia es más alta en Australia, Nueva Zelanda y Europa Occidental y más baja en África Central y en Centro y Sur de Asia (1). La mayoría de los CCR se originan en los pólipos adenomatosos del colon siguiendo la secuencia de pólipo-adenocarcinoma [5]. Dependiendo del tamaño, el genoma de esas lesiones, pueden presentar mutaciones que inician en el gen APC (Adenomatous Polyposis Coli) y después en los genes KRAS y p53 (6). El sinergismo de esas mutaciones determina que los pólipos adenomatosos pequeños y los de mayor tamaño, se transformen en CCR [6]. Este conocimiento es la base para la colonoscopia de “*screening*” o tamización en personas de 50 años o más, para disminuir la mortalidad por CCR al detectar y resear los pólipos encontrados [7-9]. Dependiendo del tamaño de los pólipos, se determinan los intervalos de vigilancia de los pacientes (10,11) Sin embargo en la actualidad la estimación del

tamaño de los pólipos, sigue siendo inexacta. La mayoría de los colonoscopistas “miden” el tamaño de los pólipos por “estimación visual”, la cual es inexacta, incluso entre expertos y se puede sobre-estimar o sub estimar, el verdadero tamaño (12,13). Además la medición que se hace en patología con el espécimen resecado es inferior a la que se hace “in vivo” (14-17). Cuando se subestima el tamaño, erróneamente se pueden recomendar intervalos de vigilancia muy largos, aumentando el riesgo de que aparezcan CCR de intervalo (18). Múltiples han estudiado la forma de medir los pólipos incluso con TAC (13-19). Entre los diferentes métodos, el más sencillo y más frecuentemente usado, es abrir una pinza de biopsias cerca al pólipo y como el tamaño de la pinza conocido de la pinza abierta (5-6mm), se calcula el tamaño del pólipo. Sin embargo, el margen de error de este “método” es de alrededor de 50% hacia arriba o hacia abajo incluso entre expertos (13). Con este método la determinación del tamaño del pólipo fue correcta en el 37% de los pólipos, la medición fue más grande en el 34% y más pequeña en el 29% (13). Otros métodos utilizados incluyen una “capucha” calibrada que se coloca en la punta del colonoscopio (20). Con este método se demostró que la estimación visual es inexacta, en contraste con el aditamento utilizado para la investigación que fue más exacto, pero difícil de implementar. Recientemente se ha propuesto un nuevo método complejo y sofisticado, con una sonda óptica y un computador personal, para generar una escala de grises que permitiera determinar el tamaño de los pólipos a partir de la imagen endoscópica y de acuerdo a la distancia entre los objetos (21). En esta investigación, la amplitud de la escala de grises fue ajustada constantemente de acuerdo a la distancia entre la punta del

colonoscopia y la lesión, ya que el tamaño de la lesión varía de acuerdo a la distancia. La distancia entre los objetos fue calculada de acuerdo a la cantidad de luz LASER reflejada de la lesión a través de una sonda óptica insertada en el canal del endoscopio. Los resultados de este método permitieron concluir que con el endoscopio convencional, se podría utilizar este sistema para lograr una determinación más exacta del tamaño. Sin embargo el costo y la dificultad para su implantación no lo hacen viable. La medición correcta del tamaño del pólipo tiene dos implicaciones 1. Elegir más eficazmente, el tamaño del asa y la técnica para la polipectomía y 2. Recomendar correctamente los intervalos de vigilancia ya que si se encuentran uno o más adenomas con tamaños de menores a 10 mm, la vigilancia es similar a la tamización cada 10 años, en cambio 3 a 4 pequeños o al menos uno de 10 -19 mm, en tres años y más de cinco pequeños o uno de 20 mm o más, dentro de un año (22).

Teniendo en cuenta la necesidad de medir correctamente los pólipos y la ausencia de un método ampliamente disponible, decidimos realizar el presente trabajo con los siguientes objetivos. Objetivo general. Diseñar un método para medir los pólipos del colon, durante una colonoscopia de rutina, mediante un algoritmo con el software matemático MATLAB. Objetivos específicos. 1. Utilizar el algoritmo desarrollado para medir objetos con tamaños conocidos y determinar la exactitud del mismo, 2. Someter las imágenes de los pólipos del colon al algoritmo y estimar el tamaño, 3. Comparar las medidas de pólipos colónicos, estimadas visualmente por tres expertos y comparadas con el algoritmo de MATLAB, 4. Instalar en los

computadores de la unidad de gastroenterología, la parte específica de MATLAB con el algoritmo para utilizar este método en la práctica rutinaria.

Materiales y métodos.

El presente trabajo fue realizado en la unidad de gastroenterología de una institución universitaria de Colombia durante el período comprendido entre agosto de 2014 y agosto de 2016. La investigación se desarrolló en tres fases, las cuales se describen a continuación. En la primera fase se desarrolló un algoritmo en el software matemático MATLAB y se capturaron las fotos en formato JPG con el Colonoscopio. En la segunda fase, se sometieron al algoritmo imágenes de objetos con tamaños conocidos y se verificó la exactitud del algoritmo. Una vez comprobado el buen funcionamiento del algoritmo se utilizaron fotos de pólipos para determinar sus tamaños con el algoritmo desarrollado. La fase 3 consistió en someter al algoritmo imágenes de pólipos que previamente habían sido enviados a tres expertos en gastroenterología para que estimaran visualmente el tamaño de los mismos. El propósito de esta última fase era determinar qué tan exacta es la estimación visual de los expertos, al compararla con las medidas del método desarrollado. Todas las fotografías sometidas al algoritmo de MATLAB fueron tomadas con un Colonoscopio Olympus Exera II en formato JPG, con protocolo estándar. Ese protocolo consistía en capturar las imágenes a la distancia producida cuando por la punta del Colonoscopio sobresalía una pinza de biopsia marca Olympus y se le visualizaba tres anillos. Se eligió esa distancia porque encontramos que permite una adecuada visualización de las lesiones. Las pinzas de biopsias utilizadas fueron pinzas Olympus reusables, que están hechas en acero y cuya cubierta es anillada. Para los propósitos de esta investigación, era imprescindible adecuado posicionamiento cuando se visualizaba en el monitor tres anillos de la

misma. Con esta técnica, la distancia estandarizada que elegimos tenía 13 mm. Igualmente se puede utilizar cualquier otro dispositivo para estandarizar la distancia, la cual se suministrará al algoritmo matemático y se mantiene la exactitud de la medida. Para desarrollar el algoritmo, se contrataron los servicios profesionales de un Ingeniero de sistemas experto en MATLAB, a quien le informamos sobre nuestros objetivos y el interés en utilizar el software matemático mencionado por contener “las herramientas” para este tipo de diseños. Uno de nosotros es Ingeniero Biomédico.

No se realizó procesamientos de imágenes o segmentación de imágenes, aunque el MATLAB lo dispone, debido a que los pixeles contenidos dentro del objeto que en cuyo caso son los pólipos, son similares o iguales a los que están en el fondo del objeto (mucosa del colon)

La preparación de la colonoscopia se realizó en la forma usual (23). Brevemente, el día anterior al examen, el paciente tuvo dieta normal hasta el almuerzo y en adelante dieta líquida. A las 4 pm de ese día se inició la preparación para la limpieza del colon utilizando dos sobres de polietilen-glicol con electrolitos (Nulytely ®). Cada sobre fue disuelto en un litro de agua. Durante dos horas, el paciente ingería un vaso de la solución (250 ml), cada 15 minutos, de tal manera que debía consumir un litro por hora durante dos horas. El día del examen a las 7 am, se reanudó la ingesta de los otros dos sobres de la preparación, disolviéndolos de manera similar al día anterior, cada sobre en un litro de agua. La preparación se terminaba a las 9 am. Dos a tres horas después se realizaba la colonoscopia sin sedación, en

decúbito lateral izquierdo o en decúbito supino. Los procedimientos fueron realizados por un colonoscopista experto, profesor universitario. Las colonoscopias se realizaron con un equipo Olympus 180 Exera II

Consideraciones éticas. Según la resolución 008430 de 1993, este trabajo es una investigación de bajo riesgo, ya que se utilizan datos externos a los pacientes y algunos son tomados de examen de rutina independiente de la investigación.

Definiciones básicas.

Imagen digital

Una imagen digital es una fotografía, un dibujo, un trabajo artístico o cualquier otra “imagen” que es convertida en un fichero de ordenador. Una imagen digital consiste en una colección ordenada de valores. Estos valores se representan una colección de filas de valores dispuestas ordenadamente (24).

Formato de imagen

Las imágenes digitales se pueden guardar en distintos formatos. Cada uno se corresponde con una extensión específica del archivo que lo contiene. Los más utilizados en la actualidad son: BMP, GIF, JPG, TIF y PNG (25,26)

Píxel (27).

Es la unidad mínima de visualización de una imagen digital. Las cámaras digitales y los escáneres capturan las imágenes en forma de cuadrícula de píxeles. Los píxeles son aquellos puntos que forman las imágenes digitales. Cada uno de estos puntos se denomina píxel, y al observarlos todos juntos se forma una imagen. La

cantidad de puntos o píxeles con que cuente una imagen va a indicar la calidad de su resolución. En términos sencillos son los "puntitos" con los que están hechas las imágenes en el mundo de la computación. Para almacenar la información de una imagen, cada píxel se codifica mediante un conjunto de bits de una longitud determinada (llamada profundidad de color). Por ejemplo, un solo píxel puede codificarse con una profundidad de color de 8 bits (1 byte), y esto permite que pueda tomar hasta 256 variantes de color (2 elevado a 8). En las imágenes fotográficas se suelen usar tres bytes (24 bits) para definir cada color de cada píxel, con esto pueden representarse 16.777.216 de colores. Este tipo de imágenes se denomina "*true color*".

Los píxeles también se utilizan como unidad para medir la resolución de una pantalla, una imagen y de algunos dispositivos como por ejemplo las cámaras digitales (que utilizan los megapíxeles). En cuanto a las imágenes, estas pueden medirse a través del ancho y del largo en píxeles, por ejemplo una imagen de 800x600, lo que significa que está conformada por 480 Mil píxeles (28)

Algoritmo (29)

En matemáticas, lógica, ciencias de la computación y disciplinas relacionadas, un algoritmo (del griego y latín, dixit *algorithmus* y este a su vez del matemático persa Al-Juarismi) es un conjunto prescrito de instrucciones o reglas bien definidas, ordenadas y finitas que permite realizar una actividad mediante pasos sucesivos que no generen dudas a quien deba realizar dicha actividad. Dados un estado inicial y una entrada, siguiendo los pasos sucesivos se llega a un estado final y se obtiene una solución. Los algoritmos son el objeto de estudio de la algoritmia (29).

MATLAB.

Es el nombre abreviado de MATrix LABoratory, desarrollado por MathWorks (30) . MATLAB es un software matemático muy versátil en sus aplicaciones matemáticas. Es una de las muchas herramientas sofisticadas de computación disponibles en el comercio e incluso descargarse de la internet. Permite resolver problemas de matemáticas, tales como Maple, Mathematica y MathCad (31). Ofrece un entorno de desarrollo integrado con un lenguaje de programación propio [48]. Con Matlab es posible realizar cálculos numéricos con vectores y matrices. Puede también trabajar con números escalares, tanto reales como complejos, con cadenas de caracteres y con otras estructuras de información más complejas, una de las capacidades más atractivas es la de realizar una amplia variedad de gráficos en dos y tres dimensiones. Matlab es un software desarrollado MathWorks .fue originalmente una herramienta para la realización de álgebra matricial. Con el tiempo, se ha convertido en un entorno de programación con varias partes. Entre ellas se encuentran los gráficos tridimensionales, interfaces gráficas de usuario, interacción con otras descargas, y cajas de herramientas. Cajas de herramientas son los paquetes de programas que proporcionan funcionalidad adicional a Matlab (31).

Matlab en Ingeniería biomédica (32,33). Por lo general, las imágenes médicas se guardan como archivos dicom (el estándar Digital Imaging and Communications in Medicine: imágenes digitales y comunicaciones en medicina). Los archivos dicom utilizan la extensión de archivo. dcm. La compañía MathWorks ofrece una caja de

herramientas adicional, llamada caja de herramientas para imágenes que puede leer esos archivos, lo que hace que sus datos estén disponibles para procesamiento en MATLAB. La caja de herramientas para imágenes también incluye un amplio rango de funciones de las que muchas son especialmente apropiadas para las imágenes médicas. Un conjunto limitado de datos MRI ya convertidos a un formato compatible con MATLAB se incluye con el programa MATLAB estándar. Este conjunto de datos le permite probar algunas de las funciones de generación de imágenes disponibles tanto con la instalación estándar de MATLAB como con la caja de herramientas para imágenes expandida. MATLAB dispone de múltiples herramientas, con funciones específicas que incluyen `Imdistline`, `subplot`, `uigetfile`, `imread`, etc.

Fases de la investigación

Fase 1.

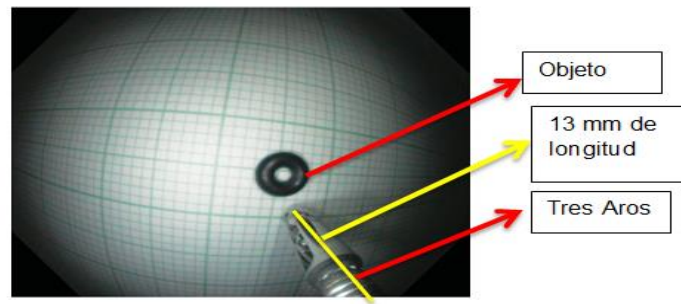
Esta fase se inició, tomando fotografías con el colonoscopio en formato JPG de los objetos de referencia. Estos objetos tenían tamaños conocidos y suministrados por el fabricante. Los elementos utilizados, fueron “anillos de caucho”, que se mandaron a elaborar específicamente para la presente investigación, en la fábrica: “Discorreas, mangueras y empaques S.A” de Bogotá. Cada anillo tiene su respectivo código y certificación sobre el diámetro externo y diámetro interno. Los respectivos tamaños de los objetos de referencia se muestran en la tabla 2.

Tabla 1. Anillos de caucho con diámetros conocidos (patrones de referencia).

Referencia Objeto	Diámetro Interno (mm)	Diámetro Externo (mm)
2-001	0.74	2.78
2-002	1.07	3.61
2-003	1.42	4.46
2-004	1.78	5.34
2-005	2.57	6.13
2-006	2.90	6.46
2-012	9.25	12.81

La distancia a la cual se tomaron las fotos de estos elementos, es la misma que se utilizó para tomar las fotos de los pólipos, como fue descrito previamente. Si bien esta distancia no es utilizada para hacer los cálculos, ni influye en el desarrollo del algoritmo, se utilizó para estandarizar la captura de la imagen y la fotografía, con el fin de que cada foto capturada tuviera la misma distancia para que fueran comparables entre sí, y se evitaran los sesgos, Figura 1.

Figura 1. Patrón de referencia con imagen capturada por el colonoscopio



Para estimar los tamaños, de los diferentes objetos, se diseñó un algoritmo sencillo (para los ingenieros expertos), utilizando diferentes funciones contenidas en la caja de herramientas de MATLAB.

En primera instancia, se verificó que el algoritmo fuera eficiente, utilizando diferentes fotografías en formato JPG. Se consideró que el programa “corría adecuadamente” cuando permitía “cargar la imagen”, manipular “imdistline”, y sucesivamente el programa pide ingresar un valor en pixeles y finalmente da o “arroja” un resultado. La secuencia del funcionamiento fue básicamente utilizando las siguientes funciones: “uigetfile”., “imread”. “strcat” “imshow”, “subplot”, “imdistline”, “Inputdlg”, “str2double”.

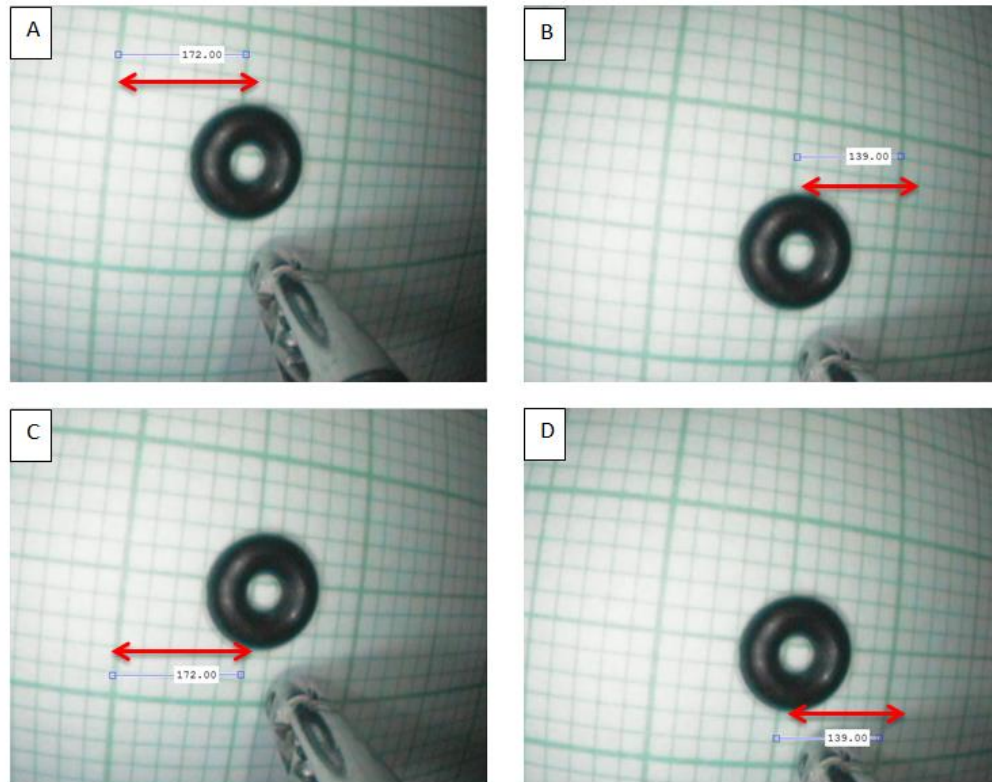
Con base en las funciones previas, se crearon cuatro variables. Dos de ellas (A y B) contendrán valores hipotéticos que se suministrarán para que el algoritmo calcule el valor de la cuarta variable (D), después de suministrarle el valor de la tercera (C) mediante una regla de tres simple. Brevemente, la variable A, guarda un dato fijo en pixeles, la variable B, almacena un dato fijo en mm, la variables C,

guarda un valor que el usuario ingresa y la variable D, realiza una regla de tres con los datos almacenados en las variables A, B, C.

“msgbox”. Esta función, finalmente muestra, el resultado en mm, que fue calculado en el proceso anterior.

Una vez se verificó el correcto funcionamiento del algoritmo, se determinó a cuántos pixeles, equivale una determinada área, en este caso 5 mm. Para encontrar este valor, se le tomó una fotografía en formato JPG a una hoja milimetrada de manera similar a la tomada a los anillos de caucho. En esa hoja, se incluyó un anillo de caucho con tamaño conocido. Al algoritmo establecido, se le sometió la fotografía mencionada. Se escogieron los 4 cuadrantes cercanos a la posición de la pinza de biopsias debido a que esta es la posición donde se visualiza el pólipo y usando la función “imdistline”, se trazó una línea horizontal sobre cada uno de los cuadrantes de las líneas de la cuadrícula con tamaño conocido (5mm) y se obtuvo el valor del pixeles. Esta foto tomada por nosotros se muestra en la figura 2. La cuadrícula derecha compuesta por cuadrante superior e inferior comparte el mismo valor de 172.00 pixeles y la cuadrícula izquierda que también está compuesta por cuadrante superior e inferior con el mismo tamaño en pixeles de 139.00. El valor de las cuadrículas en pixeles es diferente debido a que la imagen es convexa.

Figura 2. Valor en pixeles de cada uno de los cuadrantes.



- A. Valor en pixeles del cuadrante superior izquierdo (172.00 pixeles).
- B. Valor en pixeles del cuadrante superior derecho (139.00 pixeles).
- C. Valor en pixeles del cuadrante inferior izquierdo (172.00 pixeles).
- D. Valor en pixeles del cuadrante inferior derecho (139.00 pixeles)

Los valores obtenidos en pixeles de cada uno de los cuadrantes de 5mm y el promedio de los mismos, quedó guardado en el algoritmo como el patrón de referencia. Esos valores se muestran en la tabla 3.

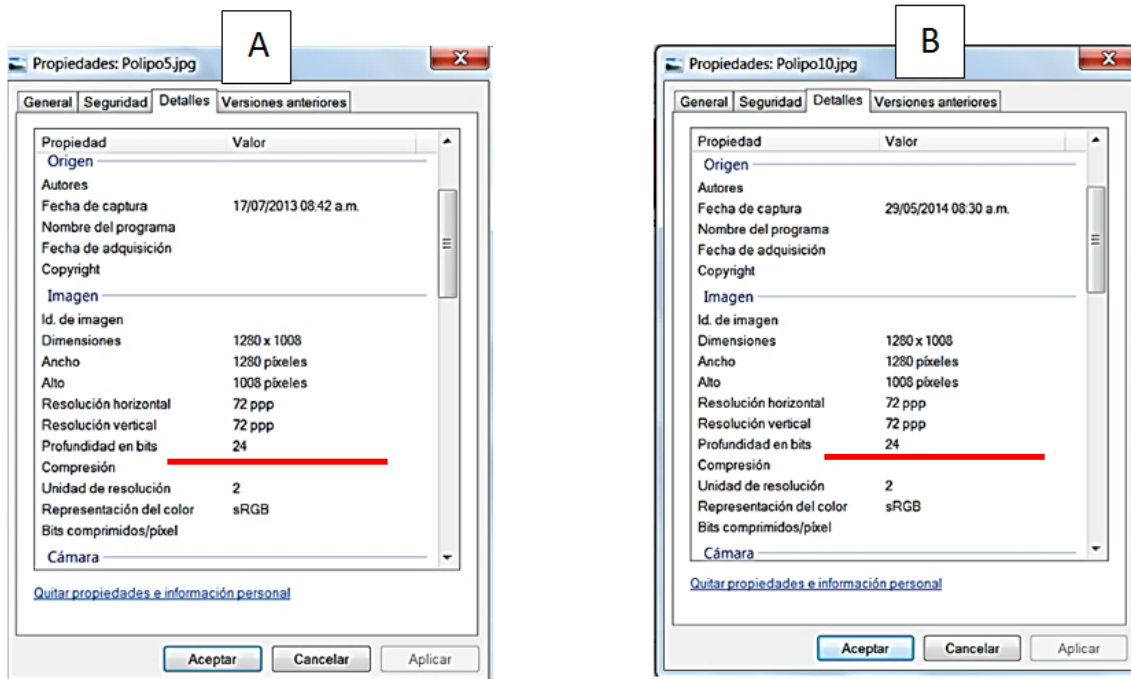
Tabla 2. Valores en pixeles de los cuadrantes de 5 mm.

lado de la cuadrícula medida	Valor en pixeles	Tamaño de la cuadrícula en milímetros (mm).
Cuadrante superior derecho	172.00	5mm
Cuadrante superior izquierdo	139.00	5mm
Cuadrante inferior derecho	172.00	5mm
Cuadrante inferior izquierdo	139.00	5mm
Promedio en pixeles	155.5	5mm

En esta primera fase, también se verificó la resolución de las con respecto a las dimensiones en pixeles y la profundidad en bits, como se muestra en dos diferentes fotografías (A y B), de la figura 2, en las cuales se verifica que todas las fotos tomadas de la manera estandarizada, contienen la información en pixeles y profundidad, independientemente del color de la imagen y del color del fondo, lo cual contrasta que el métodos de segmentación de imágenes, el cual resalta las imágenes con más o menos pixeles. Con el método elegido, la información depende de la distancia en que se captura la imagen durante la fotografía, ya que el CCD del (Dispositivo Acoplado a la Carga), de la cámara del colonoscopio tiene la propiedad de que todas las fotos tomadas tengan la misma profundidad en bits, que en este caso son 24 bits, como muestra en la figura 3.

No se realizó procesamiento de imágenes o segmentación de imágenes, aunque el MATLAB lo dispone, debido a que los píxeles contenidos dentro del objeto que en cuyo caso son los pólipos, son similares o iguales a los que están en el fondo del objeto (mucosa del colon)

Figura 3. Dimensiones en píxeles y profundidad en bits de 2 diferentes fotografías



Fase 2. El patrón de referencia final del algoritmo fue 155.5 pixeles, contenidos en una cuadrícula de 5 mm (ver tabla 2), permitirá calcular en adelante, las imágenes que en formato JPG, se le ingresen. En esta fase se sometieron las fotografías de los anillos de caucho con tamaños conocidos y adicionalmente otros objetos como monedas de diferente nominación y un lunar de la piel de la piel de una persona voluntaria. Después de cargar la imagen en el algoritmo, se utilizó función **“imdistline”** y se midió el diámetro del objeto trazando una línea de un punto a otro punto sobre el objeto en estudio, figuras 4,5,6-17. Posteriormente la función **“inputdlg”** por medio de una ventana permite el ingreso el valor en pixeles previamente visto, figuras 4,5,6(c). Posteriormente arroja el valor en mm, figuras 4,5,6(D). Igualmente se sometieron al algoritmo otros elementos con diámetros conocidos que incluyeron monedas de diferentes nominaciones, pinza de biopsia abierta, un lunar de la piel y finalmente pólipos del colon, cuando se estableció la exactitud del método para medir los diferentes objetos. En las figuras 4,5,6, se muestran los objetos

Figura 4. A, Foto de un objeto conocido (anillo de caucho), ya ingresada al algoritmo. En la parte B, haciendo uso de la función imdistline, se utiliza el proceso ya conocido, se le traza la línea y se obtiene el valor en pixeles. En la figura C, se ingresa el valor en pixeles y dando click en “OK” arroja el resultado en mm.

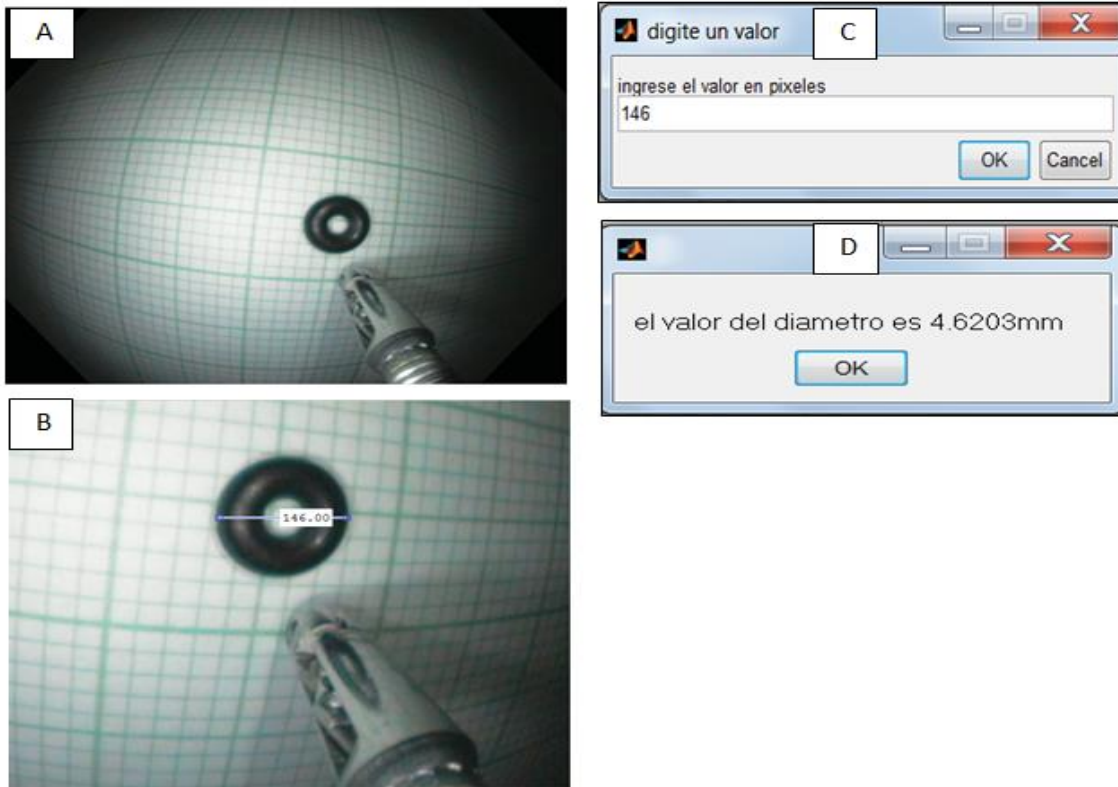


Figura 5. A, Objeto con tamaño conocido (Moneda de 100 pesos). B, Medida en pixeles con la herramienta imdistline. C, Ventana de ingresar el valor en pixeles. D, ventana de resultado del diámetro del objeto en mm.

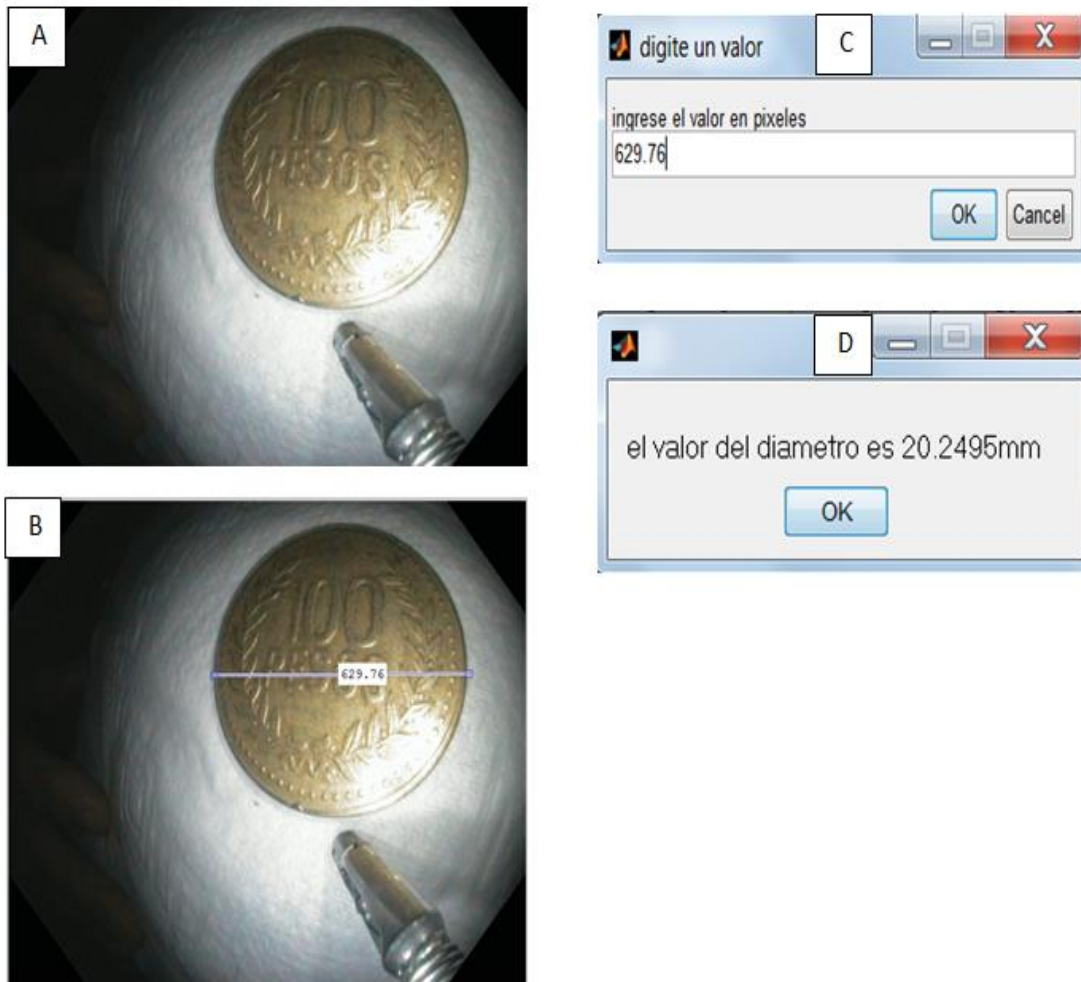
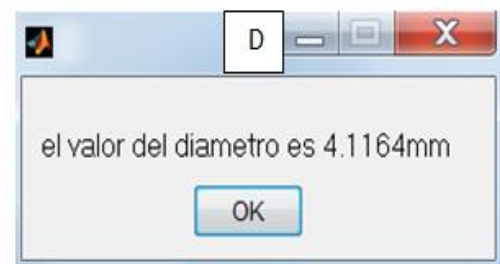
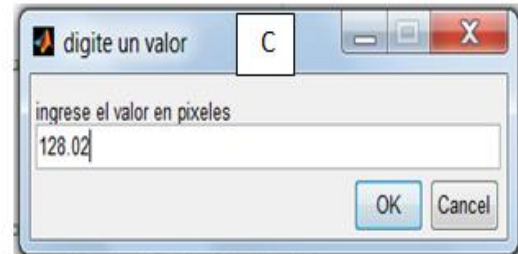
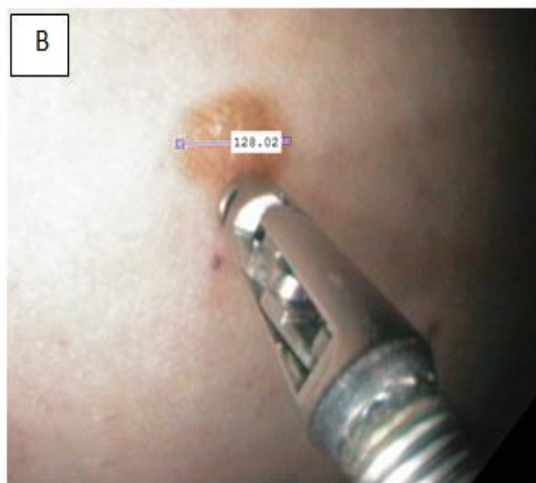
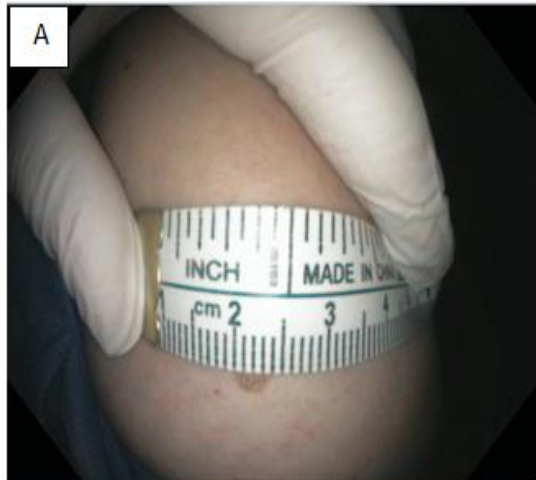
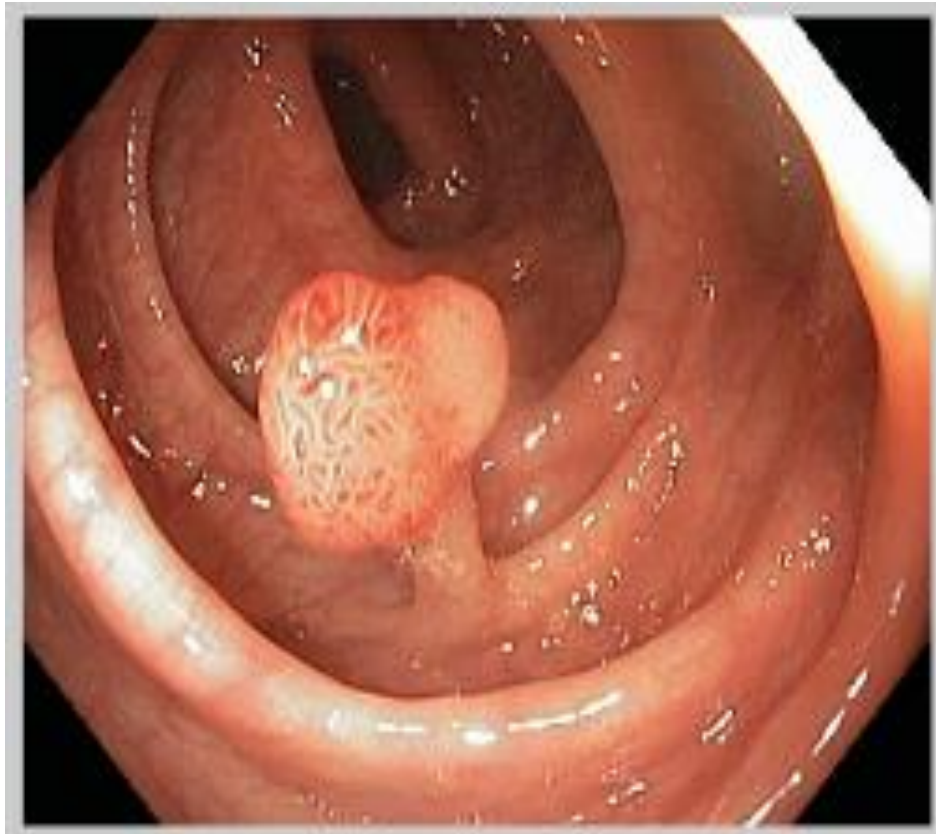


Figura 6. A, Lesión de la piel con tamaño conocido (Lunar). B, Medida en píxeles con la herramienta imdistline. C, Ventana de ingresar el valor en píxeles. D, ventana de resultado del diámetro del objeto en mm.



En esta fase también se sometieron varios pólipos y en la figura 7 se muestra uno de ellos que es un pólipo pediculado.

Figura 7. Pólipo del colon que se someterá al algoritmo. Fotografía (JGP), tomada con el colonoscopio en una colonoscopia de rutina



Fase 3. Después de encontrar que el algoritmo construido en MATLAB, tiene un excelente concordancia, fue considerado el “gold standard” para la tercera fase. En esta fase se enviaron fotografías en formato JPG, tomadas con la misma metodología descrita, a tres gastroenterólogos expertos para que estimaran visualmente el tamaño de los mismos. Los tamaños estimados visualmente por ellos, se confrontaron con los arrojados por el algoritmo

Resultados.

Los valores en pixeles y en mm, calculados por algoritmo de Matlab, se muestran en las figuras 5,6,8. Sus valores consolidados se muestran en la tabla 3. En esa misma tabla, se comparan los valores de cada elemento que arrojó el algoritmo de MATLAB, con los valores reales de cada objeto, incluyendo la lesión de la piel y se muestran las variaciones de estas dos medidas. Los signos (+) o (-), hacen referencia al tamaño, suministrado por MATLAB, cuando es más o es menos que el valor real.

Tabla 3. Objetos con diámetros conocidos (patrones de referencia) Vs algoritmo

Objeto de Referencia	Diámetro según el algoritmo (mm)	Diámetro Real (mm)	Diferencias en las medidas en mm
Objeto 2-001	2.86	2.78	+0.08
Anillo 2-002	3.65	3.61	+0.04
Anillo 2-003	4.66	4.46	+0.2
Lesión de la Piel	4.11	4	+0.11
Anillo 2-004	5.09	5.34	-0.25
Anillo 2-013	13.39	14.40	-1.01
Moneda (100 pesos)	20.24	22	-1.76

En esta tabla, se observa que el algoritmo, sobre-estima el tamaño real entre 0.11 a 0.08 mm, cuando el objeto mide menos de 5mm, dando un tamaño ligeramente superior (la décima parte de 1 mm). En cambio sub-estima (da un valor inferior), en 0.25 mm, los objetos mayores a 5 mm. Cuando el objeto mide 22 mm, el error es de 1.76 mm. Con esas mínimas variaciones la concordancia kappa es casi perfecta.

Después de haber verificado la exactitud del algoritmo cuando se midieron los objetos con valores reales, se calculó el tamaño de un pólipo encontrado en la colonoscopia, cuyo valor se muestra en la figura 8, cuyo tamaño fue de 11.09 mm.

Figura 8. Pólipo sometido al algoritmo.



En la tabla 4, se muestran los resultados de las mediciones realizadas visualmente por los expertos, comparadas con las medidas arrojadas por el algoritmo.

Tabla 4. Tamaños de los pólipos estimados por gastroenterólogos expertos, comparados con el arrojado por MATLAB.

<i>Imagen JPG</i>	<i>Valor según el algoritmo en mm</i>	<i>Valor considerado por el experto 1, en mm</i>	<i>Diferencia de las medidas en mm, algoritmo Vs Experto 1</i>	<i>Valor considerado por el experto 2, en mm</i>	<i>Diferencia de las medidas en mm, algoritmo Vs Experto 2</i>	<i>Valor considerado por el experto 3, en mm</i>	<i>Diferencia de las medidas en mm, algoritmo Vs Experto 3</i>
Pólipo 1	8,0	12,0	+4,0	15,0	+7,0	12,0	+4,0
Pólipo 2	10,4	8,0	-2,4	8,0	-2,4	15,0	+4,6
Pólipo 3	7,0	12,0	+5,0	12,0	+5,0	13,0	+6,0
Pólipo 4	9,4	15,0	+5,6	18,0	+8,6	13,0	+3,6
Pólipo 5	11,2	15,0	+3,8	16,0	+4,8	15,0	+3,8

Los pólipos de 7, 8 y 9 mm los expertos estimaron que medían 12, 15 y 18mm respectivamente.

Discusión

En el presente estudio, se ha diseñado un algoritmo con las herramientas de MATLAB y con él se ha podido determinar, con alto grado de concordancia el tamaño de objetos reales. Una vez comprobado el adecuado rendimiento del algoritmo se estimaron los tamaños de pólipos del colon. Hasta donde investigamos, este es el primer estudio que utiliza MATLAB para estimar el tamaño de pólipos del colon. Con el método utilizado en esta investigación, un algoritmo con el software matemático MATLAB, la medición es prácticamente exacta. En los objetos con tamaños menores a 5mm, sobreestima su tamaño entre 0.11 a 0.08 mm para los objetos y subestima entre 0.25 mm en objetos de 5 mm y 1.76 mm en aquellos de 22 mm. Globalmente, la medición con el algoritmo tiene una inexactitud de 0.2% a 8% en los objetos de 22 mm. Esta variación, es impresionantemente menor que la producida por la estimación visual de los expertos, que es del 50% hacia arriba o hacia abajo (22). Con este rendimiento, consideramos que el algoritmo resuelve la imposibilidad de medir los pólipos del colon y consideramos que su implementación podría tener un gran impacto en la gastroenterología y endoscopía, por ser método con alto rendimiento, muy barato y de fácil implementación.

Cuando se comparó la estimación visual de los expertos en nuestro estudio, tomando como patrón de referencia el algoritmo, la medición de ellos varió entre 50 y 80% por encima de los pólipos de 8 mm, al dar valores de 12mm, 15mm y 12 mm. En los pólipos de 7 mm, los expertos dieron valores de 12mm, 12mm y 13 mm

respectivamente, lo cual da una variación por encima del diámetro real de 50 y 80%. En los pólipos de 11.2 mm, la sobrestimación fue de 33% a 40%. Si nos basamos en la medición de estos tres expertos, los pólipos enviados que tenían diámetros de 7 y 8 mm, serían programados para hacerles colonoscopias en los próximos tres años, ya que el valor que dieron de esos pólipos pequeños eran superiores a 10 mm. Con ese error, de sobreestimar el verdadero tamaño, se incrementan los costos y se congestionan los servicios de endoscopias, al programar muchas colonoscopias innecesarias, ya que la solicitud de las mismas se estaba basando en unos tamaños erróneamente informados por encima de 10 mm, con lo cual, los pacientes tendrían una colonoscopia dentro de un año (10,11), generando costos injustificados por la cantidad de colonoscopias indicadas a nivel nacional. Los resultados obtenidos en esta investigación permiten concluir que la exactitud lograda, es superior a los diferentes métodos hasta el momento utilizados.

Conclusiones

Con el algoritmo desarrollado con el software matemático MATLAB se ha logrado, una excelente aproximación del tamaño real de objetos con mediciones conocidas, con un margen de error menor al 10% en el peor de los casos. Extrapolado este algoritmo a los pólipos del colon, se logró una medida de los mismos de manera relativamente fácil y cuando este algoritmo se utilizó como el “gold standard”, las mediciones de los expertos, al igual que en estudios internacionales, sobreestimaron el tamaño de las lesiones, con lo cual, teóricamente se harían colonoscopias innecesarias.

Con base en los resultados de este estudio, se infiere que la implementación de este método podrá tener un gran impacto en la atención y costos de los pacientes con pólipos del colon en gastroenterología. Con MATLAB un software matemático, relativamente fácil de manejar, económico (se puede acceder de manera gratuita en el internet) o comprar la versión “Estándar” del mismo. Con la ayuda de un ingeniero es fácilmente implementable en un servicio de gastroenterología, al poderse descargar en cualquier computador, se ha desarrollado un nuevo método para medir los pólipos.

La presente es una investigación original, concebida para resolver la dificultad universal de medir con exactitud los pólipos del colon. En el momento, hemos iniciado su aplicación para medir igualmente los pólipos del esófago y del estómago.

Recomendaciones: Implementar este método en las salas de endoscopia.

Conflictos de interés: Ninguno

Los costos de la presente investigación fueron asumidos en su totalidad por los investigadores.

No obstante haber sido contratado como un profesional externo, agradecemos inmensamente al Ingeniero de Sistemas, experto en MATLAB, por su dedicación, la disposición permanente para resolver nuestras dudas y por su entusiasmo, con todas nuestras inquietudes.

Referencias.

1. Ferlay J, Shin HR, Bray F, Forman D, Mathers C, Parkin DM. Cancer incidence and mortality worldwide. GLOBOCAN 2008. *Int J Cancer* 2010; 127(12): 2893–917. Accesado marzo14,2015.
2. Torre LA, Bray F, Siegel RL, Ferlay J, Lortet-Tieulent J, Jemal A. Global cancer statistics, 2012. *CA Cancer J Clin.* 2015;65(2):87.
3. Piñeros M, Hernández G, Bray F. Increasing mortality rates of common malignancies in Colombia. *Cancer* 2004; 101: 2285-92.
4. Center MM, Jemal A, Ward E. International trends in colorectal cancer incidence rates. *Cancer Epidemiol Biomark Prev* 2009; 18:1688–94.
5. MacInnis RJ, English DR, Hopper JL, et al. Body size and composition and colon cancer risk in men. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2004; 13: 553-559.
6. Vogelstein B, Fearon ER, Hamilton SR, et al. Genetic alterations during colorectal-tumor development. *N Engl J Med* 1988; 319: 525-32.
7. von karsa L, patnick J, Segnan N, et al. European guidelines for quality assurance in colorectal cancer screening and diagnosis: overview and introduction to the full supplement publication. *Endoscopy* 2013;45:51-9.
8. Burges NG, Bahin FF, Bohurque MJ. Colonic polypectomy (with videos. *Gastrointest Endosc* 2015;81:814-34.
9. Kilgore TW, Abdinoor AA, Szary NM, Schowengerdt SW, Yust JB, Choudhary A, Matteson ML, Puli SR, Marshall JB, Bechtold ML. Bowel preparation with split-dose polyethylene glycol before colonoscopy: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Gastrointest Endosc.* 2011;73(6):1240-62.
10. Lieberman DA, Rex DK, Winawer SJ, Giardiello FM, Johnson DA, Levin TR. Guidelines for colonoscopy surveillance after screening and polypectomy: a consensus update by the US Multi-Society Task Force on Colorectal Cancer. *Gastroenterology.* 2012; 143:844-57.
11. Hassan C, Quintero E, Dumonceau JM, Regula J, Brandao C, Chaussade S, et al. Postpolypectomy colonoscopy surveillance: European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) Guideline. *Endoscopy.* 2013; 45:842-51.
12. Moug SJ, Vernall N, Saldanha J et al (2010) Endoscopists' estimation of size should not determine surveillance of colonic polyps. *Colon Dis* 2010; 12:646–650.

13. Rex, DK, Rabinovitz R. variable interpretation of polyp size by using open fórceps by experienced colonoscopists. *Gastrointest endosc* 2014;79:402-7.
14. Hofstad B, Vatn M, Larsen S, et al. Reliability of in situ measurements of colorectal polyps. *Scand J Gastroenterol* 1992;27:59-64.
15. Margulies C, Krevsky B, Catalano MF. How accurate are endoscopic estimates of size? *Gastrointest Endosc* 1994;40:174-7.
16. Hofstad B, Vatn M, Larsen S, et al. In situ measurement of colorectal polyps to compare video and fiberoptic endoscopes. *Endoscopy* 1994;26:461-5.
17. Morales TG, Sampliner RE, Garewal HS, et al. The difference in colon polyp size before and after removal. *Gastrointest Endosc* 1996;43:25-8.
18. Rubio CA, Hoog CM, Brostrom O, Gustavsson J, Karlsson M, Moritz P, et al. Assessing the size of polyp phantoms in tandem colonoscopies. *Anticancer Res.* 2009;29:1539-45.
19. Rubio CA, Hoog CM, Brostrom O, Gustavsson J, Karlsson M, Moritz P, et al. Assessing the size of polyp phantoms in tandem colonoscopies. *Anticancer Res.* 2009;29:1539-45.
20. Watanabe T, Kume K, Yoshikawa I, et al. Usefulness of a novel calibrated Hood to determine indications for colon polypectomy: visual estimation of polyp size is not accurate. *Int J Colorectal Dis* 2015, Online.
21. Oka K, Seki T, Akatzu T, et al. Clinical study using novel endoscopic system for measuring size of gastrointestinal lesion. *World J Gastroenterol* 2014; 20:4050-8.
22. Consensus Guidelines from the U.S. Multi-Society Task Force on Colorectal Cancer and the American Cancer Society Colonoscopy Surveillance After Polypectomy and Colorectal Cancer Resection. *Am Fam Physician.* 2008;77::995-1002.
23. Kilgore TW, Abdinoor AA, Szary NM, Schowengerdt SW, Yust JB, Choudhary A, Matteson ML, Puli SR, Marshall JB, Bechtold ML. Bowel preparation with split-dose polyethylene glycol before colonoscopy: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Gastrointest Endosc.* 2011;73(6):1240.
24. Ingeniería informática. Que es una imagen digital. Disponible en: http://arantxa.ii.uam.es/~eloy/html/doctorado/doct_9.pdf. [En línea]. [Fecha de consulta: 27 de enero de 2015].

25. Tecnología para adquisición de imágenes bloque 2. [http://www.atc.us.es/descargas/Tecnologias_para_la_adquisicion_de_imagenes_\(Bloque2\).pdf](http://www.atc.us.es/descargas/Tecnologias_para_la_adquisicion_de_imagenes_(Bloque2).pdf). [En línea]. [Fecha de consulta: 27 de enero de 2015].
26. Diseño de materiales multimedia. Formato de imagen. Disponible en: <http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/107/cd/imagen/imagen0105.html>. [En línea]. [Fecha de consulta: 27 de enero de 2015].
27. masadelanta.com. Definición de que es un pixel. Disponible en: <http://www.masadelante.com/faqs/pixel>. [En línea]. [Fecha de consulta: 27 de enero de 2015].
28. Diseño de materiales multimedia. Web 2.0. IMAGEN. CONCEPTOS BÁSICOS DE IMAGEN DIGITAL. Disponible En: <http://www.ite.educacion.es/formacion/materiales/107/cd/imagen/pdf/imagen01.pdf>, [En línea]. [Fecha de consulta: 27 de enero de 2015].
29. Diccionario de la Real Academia Española. Vigésima Segunda Edición 2001.
30. MathWorks Blogs. Disponible en: <http://blogs.mathworks.com/>. [Fecha de consulta: 11 de febrero de 2015].
31. MATLAB on StackOverflow. Disponible en: <http://stackoverflow.com/questions/tagged/matlab> [Fecha de consulta: 11 de febrero de 2015].
32. Matlab central. Disponible en: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/>. [En línea]. [Fecha de consulta: 11 de febrero de 2015].
33. MOORE H. Matlab para ingenieros. Editorial: Pearso Educación. Mexico, 2007.