



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

Facultad de
MEDICINA

EFFECTOS BIOQUÍMICOS Y MORFOLÓGICOS EN EL CONCENTRADO DE
HEMATÍES DEBIDO AL ALMACENAMIENTO Y TEMPERATURA DE LAS
CAJAS TRANSPORTADORAS DURANTE LA DISTRIBUCIÓN

BIOCHEMICAL AND MORPHOLOGICAL EFFECTS ON RED BLOOD
CELL CONCENTRATES DUE TO STORAGE AND TRANSPORT BOX
TEMPERATURE DURING DISTRIBUTION

TRABAJO ACADÉMICO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE SEGUNDA
ESPECIALIDAD PROFESIONAL EN HEMOTERAPIA Y BANCO DE
SANGRE

AUTOR

JHIOVANA CRISTINA MORALES PEÑA

ASESOR

BILLY JOEL SANCHEZ JACINTO

LIMA – PERÚ

2024

ASESOR DE TRABAJO ACADÉMICO

Licenciado Tecnólogo Médico Billy Joel Sanchez Jacinto

Departamento Académico: Escuela de Tecnología Médica

ORCID: 0000-0001-7106-4114

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo académico a mis hijos Rodolfo y Jade a quienes privé de mi compañía durante el tiempo que duro la realización de la presente monografía.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento a todos los profesores de la Segunda Especialidad Profesional en Hemoterapia y Banco de Sangre por el compromiso con los estudiantes y por sus valiosos comentarios que contribuyeron al enriquecimiento de este trabajo.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

No he recibido fuente de financiamiento, ya sea pública o privada para la realización del presente trabajo académico y especifico que la presente monografía ha sido completamente autofinanciada.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

Yo, Jhiovana Cristina Morales Peña, declaro que el presente trabajo académico es original, cumpliendo con los lineamientos éticos de investigación. Asimismo, manifiesto que no existe ningún conflicto de interés relevante relacionado con este trabajo académico.

RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD

turnitin Page 2 of 28 - Integrity Overview

Identificador de la entrega: 616-028-11-2024762280

11% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 10% Internet sources
- 2% Publications
- 0% Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Your system's algorithm looks deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from original submissions. If we notice something strange, we flag it for your review.

A flag is not intended to be an indicator of a problem. However, we'd recommend you take your attention there for further review.



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

Facultad de
MEDICINA

EFFECTOS BIOQUÍMICOS Y MORFOLÓGICOS EN EL CONCENTRADO DE
HEMATIES DEBIDO AL ALMACENAMIENTO Y TEMPERATURA DE LAS
CAJAS TRANSPORTADORAS DURANTE LA DISTRIBUCION

BIOCHEMICAL AND MORPHOLOGICAL EFFECTS ON RED BLOOD
CELL CONCENTRATES DUE TO STORAGE AND TRANSPORT BOX
TEMPERATURE DURING DISTRIBUTION

TRABAJO ACADÉMICO PARA OPTAR POR EL TITULO DE SEGUNDA
ESPECIALIDAD PROFESIONAL EN HEMOTERAPIA Y BANCO DE
SANGRE

AUTOR

JHOVANA CRISTINA MORALES PEÑA

ASESOR

BILLY JOEL SANCHEZ JACENTO

LIMA - PERU

2024

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN	
2. INTRODUCCIÓN	1
3. OBJETIVO	3
4. CUERPO	4
4.1 Alteraciones bioquímicas y morfológicas en los concentrados de hematíes debido al almacenamiento.	6
4.1.1 Efectos sobre la liberación del oxígeno y la disminución del 2,3 difosfoglicerato (2,3 DPG).	7
4.1.2 Efectos sobre el metabolismo de los hematíes: Disminución del adenosín trifosfato (ATP).	8
4.1.3 Efectos en la sobrevida post transfusional.	9
4.1.4 Efectos sobre el potencial hidrogeno (pH) acidosis.	10
4.1.5 Efectos sobre los electrolitos.	11
4.1.6 Efectos del anticoagulante conservante.	12
4.1.7 Efectos de la temperatura de almacenamiento.	13
4.2 Efectos de la temperatura en las cajas transportadoras durante el proceso de transporte.	14
5. CONCLUSIONES	19
6. RECOMENDACIONES	20
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21

1. RESUMEN

Antecedentes: Los artículos científicos actuales respaldan la importancia crítica de mantener el concentrado de hematíes a temperaturas de almacenamiento entre 1°C y 6°C, ya que estas condiciones son fundamentales para preservar el equilibrio bioquímico y morfológico del concentrado. Asimismo, se ha demostrado que exponer el concentrado de hematíes a temperaturas superiores provoca un deterioro irreversible. En consecuencia, se recomienda estrictamente que el transporte del concentrado de hematíes se realice bajo condiciones óptimas de temperatura entre 1°C y 10°C, durante un período que asegure el cumplimiento de estos requisitos.

Objetivo: Describir los alcances de diversos estudios científicos sobre las alteraciones bioquímicas y morfológicas que experimentan los concentrados de hematíes debido al tiempo de almacenamiento y a las condiciones de temperatura de las cajas transportadoras durante el proceso de transporte. **Materiales y métodos:**

El estudio consiste en una revisión bibliográfica, basada en la recopilación y lectura de artículos científicos publicados, complementados con el uso de fuentes digitales para la investigación. **Resultados:**

El almacenamiento de los concentrados de hematíes en condiciones óptimas de conservación induce alteraciones bioquímicas y morfológicas progresivos pero reversibles y exponer el concentrado de hematíes a temperaturas mayores provoca un deterioro irreversible.

Conclusión: Actualmente existe una necesidad urgente de implementar un sistema integral de control de temperatura para el proceso de transporte de los componentes sanguíneos, que garantice la conservación adecuada de la cadena de frío.

Palabras claves: Lesión, almacenamiento, hematíes, temperatura.

ABSTRACT

Background: Current scientific articles support the critical importance of maintaining red blood cell concentrates at storage temperatures between 1°C and 6°C, as these conditions are essential for preserving the biochemical and morphological balance of the concentrate. Moreover, it has been demonstrated that exposing red blood cell concentrates to higher temperatures causes irreversible deterioration. Therefore, it is strongly recommended that the transport of red blood cell concentrates be conducted under optimal temperature conditions, between 1°C and 10°C, for a period that ensures compliance with these requirements. **Objective:** To describe the findings of various scientific studies regarding the biochemical and morphological alterations that red blood cell concentrates undergo due to storage time and the temperature conditions of the transport boxes during the transportation process. **Materials and Methods:** The study is a literature review, based on the collection and reading of published scientific articles, supplemented by the use of digital sources for further research. **Results:** Storing red blood cell concentrates under optimal conservation conditions induces progressive but reversible biochemical and morphological alterations, while exposing the concentrate to higher temperatures results in irreversible deterioration. **Conclusion:** There is currently an urgent need to implement a comprehensive temperature control system for the transportation of blood components, ensuring proper cold chain preservation.

Keywords: Injury, storage, red blood cells, temperatura.

2. INTRODUCCIÓN

Los Centros de Hemoterapia y Banco de Sangre tipo II, son servicios especializados cuya función fundamental es la obtención de hemocomponentes destinados a garantizar la igualdad de oportunidades para todas las personas que necesiten una terapia transfusional oportuna y de calidad.

A través de la hemovigilancia, implementada a lo largo de toda la cadena del proceso transfusional (selección del donante, extracción, procesamiento, almacenamiento, distribución, entre otros) se mejora la seguridad del paciente y se protege la salud del donante. La ausencia de esta vigilancia presenta un riesgo directo para la recuperación de la salud y la esperanza de vida de los usuarios afectados por enfermedades potencialmente letales (1).

Mediante la aplicación de tecnología avanzada en los procesos de banco de sangre, se ha logrado prolongar el tiempo de almacenamiento de los concentrados de hematíes, permitiendo conservarlos hasta 42 días (2). Además, se han diseñado soluciones para restaurar los niveles agotados de ATP y 2,3-DPG en los hematíes que han sido almacenados durante varias semanas, sin embargo, el uso de estas soluciones rejuvenecedoras es limitado debido a su alto costo (3).

La temperatura de almacenamiento para los concentrados de hematíes es esencial, los eritrocitos almacenados a 25°C metabolizan diez veces más rápido que aquellos almacenados a 4°C (4). Por lo tanto, es preponderante señalar que la temperatura de almacenamiento entre 1°C a 6°C para la conservación del concentrado de hematíes juega un papel trascendental en el mantenimiento del delicado equilibrio bioquímico y morfológico del glóbulo rojo (5). Controlando de esta forma el

metabolismo de la glucosa, cuya función es preservar la integridad de la membrana celular (6) (7). Al final del almacenamiento, los glóbulos rojos transfundidos deben estar presentes en la circulación en una tasa de sobrevivencia mayor igual al 75% en circulación a las 24 horas, con menos de 1% de hemólisis, se observa un aumento del 2% de sobrevivencia a las 24 horas si la sangre es leucorreducida (8).

Asimismo, la refrigeración adecuada y oportuna de conservación inhibe la proliferación de bacterias y asegura la integridad de los concentrados de hematíes (9-12).

En este contexto de conservación de hemocomponentes, las normativas oficiales vigentes, como las establecidas por el Programa Nacional de Hemoterapia y Bancos de Sangre (PRONAHEBAS), Organización Mundial de la Salud (OMS), Organización Panamericana de la Salud (OPS), recomiendan en forma estricta que el transporte del concentrado de hematíes se realice en condiciones óptimas de temperatura, entre 1°C y 10°C, por un periodo de tiempo que garantice el cumplimiento de estas exigencias (13).

Actualmente, según la Dirección de Bancos de Sangre y Hemoterapia (DIBAN - PRONAHEBAS) del Ministerio de Salud del Perú, en el año 2019 se registran 319 Centros de Hemoterapia y Banco de Sangre Tipo I, correspondientes al MINSA, EsSalud, Fuerzas Policiales y Fuerzas Armadas, además de los establecimientos de salud privados (1). Estos centros gestionan un considerable movimiento de transporte y distribución de hemocomponentes desde los Centro de Hemoterapia y Banco de Sangre Tipo II donde se realiza la extracción y procesamiento, hacia sus instalaciones, utilizando cajas transportadoras acondicionadas. Sin embargo, esta situación probablemente conlleva a deficiencias en la adecuada verificación y

registro del control de temperatura interna de dichas cajas. La falta de este control expone a los concentrados de hematíes a temperaturas inadecuadas, lo que compromete la calidad del hemocomponente y su seguridad para uso clínico.

3. OBJETIVO

Describir las alteraciones bioquímicas y morfológicas que experimenta los concentrados de hematíes debido al almacenamiento y condiciones de temperatura en las cajas transportadoras durante el proceso de transporte.

4. CUERPO

La circulación sanguínea asegura un flujo continuo de sangre, siendo fundamental para mantener el equilibrio homeostático y la salud general del organismo. Los glóbulos rojos, junto con otros componentes celulares, son transportados y protegidos por el plasma, el cual desempeña funciones esenciales, como la regulación de la temperatura corporal, el equilibrio del potencial hidrogeno (pH), las concentraciones de nutrientes y la eliminación de desechos metabólicos, entre otros procesos vitales. Estas condiciones permiten que la vida media de los eritrocitos alcance aproximadamente los 120 días en la circulación sanguínea (8, 12).

Los eritrocitos maduros carecen de núcleo, aunque conservan un metabolismo activo que consume oxígeno (O₂), ATP y glucosa, liberando dióxido de carbono (CO₂). Estas funciones metabólicas son empleadas para alimentar los sistemas de transporte activo que mantienen la homeostasis iónica entre las células y su entorno (el plasma). La función principal del eritrocito es transportar y proteger la hemoglobina facilitando su participación en la función respiratoria. La muerte fisiológica de los eritrocitos puede deberse a una alteración en la membrana, particularmente en su flexibilidad, que les impide atravesar los estrechos canales de la microcirculación esplénica (6).

Cuando se recolectan concentrados de hematíes para su almacenamiento, estos contienen una mezcla de eritrocitos con diferentes etapas de maduración: algunos recién integrados a la circulación otros senescentes o envejecidos. Estos últimos suelen caracterizarse por presentar mayor estrés oxidativo, lo que puede dificultar

su recuperación metabólica durante el almacenamiento, siendo eliminados del torrente sanguíneo mediante fagocitosis por los macrófagos del sistema reticuloendotelial, principalmente en el hígado y el bazo del receptor postransfusión. Esto explica la pérdida promedio del 17.6% de los eritrocitos transfundidos que son eliminados de la circulación en las primeras 24 horas (14).

Los concentrados de hematíes son componentes sanguíneos lábiles, propensos a degradarse fácilmente. Por ello, no basta recolectarlos en condiciones óptimas, también es fundamental garantizar su almacenamiento y transporte en condiciones adecuadas para que conserven sus propiedades terapéuticas el mayor tiempo posible (6).

Durante el procesamiento y almacenamiento de los concentrados de hematíes, es crucial asegurar condiciones apropiadas que permitan:

- Mantener la vida útil.
- Preservar la eficacia terapéutica
- Prevenir el crecimiento bacteriano

El almacenamiento debe evitar cualquier tipo de contaminación física, química o biológica (como plagas, sustancias químicas, suciedad, etc.) garantizando que tanto la manipulación como las condiciones de conservación preserven su integridad. Para lograrlo, los bancos de sangre y los servicios transfusionales deben disponer de equipos validados y controlados, capaces de mantener los concentrados de hematíes en condiciones óptimas entre 1°C y 6 °C (13).

Durante la conservación, los hematíes experimentan múltiples cambios que afectan la función y viabilidad. Estos cambios son conocidos de manera colectiva como “lesiones de depósito o almacenamiento” (12).

4.1 Alteraciones bioquímicas y morfológicas en el concentrado de hematíes debido al almacenamiento.

El uso de la tecnología en los procesos de banco de sangre ha permitido prolongar el tiempo de almacenamiento de los concentrados de hematíes. Sin embargo, persiste la duda sobre si las lesiones causadas por el almacenamiento se traducen en resultados clínicos perjudiciales para los pacientes que reciben sangre con mayor tiempo de almacenamiento (2).

Estudios como el de Spietha P. et al sintetiza tres ensayos clínicos aleatorios publicados, donde comparan las transfusiones de glóbulos rojos frescos frente a los almacenados. Los resultados no mostraron evidencia concluyente de efectos adversos clínicos relacionados con el uso de sangre más antigua, lo que apoya la práctica de utilizar primero los paquetes globulares con fecha de caducidad más próxima, y continuar con el estándar de atención habitual (15).

El estudio de Quintero M. et al sugiere que no existe una relación significativa entre el tiempo de almacenamiento de los glóbulos rojos transfundidos y la aparición de resultados clínicos adversos, incluso cuando el tiempo de almacenamiento es mayor, en ese contexto las transfusiones se consideran igual de seguras y efectivas. La investigación incluyó un total de 26 pacientes con traumatismo craneoencefálico severo, quienes fueron transfundidos con concentrado de hematíes (2).

4.1.1 **Efectos sobre la liberación de oxígeno y la disminución del 2,3 difosfoglicerato (2,3-DPG)**

La concentración de 2,3-DPG en los hematíes está regulada por la enzima fosfoglicerato mutasa, cuya actividad depende del pH, a niveles de pH superiores de 7.2 la enzima actúa como mutasa, transfiriendo un grupo fosfato de la posición 1 del 1,3-DPG hacia la posición 2 formando así el 2,3-DPG. En cambio, cuando el pH desciende por debajo de 7.2 la enzima actúa como fosfatasa, eliminando el fosfato del 2,3-DPG y produciendo 3-fosfoglicerato (3-PG). De esta manera, los niveles del 2,3-DPG en los hematíes aumentan conforme se incrementa el pH (16).

El aumento de los niveles de 2,3-DPG disminuye significativamente la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno dentro de los glóbulos rojos facilitando su liberación hacia los tejidos periféricos. Sin embargo, durante el almacenamiento de los glóbulos rojos, el 2,3-DPG se agota progresivamente. Este agotamiento afecta temporalmente la capacidad de la hemoglobina para liberar oxígeno en los tejidos después de la transfusión (8, 17).

Van de Watering LMG, Brand A. en su estudio concluye que, en concentrados de glóbulos rojos almacenados durante 14 días, los niveles de 2,3-DPG están completamente agotados, lo que afecta negativamente la capacidad de los eritrocitos para liberar oxígeno en los tejidos. Sin embargo, señalan que la velocidad de restauración in vivo de los niveles de 2,3-DPG después de la transfusión varía,

aproximadamente el 50% no se recupera en 24 horas y la restauración completa puede tomar entre 48 y 72 horas (18).

Por otro lado, Campbell L. et al reportan que el metabolismo de los eritrocitos no se ve afectado significativamente por el aumento de temperatura a 10°C durante un periodo de 12 horas. Además, indica que los niveles de 2,3-DPG pueden restaurarse en un lapso de 72 horas después de la transfusión (19).

El agotamiento de 2,3-DPG en los glóbulos rojos almacenados es un proceso reversible postransfusión, ya que el metabolismo del receptor puede restaurar gradualmente los niveles de esta molécula. Sin embargo, en situaciones de transfusiones masivas, especialmente en pacientes críticos, este deterioro temporal de la función transportadora de oxígeno puede ser clínicamente importante (16).

4.1.2 Efectos sobre el metabolismo de los hematíes: Disminución del adenosín trifosfato (ATP)

Los hematíes dependen principalmente de la vía glucolítica anaerobia como principal fuente de energía, siendo responsable de generar aproximadamente el 90% de ATP, mientras que la ruta de las pentosas contribuye con el 10% restante (11).

Se ha evidenciado que la glucólisis y consumo de ATP disminuyen entre un 10% y un 15% por cada grado Celsius por debajo de la temperatura fisiológica. Esta relación es especialmente importante en el contexto de almacenamiento, ya que los hematíes conservados a 25°C

metabolizan diez veces más rápido que aquellos almacenados a 4°C, lo que acelera su deterioro metabólico (4).

En el estudio realizado por Rapoport et al. señala que la disminución del ATP en los hematíes durante el almacenamiento está asociada con cambios deletéreos en su morfología, entre los cambios, se destaca el aumento de la rigidez celular y la reducción del contenido de lípidos de la membrana celular, lo que afecta su flexibilidad y funcionalidad (20). Por otro lado, Campbell L. et al. reporta que, aunque el ATP desempeña un papel crucial en la forma y flexibilidad de la membrana del eritrocito, estas características se mantienen sin diferencias significativas durante un periodo de 42 días. En este estudio se incluyó un total de 20 unidades de concentrado de hematíes (19).

4.1.3 Efectos en la sobrevida postransfusional

Los hematíes transfundidos deben permanecer en la circulación del receptor en una tasa de sobrevida superior o igual al 75% a las 24 horas postransfusión, con menos de 1% de hemólisis. Además, la leucorreducción ha demostrado aumentar en un 2% la tasa de sobrevida de los glóbulos rojos durante las primeras 24 horas postransfusión. Los hematíes que sobreviven durante 24 horas continúan siendo viables y permanecen en el torrente sanguíneo hasta el final de su vida útil (8).

D'Alessandro A. et al. señalan que, aunque actualmente se dispone de poco conocimiento para determinar si algunas de las lesiones inducidas por el almacenamiento afectan la supervivencia postransfusión, los

estudios sobre el rejuvenecimiento de los glóbulos rojos indican que este proceso puede revertir más de la mitad de las alteraciones bioquímicas y metabólicas evaluadas (57%) en comparación con los valores del día 42. Esto sugiere rutas poco exploradas para prolongar la duración del almacenamiento de los concentrados de hematíes (20).

Campbell L. et al. indican que los glóbulos rojos que habían estado expuestos a temperaturas de 10°C por 5 y 12 horas mostraron una supervivencia aceptable después de la transfusión sin precisar porcentajes (19).

4.1.4 Efectos sobre el Potencial hidrógeno (pH) acidosis.

Durante el almacenamiento de los concentrados de hematíes, el metabolismo celular genera ácido láctico, lo que provoca una disminución progresiva del pH. Esta caída en el pH es un fenómeno natural asociado al metabolismo anaeróbico de las células almacenadas (6).

Un estudio de Tzounakas et al. indica que, dentro del estrecho rango de temperatura permitido para el transporte de los hematíes (entre 4°C a 10°C), la tasa metabólica de los glóbulos rojos puede variar hasta tres veces. Esta variación genera una disminución significativa del pH en el concentrado de hematíes, alcanzando valores tan bajos como 5.0 (17).

La disminución en el pH puede ser un factor clave que afecta la calidad del concentrado de hematíes, contribuyendo probablemente a la hemólisis de los glóbulos rojos.

4.1.5 Efectos sobre los electrolitos

El cambio más importante en los electrolitos de los concentrados de hematíes almacenados es el aumento de potasio (K^+), durante el almacenamiento, se produce una fuga lenta y constante de K^+ desde los hematíes al plasma. En pacientes con enfermedades renales graves, problemas cardiacos o en situaciones de exanguinotransfusión neonatal, no se recomienda el uso de sangre almacenada por más de 5 días, ya a que las pequeñas fluctuaciones de K^+ pueden ser peligrosas para estos pacientes (13). Sin embargo, debido al volumen reducido del plasma en los concentrados de hematíes, la mayoría de los neonatos pueden tolerar la transfusión de rutina sin reacciones adversas (6).

Van de Watering LMG, Brand A., en su estudio, manifiestan que después de tres días de almacenamiento, el potasio se escapa progresivamente del hematíe y la concentración extracelular puede aumentar hasta 50 mEq / l. Después de la transfusión, el contenido de sodio de los hematíes se normaliza en 24 horas, mientras que la recuperación completa de K^+ debería tomar al menos 4 días (18). Ver tabla I.

Campbell L. et al., en su estudio, encontraron que los niveles de potasio fueron significativamente más altos en las unidades incubadas, con un promedio de 50 mmol/L en las 20 unidades estudiadas (19).

4.1.6 Efectos del anticoagulante conservante

Un factor significativo en la conservación del concentrado de hematíes es el tipo de anticoagulante-preservante utilizado. El Citrato-Fosfato-Dextrosa-Adenina-2 (CPDA-2) permite conservar los glóbulos rojos hasta 42 días (5, 21). Este límite no se basa estrictamente en un beneficio terapéutico demostrable, sino en el porcentaje de supervivencia de los hematíes durante al menos 24 horas después de la transfusión (2).

El CPDA-2 proporciona una solución rica en nutrientes que mantiene el metabolismo básico de los hematíes. Es una fórmula mejorada que estabiliza el pH del concentrado de hematíes en valores cercanos a 7.1 durante el periodo de almacenamiento, lo que permite que los componentes celulares continúen con su metabolismo. El fosfato presente en la fórmula mantiene las reservas de ATP, lo que proporciona mayor estabilidad a la membrana de los hematíes y conserva elevados los niveles de 2,3-DPG, lo que disminuye la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno, facilitando su liberación en los tejidos (11).

El uso de nuevas tecnologías y herramientas en los bancos de sangre es crucial para la adecuada conservación de los concentrados de hematíes. Sin embargo, el desarrollo técnico y logístico varía significativamente entre hospitales, y existe desigualdades notables en cuanto a infraestructura y recursos disponibles.

4.1.7 Efectos de la temperatura de almacenamiento

El concentrado de hematíes debe almacenarse entre 1°C y 6°C para reducir la tasa de glicólisis y preservar componentes clave como el 2,3-DPG, retrasar la refrigeración aumenta la pérdida de este compuesto, afectando la capacidad de los hematíes para liberar oxígeno en los tejidos (9).

Temperaturas inferiores a 1°C puede causar lesión por congelamiento de los hematíes, lo que conduce a hemólisis y la pérdida de la unidad. Por otro lado, temperaturas superiores a 6 °C pueden favorecer el crecimiento excesivo de bacterias no específicas, lo que representa un riesgo para la salud del receptor, los hematíes son particularmente vulnerables a la contaminación bacteriana, y aunque es poco común, se estima que una de cada 30,000 unidades de glóbulos rojos puede contaminarse por bacterias en algún momento durante el almacenamiento (22-23)

Campbell S. et al. han expresado preocupación con respecto a la discrepancia en los rangos de temperatura permitidos para el almacenamiento y transporte de los concentrados de hematíes, considerando que sería muy útil demostrar los rango de temperatura más apropiados, obteniendo datos relacionados con las diferencias en la formación de metabolitos, cambios bioquímicos y crecimiento microbiano en rangos de temperatura específicos (como de 1°C a 6°C y de 6°C a 10°C) durante el periodo de almacenamiento y transporte (24).

4.2 Efectos de la temperatura en el proceso de transporte

Según el Sistema de Gestión de Calidad del PRONAHEBAS, mediante su Manual de Criterios de la Calidad, se establece que la temperatura de transporte del concentrado de hematíes debe mantenerse en el rango de 1°C a 10°C. Este manual determina que el transporte del concentrado de hematíes o tejidos debe cumplir normas que aseguren la conservación óptima de los productos (5).

Mediante la guía de procedimientos operativos estándar (POE) “Control de calidad de unidades transportadas”, se ha dispuesto un mecanismo para monitorizar la temperatura del hemocomponente durante el proceso de transporte, especialmente en distancias medias y largas. Este control puede realizarse en el momento de la recepción de los productos, y si la temperatura del paquete globular supera los 10°C, debe colocarse en cuarentena hasta su disposición final, lo que podría resultar en la pérdida de un recurso terapéutico valioso (25).

Por otro lado, la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, siglas en inglés) ha otorgado exenciones para breves periodos de almacenamiento de hasta 10°C, siempre que las unidades hayan sido inspeccionadas para detectar hemólisis. El 95% de las unidades de glóbulos rojos deben tener una hemólisis menor al 1% al final del tiempo de almacenamiento (18, 26).

En los Estados Unidos, diversas directrices permiten el transporte de los concentrados de hematíes a temperaturas de hasta 10°C durante el proceso de distribución, sin restricciones sobre la duración (27).

En el Reino Unido, las directrices especifican que el transporte de los concentrados de hematíes debe estar dentro de contenedores validados, los cuales deben mantener una temperatura de superficie de entre 2°C y 10°C durante 12 horas (19).

La medicina transfusional ha incorporado la hemovigilancia, que exige un control de calidad estricto para garantizar la seguridad de los hemocomponentes. Este control debe realizarse en condiciones tales que excluyan la contaminación y/o proliferación microbiana. Además, es fundamental que mantenga la cadena de frío hasta su destino final y que no se transgredan las normas de conservación para cada tipo de componente sanguíneo. Los sistemas de registro y los indicadores de temperatura a la entrada y salida de los establecimientos son cruciales para asegurar la integridad del hemocomponente durante todo el proceso de transporte (11, 22).

El estudio de Tzounakas V. et al. evaluó la integridad de los concentrados de hematíes y el crecimiento bacteriano cuando se almacenaron a 17°C durante un periodo de 8 horas. Los resultados mostraron que las principales alteraciones bioquímicas y morfológicas de los concentrados de hematíes se observan después de 10 a 14 días de almacenamiento. En este análisis, el 14% de los concentrados de hematíes excedieron los niveles permitidos de hemólisis en un medio de almacenamiento óptimo. Al término del periodo de almacenamiento esta cifra se elevó al 52.4%. Además, se detectaron dos cepas bacterianas Gram positivas en el análisis microbiológico (28).

En el estudio de Aalaei S. et al., basado en directrices europeas y americanas, establece que la temperatura de los concentrados de hematíes debe mantenerse entre 1°C a 10°C durante el proceso de transporte. Este estudio transversal se realizó con 100 muestras y los resultados indicaron que el 10% de los 121,262 registros de temperaturas estuvieron fuera de rango establecido. Lo que corresponde al transporte y almacenamiento, la temperatura más alta registrada fue de 19.5°C (29).

En el artículo de DeSimone R. et al., se informa que, en los Estados Unidos, los concentrados de hematíes no deben exceder 10°C durante el transporte, según los estándares de la Asociación Estadounidense de Bancos de Sangre (AABB). Además, menciona la implementación de la regla de los 30 minutos, que permite aceptar devoluciones de concentrados de hematíes. Sin embargo, esta práctica ha sido asociada con un mayor grado de hemólisis y reacciones sépticas postransfusión (30).

Castrillo A. et al., señala que, siguiendo los estándares del Comité de Acreditación en Transfusión (CAT), los dispositivos de transporte de hemocomponentes deben estar validados y operar dentro de límites de temperatura estrictos. Sin embargo, esta normativa contribuye a la pérdida de hasta el 20% del total de concentrados sanguíneos desechados. Además muchos centros enfrentan dificultades para adquirir tecnología que garantice una medición precisa de tiempo y temperatura durante el proceso de transporte (31).

El estudio realizado por Lippi et al., establece que, según la mayoría de las directrices, el transporte de los concentrados de hematíes debe mantenerse en

un rango de temperatura de 1°C a 10°C con un tiempo máximo de tránsito de 24 horas. La idoneidad del transporte de la muestra se evaluó utilizando un método de caja de transporte comercial. El control de temperatura se inició inmediatamente después del cierre de la caja y se repite cada 5 min durante 8 horas. Los resultados mostraron que la temperatura recomendada para el transporte (entre 2°C a 8°C) sólo puede mantenerse durante un período de tiempo limitado dentro de una caja de transporte (por ejemplo, hasta 90 min), debido a la influencia de las condiciones ambientales (32). Gutiérrez J et al., siguiendo recomendaciones estrictas de la OMS, de la OPS, y la norma oficial mexicana NCM-003. SSA2-1993, establece parámetros para la conservación, transporte y control de calidad de los hemocomponentes con fines terapéuticos (Anexo 1) Los resultados indican un incremento de temperatura en los concentrados de hematíes estadísticamente significativo, a partir de las 1.5 horas de almacenamiento en la caja fría (33).

Actualmente, el transporte de concentrado de hematíes para uso terapéutico presenta importantes desafíos debido al complejo proceso logístico, que abarca desde el lugar de extracción y procesamiento hasta las instalaciones de los hospitales donde serán almacenados y utilizados. Este proceso se lleva a cabo en cajas transportadoras acondicionadas, enfrentando diversos problemas, entre los que destacan:

Deficiencias en el registro del control de temperatura interna: Garantizar la cadena de frío es fundamental, pero en muchos casos no se supervisa

adecuadamente durante todo el trayecto, lo cual ocasiona inconsistencias en el registro del control térmico.

Falta de control del tiempo de transporte en el proceso de distribución: El insuficiente registro del tiempo empleado en la distribución puede comprometer la calidad del concentrado de hematíes.

Movilidad Institucional: El transporte de los concentrados de hematíes no es exclusivo, frecuentemente comparte recursos logísticos con otras necesidades hospitalarias, lo que genera recorridos adicionales que incrementan el tiempo de traslado como el riesgo de deterioro del hemocomponente.

Los artículos científicos revisados aportan información confiable sobre los desafíos actuales que enfrenta la calidad del concentrado de hematíes brindado a los usuarios, permitiendo identificar áreas clave de mejoras.

5 CONCLUSIONES

1. Estamos convencidos de que el almacenamiento de los concentrados de hematíes en condiciones óptimas de conservación induce alteraciones bioquímicas y morfológicas progresivas pero reversibles. Asimismo, está evidenciado que exponer el concentrado de hematíes a temperaturas mayores provoca un deterioro irreversible.
2. Actualmente existe una necesidad urgente de implementar un sistema integral de control de temperatura para la distribución de los componentes sanguíneos, que garantice la conservación adecuada de la cadena de frío durante el proceso de transporte.
3. Aunque no podemos hacer recomendaciones definitivas basadas en la evidencia, es crucial que los bancos de sangre implementen registros para verificar la trazabilidad de la temperatura durante el proceso de transporte y el tiempo que esta demanda, asegurando así la provisión oportuna de sangre con altos índices de calidad.

6 RECOMENDACIONES

1. Es preciso reflexionar sobre la trascendencia que tiene mantener la temperatura adecuada en la conservación de los concentrados de hematíes y entender las consecuencias que su variación puede tener en el tratamiento y la recuperación de los pacientes transfundidos.
2. Se debe mantener un sistema de gestión de calidad robusto y actualizado que permita el control efectivo de los procesos, tanto en situaciones rutinarias como de emergencia, siendo esta una responsabilidad compartida por todo el equipo de banco de sangre.
3. El personal de banco de sangre debe recibir capacitación continuamente sobre los diferentes procedimientos implementados, así como ofrecer asesoría técnica dentro de sus competencias, todo ello debe estar siempre orientado en el bienestar del paciente.

7 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

1. RPE_508_PE_ESSALUD_2021.pdf [Internet]. [citado 17 de enero de 2022]. Disponible en: http://www.essalud.gob.pe/wp-content/uploads/RPE_508_PE_ESSALUD_2021.pdf
2. Gutiérrez Martínez CA, Martínez Romero KS, Quintero Martínez EO. Comparación de la eficacia de la transfusión de paquetes globulares de 15 vs 16 a 40 días de extracción sobre los efectos hemodinámicos y gasométricos de pacientes con traumatismo craneoencefálico severo en la Unidad de Cuidados Intensivos. *Med Crítica*. 2022;36(7):463-71.
3. B OAP, B AU, Q LFP. Alteraciones bioquímicas de los eritrocitos almacenados en condiciones estándar de banco de sangre. *Rev Fac Med*. 1 de julio de 2002;50(3):147-53.
4. Hess JR. Measures of stored red blood cell quality. *Vox Sang*. 2014;107(1):1-9.
5. Programa Nacional de Hemoterapia y Bancos de Sangre (PRONAHEBAS). Sistema de gestión de calidad de PRONAHEBAS, Criterios de la calidad, Norma Técnica N° 0142– MINSa / DGSP – V.01. Lima, Perú. 2004. Disponible en: [https://www.google.com/search?q=Programa+Nacional+de+Hemoterapia+y+Bancos+de+Sangre+\(PRONAHEBAS\).+Sistema+de+gesti%C3%B3n+de+calidad+de+PRONAHEBAS%2C+Criterios+de+la+calidad%2C+Norma+Tecnica+N%C2%B0+0142%E2%80%93+MINSa+%2F+DGSP+%E2%80%93+V.01.+Lima%2C+Per%C3%BA.+2004.](https://www.google.com/search?q=Programa+Nacional+de+Hemoterapia+y+Bancos+de+Sangre+(PRONAHEBAS).+Sistema+de+gesti%C3%B3n+de+calidad+de+PRONAHEBAS%2C+Criterios+de+la+calidad%2C+Norma+Tecnica+N%C2%B0+0142%E2%80%93+MINSa+%2F+DGSP+%E2%80%93+V.01.+Lima%2C+Per%C3%BA.+2004.) [Consultado 19 de enero de 2022].
6. Guerrero GE. Lesiones de almacenamiento. 2010;3:7.
7. Zubair AC. Clinical impact of blood storage lesions. *Am J Hematol*. 2009;NA-NA.
8. AABB. Manual Técnico, 17ma. edición [Internet]. [citado 23 de enero de 2022]. Disponible en: <https://b-ok.lat/book/3391707/d2d34a>
9. Ministerio de Salud del Perú. Manual de Hemoterapia [Internet]. [citado 10 de febrero de 2022]. Disponible en: <http://bvs.minsa.gob.pe/local/minsa/3178.pdf>
10. Dueñas V. Banco de Sangre. Teoría, principios y procedimientos [Internet]. [citado 2022 Jan 17]. Disponible en: https://www.google.com.pe/search?q=Due%C3%B1as+V.+Banco+de+Sangre.+Teor%C3%ADa+principios+y+procedimientos%2C&hl=es&tbn=bks&sxsrf=AOaemvLDGBVjUxGZK_EvF3pAclGQfRt0AA%3A1642469750129&ei=dhnmYZu2B9-FwbkP4Nuo6AQ&ved=0ahUKEwibyYrQILr1AhXfQjABHeAtCk0Q4dUDCAk&uact=5&oq=Due%C3%B1as+V.+Banco+de+Sangre.+Teor%C3%ADa

%2C+principios+y+procedimientos%2C&gs_lcp=Cg1nd3Mtd2l6LWJvb2tzE
ANQAFgAYJcGaABwAHgAgAG-
AYgBvgGSAQMwLjGYAQCgAQKgAQHAAQE&sclient=gws-wiz-books

11. Antonelou MH, Kriebardis AG, Stamoulis KE, Economou-Petersen E, Margaritis LH, Papassideri IS. Red blood cell aging markers during storage in citrate-phosphate-dextrose-saline-adenine-glucose-mannitol. *Transfusion* (Paris). febrero de 2010;50(2):376-89.
12. Rodríguez H. El banco de sangre y la medicina transfusional. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 2004 [citado 2022 Jan 17]. Disponible en: <https://www.google.com/search?q=Rodr%C3%ADguez+H.+El+banco+de+sangre+y+la+medicina+transfusional.+Editorial+medica+panamericana.+Buenos+aires%2C+Argentina.+2004>
13. El Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA). ABC bancos de sangre puestos fijos y móviles de recolección. Imprenta Nacional de Colombia Bogotá, D. C., 2014 [citado 19 de enero de 2022]. Disponible en: [https://www.google.com/search?q=El+Instituto+Nacional+de+Vigilancia+de+Medicamentos+y+Alimentos+\(INVIMA\).+ABC+bancos+de+sangre+puestos+fijos+y+m%C3%B3viles+de+recolecti%C3%B3n.+Imprenta+Nacional+de+Colombia+Bogot%C3%A1%2C+D.+C.%2C+2014](https://www.google.com/search?q=El+Instituto+Nacional+de+Vigilancia+de+Medicamentos+y+Alimentos+(INVIMA).+ABC+bancos+de+sangre+puestos+fijos+y+m%C3%B3viles+de+recolecti%C3%B3n.+Imprenta+Nacional+de+Colombia+Bogot%C3%A1%2C+D.+C.%2C+2014)
14. Yoshida T, Prudent M, D'Alessandro A. Red blood cell storage lesion: causes and potential clinical consequences. *Blood Transfus.* enero de 2019;17(1):27-52.15.
15. Spieth PM, Zhang H. Storage injury and blood transfusions in trauma patients. *Curr Opin Anaesthesiol.* abril de 2018;31(2):234-7.
16. Högman C, Knutson F, Löf H. Storage of whole blood before separation: the effect of temperature on red cell 2,3 DPG and the accumulation of lactate. *Transfusion.* 1999 May;39(5):492-7. doi: 10.1046/j.1537-2995.1999.39050492.x.
17. Sohmer P, Moore G, Beutler E, Peck C. In vivo viability of red blood cells stored in CPDA-2. *Transfusion.* 1982. [citado 2020 Nov 3]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7147326/>
18. Van de Watering LMG, Brand A. Effects of Storage of Red Cells. *Transfus Med Hemotherapy.* 2008;35(5):359-67.
19. Campbell Lee S, Shaz B, Arena R, Sloan S, Fung M, Ramsey G. Red blood cell products: consideration of the discrepant temperature ranges permitted for storage versus transport. *Transfusion* (Paris). enero de 2012;52(1):195-200.
20. Rapoport S, Wing M. Dimensional, osmotic, and chemical changes of erythrocytes in stored blood. i. blood preserved in sodium citrate, neutral, and

- acid citrate-glucose (ACD) mixtures. *J Clin Invest.* 1947 Jul;26(4):591-615. doi: 10.1172/JCI101843.
21. Oh JY, Marques MB, Xu X, Li J, Genschmer K, Gaggar A, et al. Damage to red blood cells during whole blood storage. *J Trauma Acute Care Surg.* agosto de 2020;89(2):344-50.
 22. Youn DY, Jung U, Naqi M, Choi SJ, Lee MG, Lee S, et al. Wireless Real-Time Temperature Monitoring of Blood Packages: Silver Nanowire-Embedded Flexible Temperature Sensors. *ACS Appl Mater Interfaces.* 26 de diciembre de 2018;10(51):44678-85.
 23. Barrett BB, Andersen JW, Anderson KC. Strategies for the avoidance of bacterial contamination of blood components. *Transfusion (Paris).* 1993;33(3):228-33.
 24. Campbell Lee S, Shaz B, Arena R, Sloan S, Fung M, Ramsey G. Red blood cell products: consideration of the discrepant temperature ranges permitted for storage versus transport. *Transfusion (Paris).* 2012;52(1):195-200.
 25. Guía de procedimientos operativos estándar, Norma Técnica N° 014 – MINSA / DGSP – V.01. Lima, Perú. 2004. [citado 2022 Ene 17]. Disponible en: <https://www.google.com/search?q=Gu%C3%ADa+de+procedimientos+operativos+est%C3%A1ndar%2C+Norma+T%C3%A9cnica+N%C2%B0+014+%E2%80%93+3+MINSA+%E2%80%93+V.01.+Lima%2C+Per%C3%BA.+2004>.
 26. Campbell Lee S, Shaz B, Arena R, Sloan S, Fung M, Ramsey G. Red blood cell products: consideration of the discrepant temperature ranges permitted for storage versus transport: RBCs STORED IN DIFFERENT TEMPERATURE RANGES. *Transfusion (Paris).* enero de 2012;52(1):195-200.
 27. Hancock V, Cardigan R, Thomas S. Red cell concentrate storage and transport temperature. *Transfus Med.* octubre de 2011;21(5):325-9.
 28. Tzounakas V, Anastasiadi A, Karadimas D, Zeqo R, Georgatzakou H, Pappa O, et al. Temperature-dependent haemolytic propensity of CPDA-1 stored red blood cells vs whole blood - Red cell fragility as donor signature on blood units. *Blood Transfus.* 2017 Sep;15(5):447-55. doi: 10.2450/2017.0332-16
 29. Aalaei S, Amini S, Keramati MR, Shahraki H, Eslami S. Monitoring of Storage and Transportation Temperature Conditions in Red Blood Cell Units: A Cross-Sectional Study. *Indian J Hematol Blood Transfus.* abril de 2019;35(2):304-12.
 30. DeSimone RA, Nowak MD, Lo DT, Crowley KM, Parra P, Cushing MM, et al. Logistical and safety implications of temperature-based acceptance of returned red blood cell units. *Transfusion (Paris).* junio de 2018;58(6):1500-5.
 31. Castrillo A, Arroyo JL, Romón Í, Rivera J. Compliance with temperature and time requirements during in-hospital distribution of blood components: A

national survey among transfusion services. *Transfus Apher Sci.* diciembre de 2020;59(6):102908.

32. Lippi G, Lima-Oliveira G, Nazer SC, Moreira MLL, Souza RFM, Salvagno GL, et al. Suitability of a transport box for blood sample shipment over a long period. *Clin Biochem.* agosto de 2011;44(12):1028-9.
33. Gutierrez-Salinas J, Suástegui-Doinguez S, Garcia-Dominguez S, Rivero-Badillo ME. Propuesta de un modelo de «caja fría» para el transporte de paquetes globulares. [Internet]. [citado 19 de enero de 2022]. Disponible en: <https://www.google.com/search?q=.+Propuesta+de+un+modelo+de+%C2%A+Bcaja+fr%C3%ADa%C2%BB+para+el+transporte+de+paquetes+globulares> .

8 ANEXOS

TABLA 1 Consequences of Prolonged RBC Storage

Characteristics	Function	42 day storage	
		Pre	Post
pH		6.8	6.4
ATP (mmol/g Hb)	Energy, active pumps	4.1	2.9
2,3-Diphosphoglycerate (mmol/g Hb)	Oxygen affinity	9	0.3
Potassium (mEq/L)	Maintain membrane potential	2.4	63
Glucose (mg/dl)	Energy	608	402
Free Hb (mg/dl)		39	372
Hemolysis (%)		0	0.61

Modified from Holme et al. 1998 [7].

Anexo 1

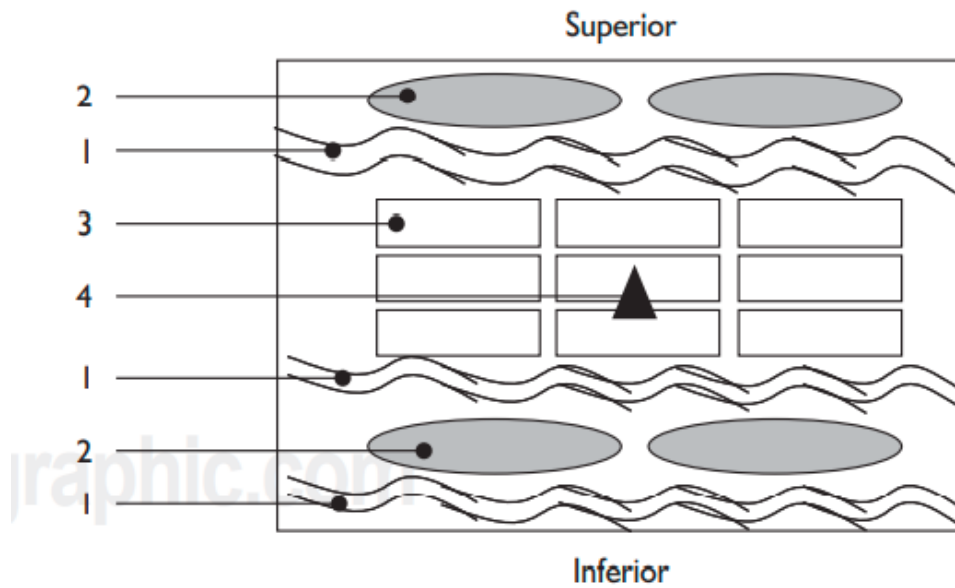


Figura 1. Esquema que representa la disposición de los materiales que componen a la «caja fría». 1: pañal, 2: botellas con agua congelada, 3: paquetes globulares, 4: localización del termómetro para el registro de las temperaturas.

Activar Windows
Ver Configuración para