

Elevada Anemia Infantil Mediante Evaluaciones No Serológicas a Gran Altitud. ¿Fracaso Suplementario de Hierro?

Elevated Pediatric Anemia Through Non-Serological Assessments at High Altitude: A Failure of Iron Supplementation?

Hesed Virto-Farfan^{1,a}, Carlos Virto^{2,b}

Resumen

Objetivo: Analizar las características demográficas y hematológicas de una población pediátrica andina, con énfasis en la prevalencia y clasificación de anemia según distintos criterios de corrección por altitud. **Material y métodos:** Estudio descriptivo, transversal y analítico realizado en 178 niños de 3 a 12 años en San Jerónimo, Cusco, Perú, a 3390 msnm. La hemoglobina se midió mediante Rad-67® Pulse CO-Oximeter® y se corrigió según la normativa técnica peruana. Las variables sexo, peso, talla e IMC se obtuvieron de historias clínicas. Las diferencias entre grupos se evaluaron mediante pruebas no paramétricas. **Resultados:** Se compararon tres escenarios diagnósticos: hemoglobina sin corrección por altitud, hemoglobina corregida según la normativa peruana de 2017 y hemoglobina corregida según la normativa peruana de 2024. Sin corrección, el 90.45% fue clasificado sin anemia, el 7.87% con anemia leve y el 1.69% con anemia moderada. Con la corrección de 2024, la proporción sin anemia disminuyó a 19.10%, predominando la anemia moderada (58.43%) y leve (22.47%). La corrección de 2017 mostró una proporción aún mayor de anemia moderada (68.54%). Se observaron diferencias significativas en hemoglobina ($p < 0.01$) e IMC ($p = 0.015$) entre sexos, con valores más bajos en niñas. **Conclusiones:** La estimación epidemiológica de anemia varió sustancialmente según el criterio de corrección por altitud aplicado. Se requieren estudios longitudinales con validación laboratorial complementaria.

Palabras claves: altitud, anemia, hemoglobina, niños, nutrición infantil

Abstract

Objective: To analyze the demographic and hematological characteristics of an Andean pediatric population, with emphasis on the prevalence and classification of anemia according to different altitude-adjustment criteria. **Materials and Methods:** A descriptive, cross-sectional, and analytical study was conducted in 178 children aged 3 to 12 years in San Jerónimo, Cusco, Peru, located at 3,390 meters above sea level. Hemoglobin concentration was measured using the Rad-67® Pulse CO-Oximeter® and adjusted according to Peruvian technical regulations. Sex, weight, height, and body mass index (BMI) were obtained from clinical records. Between-group differences were assessed using nonparametric statistical tests. **Results:** Three diagnostic scenarios were compared: unadjusted hemoglobin, hemoglobin adjusted according to the 2017 Peruvian regulation, and hemoglobin adjusted according to the 2024 Peruvian regulation. Without altitude correction, 90.45% of children were classified as non-anemic, 7.87% as having mild anemia, and 1.69% as having moderate anemia. After applying the 2024 correction, the proportion of non-anemic children decreased to 19.10%, with predominance of moderate anemia (58.43%) and mild anemia (22.47%). The 2017 correction yielded an even higher proportion of moderate anemia (68.54%). Significant differences were observed in hemoglobin concentration ($p < 0.01$) and BMI ($p = 0.015$) between sexes, with lower values among girls. **Conclusions:** The epidemiological estimation of anemia varied substantially according to the altitude-adjustment criterion applied. Longitudinal studies with complementary laboratory validation are required to clarify the clinical and programmatic implications of these differences.

Keywords: altitude, anemia, hemoglobins, child, child nutrition

Recibido el
29 de noviembre de 2025

Aceptado
15 de junio de 2026

¹Instituto Científico, Universidad
Andina del Cusco, Perú.

²Neuroscience Research Circle (CIN),
Facultad de Ciencias de la Salud,
Universidad Andina del
Cusco, Perú.

^a<https://orcid.org/0000-0002-5096-6941>
hesedvirto@gmail.com

^b<https://orcid.org/0000-0002-4390-3272>
carvirto@gmail.com

*Correspondencia:
Virto-Farfan Hesed

Correo electrónico:
hesedvirto@gmail.com

DOI:

<https://doi.org/10.47993/gmb.v49i1.1199>

La anemia afecta a 1.920 millones de personas, cerca del 25% de la población mundial, siendo más prevalente en mujeres, niños y gestantes¹. La OMS calcula que la anemia afecta a un 20% de los niños de 6 a 59 meses de edad, un 37% de las embarazadas y un 30% de las mujeres de 15 a 49 años². Las mayores tasas se observan en África subsahariana y Asia del Sur, donde más del 50% de los niños eran anémicos en 2016³. En países de ingresos bajos y medios, el 43% de los menores de cinco años también están afectados. La deficiencia de hierro es la causa principal, responsable del 66.1% de los casos en hombres y del 56,8% en mujeres, con factores genéticos, socioeconómicos y enfermedades crónicas desempeñando un papel secundario⁴.

La anemia tiene graves consecuencias para la salud, especialmente en mujeres embarazadas y niños pequeños, aumentando riesgos como bajo peso al nacer y deterioro cognitivo. También genera cargas económicas significativas. Aunque las tasas

globales de anemia han disminuido un 13.4% entre 1990 y 2019, las regiones menos desarrolladas siguen enfrentando altas cargas. Es crucial abordar causas como deficiencia de micronutrientes y condiciones socioeconómicas, con énfasis en poblaciones vulnerables⁵. En América Latina, la anemia afecta principalmente a mujeres en edad fértil y niños pequeños. El 28.56% de los niños padecen anemia, con tasas entre el 4% en Chile y Costa Rica y más del 37% en Nicaragua y Honduras⁶. En mujeres, la prevalencia llega al 45% en Haití. Las causas incluyen deficiencia de hierro, vitamina B12 e inseguridad alimentaria, agravadas por desigualdades socioeconómicas y de género. En niños, la anemia provoca déficits cognitivos irreversibles y menor productividad, mientras que en mujeres embarazadas incrementa complicaciones y mortalidad. Estrategias como fortificación alimentaria y polvos micronutrientes han demostrado reducir las tasas de anemia, como en el caso del trigo fortificado, que ha logrado una reducción del 27% en ciertas poblaciones.

En el Perú, la anemia afecta al 34% de niños de 6 a 59 meses, alcanzando el 50.7% en áreas rurales y el 40.9% en urbanas. Las regiones de la sierra y selva, como Cusco, tienen mayor prevalencia debido a desigualdades socioeconómicas y acceso limitado a servicios básicos, donde se ha encontrado una prevalencia del 51.7% en niños de 6 a 35 meses de edad⁷. En Cusco, factores como condiciones de altura, deficiencia de hierro y pobreza contribuyen significativamente. El impacto incluye mayor mortalidad infantil, deterioro del desarrollo y reducción de productividad. Comunidades indígenas enfrentan barreras adicionales, como acceso limitado a servicios de salud. El 40 a 49.9% de niños entre 6 a 35 meses presentan algún grado de anemia⁸. El gobierno ha implementado programas de suplementación y fortificación alimentaria, pero las áreas remotas siguen siendo un desafío. En Cusco, el porcentaje de niños de 6 a 35 meses que consumieron suplementos de hierro es de entre el 30% a 39.4%⁸. Abordar la anemia en Cusco y el Perú requiere enfoques integrales y sostenibles que combinen intervenciones nutricionales y mejoras en condiciones de vida⁵.

El objetivo del estudio fue analizar las características demográficas y hematológicas de una población pediátrica, enfocándose en la prevalencia y clasificación de la anemia y sus diferencias por edad, la hipótesis de investigación fue: la aplicación de factores de corrección por altitud modifica significativamente la clasificación de anemia en escolares residentes a gran altitud, incrementando la proporción de niños clasificados con anemia en comparación con la hemoglobina no corregida. Adicionalmente, se plantea que las diferencias en hemoglobina corregida y en la clasificación de anemia pueden estar asociadas con variables demográficas y antropométricas, principalmente sexo, edad e índice de masa corporal. La hipótesis nula fue: la aplicación de factores de corrección por altitud no modifica de manera significativa la clasificación de anemia en la población estudiada, y las variables sexo, edad e índice de masa corporal no se asocian significativamente con los niveles de hemoglobina corregida ni con la presencia de anemia.

Metodología

Diseño del estudio

Se realizó un estudio descriptivo, transversal y analítico, de tipo observacional. La población de estudio fueron niños de jardín de 3 años a 6° de primaria de una institución educativa en san Jerónimo, Cusco, Perú.

Muestra

Se incluyó un total de 178 participantes de 186 estudiantes que pertenecían al centro educativo, con edades comprendidas entre los 3 y 12 años. Los criterios de inclusión fueron: a) Niños aparentemente sanos de jardín de 3 años a 6° de primaria; b) Residentes de Cusco (3400 msnm) c) Niños nacidos a término y de gestación única; d) Niños sin enfermedades congénitas; y e) Niños cuyos padres aceptaron participar del estudio. Los criterios de exclusión fueron: a) Niños con alguna enfermedad infecciosa una semana antes de la evaluación. b) No haber acudido a la institución para la evaluación sociodemográfica o medición de hemoglobina.

Para sustentar la suficiencia muestral, se realizó un cálculo para estimación de una proporción en población finita. Se consideró como población accesible a los 186 escolares matriculados en la institución educativa, un nivel de confianza del 95%, una precisión absoluta del 5% y una proporción esperada conservadora de 50%, que maximiza el tamaño muestral requerido. Se aplicó la fórmula $n = [N Z^2 p(1-p)] / [d^2(N-1) + Z^2 p(1-p)]$, donde $N = 186$, $Z = 1,96$, $p = 0,50$ y $d = 0,05$. Con estos supuestos, el tamaño mínimo requerido fue de 126 participantes. El estudio incluyó 178 escolares, equivalente al 95,7% de la población accesible, superando el tamaño mínimo estimado y proporcionando una precisión adecuada para describir la prevalencia y clasificación de anemia en esta institución.

Dado que se trata de un estudio transversal realizado sobre casi la totalidad de la población escolar accesible, el cálculo se orientó principalmente a la precisión de la estimación de prevalencia. Para los análisis multivariados, se recomienda limitar el número de covariables al tamaño efectivo de la muestra y a la frecuencia del desenlace, priorizando variables clínicamente justificadas: sexo, edad, índice de masa corporal y grado escolar.

Procedimientos

A los estudiantes seleccionados se les realizó la medición de hemoglobina utilizando el equipo no invasivo Rad-67TM Pulse CO-Oximeter®. Los datos obtenidos fueron registrados en Microsoft Excel y corregidos conforme a lo establecido en la

“NTS°213/MINSA-DGIESP-2024, Norma Técnica de Salud: Prevención y control de la anemia por deficiencia de hierro en el niño y la niña, adolescentes, mujeres en edad fértil, gestantes y puérperas”. Se aplicó el ajuste correspondiente para corregir los valores de hemoglobina según la altitud de 3400 msnm, restando 2,1 g/dL. Las variables descriptivas complementarias, como sexo, peso, talla e índice de masa corporal (IMC), fueron extraídas de las historias clínicas de los estudiantes.

El Rad-67° Pulse CO-Oximeter® es un dispositivo portátil diseñado para realizar mediciones no invasivas de parámetros fisiológicos clave en tiempo real. Su tecnología combina el uso de espectrofotometría avanzada con sensores de última generación para medir la saturación de oxígeno (SpO₂), la frecuencia del pulso (PR), el índice de perfusión (Pi) y la hemoglobina total (SpHb). Estos parámetros se monitorean utilizando el sensor rainbow® DCI-mini, un dispositivo compacto y reutilizable que se conecta al Rad-67°, permitiendo una evaluación rápida y cómoda en una variedad de entornos clínicos.

El Rad-67° Pulse CO-Oximeter® se utilizó como herramienta de tamizaje no invasivo en un entorno escolar de campo, debido a que permite obtener una medición rápida, portátil y sin punción venosa, reduciendo molestias, ansiedad, riesgo biológico y barreras logísticas en población pediátrica. Esta decisión metodológica fue especialmente pertinente en una evaluación comunitaria de alta cobertura, donde la obtención de muestras venosas en todos los niños podía afectar la aceptabilidad del estudio y reducir la participación. Sin embargo, los valores de SpHb obtenidos con Rad-67° no deben interpretarse como sustitutos directos de la hemoglobina venosa o capilar confirmatoria, sino como una aproximación no serológica útil para estimar patrones de clasificación poblacional bajo distintos criterios de corrección por altitud.

Para reducir el riesgo de error de medición, las evaluaciones deben describirse como realizadas por personal entrenado, con el niño en reposo, sensor correctamente colocado, control de movimiento, verificación de señal adecuada y repetición de la medición cuando la señal fue inestable o clínicamente discordante. Asimismo, se debe explicitar que no se tomaron decisiones clínicas individuales definitivas basadas exclusivamente en SpHb y que los resultados anormales deben confirmarse mediante métodos de laboratorio de acuerdo con la normativa clínica vigente.

El funcionamiento del Rad-67° se basa en la tecnología Masimo SET®, conocida por su capacidad de medir a través del movimiento y en condiciones de baja perfusión, garantizando así resultados confiables incluso en situaciones desafiantes. El sensor rainbow® DCI-mini utiliza múltiples longitudes de onda de luz que atraviesan el tejido del paciente, como un dedo o un dedo del pie, para capturar información sobre la sangre. A través de detectores integrados, se mide la cantidad de luz absorbida por diferentes componentes de la sangre. Los datos recogidos son procesados por algoritmos avanzados que interpretan las señales para proporcionar mediciones precisas en cuestión de segundos. Esta tecnología es especialmente útil porque no requiere calibración por parte del usuario y elimina la necesidad de procedimientos invasivos.

El proceso de medición de la hemoglobina total (SpHb) utiliza principios de espectrofotometría para analizar cómo la hemoglobina en la sangre absorbe la luz en diferentes longitudes de onda. Cada forma de hemoglobina, ya sea oxigenada, desoxigenada o total, tiene un patrón único de absorción de luz. El sensor rainbow® DCI-mini detecta estas señales ópticas, y el dispositivo Rad-67° las analiza mediante algoritmos patentados para calcular la concentración de hemoglobina en gramos por decilitro (g/dL). Este método proporciona una medición rápida y no invasiva, permitiendo a los médicos obtener información inmediata sobre el estado del paciente sin necesidad de extraer sangre.

Una ventaja clave de este enfoque es que reduce el riesgo de exposición a patógenos sanguíneos y permite monitoreos frecuentes sin causar molestias al paciente. Además, los resultados están disponibles en tan solo 30 segundos, lo que facilita la toma de decisiones clínicas en tiempo real. Sin embargo, es importante destacar que el monitoreo de SpHb no sustituye los análisis de sangre en laboratorio debido a que su precisión puede verse afectada en condiciones específicas. Por ejemplo, no está indicado para pacientes pediátricos, embarazadas o con enfermedades renales, y siempre debe complementarse con pruebas de laboratorio para decisiones clínicas críticas.

Para el análisis de anemia se utilizaron la norma técnica y manejo terapéutico y preventivo de la anemia del Ministerio de Salud (MINSA) Resolución Ministerial N° 250-2017/MINSA del año 2017, donde en niños de 6 meses a 5 años, la anemia severa es menor a 7,0 g/dL, moderada entre 7,0-9,9 g/dL, y leve entre 10,0-10,9 g/dL. Adolescentes y mujeres no gestantes tienen valores normales iguales o superiores a 12 g/dL, mientras que varones de 15 años o más deben tener niveles superiores a 13 g/dL. Además, se realizó el ajuste de hemoglobina por altitud, calculados como la diferencia entre la hemoglobina observada y el factor correspondiente. Para altitudes entre 3361 y 3425 msnm, el factor de ajuste es de 2,4, lo que significa que se debe restar este valor a la hemoglobina observada para obtener la hemoglobina ajustada a la altitud. También se utilizó la norma técnica de salud de prevención y control de la anemia NTS N°2013/MINSA-DGIESP-2024, en la cual la corrección de 3000 msnm a 3499 msnm es de 2,1. Esto para evitar sesgos en la cantidad de anemia en la ciudad del cusco, que se encuentra a 3390msnm.

Análisis estadístico

Se realizaron análisis descriptivos, donde se calcularon medidas de tendencia central y dispersión (media, mediana, SD, IQR, valores mínimo y máximo) para las variables edad, hemoglobina y hemoglobina corregida, así como distribuciones de las proporciones de anemia en sus diferentes grados. Para evaluar la relación entre la edad y los niveles de hemoglobina y hemoglobina corregida se utilizó la prueba de correlación de Spearman por no tener una distribución normal en ninguna de las variables. Se realizó la prueba U de Mann-Whitney para comparar los niveles de hemoglobina y hemoglobina corregida

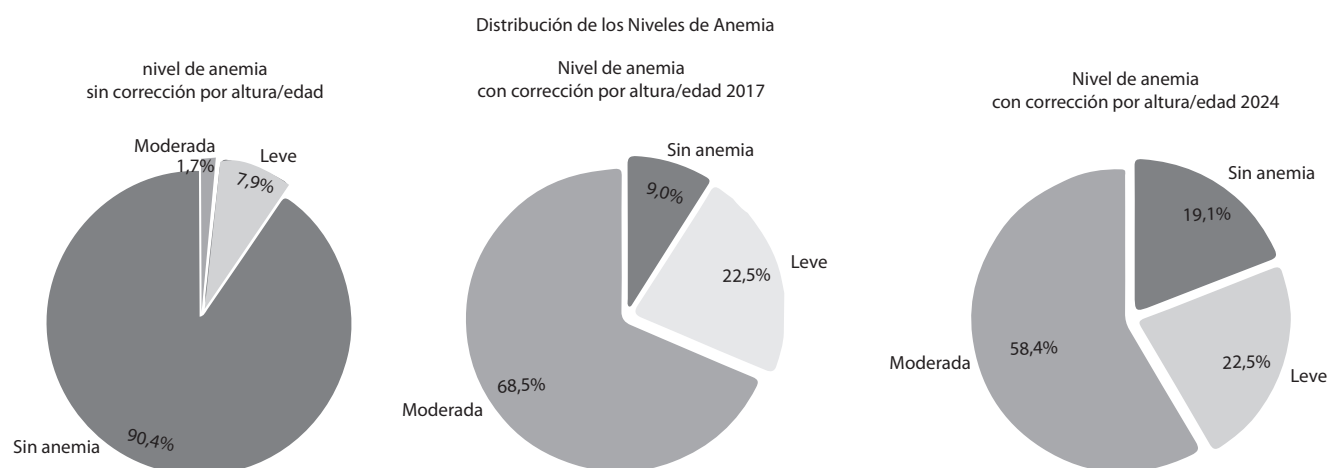


Figura 1. Proporción de anemia por categorías y ajustes

entre sexos para identificar diferencias estadísticamente significativas. Se calculó el tamaño del efecto mediante la correlación de rango biserial y su error estándar.

Aspectos éticos

El estudio fue aprobado por un comité de ética en investigación, garantizando la confidencialidad de los datos y el cumplimiento de los principios éticos de la Declaración de Helsinki. El estudio fue aprobado por el comité de ética universitario con Resolución N° 1046-2024-CF-UAC y Oficio N° 335-2024/DIRSEU-UAC. Se obtuvo el consentimiento informado de los padres o tutores legales de todos los participantes.

Resultados

Análisis Descriptivo

Se analizaron 178 individuos pediátricos como se observa en la Figura 1. Los niveles de hemoglobina, tanto sin corrección como con factores de ajuste, presentan características consistentes en términos de dispersión y tendencia central. La hemoglobina sin corrección exhibe un promedio cercano a los valores típicos esperados en esta población, con una dispersión relativamente baja, reflejada en su desviación estándar y rango intercuartílico. Asimismo, la mediana, muy próxima a la media, sugiere una distribución simétrica, aunque la prueba de normalidad Shapiro-Wilk indica que los datos no siguen una distribución normal. Este comportamiento se repite al evaluar los niveles de hemoglobina ajustados para altura y edad con las correcciones de 2017 y 2024, donde se observan ligeras diferencias en los promedios, manteniendo una estabilidad en la dispersión de los valores. El peso corporal de los participantes presenta una mayor variabilidad en comparación con los niveles de hemoglobina. Aunque la media y la mediana se encuentran cercanas, la amplia desviación estándar y el rango intercuartílico destacan una heterogeneidad considerable en esta variable, reflejo de las diferencias individuales en esta población. Al igual que con las otras variables, la distribución del peso no se ajusta a la normalidad, según lo evidenciado por la prueba estadística aplicada. En cuanto a la talla, los datos muestran una menor dispersión en comparación con el peso. La media y la mediana están cercanas, con un rango intercuartílico que indica una variabilidad más contenida dentro de la muestra. A pesar de ello, los resultados de la prueba de normalidad indican que la distribución tampoco es normal, lo que es consistente con las características observadas en otras variables biométricas. El índice de masa corporal, por su parte, resalta como la variable con mayor variabilidad dentro de la población estudiada. Su media y mediana están relativamente cercanas, pero la desviación estándar y el rango intercuartílico evidencian una marcada dispersión de los valores, posiblemente relacionada con patrones extremos de peso y talla en la muestra. La prueba de normalidad confirma que esta variable presenta una distribución no ajustada a la normalidad, lo que subraya la complejidad en la interpretación de esta métrica dentro del grupo, los resultados se observan en la Tabla 1.

Se observaron diferencias significativas en los niveles de anemia entre las mediciones sin corrección y las corregidas por altura y edad. Sin corrección, el 90,45% de los individuos no presentaron anemia, mientras que el 7,87% tuvo anemia leve y el 1,69% anemia moderada. Con las correcciones de 2017, el 68,54% presentó anemia moderada, el 22,47% anemia leve y solo el 8,99% no tuvo anemia. En 2024, el 58,43% mostró anemia moderada, el 22,47% anemia leve y el 19,10% no presentó anemia. Los resultados se observan en la Tabla 2 y en la Figura 2.

Los resultados muestran que la anemia moderada predomina en la mayoría de los grados escolares, especialmente en los grados superiores, alcanzando el 88,24% en primero, 81,82% en segundo y tercero, y 80% en cuarto. En los niños de inicial, la proporción de anemia leve es más alta (66,67% en 3 años) y los casos sin anemia son mayores en inicial 4 años (50%). La

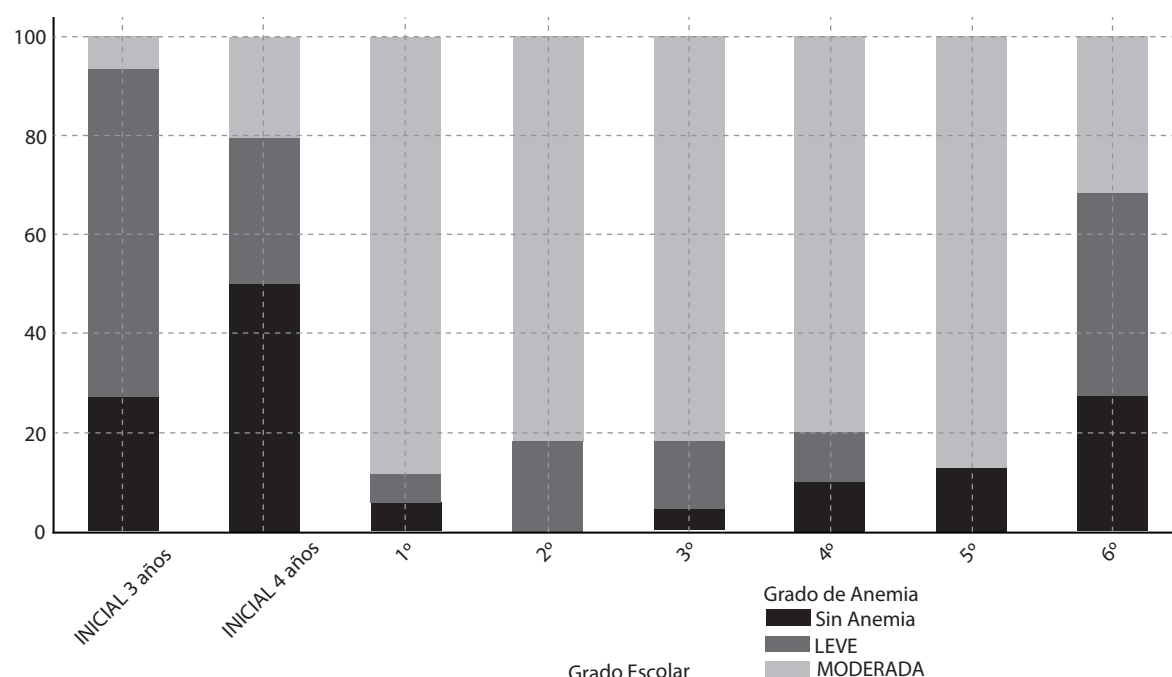


Figura 2. Porcentaje de anemia por grado.

distribución de los grados de anemia muestra que la anemia moderada predomina en la mayoría de los grados escolares, especialmente a partir del primer grado. En contraste, los casos sin anemia son más frecuentes en los niños de inicial (50% en inicial 4 años), disminuyendo drásticamente en los grados superiores, mientras que la anemia leve mantiene proporciones menores, excepto en sexto grado, donde representa el 40,91%. Los resultados se observan en la Tabla 3 y Figura 3.

Prueba U de Mann-Whitney

La prueba U de Mann-Whitney se utilizó para comparar las variables numéricas entre los grupos definidos por el sexo (masculino y femenino). Este test no paramétrico es adecuado para analizar datos que no cumplen con los supuestos de normalidad, proporcionando una evaluación robusta de las diferencias entre grupos.

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en las tres mediciones de hemoglobina: sin corrección, con corrección 2017, y con corrección 2024 (valor $p < 0,01$). Estos resultados indican que los niveles de hemoglobina varían significativamente entre hombres y mujeres, en concordancia con factores biológicos bien documentados. El análisis mostró diferencias significativas en el IMC entre ambos sexos ($p = 0,015$). Esto sugiere una disparidad en el estado nutricional promedio entre hombres y mujeres. Aunque se observaron tendencias diferenciadas entre hombres y mujeres, las diferencias en peso y talla no alcanzaron significancia estadística ($p > 0,05$).

Esto indica que estas variables están distribuidas de manera similar en ambos grupos. No se encontraron diferencias significativas en la distribución de edades entre hombres y mujeres ($p = 0,66$), lo que sugiere que ambos grupos tienen una distribución de edad comparable como se observa en la Tabla 4.

Tabla 1. Análisis descriptivo de hemoglobina, peso, talla, e IMC, y resultados de normalidad.

Variable	count	Media	DE	Mediana	IQR	Estadístico W (Shapiro-Wilk)	P-valor (Shapiro-Wilk)
Hemoglobina sin corrección	178	12,646	0,895	12,6	1,1	0,982	0,021
Hemoglobina con factor de corrección 2017	178	10,246	0,895	10,2	1,1	0,982	0,021
Hemoglobina con corrección 2024	178	10,546	0,895	10,5	1,1	0,982	0,021
PESO (kg)	178	27,584	8,415	27,4	13	0,967	0
TALLA (cm)	178	1,248	0,157	1,273	0,25	0,965	0
Imc	178	18,255	5,423	17,156	2,845	0,51	0

Tabla 2. Distribución de niveles de anemia según corrección por altura y edad en diferentes años.

Variable	Nivel de Anemia	Cantidad	Proporción (%)
Nivel de anemia sin corrección	Sin anemia	161	90,45
	Leve	14	7,87
	Moderado	3	1,69
Nivel de anemia con corrección 2017	Sin anemia	16	68,54
	Moderada	122	22,47
	Leve	40	8,99
Nivel de anemia con corrección 2024	Sin anemia	34	58,43
	Moderada	104	22,47
	Leve	40	19,10

Discusión

Este estudio analizó 178 niños de una institución educativa en San Jerónimo, Cusco, a 3390 msnm, utilizando un enfoque descriptivo y analítico para evaluar niveles de hemoglobina, estado nutricional y prevalencia de anemia. Los resultados revelaron que la corrección de hemoglobina por altura redistribuyó significativamente las categorías de anemia. Sin corrección, el 90,45% de los niños fue clasificado como sin anemia, mientras que con la corrección de 2024, esta proporción disminuyó al 19,10%, siendo predominante la anemia moderada (58,43%). Los grados escolares más afectados por anemia moderada fueron primer, segundo, tercero y cuarto grado de primaria, con prevalencias superiores al 80%. Este hallazgo indica un posible vínculo entre la progresión escolar y el empeoramiento del estado hematológico, lo que podría estar relacionado con factores como la demanda nutricional o la disminución de atención en los controles de salud a medida que los niños crecen.

La variabilidad en peso e IMC fue considerable, destacando el IMC como la métrica más heterogénea, con una desviación estándar de 5,42 kg/m². Esta dispersión puede reflejar una coexistencia de desnutrición y sobrepeso, consistente con tendencias observadas en regiones en transición nutricional. Por otro lado, el peso presentó mayor variabilidad que la talla, lo que sugiere diferencias individuales significativas en el crecimiento y el estado nutricional. A pesar de estas diferencias, el análisis mostró que el peso y la talla no difirieron significativamente entre sexos, lo que sugiere una distribución similar de estas variables en ambos grupos.

La tecnología Rad-67® Pulse CO-Oximeter® permitió la medición rápida y no invasiva de hemoglobina, facilitando la recolección de datos en un entorno escolar como se observa en la Figura 4. Sin embargo, esta metodología presenta limitaciones inherentes, como potenciales imprecisiones en condiciones de baja perfusión o movimiento del paciente. Aunque es adecuada para monitoreo inicial, debe complementarse con análisis de laboratorio para decisiones clínicas críticas, especialmente en poblaciones pediátricas donde la precisión es esencial.

El análisis por sexo reveló diferencias estadísticamente significativas en los niveles de hemoglobina ($p < 0,01$) y el IMC ($p = 0.015$), con valores más bajos en niñas. Estas disparidades podrían estar relacionadas con factores biológicos y sociales, destacando la necesidad de intervenciones específicas por género para abordar tanto la anemia como el estado nutricional.

Tabla 3. Grado de anemia y grado escolar.

Grado	Sin anemia	Leve	Moderada
Inicial 3 años	4 (26,67%)	10 (66,67%)	1 (6,67%)
Inicial 4 años	17 (50,0%)	10 (29,41%)	7 (20,59%)
1°	1 (5,88%)	1 (5,88%)	15 (88,24%)
2°	0 (0,0%)	4 (18,18%)	18 (81,82%)
3°	1 (4,55%)	3 (13,64%)	18 (81,82%)
4°	3 (10,0%)	3 (10,0%)	24 (80,0%)
5°	2 (12,5%)	0 (0,0%)	14 (87,5%)
6°	6 (27,27%)	9 (40,91%)	7 (31,82%)

Tabla 4. Test de U de Mann-Whitney según sexo.

Variable	U Statistic	P-value
Edad	3810,000	0,664
Hemoglobina sin corrección por altura/edad	4862,500	0,009
Hemoglobina con factor de corrección altura/edad 2017	4862,500	0,009
Hemoglobina con corrección por altura/edad 2024	4862,500	0,009
peso (kg)	3407,500	0,109
talla (cm)	3665,500	0,395
Imc	3130,000	0,016

Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas en la edad, asegurando la comparabilidad entre grupos.

Nuestros resultados revelan una alta prevalencia de anemia moderada, alcanzando el 68.54% usando la norma técnica del 2017 y el 58.43% usando la norma técnica 2024 tras ajustes por altura. Estos resultados contrastan con los reportados por Accinelli et al.⁹, quienes identificaron una prevalencia de anemia de solo el 1.2% en altitudes superiores a 2500 m y del 8.5% en altitudes bajas en Perú, utilizando valores ajustados según la altitud. Las discrepancias entre ambos estudios pueden atribuirse a las diferencias en la población objetivo, ya que Accinelli et al.⁹ se enfocaron en niños de 6 a 35 meses, donde nuestros resultados par estas edades son similares, estando la mayor cantidad de anemia distribuida en los niños de 1° a 5° de primaria.

Sin embargo, Sarna et al.¹⁰ señalaron que las correcciones de hemoglobina por altura propuestas por la OMS tienden a sobreestimar la prevalencia de anemia en poblaciones tibetanas saludables, alcanzando hasta un 75% en algunos casos. Esta discrepancia podría atribuirse a adaptaciones genéticas específicas, como las variantes en los genes EGLN1 y EPAS1, que están presentes en los tibetanos pero no en las poblaciones andinas. En San Jerónimo, los datos iniciales sin ajustar indicaban una prevalencia de anemia moderada de solo el 1.69%, pero esta aumentó drásticamente tras los ajustes, lo que subraya la sensibilidad de los resultados al método de corrección utilizado. Por otro lado, Gonzales et al.¹¹ observaron un aumento en los niveles de hemoglobina a partir de los 375 m de altitud, mientras que en San Jerónimo, situado a 3390 m, los niveles ajustados promediaron 10.54 g/dL en 2024. Esto refleja la importancia de considerar las adaptaciones fisiológicas específicas de cada población en altitudes extremas al interpretar los valores de hemoglobina.

La prevalencia de anemia moderada en San Jerónimo fue especialmente alta en los primeros grados escolares, alcanzando un 88.24%. Este hallazgo se relaciona con el estudio de Yu et al., que documentó cómo niveles bajos de ferritina (<14.6 mg/L)¹² en niños tibetanos se asocian con anemia severa y complicaciones como hipertensión pulmonar. Aunque ambas poblaciones enfrentan desafíos comunes relacionados con la altitud, las diferencias en dieta, acceso a hierro hemo y genética podrían explicar las disparidades observadas en la gravedad de la anemia. En Etiopía, Zewude et al. reportaron una prevalencia de anemia moderada del 15.61% en niños menores de cinco años¹³, considerablemente menor que el 58.43% documentado en San Jerónimo en 2024. Estas diferencias podrían explicarse por la mayor altitud en San Jerónimo (3390 m frente a altitudes variadas en Etiopía) y por factores nutricionales que exacerban la malnutrición crónica en los Andes, un factor que influye directamente en los niveles de hemoglobina.

El análisis de la influencia del sexo en los niveles de hemoglobina también presentó resultados consistentes entre estudios. En San Jerónimo, las niñas mostraron niveles significativamente más bajos que los niños ($p < 0.01$). García-Erce et al. reportaron hallazgos similares en España, donde la prevalencia de anemia fue del 10% en mujeres frente al 7.8% en hombres¹⁴. Estas diferencias pueden deberse a factores hormonales y mayores requerimientos fisiológicos de hierro en mujeres, factores ausentes en niños preescolares.

En relación con la interacción entre anemia y enfermedades crónicas, Sangeetha et al. identificaron cambios hematológicos significativos en pacientes con EPOC en altitudes altas¹⁵. Estos resultados son relevantes para San Jerónimo, donde la alta prevalencia de anemia moderada podría exacerbar las condiciones relacionadas con la hipoxia crónica en poblaciones vulnerables.

Mairbäurl et al. señalaron que el incremento de hemoglobina por kilómetro de altitud es menor en niños que en adultos, lo cual coincide con los niveles ajustados observados en San Jerónimo (10.54 g/dL en 2024)¹⁶. Esto resalta la necesidad de establecer valores de referencia específicos por edad y región para evitar diagnósticos erróneos o inconsistentes. Es probable que las condiciones socioeconómicas y educativas también influyan en la prevalencia de anemia infantil en esta población andina, sugiriendo la necesidad de un enfoque integral que contemple determinantes sociales y de salud pública¹⁷.

El estudio presenta varias fortalezas notables que refuerzan la validez de sus hallazgos. La inclusión del 95.7% de los estudiantes de la institución educativa asegura una alta representatividad de la población objetivo, lo que minimiza el sesgo de selección. Además, la corrección de los niveles de hemoglobina por altitud, utilizando los criterios establecidos por la norma técnica nacional (NTS°213/MINSA-DGIESP-2024), garantiza que los resultados sean clínicamente relevantes para una población que

reside a 3400 msnm. La tecnología utilizada, el Rad-67® Pulse CO-Oximeter®, permitió mediciones rápidas y no invasivas, facilitando la aceptación de los participantes y la recolección de datos en un entorno escolar. Adicionalmente, el análisis estadístico robusto, que incluyó pruebas no paramétricas como la U de Mann-Whitney y la correlación de Spearman, abordó adecuadamente la falta de normalidad en las variables, fortaleciendo las conclusiones obtenidas. A pesar de sus fortalezas, el estudio enfrenta ciertas limitaciones que pueden influir en la interpretación de los resultados. La generalización de los hallazgos es limitada, ya que los datos se recolectaron en una única institución educativa, lo que podría no reflejar las condiciones de otras poblaciones pediátricas con diferentes características socioeconómicas o culturales. Sin embargo, al tratarse de un entorno rural y de difícil acceso, el estudio es relevante para inferir los niveles de anemia en instituciones que ya reciben alimentos como Khalliwarma y otros programas sociales para prevenir la anemia, que aparentemente no están teniendo los resultados esperados. Además, el diseño transversal del estudio limita la capacidad de establecer relaciones causales, restringiendo las conclusiones a asociaciones observadas en un punto temporal específico, por lo que se estaría repitiendo las mediciones en posteriores estudios para evaluar esta tendencia en el tiempo.

A pesar de las medidas para enfrentar la anemia en el Perú, seguimos enfrentando una importante presencia de anemia en los niños con edades más vulnerables, lo cual debe llevar a replantear las estrategias en la lucha por su erradicación, la aplicación de las mismas y los controles a estas poblaciones para verificar su utilidad. El estudio presenta un importante valor para la salud pública pues refleja una gran cantidad de anemia en una región donde solo el 30% al 35%⁸ de los niños recibe algún tipo de suplementación de hierro, con más de la mitad de los niños con anemia moderada, la cual generará daños irreparables a largo plazo en su desarrollo cognitivo.

Los hallazgos no permiten concluir un fracaso de la suplementación con hierro, debido a que el diseño transversal no evaluó adherencia, dosis recibida, duración del tratamiento, regularidad de distribución, parasitosis, dieta, inflamación ni respuesta hematológica longitudinal. En cambio, el aporte principal del estudio consiste en mostrar que la aplicación de criterios de corrección por altitud modifica de manera sustancial la clasificación de anemia en escolares residentes a gran altitud. Esta diferencia tiene implicancias epidemiológicas y programáticas, ya que puede modificar la magnitud estimada del problema, la priorización de intervenciones y la necesidad de confirmación diagnóstica, y el título busca cuestionar con la pregunta si realmente estamos abordando de forma correcta la suplementación con hierro en nuestras comunidades, como una línea de investigación que requiere más evidencia para ser respondida.

Conclusiones

Los resultados del estudio revelan diferencias significativas en los niveles de hemoglobina al comparar las mediciones sin corrección con aquellas ajustadas por altura y edad. Sin corrección, el 90,45% de los niños fue clasificado como sin anemia, mientras que esta proporción disminuyó drásticamente al 19,10% con la norma técnica del 2024 con la corrección aplicada, predominando la anemia moderada en un 58,43%. Este patrón también fue evidente en las correcciones de la norma técnica del 2017, con un 68,54% de anemia moderada. Estos datos resaltan la importancia de aplicar correcciones específicas para reflejar de manera precisa la prevalencia de anemia en poblaciones pediátricas de gran altitud.

El análisis por grado escolar mostró una alta prevalencia de anemia moderada en grados superiores, superando el 80% en primero, segundo, tercero y cuarto grado, mientras que en inicial los casos de anemia leve fueron más frecuentes, alcanzando el 66,67% en inicial 3 años. Este comportamiento sugiere un empeoramiento progresivo del estado hematológico a medida que los niños avanzan en el sistema escolar, posiblemente relacionado con factores como mayores demandas nutricionales o menor atención en los controles de salud.

En cuanto a las características antropométricas, el índice de masa corporal presentó la mayor variabilidad entre las métricas evaluadas, con una desviación estándar de 5,42 kg/m², lo que indica una marcada dispersión que refleja la coexistencia de patrones extremos de desnutrición y sobrepeso. El peso, con una desviación estándar de 8,415 kg, mostró mayor variabilidad que la talla, cuya dispersión fue más contenida, con una desviación estándar de 0,157 m. Sin embargo, el análisis por sexo evidenció diferencias estadísticamente significativas en los niveles de hemoglobina y el IMC, con valores más bajos en niñas ($p < 0,01$ y $p = 0,015$, respectivamente), destacando disparidades en el estado nutricional y hematológico entre géneros. En contraste, no se encontraron diferencias significativas en peso, talla ni edad entre sexos ($p > 0,05$), lo que sugiere una distribución similar de estas variables en ambos grupos.

La corrección por altitud produjo una redistribución marcada de las categorías de anemia en escolares residentes en Cusco, evidenciando que la prevalencia estimada depende de forma crítica del criterio diagnóstico utilizado. Estos resultados deben interpretarse como una evaluación poblacional no serológica de clasificación hematológica, no como demostración de fracaso de suplementación con hierro. Se requieren estudios longitudinales con confirmación venosa o capilar, evaluación nutricional ampliada, medición de adherencia a suplementación y análisis de determinantes sociales para establecer con mayor precisión la carga real de anemia y la efectividad de las intervenciones en poblaciones pediátricas de gran altitud.

Conflicto de intereses: Los autores declaramos no tener ningún conflicto de interés por la realización de este artículo.

Referencias bibliográficas

1. Institute for Health Metrics and Evaluation. Anemia - Level 1 impairment. Seattle, WA: IHME; 2021. Disponible en: <https://www.healthdata.org/research-analysis/diseases-injuries-risks/factsheets/2021-anemia-level-1-impairment>
2. Organización Mundial de la Salud. Anemia. [Internet]. Disponible en: https://www.who.int/es/health-topics/anaemia#tab=tab_1
3. Organización Mundial de la Salud. Anemia. [Internet]. 1 de mayo de 2023 [citado el 12 de diciembre de 2024]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/anaemia>
4. GBD 2021 Anaemia Collaborators. Prevalence, years lived with disability, and trends in anaemia burden by severity and cause, 1990-2021: findings from the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet Haematol*. 2023 Sep;10(9):e713-34. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S2352-3026\(23\)00160-6](https://doi.org/10.1016/S2352-3026(23)00160-6). Epub 2023 Jul 31. PMID: 37536353; PMCID: PMC10465717.
5. Organización Mundial de la Salud. Anemia. [Internet]. 2023 May 1 [citado 2024 Dec 12]. Disponible en: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/anaemia?utm_source=chatgpt.com
6. Espinola-Sánchez M, Sanca-Valeriano S, Ormeño-Julca A. Factores sociales y demográficos asociados a la anemia en mujeres embarazadas en Perú. *Rev Chil Obstet Ginecol*. 2021;86(2):192-201. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0717-75262021000200192>.
7. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Indicadores de Resultados de los Programas Presupuestales: Encuesta Demográfica y de Salud Familiar (ENDES) Primer Semestre 2023. Lima: INEI; 2023. Disponible en: https://proyectos.inei.gob.pe/endes/2023/ppr/Indicadores_de_Resultados_de_los_Programas_Presupuestales_%20ENDES_Primer_Semestre_2023_FT.pdf
8. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Perú: Encuesta Demográfica y de Salud Familiar 2023 - Nacional y Departamental. Lima: INEI; 2023. Disponible en: https://proyectos.inei.gob.pe/files/WEB_ENDES/INFORME_PRINCIPAL/2023/INFORME_PRINCIPAL/INFORME_PRINCIPAL_ENDES_2023.pdf
9. Accinelli RA, Leon-Abarca JA. Age and altitude of residence determine anemia prevalence in Peruvian 6 to 35 months old children. *PLoS One*. 2020 Jan 15;15(1):e0226846. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0226846>. PMID: 31940318; PMCID: PMC6961872.
10. Sarna K, Brittenham GM, Beall CM. Detecting anaemia at high altitude. *Evol Med Public Health*. 2020 Apr 13;2020(1):68-9. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/emph/eoaa011>. PMID: 32382420; PMCID: PMC7196337.
11. Gonzales GF, Tapia V, Vásquez-Velásquez C. Changes in hemoglobin levels with age and altitude in preschool-aged children in Peru: the assessment of two individual-based national databases. *Ann N Y Acad Sci*. 2021 Mar;1488(1):67-82. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/nyas.14520>. Epub 2020 Nov 4. PMID: 33147649; PMCID: PMC8647184.
12. Yu J, Yu L, Li Y, Hu F. Iron deficiency is a possible risk factor causing right heart failure in Tibetan children living in high altitude area. *Medicine (Baltimore)*. 2020 Jul 17;99(29):e21133. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000021133>. PMID: 32702866; PMCID: PMC7373578.
13. Zewude BT, Debusho LK. Prevalence Rate and Associated Risk Factors of Anaemia among under Five Years Children in Ethiopia. *Nutrients*. 2022 Jun 28;14(13):2693. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/nu14132693>. PMID: 35807875; PMCID: PMC9268795.
14. García-Erce JA, Lorente-Aznar T, Rivilla-Marugán L. Influence of gender, age and residence altitude on haemoglobin levels and the prevalence of anaemia. *Med Clin (Barc)*. 2019 Dec 13;153(11):424-9. English, Spanish. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2019.02.002>. Epub 2019 Apr 4. PMID: 30954290.
15. Sangeetha T, Anand AV, Begum TN. Assessment of Inter-relationship between Anemia and COPD In Accordance with Altitude. *Open Respir Med J*. 2022 Sep 22;16:e187430642206270. Disponible en: <https://doi.org/10.2174/18743064-v16-e2206270>. PMID: 37273961; PMCID: PMC10156025.
16. Mairbäurl H, Kilian S, Seide S, Muckenthaler MU, Gassmann M, Benedict RK. The Increase in Hemoglobin Concentration With Altitude Differs Between World Regions and Is Less in Children Than in Adults. *Hemasphere*. 2023 Apr 5;7(4):e854. Disponible en: <https://doi.org/10.1097/HS9.0000000000000854>. PMID: 37038466; PMCID: PMC10082317.
17. Anjorin S, Yaya S. Anaemia among under-five children: Is maternal marriage at 18th birthday and above protective? Evidence from 15 countries in Sub-Saharan Africa. *Matern Child Nutr*. 2021 Oct;17(4):e13226. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/mcn.13226>. Epub 2021 Jun 3. PMID: 34081411; PMCID: PMC8476440.