

Uso de Machine Learning para el diagnóstico presuntivo de anemia usando conjuntiva palpebral

Kimberly Soto C., Favio Caverro M., Guillermo Armoa B., Gabriela Sánchez D., David Aguilar Y. y David Puma S.
Ingeniería Biomédica PUCP-UPCH

Summary— La anemia en el Perú es un problema de salud pública que ha tenido mayor prevalencia en niños en nuestro país, siendo los exámenes de sangre una prueba invasiva recurrente de detección. Es por ello que hemos desarrollado un dispositivo médico que usa el algoritmo de Machine Learning para realizar detección presuntiva de anemia usando la conjuntiva palpebral del paciente.

I. INTRODUCTION

La anemia es una afección caracterizada por el bajo número de glóbulos rojos sanos en la sangre o la baja concentración de una de sus proteínas llamada hemoglobina en ellos. Un bajo nivel de hemoglobina afecta el transporte de oxígeno del cuerpo, ya que esta es la proteína responsable de este proceso, lo que puede ocasionar que el usuario que padezca anemia experimente cansancio, fatiga, debilidad, mareos, falta de aire, entre otras. [1]

Esta afección puede ser congénita o adquirida y deberse a diversos factores, existen diversos tipos de anemia los cuales poseen diversas causas, entre las más comunes se encuentran:

- **Anemia por deficiencia de hierro:** ocasionada por la escasez de hierro en el cuerpo, lo que impide que el cuerpo produzca suficiente hemoglobina.
- **Anemia por deficiencia de vitaminas:** ocasionada por la falta de folato o vitamina B-12, las cuales también son esenciales para que el cuerpo produzca glóbulos rojos sanos.
- **Anemia hemolítica:** ocasionada porque los glóbulos rojos se destruyen más rápido de lo que la médula ósea puede generarlos.
- **Anemia de inflamación:** ocasionada por ciertas enfermedades como el cáncer, el VIH/SIDA, enfermedad renal y otras enfermedades inflamatorias que pueden interferir con la producción de glóbulos rojos [2].

Estos diversos tipos de anemia comparten la sintomatología de la enfermedad, entre los síntomas más clásicos se encuentra el malestar, dolor de cabeza, palidez, debilidad y cansancio [2]. Además, diversos estudios observacionales y estudios experimentales con grupos de control han determinado que la anemia no detectada y consecuentemente no tratada afecta el desarrollo cognitivo de las personas a largo plazo, se la ha relacionado con un menor desempeño en diversas áreas como la cognitiva, social y emocional, en niños la anemia puede disminuir el desempeño escolar y posteriormente en la vida adulta, afectando sus calidades de vida [3].

A. Contexto

1. Contexto Social

En el Mundo

La anemia es un problema de salud pública a nivel mundial, según un estudio de la Organización Mundial de la Salud en el 2019, se estimó que 29.9% de mujeres en edad fértil (15-49 años) y un 39.8% de niños (6-59 meses) padecía de anemia.

Según la información recopilada por la OMS, podemos visualizar que en regiones como África, la prevalencia de anemia es superior a otras regiones, se estima que en África el 60.2% de niños de 6-59 meses vive con anemia [4].

En el Perú

En el Perú, la principal prueba para detectar anemia en mujeres, niñas y niños es la prueba de sangre capilar, la cual constituye uno de los mayores esfuerzos que la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar realiza cada año desde 1996, año en que se incluyó en ella un módulo de antropometría y medición de hemoglobina. El método básico utilizado para la detección fotométrica de anemia es el sistema HemoCue [5].

PERÚ: PREVALENCIA DE ANEMIA EN NIÑAS Y NIÑOS DE 6 A 59 MESES DE EDAD, SEGÚN DEPARTAMENTO, 2019 - 2020 (Porcentaje)



Fig 1. Perú: Prevalencia de anemia en niñas y niños de 6 a 35 meses de edad, según departamento, 2019-2020, Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática - Encuesta Demográfica y de Salud Familiar

2. Contexto Económico

El 2017, el Ministerio de Salud presentó el *Plan Nacional para la Reducción y Control de la Anemia Materno Infantil y la Desnutrición Crónica Infantil en el Perú: 2017-2021*, el cual tenía el objetivo general de contribuir con la reducción de la prevalencia de anemia materno infantil y desnutrición crónica infantil, a través del fortalecimiento de intervenciones efectivas en el ámbito intersectorial.

En este plan nacional, se especifica que las acciones para la lucha contra la anemia serán realizadas en el marco del presupuesto asignado a los Programas Presupuestales Articulados Nutricional y Salud Materno Neonatal, el cual asciende a la suma de S/. 1 791 314 741 el año del comienzo de este plan, de este, S/. 1 585 796 116, corresponden directamente al presupuesto del Articulado Nutricional [6].

Como ya ha sido mencionado anteriormente, el método básico para la detección fotométrica de anemia, es la prueba de hemoglobina del sistema HemoCue, siendo este el hemoglobímetro portátil utilizado de forma estándar en el Perú. El HemoCue B Hemoglobin es un sistema portátil que obtiene el valor de la hemoglobina utilizando una gota de sangre en sólo unos segundos con una precisión de ± 1 g/dL, cuyo precio utilizado [7]. Además de ser un método invasivo, el sistema HemoCue es de un costo elevado, cuyo modelo más básico del HemoCue HB201+ puede ser encontrado desde precios de s/1,800 hasta s/3,090 nuevos soles [8].

B. Problemática

De acuerdo al contexto previamente presentado, los métodos de diagnóstico de anemia son tediosos y costosos con respecto a las necesidades requeridas por los ciudadanos de las zonas rurales. Tan solo en Ayacucho podemos encontrar un total de 48% de personas con anemia, se agilizaría mucho el proceso de presunción de anemia antes de pasar con un doctor.

En este caso, la problemática encontrada es la falta de métodos de detección rápida de forma no invasiva y de bajo costo, por lo visto anteriormente representa una problemática significativa.

C. Estado del arte

Para nuestro proyecto, se realizó una revisión bibliográfica de distintos artículos correspondientes a métodos no invasivos de detección de anemia:

1. *Smartphone app for non-invasive detection of anemia using only patient-sourced photos:*

Mediante una aplicación de celular, este método busca brindar una manera de detectar la anemia mediante fotos de las uñas del paciente, las cuales pueden ser tomadas por la misma persona, como una alternativa para zonas en donde los recursos

médicos son escasos, además, fomentaría a la persona a cuidarse diariamente, en base al análisis de su hemoglobina, sin la necesidad de esperar en un laboratorio. Adicionalmente, esta aplicación proveerá resultados más eficaces conforme más se utilice. [9]

2. **Bosch Hemoglobin Monitor (HMS):** Bosch ofrece una alternativa a la detección de anemia, sin la necesidad de un análisis de sangre, libre de dolor al paciente, mediante un escáner de dedo, el cual usa espectrofotometría multiseñal en la superficie de la piel, luego, un sensor óptico logra detectar los cambios volumétricos de la sangre en circulación. Al cabo de 30 segundos, el dispositivo ofrecerá un resultado confiable, incluso en sangre con pequeñas concentraciones de hemoglobina [10].
3. **Glasswing:** Este dispositivo, creado por Orsense, ayuda a la detección de anemia, así como al análisis de sangre de donadores para revisar si tienen niveles adecuados de hemoglobina; se encarga de medir la luz transmitida a través del dedo del paciente, además, éste tiene una batería recargable y puede transmitir de manera inalámbrica información en tiempo real al registro de salud electrónico del paciente [11].
4. **A New Method and a Non-Invasive Device to Estimate Anemia Based on Digital Images of the Conjunctiva:** Consiste en un dispositivo conformado por 3 componentes: unos lentes macro, capaces de conectarse con un Smartphone para capturar el ojo de la persona, esta también presenta una luz LED aislada con cinta negra, para que el entorno no dañe la foto de muestra, luego, un Smartphone y un software llamado Hbmeter, creado en Java, el cuál permitirá la adquisición de las imágenes, y calculará la presencia de anemia o no en el paciente; además, podrá enviar esta información por correo a un doctor. Fue diseñado con la función de evitar la incomodidad del paciente por la recolección de sangre, así como una forma de detección de anemia posible tanto en laboratorios como en casa, incluso de manera diaria [12].
5. **TouchHb:** Es un dispositivo no invasivo capaz de detectar anemia mediante el análisis de palidez de la conjuntiva del paciente mediante la fotometría de reflectancia; su enfoque es la detección temprana de anemia para evitar el fallecimiento de miles de personas que no tienen accesibilidad al diagnóstico de anemia, además, provee una funcionalidad sencilla y es fácil de adquirir [13].

D. Objetivo del Proyecto

El objetivo del presente trabajo es diseñar un prototipo de baja fidelidad, el cual pueda realizar una presunción de anemia. A través de haber entrenado a un software "Teachable machine" el cual fue adiestrado con imágenes

sacadas de un banco. De estas imágenes se hizo un ajuste con respecto a la cantidad de imágenes de conjuntivas palpebrales con y sin anemia.

La finalidad del proyecto es que se pueda dar la presunción de anemia para realizar este proceso de manera más ágil en zonas rurales, de manera que pueda ser un tipo de filtro antes de pasar a consulta con un doctor. Cabe resaltar que el único diagnóstico de anemia puede ser realizado por un examen de sangre y ser diagnosticada la anemia por un doctor.

II. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

A. Requerimientos del diseño:

Se dividió los requerimientos en funcionales y no funcionales:

Requerimientos funcionales:

- Dura largos periodos de tiempo.
- Mostrar resultados
- Tener alta eficacia de detección de anemia
- Requiere poco mantenimiento
- Alerta si tiene un fallo

Requerimientos no funcionales:

- No debe tener un funcionamiento invasivo
- De baja fidelidad
- Ergonómicamente: Usar materiales sin un costo alto y se adecuen a las necesidades del usuario
- Puede ser utilizado por los hospitales rurales y postas médicas.

B. Propuesta de solución y bocetos del proyecto:

Se encontró un estudio que relaciona el color de la conjuntiva con los niveles de hierro en sangre [14], por lo tanto, se diseñó un dispositivo que de una presunción no invasiva y rápida de diagnóstico de anemia. En ese sentido, recurrimos a una inteligencia artificial, que fue entrenada mediante una base de datos de India e Italia que fue obtenida de la IEEE. Esta contiene 256 imágenes, los niveles de hemoglobina en sangre y sexo del paciente. Nuestra base de datos cuenta incluye a personas de distintas etnias y con diferentes colores de ojos, esto nos ayuda a corregir los problemas de underfitting y overfitting que se pueden presentar [15].

Para la programación en Python, se utilizó 2 librerías Open CV y Tensorflow para el análisis de imágenes, las cuales se encargan del análisis de color y clasificación, respectivamente. Se optó por utilizar un Raspberry pi 4 modelo B de 8 GB de memoria RAM por su capacidad de procesamiento y practicidad.

El primer boceto consiste en un módulo donde el paciente colocará su cabeza. El paciente mostrará la conjuntiva del ojo y ajustará la posición de su cabeza hasta que sus ojos estén a la altura de la cámara. Se tomarán las imágenes,

posteriormente estas serán analizadas y clasificadas por nuestro algoritmo de acuerdo a los niveles de hierro.

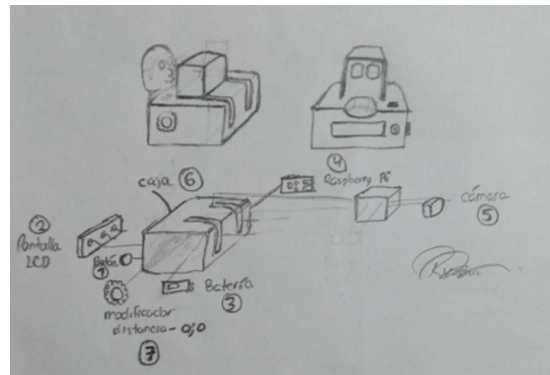


Figura 2: Boceto 1

El segundo boceto consiste en un módulo de cámara que será sostenido por otra persona para la toma de fotos de la conjuntiva. El paciente mostrará la conjuntiva del ojo y luego se colocará la cámara cubriendo toda el área del ojo para que la única iluminación sea la del dispositivo. El resultado será mostrado en la pantalla del equipo.

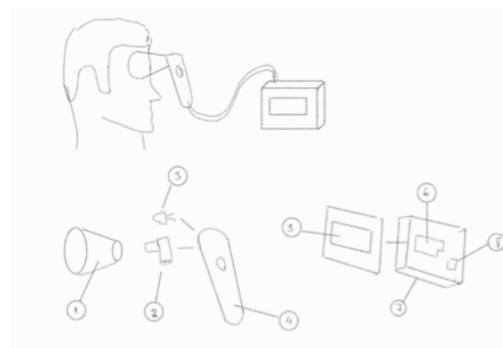


Figura 3: Boceto 2

III. DISEÑO DE LA PROPUESTA

A. Submódulo electrónico:

Se modelará una caja de 16x14x11.3 cm que sirva de soporte de la cámara de extracción de imágenes y contenga el raspberry pi conectado a la pantalla LCD. Contendrá una caja de soporte a estos dos componentes acoplado en la parte izquierda como se observa en la imagen 1.

Raspberry Pi 4

“3.5-inch Raspberry LCD”

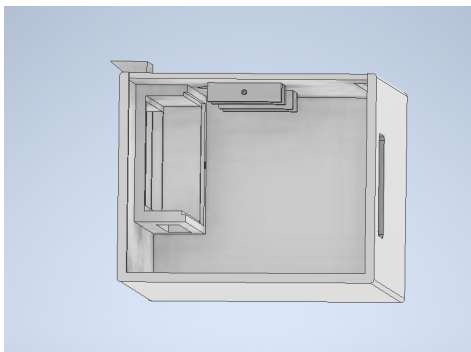


Figura 4: Modelado 3D. Vista lateral. Elaboración propia

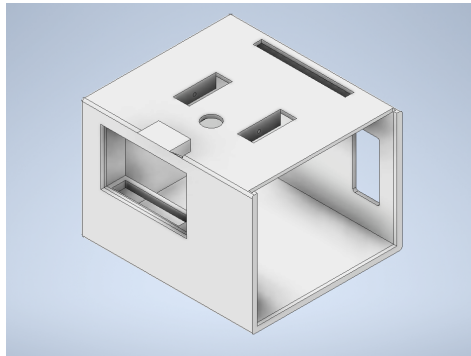


Figura 5: Modelado 3D. Vista diagonal. Elaboración propia

Se ha diseñado en la parte lateral derecha una extrusión que pueda contener una tapa que oculte a la vista pública la conexión de los componentes anteriormente mencionados.

B. Submódulo extractor de imágenes:

Consiste en un espacio cerrado de 12.8x 13.2x 22 cm que contendrá una cámara web en la parte superior a la altura de los ojos del usuario como se puede observar en la imagen 4.

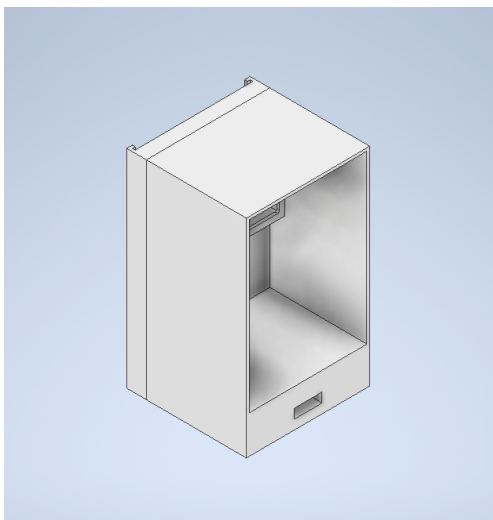


Figura 6: Modelado 3D. Vista diagonal izquierda. Elaboración propia

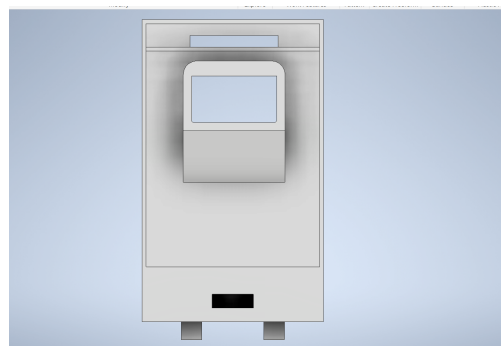


Figura 7: Modelado 3D. Vista frontal. Elaboración propia

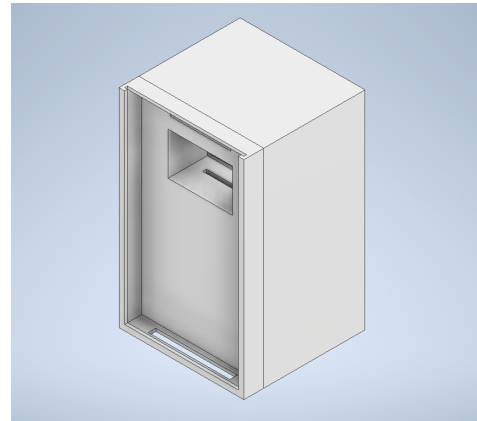


Figura 8: Modelado 3D. Vista diagonal derecha. Elaboración propia

Conexiones preliminares:

Se optó por usar un teclado y un mouse inalámbrico adicionales. La conexión HDMI fue utilizada para una mejor visualización del código y funcionamiento en pantalla grande.



Figura 9. Conexiones preliminares. Elaboración propia

Ensamblaje final:



Figura 10. Ensamblaje final. Elaboración propia

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

El requerimiento principal para realizar el prototipo era una base de datos consistente basada en imágenes de conjuntiva obtenidas de pacientes con anemia. Tras conseguirla, se realizó unas modificaciones para solucionar el *underfitting* y *overfitting*, las cuales son unas de las principales causas por las que se obtienen resultados erróneos en el Machine Learning. Entonces, para solucionar esto se modificó algunas imágenes cambiando la posición o la coloración del ojo sin modificar la parte de la conjuntiva palpebral, la cual es necesaria para el análisis. Seguidamente, al conseguir los materiales necesarios, se armó el circuito, de manera que se realizó las pruebas necesarias para comprobar el

funcionamiento del prototipo. En la primera iteración, se realizó la simulación del código en el raspberry pi con el módulo de la cámara web activado. Durante este proceso, se observó inconvenientes pues la cámara funcionaba de manera lenta, lo cual no era óptimo para nuestro proyecto, por lo que tuvimos que ajustar la resolución de esta. Un importante problema presente fue que al realizar una prueba en un paciente que presenta anemia, se diagnosticaba que no presentaba anemia. Esto se debe a que la imagen capturada presentaba una parte de la uña del paciente, la cual estaba pintada, por lo que el presunto diagnóstico no era el adecuado. Entonces, como nuestro prototipo hace uso de la colorimetría para generar un presunto diagnóstico, debemos verificar que al capturar la imagen solo se muestre la parte de la conjuntiva palpebral. También, se debe tener en cuenta que no se obtendrá un diagnóstico correcto cuando el paciente presenta irritación ocular, pues sucederá el mismo error de diagnóstico que en la prueba expuesta anteriormente.

Se utilizaron las imágenes de la investigación anteriormente mencionada y se realizó una comparación con otros proyectos. Una investigación realizada en Brasil, 2016, utilizó fotografías de 94 participantes de los 101 iniciales que habían escogido usando la cámara de un dispositivo celular conocido como el iPhone. En nuestro caso, se utilizó una cámara web la cual podría aumentar su resolución y tener mejores resultados que la investigación citada, que incluso tiene unos excelentes resultados[16].

Algunas de las limitaciones que se nos presentaron en el momento de la elaboración del código, ya que las personas presentes en el proyecto tenían desconocimiento del programa Python sumado a la carga curricular de cada uno y a los tiempos que manejaba resultaba difícil el avance de este. Sin embargo, tuvimos asesoría por parte de los profesores y pudimos lograr el objetivo, gracias a que la curva de aprendizaje tenía una buena pendiente en poco tiempo.

V. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Se completó la integración del hardware, software e impresión 3D, de manera que es posible realizar un diagnóstico presuntivo de anemia mediante el análisis de imágenes de la conjuntiva palpebral del paciente Cabe resaltar que para el correcto funcionamiento de nuestro prototipo la imagen capturada solo debe mostrar la parte de la conjuntiva palpebral, pues si el paciente muestra una parte de su uña o si presenta irritación ocular no se hará una correcta distinción en la escala de colores, por lo que el presunto diagnóstico no será el correcto.

Respecto a las perspectivas a trabajos futuros, la búsqueda de materiales con mayor rendimiento y la realización de mayor cantidad de pruebas en la simulación, lograría que obtengamos un prototipo con mayor eficacia. Además, se puede investigar métodos para un descarte automático de las imágenes que no son adecuadas para el análisis. Finalmente, podríamos consultar a expertos e investigadores del tema acerca del desempeño de nuestro prototipo.

VI. REFERENCIAS

Todas las referencias usadas a lo largo del documento en formato vancouver .

- [1] Anaemia [Internet]. Who.int. [citado el 2 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.who.int/health-topics/anaemia>
- [2] Anemia - Síntomas y causas - Mayo Clinic. Mayoclinic.org. 2022 [citado el 27 August 2022]. Disponible en: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/anemia/symptoms-causes/syc-20351360>
- [3] Zavaleta, Nelly y Astete-Robilliard, Laura Efecto de la anemia en el desarrollo infantil: consecuencias a largo plazo. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública [online]. 2017, v. 34, n. 4 [Accedido 16 Noviembre 2022] , pp. 716-722. Disponible en: <<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2017.344.3346>>. ISSN 1726-4642.
- [4] Anaemia in women and children [Internet]. Who.int. [citado el 2 de diciembre de 2022]. Disponible en: https://www.who.int/data/gho/data/themes/topics/anaemia_in_women_and_children
- [5] Gob.pe. [citado el 2 de diciembre de 2022]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Endes2019/Libro.pdf
- [6] Plan Nacional para la Reducción y Control de la Anemia Materno Infantil y la Desnutrición Crónica Infantil en el Perú: 2017-2021. Disponible en: <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/4189.pdf>
- [7] Prueba de hemoglobina - Hematología - HemoCue [Internet]. Hemocue.com. [citado el 2 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.hemocue.com/es-es/soluciones/-hematolog%C3%ADa>
- [8] HemoCue hb 201+ analyzer [Internet]. Medex Supply. [citado el 2 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://medexsupply.com/hemocue-hb-201-analyzer/>
- [9] Mannino RG, Myers DR, Tyburski EA, Caruso C, Boudreaux J, Leong T, et al. Smartphone app for non-invasive detection of anemia using only patient-sourced photos. Nat Commun [Internet]. 2018 [citado el 2 de diciembre de 2022];9(1):4924. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41467-018-07262-2>
- [10] Bosch Hemoglobin Monitor: Early detection of anemia without blood tests [Internet]. Bosch Media Service. [citado el 2 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/bosch-hemoglobin-monitor-early-detection-of-anemia-without-blood-tests-223296.html>
- [11] Hagen J, Olsen E. OrSense hemoglobin screening device goes wireless [Internet]. MobiHealthNews. 2012 [citado el 2 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.mobihealthnews.com/17843/orsense-hemoglobin-screening-device-goes-wireless>
- [12] Dimauro G, Caivano D, Girardi F. A new method and a non-invasive device to estimate anemia based on digital images of the conjunctiva. IEEE Access [Internet]. 2018;6:46968–75. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8449922>
- [13] Chen H, Zeng D, Yan P. BioSense. In: Integrated Series in Information Systems. Boston, MA: Springer US; 2010. p. 109–19. <https://www.biosense.in/touchhb.php>
- [14] M. Vilaplana, “El metabolismo del hierro y la anemia ferropénica”, Offarm, vol. 20, núm. 4, pp. 123–127, 2001.
- [15] Giovanni Dimauro, Rosalia Maglietta, Thulasi Bai, Sivachandar Kasiviswanathan. Eyes-defy-anemia [Internet]. IEEE Dataport; 2022. Available from : <https://dx.doi.org/10.21227/t5s2-4j73>
- [16] Collings S, Thompson O, Hirst E, Goossens L, George A, Weinkove R (2016) Detección no invasiva de la anemia utilizando fotografías digitales de la conjuntiva. PLoS ONE 11(4): E0153286. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153286>