

Universidad de Lima
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Industrial



IMPACTO DEL USO DE BIOSENSORES ELECTROQUÍMICOS EN LA DETECCIÓN TEMPRANA DE ANEMIA EN NIÑOS MENORES DE CINCO AÑOS EN LA MICRORED DE SALUD DE HUAMBOCANCHA BAJA

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Anghela Luisa, Chunga Cruz

Código 20162980

Claudia Alejandra, Diaz Marin

Código 20163036

Asesor

Wilfredo Román, Hernandez Gorriti

Lima – Perú

Junio de 2023

Impacto del Uso de Biosensores Electroquímicos en la Detección Temprana de Anemia en Niños Menores de Cinco Años en la Microred de Salud de Huambocancha Baja

Claudia Alejandra Díaz Marín ¹, Anghela Luisa Chunga Cruz ²,

Ing. Wilfredo Román Hernández Gorriti ³, Ing. Juan Carlos Morales Gomero ⁴ y Dr. Alex Paul De La Cruz Ayay ⁵

¹ 20163036@aloe.ulima.edu.pe

Facultad de Ingeniería Industrial

Universidad de Lima, Perú

Av. Javier Prado Este 4600, Santiago de Surco, 15023, Perú

² 20162980@aloe.ulima.edu.pe

Facultad de Ingeniería Industrial

Universidad de Lima, Perú

Av. Javier Prado Este 4600, Santiago de Surco, 15023, Perú

³ rhernand@ulima.edu.pe

Facultad de Ingeniería Industrial

Universidad de Lima, Perú

Av. Javier Prado Este 4600, Santiago de Surco, 15023, Perú

⁴ jcmorale@ulima.edu.pe

Facultad de Ingeniería Industrial

Universidad de Lima, Perú

Av. Javier Prado Este 4600, Santiago de Surco, 15023, Perú

⁵ adelacruz95@gmail.com

Universidad Nacional de Cajamarca

Av. Atahualpa Km.3, Cajamarca, 06003, Perú

Historial del Artículo: Recibido: 04 de noviembre 2022; Revisado: 04 de noviembre 2022; Aceptado: 05 de noviembre 2022; Publicado: 09 de noviembre del 2022

Resumen: El Perú presenta altas tasas de anemia, especialmente en zonas rurales, las cuales cuentan con centros médicos con recursos limitados para diagnosticar la enfermedad. Además, en el país existen altos porcentajes de niños menores de 5 años con anemia, quienes con los dispositivos óptimos podrían detectar la enfermedad a tiempo. Actualmente, existen biosensores electroquímicos para detectar enfermedades de manera más rápida, eficaz, con recursos más económicos y que no necesitan de accesorios complementarios. La presente investigación, describe el impacto que generará el uso de biosensores electroquímicos para la detección de la anemia. Como método, se realizó una encuesta al personal de los centros de salud que conforman la red de Huambocancha Baja, en la cual se obtuvo como resultados que el 100% utilizaba el Hemo Control en sus centros laborales, presentaban ciertas dificultades con el dispositivo y consideraron que el biosensor sería de gran ayuda para la detección temprana de anemia en niños.

Palabras clave— Biosensores, potenciostato, detección, anemia, hemoglobina

1. INTRODUCCIÓN

La anemia es una de las enfermedades más frecuentes en el mundo y que genera diversas consecuencias en el desarrollo de los niños como retraso en el crecimiento, signos de fatiga, debilidad, alteración en el sistema nervioso entre otras. Ello ocasiona que las personas con anemia no puedan desenvolverse adecuadamente en su rutina diaria. (Zavaleta & Astete, 2017). Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú, en el año 2020 informó que la desnutrición crónica en niños menores de 5 años fue de 7,2% en zonas urbanas y 24,7% en las zonas rurales (INEI, 2021). A partir de estos resultados se evidenció que los departamentos con más altas tasas de desnutrición son Huancavelica (31,5%), Loreto (25,2%) y Cajamarca (24,4%) (INEI, 2021). A ello se suma, la falta de atención temprana para revertir los efectos como baja de peso, deficiencia de hierro que impacta de forma negativa en el desarrollo conductual y psicomotor infantil. Además, los niños detectados con anemia presentan problemas en su desarrollo motor.

En el Perú, la anemia afecta al 43,6% a niños menores de tres años generando un problema de salud pública. Si bien existe una reducción en el porcentaje de casos de anemia en el Perú, este no es un cambio potencial. Según el INEI, en el año 2017, informó que la desnutrición crónica en infantes menores de 5 años fue de 12,9% (Patrón de referencia OMS); decreciendo en 0,2% con respecto al 2016 y 5,2% en los últimos cinco años. El porcentaje de desnutrición crónica para la zona urbana fue 8,2% y en el área rural 25,3%. En referencia a los departamentos más pobres del Perú, Huancavelica reporta el 31,2%, Cajamarca el 26,6% y Cerro de Pasco el 22,8%. También señala que el mayor porcentaje de desnutrición afecta a niños y niñas con madres sin educación o con estudios de primaria en un 27,6% (INEI, 2018). Asimismo, en el Perú el 43% de los habitantes, cuyas edades oscilan entre de seis a treinta y cinco meses tienen anemia, informando que el 53,3% se ubica en la zona rural y el 40,0% en la región urbana. Desde el 2011 al 2016, la anemia decreció en 0,9%, según tipo, la cifra de anemia leve aumentó de 25,4% a 27,8%, la anemia moderada disminuyó de 18,5% a 15,5% y la anemia severa no mostró un cambio significativo significativa (0,4% aproximadamente). Cabe añadir que, si las cifras son clasificadas por regiones, la disminución de hemoglobina afectó al 75,9% de niños de la región Puno, el 61,5% a la región Loreto y el 59,1% a Ucayali (INEI, 2017).

Por añadidura, las causas asociadas a la anemia, se relacionan con los aspectos sociodemográficos y del cuidado de la salud en la primera etapa de vida como nivel de escolaridad de la madre, lugar de residencia, familias pertenecientes a grupos de pocos recursos, embarazos a temprana edad, escasos controles prenatales, partos domiciliarios, limitada accesibilidad a los servicios de salud y malas prácticas de alimentación (Velásquez-Hurtado et al., 2016, p. 5). De igual manera, las constantes infecciones del niño, la parasitosis, insuficientes dosis de alimentos y nutrientes (Gonzales, Huamán, Gutiérrez, Aparco, & Pillaca, 2015, p.30). También es un factor limitante, la insuficiente cobertura de los servicios de salud para atender a la población objetivo, situación que se observa con mayor frecuencia en las zonas rurales que en las urbanas. Aunque, existen algunos equipos para detectar la anemia en estas zonas, dichos elementos dependen de recursos que limitan la atención a pacientes.

Lamentablemente, en los últimos años no se ha visto un cambio considerable sobre la reducción de anemia en niños, pese a que el gobierno impulsa campañas anuales para combatirla, las cuales son realizadas por el ministerio de Salud para detectar la anemia. En ellas, se emplean dispositivos como Hemo Control o Hemocue estos equipos si bien no son difíciles de usar, necesita de otros recursos para funcionar lo que hace que no todos los centros de salud puedan contar con los instrumentos adecuados.

Los avances de la tecnología para la detección de enfermedades se han ido desarrollando constantemente. Un elemento tecnológico es el biosensor electroquímico que no solo es usado para detectar niveles de hemoglobina sino también glucosa, entre otras enfermedades.

El diagnóstico de anemia se realiza mediante pruebas de laboratorio en base a valores anormales. Si la pérdida es leve, el aumento del aporte de oxígeno se conseguirá por modificaciones en la curva de disociación de O₂ - hemoglobina, La Real Academia Española (2021) señala que la hemoglobina es “una proteína de la sangre, de color rojo característico, que transporta el oxígeno desde los órganos respiratorios hasta los tejidos”.

Según Sánchez (2004) define a “Un biosensor electroquímico como un dispositivo compacto de análisis que incorpora: a) Un elemento de reconocimiento biológico sobre un sustrato llamado electrodo, que está compuesto por una fase conductora en y una fase aislante (ácido nucleico, enzima, anticuerpo, tejido, célula, entre otros.) preparado para detectar específicamente una sustancia, aprovechando la exquisita especificidad de las interacciones biomoleculares. b) Un sistema de transducción al que está asociado el receptor y que permite procesar la señal eléctrica, dicho dispositivo de transducción se conoce como un potencióstato, producida por la interacción entre el elemento de reconocimiento y el analito”.

Actualmente, el equipo que se utiliza mayormente para la detección temprana de anemia en niños es el Hemo Control, el cual se compone de microcubetas que son recursos limitados, ya que solo llegan a cada centro de salud un número determinado. Además, el dispositivo necesita que se manipule con cuidado porque si se toca la parte lectora de los resultados, estos se podrían alterar. Por ello, el personal de salud que usa el Hemo Control necesita de constantes capacitaciones para su uso adecuado. Cabe mencionar, que la gran mayoría de estos equipos no llegan a las zonas alejadas del Perú o dependen de accesorios para poder funcionar. Lo que genera que muchos niños a temprana edad no puedan ser diagnosticados a tiempo

y de esta manera, se pueda prevenir todas las consecuencias que conlleva esta enfermedad.

Khadim K., & Min Moon J. (2017) informa acerca de los métodos electroquímicos de detección de Hb utilizando superficies de electrodos modificadas. A la vez desarrolla una breve visión de la plataforma de detección electroquímica para el análisis de otro tipo de globinas como la mioglobina y la hemoglobina glucosilada. Considera que el análisis de Hb es un indicador específico y sensible para el diagnóstico de anemia y otras enfermedades relacionadas. Hasta la fecha, se han utilizado varios métodos para el análisis de Hb, y de estos, el método electroquímico es la técnica más simple y confiable. (p.30)

Chen, G. (2018), realiza un estudio acerca de los Sensores electroquímicos desechables para la detección de hemoglobina basados en electrodos modificados conjugados de ferrocenoil cisteína. Este trabajo brinda un enfoque electroquímico para detectar hemoglobina utilizando sensores electroquímicos desechables, que se basaron en la capacidad del grupo ferrocenoil activo redox de Fc [CO-Cys (Trt) -OMe]₂ y Fc [CO-Glu-Cys-Gly-OH]. Se estudiaron muestras de Suero Humano proporcionado por el hospital de Güillín. Los resultados evidencian que el biosensor mostró un buen desempeño en la catálisis de hemoglobina. Se emplearon nanocompuestos de plata con conjugados de ferrocenoil cisteína para la fabricación de biosensor de hemoglobina. La detección electroquímica de Hb se logró mediante DPV, que se aplicó a la detección de Hb en suero humano con una RSD inferior al 4,7% y una recuperación entre el 95,5% y el 103,2%, que estaba en consonancia con los requisitos clínicos para el análisis de Hb.

Ming et al. (2011) estudiaron la comparación de biosensor electroquímico (Benecheck) con dispositivos ópticos para la medición de hemoglobina en muestras de sangre entera humana. Se desarrolló un biosensor de base electroquímica para la medición de la hemoglobina como alternativa al método óptico tradicional y se sometió a pruebas para su uso en entornos profesionales. Se estudiaron los efectos de la frescura de las muestras, hemólisis, bilirrubina sobre el método electroquímico, así como la repetitividad, precisión y exactitud, utilizando como referencia dispositivos de método óptico. Además, las muestras se almacenaron a temperatura ambiente o en clima frío durante 7 días, las muestras parcial o totalmente hemolizadas y las que contenían bilirrubina con una concentración de hasta 150 mg / l se investigaron sin efectos por estudios de interferencia. La repetitividad de pruebas de sangre en los dedos fue verificada con seis pruebas consecutivas en nueve voluntarios, los resultados variaron de 3% a 8% de variación. Los resultados de las pruebas de BeneCheck se correlacionaron con los métodos de Sysmex, Beckman Coulters, Cell- Dyn y HemoCue, los resultados han demostrado ser similares y el 95% de los resultados de las pruebas estaban dentro de un sesgo de $\pm 15\%$. Se concluyó que el sistema de prueba de hemoglobina BeneCheck funcionó bien y con precisión, mientras que requirió 1 μ l de muestra de sangre y 10 s de tiempo de detección. En función del costo, la precisión, el volumen de la muestra, el tiempo de medición, la facilidad de visualización y la portabilidad, BeneCheck ofrece las mejores características para estos fines.

Por lo tanto, la finalidad de este trabajo fue estudiar el impacto que podría tener la aplicación de biosensores electroquímicos, ya que no requiere de accesorios adicionales, manipulación compleja y comparado con los métodos que actualmente se utilizan. Según un estudio publicado en Clínica Chimica Acta, se realizaron comparaciones de resultados entre los diferentes dispositivos para medir la eficacia de la detección de hemoglobina y se pudo concluir que el "Benecheck", el cual es un biosensor electroquímico, obtuvo mejores resultados, ya que se requirió una menor muestra de sangre (1 μ L) y se obtuvieron los resultados en menos tiempo (10 segundos). Además, este dispositivo posee mayor portabilidad, mejor visualización y menores costos (Ming Song Hsieh, Cheng, Ozbek, Tsai, & lin, 2011, p.6). Por tanto, será motivo de estudio el impacto del uso de biosensores electroquímicos en la microred de salud de Huambocancha Alta, ubicada en Cajamarca, ya que es una de las provincias más afectadas por la anemia en Perú.

Este trabajo está enfocado en buscar una alternativa de solución para detectar a tiempo la anemia en niños que residen en poblaciones rurales, debido a que como se menciona anteriormente, existen altas tasas de desnutrición en estas áreas del país, por lo cual al implementar el uso de biosensores electroquímicos se puede llegar mediante campañas de salud a las zonas rurales que no tienen la posibilidad de recurrir a un centro médico para realizarse los exámenes necesarios y mejorar la concientización de la importancia de una dieta balanceada. Mediante estas campañas se podrá localizar los casos de anemia a tiempo para así evitar una anemia crónica o, que en el peor de los casos, se extienda a la leucemia.

2. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

2.1. Reseña de las dificultades de la búsqueda

Para la presente investigación, se realizó una encuesta de 13 preguntas, las cuales fueron respondidas por el personal de salud de Huambocancha Baja. Si bien los profesionales anteriormente mencionados estuvieron predispuestos a colaborar con la investigación, los pobladores de la región preferían no mencionar sus casos ni brindar su opinión.

2.2. Desarrollo

El presente trabajo, se basa en un diseño no experimental con un enfoque mixto, identificando indicadores cuantitativos y cualitativos, acerca del estado actual en que se lleva a cabo el control de la anemia en niños menores de 5 años empleando el Hemo Control (Figura 2.1). Este análisis contribuyó a la propuesta de reemplazar el dispositivo por los biosensores electroquímicos, en la región de Cajamarca, específicamente en la microred de salud de Huambocancha Baja, la cual está compuesta por 11 centros médicos: Porcón la esperanza, Huambocancha alta, Porcón bajo, Porcón alto, Puruay alto, granja Porcón, Chilimpampa, Chanta alta, Yanacancha baja, Yanacancha grande y porcón la esperanza. En total la microred atiende a 2599 niños entre las edades de 0-5 años (DIRESA,2020).

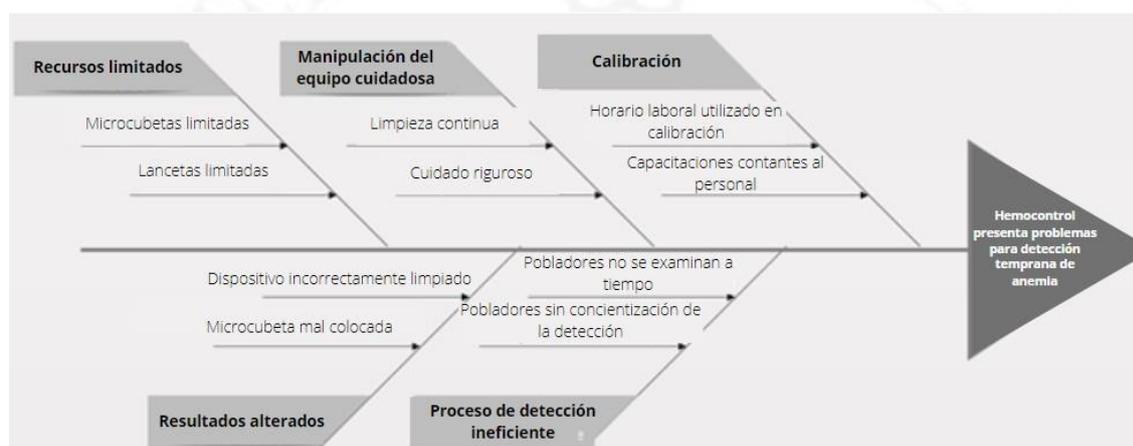


Figura 1. Diagrama de Ishikawa propuesto para identificar las causas raíz que originan los problemas del Hemo Control como sistema detección temprana de anemia.

2.3. Proceso de detección de anemia mediante biosensores electroquímicos

Para medir el impacto de la implementación de biosensores electroquímicos en Huambocancha Baja, se realizó un estudio sobre el uso de este dispositivo, así como los componentes del biosensor electroquímico y el potenciostato. Para poder utilizar el dispositivo, se necesita primero preparar la enzima disolviendo en agua, la cual detectará la hemoglobina, luego se coloca la enzima en el biosensor para ello se adhieren glutaraldehído para que se inmovilice. Luego, se colocará una gota de sangre del paciente sobre el electrodo (transductor de oro o plata), registrando este dispositivo móvil, el valor de hemoglobina. Con el resultado obtenido, se evaluará si el paciente presenta algún tipo de anemia, así como el nivel de gravedad de la enfermedad. Finalmente, el biosensor necesita ser esterilizado y realizar varias pruebas para verificar su funcionamiento. En cuanto al potenciostato, este equipo brindará la corriente necesaria para que el biosensor pueda ser usado, cuya intensidad de corriente es de 2.58 mA.

2.4. Método para medir el impacto del uso de biosensores electroquímicos

Para medir el impacto del uso de biosensores electroquímicos, se realizó una encuesta a los doctores o personal de salud que trabajan en cada uno de los establecimientos de la microred, ya que ellos son los que utilizan los equipos para la detección de anemia y podrán visualizar los cambios entre el uso del biosensor electroquímico y el dispositivo actual (Hemo control).

Por ello, la encuesta constó de 13 preguntas, las cuales permiten saber en qué establecimiento trabaja cada personal de salud encuestado para poder filtrarlos según centro médico, qué equipo utilizan para medir la hemoglobina, la eficiencia del dispositivo, limitaciones para poder utilizar los equipos de detección y la perspectiva del uso del biosensor electroquímico como dispositivo para la detección de anemia en su centro de salud.

Asimismo, para poder conocer mejor la experiencia que ha tenido el personal de salud con respecto al uso del Hemo Control, la modalidad del cuestionario fue presencial y virtual con el fin de brindar facilidades a los encuestados.

3. COMENTARIOS FINALES

3.1. Resultados

Se encuestaron a 12 personas que trabajan en los distintos establecimientos que conforman la microred de salud de Huambocancha baja. Se pudo observar que el personal que labora es joven, ya que el rango de edad es de 18 a 45 años y que la mayoría de ellos son mujeres (alrededor del 58.3%). Además, el 33.3% de ellos son médicos cirujanos; obstetras, 33,33%; licenciados en enfermería, 25% y técnicos de Enfermería, 8,3%. Asimismo, la mayoría de los encuestados han trabajado en un solo establecimiento excepto, dos personas que han trabajado en dos establecimientos de salud. Por otro lado, se pudo comprobar que el 100% de los encuestados utiliza el Hemo Control en sus labores, los cuales mencionan que poseen dificultades con el equipo de detección actual. El 16.7% menciona que posee recursos limitados, 25% afirman que presentan difícil manejo del dispositivo, y el 33.3% comunican que el equipo necesita de un uso cuidadoso para que no se alteren los resultados. Además, mediante las entrevistas realizadas al personal de salud, se puede afirmar que el dispositivo de detección actual, posee dificultad en la calibración del equipo y ellos tienen la perspectiva de que el biosensor será un dispositivo más innovador, más rápido y eficaz. Adicionalmente, se les consultó si tenían algún conocimiento sobre el biosensor electroquímico para la detección de anemia, el 50% de los encuestados respondieron negativamente. Luego, al personal de salud, se les brindó una breve explicación sobre el uso de biosensores electroquímicos, en consecuencia, se les preguntó si consideran que este dispositivo sería más eficaz que el Hemo Control y si facilita el proceso de detección de anemia, el 100% de los encuestados respondieron afirmativamente.

3.2. Discusión

1. Los resultados obtenidos mediante las encuestas al personal de salud de forma presencial y virtual, ayudó a obtener una mejor perspectiva del actual método de detección de anemia.
2. En la actualidad, no existen muchas investigaciones sobre el uso de biosensores para la detección de la anemia a diferencia de los equipos anteriormente mencionados que son utilizados para medir el nivel de glucosa. Por lo cual, se considera necesario que se investigue más sobre el tema para que pueda brindar las facilidades necesarias a los centros de salud.
3. Además, lamentablemente se evidenció que muchos pobladores no permiten que se realicen algunas investigaciones, debido a su idiosincrasia. Incluso muchos de ellos no se evalúan constantemente porque no cuentan con los medios para movilizarse.
4. Asimismo, los métodos utilizados para obtener mayor información del tema cooperaron a verificar que el biosensor es un dispositivo que sería de gran ayuda para la detección temprana de anemia en niños de 0 a 5 años.

3.3. Comentarios finales

1. Debido a que no existen muchas investigaciones previas, se concluyó que el tema es innovador y mejorará la perspectiva sobre los biosensores electroquímicos para medir hemoglobina.

2. Mediante las entrevistas presenciales se evidenció la carencia que poseen los centros médicos en cuanto a los equipos y facilidades para atender a los pacientes. Se concluyó que el personal de salud con los pocos equipos que cuentan hacen lo posible para brindar una buena atención pero el estado debería mejorar el sistema de salud para que poder ayudar a más personas de regiones alejadas que han sido olvidadas.
3. El uso de biosensores electroquímicos para la detección de anemia mejorará el procedimiento del mismo debido a su efectividad con respecto al uso del Hemo Control.
4. La población será un recurso limitante para posibles investigaciones debido a que no se muestran colaborativos a participar en encuestas o entrevistas.

REFERENCIAS

1. Dirven , B. B., Pérez, R., Cáceres, R. J., Tito, A. T., Gómez , R. K., & Ticona, A. (2018). El desarrollo rural establecido en las áreas vulnerables (ed. 7). Lima: Colección Racso.
2. Greer;Rodgers;Glader;Arber:Means>List:Appelbaum;Dispenzieri; Fehringer. (2019). Wintrobe's Clinical Hematology . Wolters Kluwer.
3. INEI. (19 de abril de 2021). INEI. <https://www.inei.gov.pe/prensa/noticias/el-121-de-la-poblacion-menor-de-cinco-anos-de-edad-del-pais-sufrio-desnutricion-cronica-en-el-ano-2020-12838/>
4. Iza, D. (2016). Diseño y construcción de un potenciostato automático para el laboratorio
5. Jameson, Fauci, Kasper, Hauser, Longo, & Loscalzo. (2018). Principios de medicina interna (ed. 5). Mc Graw Hill.
6. Mesa de Concertación. (13 de Agosto de 2020). Mesa de Concertación. <https://www.mesadeconcertacion.org.pe/storage/documentos/2020-08-17/reporte-seguridad-alimentaria-y-nutricional-3107-final.pdf>
7. Sánchez, G. (2012). Electroodos de pvc/ttf-tcnq modificados. aplicación como sensores y biosensores electroquímicos.
8. Sánchez, J. (2004). Desarrollo de un biosensor fotónico de alta sensibilidad basado en interferómetros Mach - Zehnder integrados en tecnología microelectrónica de silicio.
9. Zavaleta, N., & Astete, L. (2017). Efecto de la anemia en el desarrollo infantil: consecuencias a largo plazo. Revista peruana de medicina experimental y salud pública. 5 pp. 2

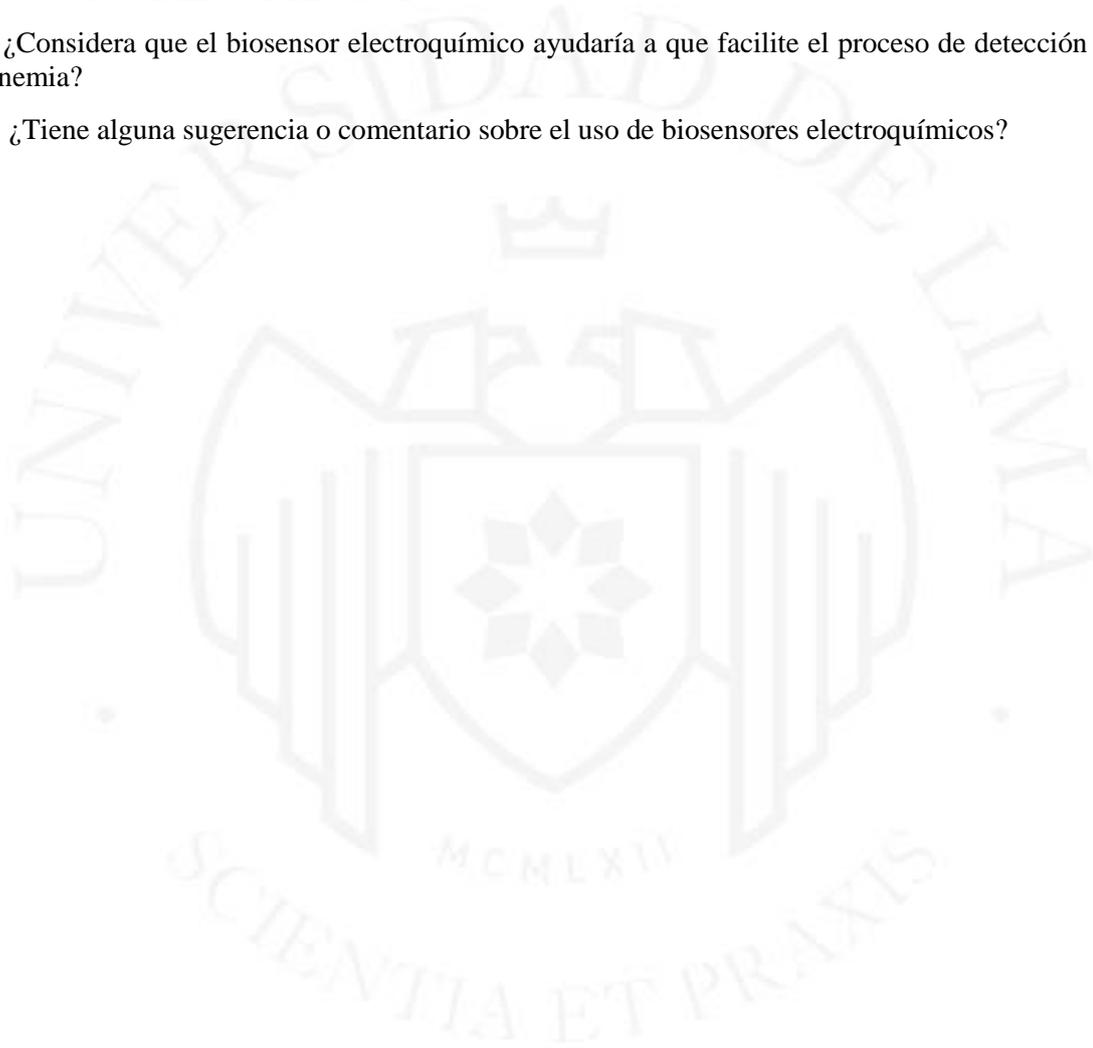
APÉNDICE

Cuestionario aplicado al personal de salud de Huambocancha Baja

1. ¿Cuál es su nombre?
2. ¿Qué edad tiene?
3. ¿Cuál es su profesión?
4. ¿En qué puesto de salud labora?
5. ¿Utiliza en su puesto de salud al Hemo Control para la detección de anemia?, Si utiliza otro

dispositivo, por favor mencione cuál es

6. ¿Tiene facilidad para poder utilizar el Hemo Control?
7. Si su respuesta fue no, ¿Cuál o cuáles fueron las dificultades para utilizar el equipo?
8. ¿Conoce sobre biosensores electroquímicos que detectan el nivel de hemoglobina en los pacientes?
9. Si su respuesta fue no. Aquí le brindaremos información sobre los biosensores electroquímicos para ayudar a la detección temprana de la anemia
10. Considerando la anterior información, ¿Cree usted que el biosensor sería una buena opción para detectar la anemia de forma eficaz?
11. ¿Considera que el biosensor electroquímico ayudaría a que facilite el proceso de detección de anemia?
12. ¿Tiene alguna sugerencia o comentario sobre el uso de biosensores electroquímicos?



Artículo de investigación-Electroquímicos

INFORME DE ORIGINALIDAD

7 %	6 %	1 %	7 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.scielo.org.pe Fuente de Internet	2 %
2	www.researchgate.net Fuente de Internet	1 %
3	Submitted to unsaac Trabajo del estudiante	1 %
4	www.dge.gob.pe Fuente de Internet	1 %
5	repositorio.ulima.edu.pe Fuente de Internet	1 %
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1 %
7	Submitted to Universidad Catolica Los Angeles de Chimbote Trabajo del estudiante	<1 %
8	issuu.com Fuente de Internet	<1 %