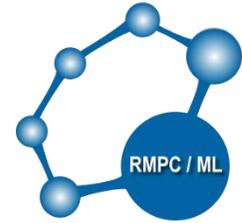


# Variabilidad entre valores de hemoglobina y hematocrito en analizador automatizado vs equipo POINT OF CARE.



## Variability between hemoglobin and hematocrit values in an automated analyzer vs POINT OF CARE equipment.

Ana Patricia Ruiz-García<sup>1a</sup>, Jonathan Esaú Hernández-Herrera<sup>1b</sup>, Felipe de Jesús Herrera-Gómez<sup>2</sup>, Blanca Olivia Murillo-Ortiz<sup>3</sup>

### RESUMEN

**Introducción:** Dentro de los estudios de laboratorio más solicitados se encuentran la medición de hemoglobina y hematocrito para la toma de decisiones clínicas. Es frecuente, en áreas de atención a pacientes críticos, la necesidad de obtener un resultado rápido, confiable y de calidad; motivo de esto se compararán los resultados obtenidos de estos analitos en un equipo POINT OF CARE contra un analizador automatizado.

**Objetivos:** Comparar los valores de estos analitos obtenidos en un analizador automatizado contra un equipo point of care y establecer su equiparabilidad para la toma de decisiones clínicas.

**Material y métodos:** Se diseñó un estudio analítico, transversal, observacional, retrospectivo. Se recopilaron los resultados de hemoglobina y hematocrito de la plataforma Pasteur® y de la memoria del equipo GEM Premier 3500 de un periodo de 3 meses, del laboratorio de análisis clínicos de la UMAE T1, Centro Médico Nacional del Bajío. Se compilaron en una hoja de cálculo de Excel® para recodificación de las variables y posteriormente se sometieron a análisis estadístico mediante el método de Passing-Bablok y una prueba de correlación de Pearson para establecer el nivel de concordancia entre resultados.

**Resultados:** Se obtuvieron 206 pacientes, de los cuales 74 (36%) fueron de sexo femenino y 132 (64%) de sexo masculino. Se encontró una distribución normal para ambas mediciones en ambos equipos. Los coeficientes de variación obtenidos fueron: para SYSMEX de 25% en Hb y 23% en HTO y de un 30% tanto para Hb y HTO en GEM. Al aplicar la prueba de Passing-Bablok se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.65 para Hb y 0.66 para HTO.

## ARTÍCULO ORIGINAL

Revista Mexicana  
de **Patología Clínica**  
y **Medicina de Laboratorio**

Rev Mex Patol Clin Med Lab. 2022;  
Volumen 69, Número 3

<sup>1</sup> Instituto Mexicano del Seguro Social, Unidad Médica de Alta Especialidad Hospital de Especialidades No.1 Centro Médico Nacional Bajío, Laboratorio de análisis clínicos, León de los Aldama, México  
*1a* - <http://orcid.org/0000-0001-9742-7059>  
*1b* - <http://orcid.org/0000-0003-1213-9707>

<sup>2</sup> Instituto Mexicano del Seguro Social, Unidad Médica de Alta Especialidad Hospital de Especialidades No.1 Centro Médico Nacional Bajío, Banco de Sangre.  
<http://orcid.org/0000-0002-9173-9948>

<sup>3</sup> Instituto Mexicano del Seguro Social, Unidad Médica de Alta Especialidad Hospital de Especialidades No.1 Centro Médico Nacional Bajío, unidad de investigación en Epidemiología Clínica, León de los Aldama, México.  
<http://orcid.org/0000-0003-4775-2755>

### CONTACTO

**Ana Patricia Ruiz García**

Farallón #332, Col. Jardines del Moral.  
León, Gto. CP. 37160.

E-mail: [patricia.ruiz@uabc.edu.mx](mailto:patricia.ruiz@uabc.edu.mx)



**Discusión:** En este estudio se evidencia que las mediciones de los analitos obtenidas en el equipo a pie de cama no son equivalentes a las obtenidas por el equipo automatizado. Se identificó un alto coeficiente de variación del 30% para hemoglobina y hematocrito, superando el umbral del 1.37% recomendado. Se aconseja a los profesionales de la salud ser cautelosos con estas mediciones y consultar a especialistas en medicina de laboratorio ante discrepancias. Para mejorar la precisión, se sugiere la capacitación continua del personal de toma de muestras y la consideración de alternativas como los equipos de HemoCue, que proporcionan mediciones directas y resultados más confiables.

**Conclusiones:** Existe poca concordancia entre metodologías. Los resultados obtenidos en diferentes plataformas deben tomarse con extremo cuidado. Es esencial que los profesionales consulten a sus colaboradores en caso de dudas o discrepancias de resultados, con el objetivo de minimizar las terapéuticas innecesarias en los pacientes.

## ARTÍCULO ORIGINAL

Revista Mexicana  
de **Patología Clínica**  
y **Medicina de Laboratorio**

Rev Mex Patol Clin Med Lab. 2022;  
Volumen 69, Número 3

**Fecha de recepción:**  
01 de Agosto de 2023

**Fecha de aceptación:**  
17 de Octubre de 2023

### PALABRAS CLAVE

Hemoglobina, hematocrito, variabilidad, Point-of-care, Sysmex.

### KEYWORDS

Hemoglobin, hematocrit, variability, Point-of-care, Sysmex.



## INTRODUCCIÓN

---

La hemoglobina (Hb) es el componente principal de los eritrocitos, es una proteína conjugada que sirve como vehículo para el transporte de oxígeno desde los pulmones a los tejidos y de dióxido de carbono en sentido opuesto. El hematocrito (HTO) de una muestra sanguínea es la relación entre el volumen de eritrocitos en ella entre el total de sangre. Puede expresarse como porcentaje o como fracción decimal (unidades SI).<sup>1</sup>

La medición de ambos parámetros y su correcta interpretación es de suma importancia en la práctica médica diaria, ya que es de utilidad para realizar: diagnóstico<sup>2,3</sup> toma de decisiones,<sup>4,5</sup> pronóstico<sup>6,7,8,9</sup> y seguimiento<sup>10</sup> en múltiples patologías.

Los factores que se deben tener en cuenta al elegir medir la Hb en un laboratorio clínico o en un entorno de campo incluyen: las necesidades de control de calidad, el entorno clínico del paciente, disponibilidad de recursos, la infraestructura, la capacitación estandarizada, fuente de la muestra, el costo del análisis y la reproducibilidad de los resultados, entre otros.<sup>11</sup>

Existen diversas metodologías para la obtención de un valor de Hb o HTO, estas pueden ser tanto directas como indirectas. En el caso de la Hb, el método de referencia es el de cianmetahemoglobina (HiCN) en el cual se realiza una medición directa.<sup>12,13</sup> En 2001, el Consejo Internacional para la Estandarización en Hematología recomendó un método de referencia para la determinación del HTO, sin embargo, debido a su complejidad, este método no es práctico para uso rutinario en laboratorios clínicos.<sup>14,15</sup>

Las pruebas point of care (POC) se definen como pruebas de diagnóstico en o cerca del sitio de atención al paciente<sup>16</sup>, se realizan comúnmente en clínicas ambulatorias, centros de cirugía y departamentos de emergencia, entre otros. Estas ofrecen la capacidad de emitir resultados rápidos y precisos que facilitan un tratamiento más rápido del paciente. Para simplificar su uso los fabricantes han creado analizadores pensando en operadores que no es personal de laboratorio capacitado, pero los resultados obtenidos con estos sistemas aún se ven afectados por variables preanalíticas y analíticas.<sup>12,17</sup>

La medición de estos parámetros hematológicas es necesaria para la atención de pacientes en cualquier unidad de salud, por ello es pertinente determinar la variabilidad entre analizadores para ofrecer la mayor seguridad en la toma de decisiones. Este

estudio determinará si existe variación entre las mediciones obtenidas mediante dos tecnologías.

## OBJETIVOS

---

Comparar los valores de estos analitos obtenidos en un analizador automatizado contra un equipo POINT OF CARE y establecer su equiparabilidad para la toma de decisiones clínicas.

## MATERIAL Y MÉTODOS

---

El estudio se realizó en el Laboratorio de Análisis clínicos de la Unidad Médica de Alta Especialidad, Hospital De Especialidades No.1 Centro Médico Nacional Bajío, en la Ciudad de León, Guanajuato, la cual se encuentra a una altitud de 1.815 m s. n. m.

- **Diseño:** Estudio analítico, transversal, observacional, retrospectivo. Se estudiaron exclusivamente pacientes de la UMAE 1 Bajío, durante el periodo Diciembre 2022 - Febrero 2023 aplicando los siguientes criterios:
  - *Criterios de inclusión*

Pacientes que cuenten con registro de toma de gasometría venosa (GASO) y biometría hemática (BH) el mismo día, correcta identificación de ambas muestras, resultados validados en ambos equipos y muestras de sangre venosa.
  - *Criterios de exclusión*

Pacientes cuenten con patologías pulmonares o renales que condicionen una disminución de la hemoglobina, desequilibrios hidroelectrolíticos, ácido-base, alteraciones de las proteínas plasmáticas, pacientes con hemoglobinopatías, muestras para BH recolectadas en tubo diferente al de EDTA K2.
  - *Criterios de eliminación*

Registros encontrados en el sistema sin nombre del paciente.

Se decidió llevar a cabo una investigación retrospectiva y descriptiva, ya que esta metodología refleja con mayor precisión la realidad cotidiana en los resultados de las variables estudiadas, a la vez que se reduce la posibilidad de sesgo causado por la intervención de un experto en la toma de muestra.

- **Equipos para determinación de hemoglobina y hematocrito:**

- *Equipo de referencia*

SYSMEX XN-100, número de serie 42201. Será denominado como SYSMEX. En este equipo la Hb y el HTO son medidos directamente.<sup>12</sup> La Hb se determina por el método del laurilsulfato sódico (SLS).<sup>18</sup> Para su realización se emplean agentes tensoactivos que lisan la membrana eritrocitaria con el objetivo de liberar la Hb. La globina de la molécula es alterada por el grupo alquilo hidrófilo del SLS, esto induce la conversión de la Hb desde el estado ferroso (Fe+2) al férrico (Fe+3), con lo que se forma Hi, la cual se combina con el SLS para convertirse en una molécula de hemicromo SLS-HB y poder así ser determinada.<sup>12,13,28</sup> Al mismo tiempo, el HTO se calcula por el método de detección de altura de pulsos de eritrocitos.<sup>19</sup>

- *Equipo POINT OF CARE*

Se emplearon dos gasómetros GEM Premier 3500, con números de serie: 20042845 y 20042870. Ambos ubicados en el laboratorio de la unidad.

La conductividad sanguínea es el método empleado para medir el hematocrito.<sup>20</sup> Se basa en el principio de que, debido a que el plasma es más conductor que las células sanguíneas, la resistividad de la sangre aumentará a medida que aumente la concentración de células.

Esta relación se expresa mediante la ecuación de Maxwell-Fricke:  $r = R_p \times (1 + HTO/100)/(1 - HTO/100)$ . En la cual  $r$  es la resistividad de la sangre,  $R_p$  es una constante basada en la resistividad del plasma y HTO es el hematocrito.<sup>19,20</sup> La resistencia del plasma puede variar debido a cambios en los niveles iónicos, así como de las proteínas y lípidos.<sup>16,22</sup> El valor de la Hb se deriva de la lectura del HTO medido con el uso de la Relación THbc/Hct definida en la Configuración.<sup>20,21</sup>

- **Obtención de datos y análisis estadístico**

Se procedió a la búsqueda de pacientes que cumplieran con los criterios de inclusión, una vez encontrados se aplicaron los criterios de exclusión y eliminación y se creó una base de datos en un documento de Excel®, con los datos demográficos (edad y sexo) y los de interés para el estudio (Hb y HTO) localizados en ambos equipos.

Mediante el uso de las herramientas de Excel® se obtuvieron las medidas de tendencia central y dispersión. Utilizando este programa y Minitab18® se realizaron gráficas para su análisis y discusión; posteriormente, los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de regresión de Passing y Bablok para la comparación entre métodos y determinar la asociación entre variables mediante el método de correlación de Pearson.

## RESULTADOS

Después de someter el proyecto al comité de ética local y ser aprobado con el número R-2023 1001 016, se procedió a realizar la colecta de datos en los equipos GEM y SYSMEX conforme a los criterios de selección. Se obtuvieron un total de 613 pacientes; al aplicarse los criterios de exclusión y eliminación esta cifra se redujo a 206. De los cuales 74 (36%) fueron de sexo femenino y 132 (64%) de sexo masculino. La edad promedio fue de 52 años.

**TABLA 1:** Estadística descriptiva de los participantes.

Rango de edad	Cantidad de pacientes	Porcentaje	Sexo	Frecuencia	Porcentaje
18-25 años	14	7%	Femenino	74	36%
26-45 años	56	27%	Masculino	132	64%
46-65 años	71	34%	<b>Total</b>	<b>206</b>	<b>100%</b>
66-85 años	62	30%			
>86 años	3	2%			
<b>Total</b>	<b>206</b>	<b>100%</b>			

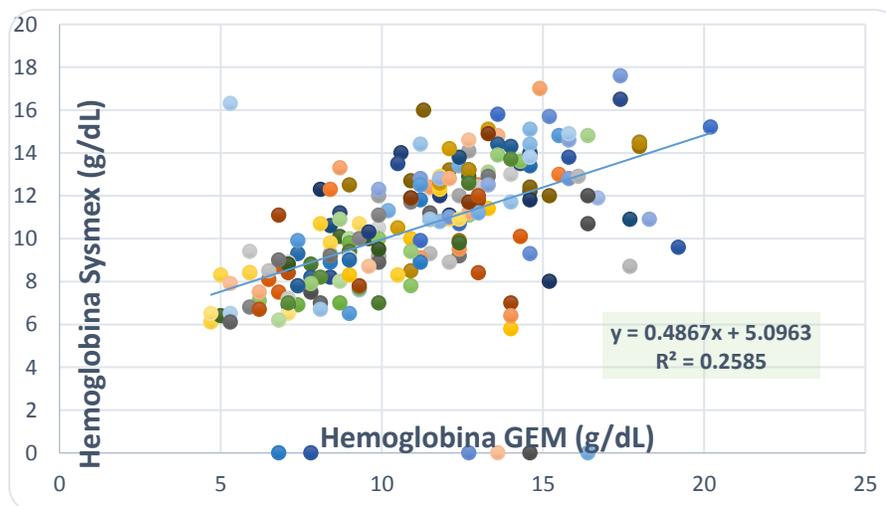
Posteriormente se procedió a realizar la codificación de variables en función del analito estudiado y equipo utilizado, obteniendo lo siguiente:

**TABLA 2:** Comportamiento de los analitos en ambos equipos.

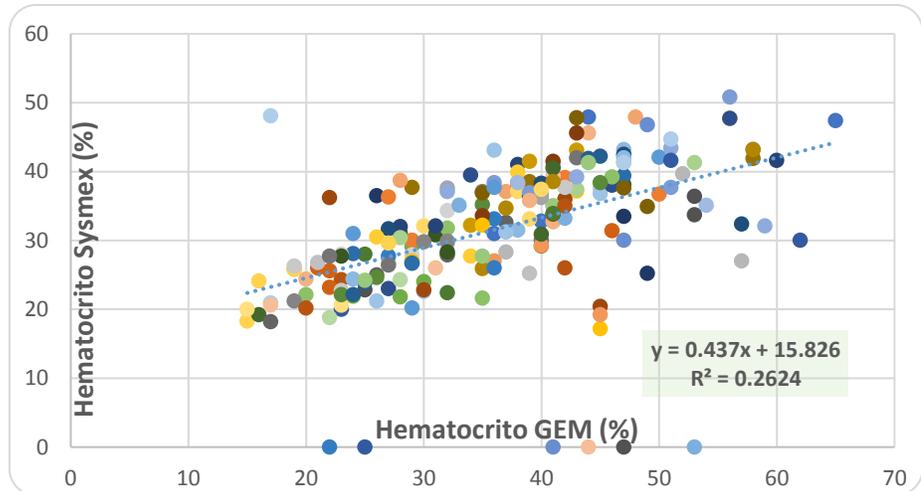
Rango de edad	Hb SYSMEX	HTO SYSMEX	Hb GEM	HTO GEM
Media	10.85 g/dL	32.59%	11.2 g/dL	36.28%
Mediana	10.9 g/dL	32.5%	11.25 g/dL	37%
Desviación estándar:	2.67	7.65	3.33	10.89
Varianza:	7.14	58.67	11.12	118.66
Coefficiente de variación	25%	23%	30%	30%
Mínimo	5.8 g/dL	17.2%	4.7 g/dL	15%
Máximo	17.6 g/dL	50.8%	20.2 g/dL	65%

A la par, se estableció el tipo de distribución de los datos para su análisis estadístico, encontrándose una distribución normal para ambas mediciones. Una vez concentrados los datos estadísticos, se procedió a realizar la comparación del total de mediciones mediante regresión, obteniéndose un coeficiente de correlación de 0.6544 ( $r^2 = 0.42$ ) para las determinaciones de hemoglobina ( $p = 0.000$ ), y un coeficiente de correlación de 0.6684 ( $r^2 = 0.44$ ) para las determinaciones de hematocrito ( $p = 0.0000$ ); para un intervalo de confianza del 95%.

**Figura 1.**  
Regresión lineal de hemoglobina.

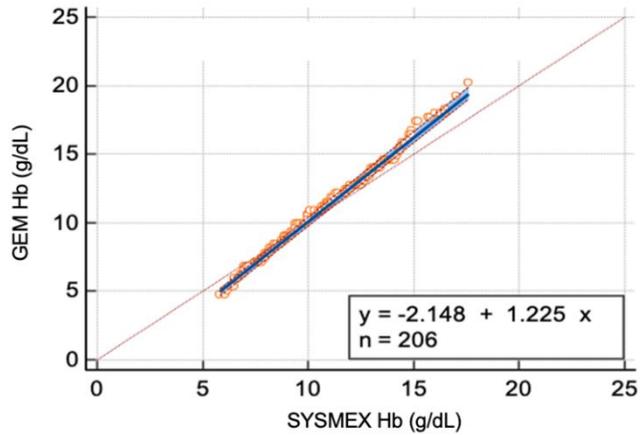


**Figura 2.**  
Regresión lineal  
de hematocrito.

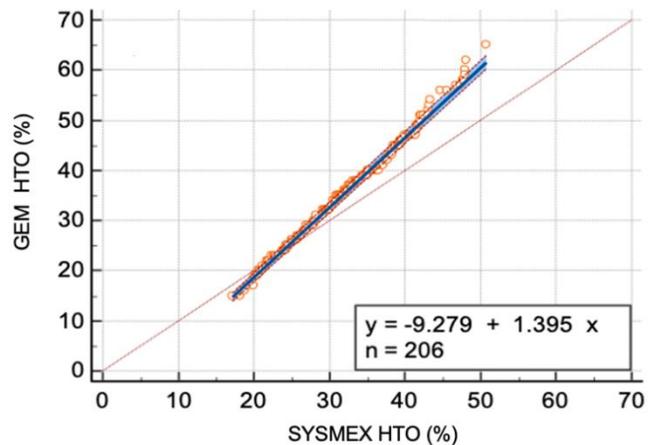


Finalmente, se realizó entre métodos la prueba de regresión de Passing-Bablok determinando que existe poca concordancia entre ellos y posteriormente se estableció el nivel de correlación mediante Pearson obteniendo un índice de correlación de 0.65 para hematocrito y 0.66 para hemoglobina:

**Figura 3.**  
Prueba de regresión  
de Passing-Bablok  
aplicada a hemoglobina.



**Figura 4.**  
Prueba de regresión  
de Passing-Bablok  
aplicada a hematocrito.



De esta manera se puede inferir que no existe una concordancia óptima entre mediciones de distintas plataformas.

## DISCUSIÓN

---

En este estudio se comprueba que las mediciones obtenidas en los equipos GEM no son intercambiables con las mediciones estándar de laboratorio (SYSMEX) y el emplearlas de esta manera puede llevar al a transfusión innecesaria de pacientes, con los riesgos que esto conlleva. En la práctica clínica las determinaciones analíticas juegan un papel preponderante en la toma de decisiones, sin embargo, considerando el presente estudio, es pertinente que los profesionales tomen con cuidado las mediciones observadas.

Según las recomendaciones de la *Desirable Specifications for Total Error, Imprecision, and Bias, derived from intra- and inter-individual biologic variation*, es importante mantener un coeficiente de variación entre mediciones de hemoglobina y hematocrito inferior al 1.37%. En nuestro análisis se obtuvo un coeficiente de variación del 30%, lo que indica la gran variabilidad que existe entre mediciones.

Resulta importante que los clínicos se acerquen a los especialistas en medicina de laboratorio ante variaciones en sus pruebas y sobre todo cuando haya de por medio la necesidad de tomar una decisión que impacte de manera aguda en el estado y pronóstico de un paciente.

A pesar de que en ambas metodologías los errores en la fase preanalítica son los que más se pueden presentar, estos suelen ser mayores en los equipos POC debido a que son afectados de sobremanera por el estado clínico del paciente también se ven influenciados por la infraestructura de la unidad y diversas causas que pueden afectar la recolección y la calidad de la muestra.<sup>23,24</sup>

Es indudable la necesidad de obtener rápidamente los resultados de estos analitos en situaciones urgentes y críticas. Por lo tanto, es fundamental buscar métodos que permitan reducir errores y garantizar la confiabilidad de los resultados. Aunque podría considerarse el envío de las pruebas al laboratorio para su procesamiento, expertos han visto que este método puede tener tasas de error preanalítico de hasta el 40%,

posiblemente debido a problemas en la calidad de la muestra al ser obtenida, como el volumen insuficiente o el transporte inadecuado al laboratorio.<sup>25</sup>

Debido a que es indispensable el contar con un equipo POC en el área de atención al paciente, algunas de las soluciones para disminuir estos errores podrían ser la capacitación continua del personal encargado de toma de muestras tanto en correcta toma de muestras como en procesamiento de esta en el equipo. Así como que el médico interprete con cautela los resultados obtenidos.<sup>25,26</sup>

Otra alternativa propuesta es el uso de un equipo POC diferente, como pueden ser los equipos de HemoCue, el cual se basa en el método azidametahemoglobina, obteniéndose de esta manera una medición directa de la hemoglobina y, por lo tanto, un resultado más confiable.<sup>17,26</sup>

## CONCLUSIONES

---

Se necesitan métodos apropiados y de alta calidad para la obtención de estos parámetros en laboratorios clínicos y entornos de campo, áreas fuera de un entorno controlado, para garantizar la precisión de los resultados.<sup>21,22</sup>

La toma de decisiones clínicas y terapéuticas basadas en un resultado de laboratorio es frecuente, por ello los profesionales de la salud deben conocer la diferencia entre metodologías disponibles para diferentes pruebas. Este análisis demuestra que no pueden tomarse como iguales las mediciones de hemoglobina entre un equipo POINT OF CARE y uno del laboratorio de hematología para la decisión clínica de un paciente.

En la atención médica, es necesaria el abordaje multidisciplinario para ofrecer una mayor oportunidad de mejoría o supervivencia al paciente, es por esto que hacemos un llamado a los profesionales de la salud, para que tomen con sumo cuidado los resultados de sus mediciones y ante cualquier duda se acerquen con los expertos en medicina de laboratorio para minimizar y erradicar prácticas innecesarias que provoquen un mayor daño al paciente (transfusiones por ejemplo). En esta época se debe dejar de lado el ego y la soberbia para enfocar esfuerzos y atenciones en el diagnóstico, tratamiento y rehabilitación de los pacientes críticos con el abordaje entre expertos para beneficio de los involucrados.

## REFERENCIAS

1. McPherson RA, Pincus MR. Henry's clinical diagnosis and management by laboratory methods. 23a ed. Filadelfia, PA, Estados Unidos de América: Elsevier - Health Sciences Division; 2016.
2. World Health Organization (WHO). Haemoglobin concentrations for the diagnosis of anaemia and assessment of severity. World Health Organization: <http://www.who.int/vmnis/indicators/haemoglobin.pdf?ua=1>.
3. Gonzales Gustavo F, Olavegoya Paola. Fisiopatología de la anemia durante el embarazo: ¿anemia o hemodilución?. Rev. Peru. ginecol. obstet. [Internet]. 2019 Oct [citado 2023 Feb 08]; 65( 4 ): 489-502. <http://dx.doi.org/10.31403/rpgo.v65i2210>
4. Stawschenko E, Schaller T, Kern B, Bode B, Dörries F, Kusche-Vihrog K, et al. Current status of measurement accuracy for total hemoglobin concentration in the clinical context. Biosensors (Basel) [Internet]. 2022;12(12):1147. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/bios12121147>.
5. Johnson M, Marwick PC, Coetzee JF. Comparison of Hemoglobin Measurements by 3 Point-of-Care Devices With Standard Laboratory Values and Reliability Regarding Decisions for Blood Transfusion. Anesth Analg. 2020 Aug;131(2):640-649. doi: 10.1213/ANE.0000000000004533. PMID: 31764158.
6. Feng C, Ye Y, Wang T, Xiong H. Association Between Hemoglobin and Major Adverse Cardiac Events: A Secondary Analysis from A Retrospective Cohort Study. Am J Med Sci. 2022 Feb;363(2):151-160. doi: 10.1016/j.amjms.2021.07.003. Epub 2021 Jul 21. PMID: 34302773.
7. Chen SS, Chen KK, Lin AT, Chang YH, Wu HH, Chang LS. Correlation between pretreatment serum biochemical markers and treatment outcome for prostatic cancer with bony metastasis. J Chin Med Assoc. 2009 Jun;72(6):301-6. doi: 10.1016/S1726-4901(09)70376-4. PMID: 19541565.
8. Mori K, Janisch F, Mostafaei H, Lysenko I, Karakiewicz PI, Enikeev DV, et al. Prognostic value of hemoglobin in metastatic hormone-sensitive prostate cancer: A Systematic Review and meta-analysis. Clin Genitourin Cancer [Internet]. 2020;18(4):e402-9. Aug;18(4):e402-e409. doi: 10.1016/j.clgc.2019.12.002. Epub 2019 Dec 13. PMID: 32007439.
9. Sabbaghzadeh A, Bonakdar S, Gorji M, Gholipour M. Evaluation of the effect of preoperative hemoglobin level and proinflammatory factors on intertrochanteric fracture union. Wien Klin Wochenschr. 2022 Jun;134(11-12):458-462. doi: 10.1007/s00508-022-02042-x. Epub 2022 May 31. PMID: 35639200.
10. Rees DC, Brousse VAM, Brewin JN. Determinants of severity in sickle cell disease. Blood Rev. 2022 Nov;56:100983. doi: 10.1016/j.blre.2022.100983. Epub 2022 Jun 9. PMID: 35750558.
11. Ralph D. Whitehead, Ming Zhang, Maya R. Sternberg, Rosemary L. Schleicher, Bakary Drammeh, Carine Mapango, Christine M. Pfeiffer , Effects of preanalytical factors on

- hemoglobin measurement: A comparison of two HemoCue® point-of-care analyzers. *Clb*(2017), doi: 10.1016/j.clinbiochem.2017.04.006
12. Keohane EM, Otto CN, Walenga JM. *Rodak's hematology: Clinical principles and applications*. 6a ed. Filadelfia, PA, Estados Unidos de América: Saunders; 2019.
  13. Bain BJ, Bates I, Laffan MA. *Dacie Y Lewis. Hematología Práctica*. 12a ed. Elsevier España; 2018
  14. Bull BS, Fujimoto K, Houwen B, Klee G, van Hove L, van Assendelft OW, et al. International Council for Standardization in Haematology (ICSH) recommendations for "surrogate reference" method for the packed cell volume. *Lab Hematol*. 2003;9(1):1-9. PMID: 12661822.
  15. International Committee for Standardization in Haematology. Recommendations for reference method for haemoglobinometry in human blood (ICSH standard 1995) and specifications for international haemoglobinocyanide standard. 4th ed. *J Clin Pathol* 1996;49:271-4.
  16. Andrew Maslow MD, Arthur Bert, Arun Singh MD, Joseph Sweeney MD, Point of Care Hemoglobin/Hematocrit Testing Comparison of Methodology and Technology, *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, [http://dx.doi.org/ 10.1053/j.jvca.2015.11.010](http://dx.doi.org/10.1053/j.jvca.2015.11.010)
  17. Osborn ZT, Villalba N, Derickson PR, Sewatsky TP, Wager AP, Freeman K. Accuracy of Point-of-Care Testing for Anemia in the Emergency Department. *Respir Care*. 2019 Nov;64(11):1343-1350. doi: 10.4187/respcare.06364. Epub 2019 Mar 26. PMID: 30914492.
  18. Sysmex Corporation. Automated Hematology Analyzer XN series (Para el sistema XN-1000) Instrucciones de uso. Nov. 2012.
  19. García-Fernández AE, Barquín R, Martínez M, Ferrer R, Casis E, Xu C. Performance evaluation of a point of care cartridge of the new GEM Premier ChemSTAT analyzer. *Pract Lab Med*. 2022 Jul 19;31:e00297. doi: 10.1016/j.plabm.2022.e00297. PMID: 35880117; PMCID: PMC9307927.
  20. Instrumentation Laboratory Co. GEM3500 Premier. Manual del Operador. Rev 00. P/N 26000200, Enero 2009.
  21. Aziz, Hassan. (2017). Comparison between Field Research and Controlled Laboratory Research. *Archives of Clinical and Biomedical Research*. 1. 101-104. 10.26502/acbr.50170011.
  22. Whitehead RD Jr, Mei Z, Mapango C, Jefferds MED. Methods and analyzers for hemoglobin measurement in clinical laboratories and field settings. *Ann N Y Acad Sci*. 2019 Aug;1450(1):147-171. doi: 10.1111/nyas.14124. Epub 2019 Jun 4. PMID: 31162693; PMCID: PMC6709845.
  23. De la Salle B. (2019). Pre- and postanalytical errors in haematology. *International journal of laboratory hematology*, 41 Suppl 1, 170-176. <https://doi.org/10.1111/ijlh.13007>
  24. Oyaert, M., Van Maerken, T., Bridts, S., Van Loon, S., Laverge, H., & Stove, V. (2018). Analytical and pre-analytical performance characteristics of a novel cartridge-type blood gas analyzer for point-of-care and laboratory testing. *Clinical biochemistry*, 53, 116-126. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2018.01.007>

25. Quig K, Wheatley EG, O'Hara M. Perspectives On Blood-Based Point-Of-Care Diagnostics. *Open Access Emerg Med.* 2019 Nov 14;11:291-296. doi: 10.2147/OAEM.S223667. PMID: 31814781; PMCID: PMC6861530.
26. Johnson, M., Marwick, P. C., & Coetzee, J. F. (2020). Comparison of Hemoglobin Measurements by 3 Point-of-Care Devices With Standard Laboratory Values and Reliability Regarding Decisions for Blood Transfusion. *Anesthesia and analgesia*, 131(2), 640-649. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000004533>