

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE
PUNO**

FACULTAD DE MEDICINA HUMANA

ESCUELA PROFESIONAL DE MEDICINA HUMANA



**DETERMINACIÓN DE LA OXIMETRÍA DE PULSO PREDUCTAL
EN NEONATOS SANOS A TÉRMINO DURANTE LOS DIEZ
PRIMEROS MINUTOS DE VIDA EN EL HOSPITAL CARLOS
MONGE MEDRANO**

TESIS

PRESENTADA POR:

José Manuel Roque Sumari

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

MÉDICO CIRUJANO

PUNO – PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
FACULTAD DE MEDICINA HUMANA
ESCUELA PROFESIONAL DE MEDICINA HUMANA

**DETERMINACIÓN DE LA OXIMETRÍA DE PULSO PREDUCTAL
EN NEONATOS SANOS A TÉRMINO DURANTE LOS DIEZ
PRIMEROS MINUTOS DE VIDA EN EL HOSPITAL CARLOS
MONGE MEDRANO.**

TESIS:

PRESENTADA POR:

Bach. JOSÉ MANUEL ROQUE SUMARI.

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

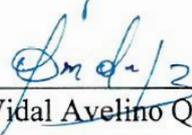
MÉDICO CIRUJANO.

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:


Mg. Ariel Santiago Huarachi Loza

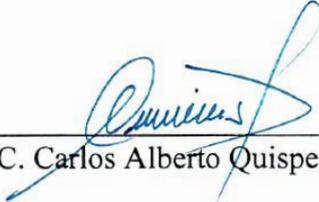
PRIMER MIEMBRO:


Ms. Vidal Avelino Quispe Zapana

SEGUNDO MIEMBRO:


Dr. Cs. Dante Elmer Hanco Monroy

DIRECTOR / ASESOR:


M.C. Carlos Alberto Quispe Cuenca

Área : Ciencias Clínicas

Tema : Oximetría de pulso preductal en neonatos.

Fecha de Sustentación: 15 de marzo de 2019

DEDICATORIA

A Dios, por darme vida y salud para lograr mis objetivos, fortaleza para vencer las adversidades.

A mis padres, Bernardo y Regina, por su infinita bondad y paciencia, además de su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera.

A mis maestros, por impulsar el desarrollo de mi formación profesional.

A mi amor incondicional, Aracely por ser esa alma libre e inocente que apoya mi motivación.

A los investigadores de la rama de la medicina, que pretendan mejorar el mundo.

AGRADECIMIENTOS:

A mi alma mater, la Universidad Nacional del Altiplano de Puno y a mi querida Facultad de Medicina Humana, por haberme formado profesional.

Al Director y miembros de jurado de esta tesis, por la conducción y sugerencias para hacer realidad esta aventura académica que significó una experiencia hermosa para un principiante en la investigación científica.

Al Hospital Carlos Monge Medrano, una institución de gestión pública, dinámica y de mucha labor, por su acogida como médico interno y la logística brindada para la realización de la presente tesis. A los médicos y al personal.

A las decenas de madres que llegaron al hospital y consintieron la investigación; y sobre todo, a sus hermosos pequeñines que pusieron sus manitos sobre el oxímetro de pulso para medir su saturación de oxígeno (SpO_2) en esta realidad tan adversa.

Gracias por todo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Antecedentes	4
2.1.1 A nivel internacional.....	4
2.1.2 A nivel nacional.....	6
2.2 Marco teórico	7
2.2.1 Transición neonatal.....	7
2.2.2 El minuto de oro	8
2.2.3 Fisiología de la transición neonatal	10
2.2.4 La hora de oro	11
2.2.5 El oxígeno para la vida neonatal.....	12
2.2.6 Saturación de oxígeno.....	14
2.2.7 Análisis de gases en la sangre arterial	15
2.2.8 Oximetría de pulso.....	16
2.2.9 Altitud	19
2.2.10 Altitud y presión atmosférica.....	20
2.2.11 Termorregulación.....	21
III. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1 Ubicación geográfica del ámbito de estudio	24
3.2 Aspectos ambientales del ámbito de estudio.....	24
3.3 Período de duración del estudio	25
3.4 Diseño metodológico de la investigación	26
3.5 Población y muestra	26
3.5.1 Criterios de inclusión:.....	28
3.5.2 Criterios de exclusión:	29
3.6 Estrategia de recolección de datos	29
3.7 Metodología	30

3.7.1	Determinación de la saturación de oxígeno (SpO ₂) en los primeros 10 minutos de vida del recién nacido	30
3.7.2	Determinación de la saturación de oxígeno (SpO ₂) según sexo y edad gestacional del recién nacido.....	31
3.7.3	Evaluación de la saturación de oxígeno (SpO ₂) en gran altitud con relación a altitudes bajas.....	32
3.8	Variables	32
3.8.1	Variables independientes	32
3.8.2	Variable dependiente	32
3.9	Análisis estadístico.....	32
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1	Saturación de oxígeno pre-ductal (SpO ₂) durante los primeros 10 minutos de vida neonatal.	35
4.2	Saturación de oxígeno pre-ductal (SpO ₂) según sexo y edad gestacional del recién nacido.	37
4.3	Saturación de oxígeno (SpO ₂) en altitud alta vs altitudes bajas	38
V.	CONCLUSIONES	47
VI.	RECOMENDACIONES.....	47
VII.	REFERENCIAS.....	48
	ANEXOS	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva de Saturación de oxígeno pre-ductal en recién nacidos a término, durante los diez primeros minutos de vida en el Hospital Carlos Monge Medrano de Juliaca 2018.....	36
Figura 2. Saturación de oxígeno pre-ductal (SpO ₂) al minuto 10 de neonatos varones y mujeres de diferentes edades gestacionales del Hospital Carlos Monje Medrano de Juliaca 2018.....	38
Figura 3. Saturación de oxígeno pre-ductal (SpO ₂) en gran altitud vs baja altitud durante los primeros 10 minutos de vida del neonato.	40
Figura 4. Espectros de absorción de luz transmitida de cuatro especies de hemoglobina: oxihemoglobina, hemoglobina reducida, carboxihemoglobina y metahemoglobina	62
Figura 5. Período de transición neonatal.	62
Figura 6. Descripción clásica de la transición neonatal	64
Figura 7. Saturación media de oxígeno en el pulso en recién nacidos a las 40–41 semanas de edad gestacional al nivel del mar ya gran altura (4340 m) Gonzáles y Salirrosas (2005).....	70
Figura 8. Curva de SPO ₂ cuantificados con oximetría de pulso, al minuto 1, 5 y 10; comparados a diferentes altitudes.....	71
Figura 9. Curva de disociación de oxígeno en un sujeto teóricamente sano con una concentración normal de hemoglobina (Hb) en sangre de 15 g·dL ⁻¹	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efecto de la altitud sobre la saturación arterial de oxígeno (SaO ₂). (23)	6
Tabla 2. Presión barométrica y presión parcial de oxígeno (PO ₂), de la ciudad de Juliaca con relación a las del nivel del mar (valores calculados). (80)	25
Tabla 3. Población de nacimientos registrados en el Hospital Carlos Monje Medrano, 2018 (Oficina de Estadística HCMM, Juliaca)	27
Tabla 4. Distribución de la muestra de neonatos del Hospital Carlos Monje Medrano 2018 utilizados para el estudio	28
Tabla 5. Saturación de oxígeno pre-ductal (SpO ₂) en los primeros 10 minutos de vida del recién nacido en el Hospital Carlos Monje Medrano de Juliaca (3824 m de altitud)	35
Tabla 6. Saturación de O ₂ en el minuto 10 de vida del neonato, según sexo y edad gestacional en el Hospital Carlos Monje Medrano de Juliaca (3824 m altitud)	37
Tabla 7. Saturación de oxígeno pre-ductal (SpO ₂) en gran altitud vs baja altitud durante los primeros 10 minutos de vida del neonato.	39
Tabla 8. Saturación periférica pre-ductal de oxígeno (SpO ₂) después del nacimiento recomendado por la guía de reanimación cardiopulmonar neonatal. (21)	65
Tabla 9. Total de Partos en el HCMM durante los años 2017 y 2018	65
Tabla 10. Saturación de oxígeno en diferentes minutos en altitudes bajas:	69
Tabla 11. Análisis de varianza de saturación de oxígeno pre-ductal (SpO ₂) de los primeros 10 minutos de vida de recién nacidos del Hospital Carlos Monje Medrano de Juliaca (3824 m de altitud)	70
Tabla 12. Curva de SPO ₂ cuantificados con oximetría de pulso, al minuto 1, 5 y 10; comparados a diferentes altitudes	71

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

M: Metros sobre el nivel del mar

CA: Arteria pulsátil

CE: Componente estático

DE: Desviación estándar

Hb: Hemoglobina

HCMM: Hospital Carlos Monje Medrano

IR: Infrarrojo

MmHg: Milímetros de mercurio

PG: Prostaglandinas

PO₂: Presión parcial de oxígeno

ROS: Especies reactivas de oxígeno

SaO₂: Saturación arterial de oxígeno

SpO₂: Saturación periférica de oxígeno

TFT: pantallas de color

ZTN: Zona termoneutral

RESUMEN

La oximetría de pulso es un método indirecto no invasivo de uso universal para medir la saturación de oxígeno en la sangre, conocida como el quinto signo vital del neonato. El trabajo tuvo como objetivos determinar la saturación de oxígeno periférico (SpO_2) en neonatos sanos a término durante los primeros diez minutos de vida, en condiciones de gran altitud (3824m); su variación por efecto del sexo y edad gestacional del neonato; y la relación con la SpO_2 en altitudes bajas; para lo cual, se utilizó una muestra de 60 neonatos: 25 varones ($3149.6 \pm 323.0g$) y 35 mujeres ($3041.4 \pm 248.2g$), distribuidos en 2 grupos de edad gestacional (37-38 semanas + 6 días y 39-40 semanas + 6 días), nacidos por parto vaginal en el Hospital Carlos Monje Medrano de la ciudad de Juliaca, entre los meses de abril a julio del año 2018. La SpO_2 se determinó con el oxímetro de pulso portátil ChoiceMed MD300M colocado en una de las dos manos del neonato, registrando los valores de minuto a minuto, hasta el minuto diez. La SpO_2 de neonatos de las altitudes bajas (-200 – 1640m) se estimó a partir de datos de 16 artículos publicados de mediciones realizadas durante los primeros diez minutos en neonatos a término nacidos por parto vaginal. Los resultados indican que la SpO_2 incrementa progresivamente en relación lineal polinómica ($p < .0001$) en una tasa de $4.12 \pm 0.86\%$ por minuto, desde $48.3 \pm 4.5\%$ en el minuto 1, hasta $85.4 \pm 5.2\%$ en el minuto 10; sin variación entre sexos ni edades gestacionales. El promedio de SpO_2 ($85.4 \pm 5.2\%$) encontrado en el minuto 10 para la gran altitud del presente estudio es diferente ($p < .0001$) al promedio de SpO_2 ($94.1 \pm 3.0\%$) estimado para altitudes bajas. A partir de los resultados se concluye que la SpO_2 de neonatos en la gran altitud es menor al valor reportado en la literatura, lo cual sugiere la necesidad de establecer valores propios para estas condiciones.

Palabras clave: altitud, neonato, oxígeno, oximetría pre-ductal, saturación

ABSTRACT

Pulse oximetry is a non-invasive indirect method universally used to measure oxygen saturation in the blood, known as the fifth vital sign for the newborn. The objectives of the work was to determine peripheral oxygen saturation (SpO_2) in healthy term neonates during the first ten minutes of life, at high altitude conditions (3824m); its variation due to sex and gestational age of the neonate; and the relationship with SpO_2 at low altitudes; for which, a sample of 60 neonates was used: 25 males ($3149.6 \pm 323.0g$) and 35 females ($3041.4 \pm 248.2g$), divided into 2 gestational age groups (37-38 weeks + 6 days and 39-40 weeks + 6 days), born by vaginal delivery at the Carlos Monje Medrano Hospital in the city of Juliaca, between the months of April to July of 2018. The SpO_2 was determined with the portable pulse oximeter ChoiceMed MD300M placed in one of the two hands of the newborn, recording the values from minute to minute, until the tenth minute. SpO_2 from low altitudes (-200 - 1640m) was estimated from 16 published articles of measurements made during the first ten minutes in neonates. The results indicate that SpO_2 increases progressively in linear polynomial relationship ($p < .0001$) at a rate of $4.12 \pm 0.86\%$ per minute, from $48.3 \pm 4.5\%$ in first minute, to $85.4 \pm 5.2\%$ in tenth minute; no variation between sexes or gestational ages. The average SpO_2 ($85.4 \pm 5.2\%$) found at tenth minute for high altitude is different ($p < .0001$) from the average SpO_2 ($94.1 \pm 3.0\%$) estimated for low altitudes. From the results, it is concluded that the SpO_2 of neonates at high altitude is lower than the value reported in the literature, which suggests the need to establish proper values for these conditions.

Key words: altitude, neonate, oxygen, pre-ductal oximetry, saturation

I. INTRODUCCIÓN

La fisiología del feto es fundamentalmente diferente a la del neonato con distinciones tanto estructurales como funcionales. El feto está bien adaptado al ambiente intrauterino acuático, relativamente hipoxémico, mientras que el neonato debe adecuarse al nuevo ambiente extrauterino aéreo. La transición de la vida intrauterina a la vida extrauterina requiere pasos rápidos, complejos y bien coordinados para garantizar la supervivencia neonatal. Se caracteriza por cambios en las funciones circulatorias, respiratorias y metabólicas que implican una mayor tasa metabólica y mayores demandas de glucosa y oxígeno.⁽¹⁾

El oxígeno es el gas respiratorio más importante para el metabolismo energético de un ser vivo aeróbico, dado que es el aceptor final de electrones que posibilita la producción de ATP y calor. El cerebro humano representa el órgano de mayor consumo de energía en el cuerpo, puesto que supera el 20% del metabolismo total del oxígeno,⁽²⁾ siendo las neuronas las que consumen 75%-80% de la energía total producida por el cerebro,⁽³⁾ de manera que la privación prolongada de oxígeno conduce a pérdida celular neuronal y muerte.⁽⁴⁾

La hipoxia es el factor ambiental más importante que afecta la salud y la enfermedad de las poblaciones humanas y animales que viven en las grandes altitudes.⁽⁵⁾ En estos espacios, la presión parcial de oxígeno (PO_2), dada la baja presión atmosférica, disminuye a la mitad del valor del nivel del mar.⁽⁶⁾ La reducción de la presión atmosférica y la disminución de la PO_2 desencadenan una serie de consecuencias fisiopatológicas que puede conducir a enfermedad.⁽⁷⁾ A partir de la base anterior, es razonable asumir que los neonatos nacidos en el Altiplano de Puno, experimentan los

efectos de la hipoxia hipobárica que puede conducir a una baja saturación de oxígeno, hipertensión pulmonar, con riesgo de enfermedad y muerte.⁽⁸⁾

Los estudios en madres gestantes en gran altitud de Puno-Perú (3826m), indican que los niños nacen con 14% mayor densidad de vasos sanguíneos con relación a los niños nacidos a nivel del mar (29.7 vs. 26.0 mm/mm²), siendo capaces de enfrentar el reducido suministro de oxígeno del ambiente uterino; con una saturación de oxígeno pre y pos-ductal (SpO₂) de 88.1 y 88.4%, respectivamente, que fue 10.4 y 9.7% más baja que en los recién nacidos al nivel del mar.⁽⁹⁾ Así mismo, otro trabajo realizado en gran altitud (Hospital de EsSalud III de Juliaca, 3828m), con neonatos varones y mujeres, mediante oximetría de pulso pre-ductal encontró que la saturación de oxígeno es de 69,1% a los 5 minutos de vida extrauterina, estabilizándose en 90,5% a los 120 minutos.⁽¹⁰⁾

La oximetría de pulso es una alternativa segura y confiable para medir en forma indirecta y no invasiva la saturación de oxígeno (SpO₂), la misma que es compatible con la saturación de oxígeno de la sangre arterial (SaO₂) por análisis de gases arteriales (AGA), por lo que se puede utilizar como herramienta útil donde AGA no esté disponible,⁽¹¹⁾ con resultados similares entre la oximetría de pulso pre-ductal y pos-ductal,⁽¹²⁾ donde la oximetría de pulso pre-ductal es la más rápida,⁽¹³⁾ compatible con la premura del tiempo que implica la atención del neonato, siendo ambas manos igualmente pre-ductales.⁽¹⁴⁾

Las fuentes revisadas indican que el tiempo de medición de la saturación varían de acuerdo a la necesidad diagnóstica; sin embargo, los primeros 10 minutos de vida del neonato son los más cruciales, durante los cuales, la saturación de oxígeno incrementa gradualmente, alcanzando el nivel objetivo de 90% a los 5, 8 y 10 minutos de vida,

⁽¹⁵⁻¹⁷⁾ siendo por tanto los primeros 10 minutos el período de tiempo que garantiza los niveles saludables de SpO₂.⁽¹⁸⁾

No se conoce la SpO₂ en condiciones de gran altitud, tales como el Altiplano de Puno, donde la presión atmosférica y la presión parcial de oxígeno (PO₂) son mucho menores con relación a las del nivel del mar, pudiendo afectar la saturación de oxígeno (SpO₂) de la vida extrauterina dependiente del oxígeno atmosférico⁽⁹⁾ por lo que es necesario establecer los valores referenciales para neonatos en estas condiciones. El objetivo general fue evaluar la oximetría de pulso pre-ductal en neonatos sanos, nacidos a término por parto vaginal en gran altitud (3824m); y como objetivos específicos, determinar la saturación de oxígeno (SpO₂) durante los primeros diez minutos de vida extrauterina, determinar el efecto del sexo y edad gestacional del neonato en la SpO₂; y comparar la SpO₂ de neonatos obtenidos en el presente trabajo con datos disponibles en la literatura para altitudes bajas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Antecedentes

Los estudios de oximetría de pulso realizados en neonatos en altitudes próximas al nivel del mar, han establecido como valores normales las saturaciones de oxígeno pre-ductal (SpO_2) que superan el 95% a los 10 minutos de vida.⁽¹⁹⁾

Los valores por debajo del 95% (en reposo) se asocian con situaciones patológicas, y los valores de 92-90%, con insuficiencia respiratoria crónica previa o aguda en ese momento. El método, si bien resulta como ayuda para la toma de decisiones clínicas puesto que mide la saturación de oxígeno en la sangre, no sustituye a la evaluación clínica ni es suficiente para un diagnóstico por sí solo.⁽¹⁶⁾

Además para una correcta valoración de un paciente con patología respiratoria sigue siendo necesario realizar una gasometría arterial, ya que la oximetría de pulso no mide la presión parcial de oxígeno arterial (PaO_2) ni de dióxido de carbono ($PaCO_2$) ni el pH.⁽²⁰⁾

2.1.1 A nivel internacional

Kattwinkel (2010),⁽²¹⁾ mostró que la saturación de oxígeno hasta 90% o más puede tomar más de 10 minutos en neonatos a término, por lo que idealmente el estado del niño debe ser valorado utilizando un oxímetro de pulso y no el color de la piel, debido a que el color de la piel es un pobre indicador de la saturación de oxígeno durante el periodo neonatal inmediato.

Saavedra et al. (2016),⁽²²⁾ compararon la SpO₂ pre-ductal a los 10 minutos, 12 y 24 horas en recién nacidos a 2558m (Cochabamba) y 3640m (La Paz) de altitud, encontrando que la saturación de oxígeno (SpO₂) fue de 86,4%, 88,1 y 89.1%; y 87,8%, 89,4% y 91,5%, respectivamente, evidenciando que la altitud tiene efecto sobre la saturación de oxígeno.

Rabi et al. (2006),⁽¹⁶⁾ compararon la SpO₂ de neonatos sanos nacidos por cesárea y parto vaginal que respiran aire ambiental durante los primeros 10 minutos de vida. A los 5 minutos, la mediana de SpO₂ fue de 81% y 87%, respectivamente. La mediana de SpO₂ se alcanzó al 90% a los 8 minutos de edad, concluyendo que la transición hacia una SpO₂ posnatal normal requiere más de 5 minutos.

Bosch et al. (2009),⁽²³⁾ hicieron el seguimiento a una expedición de investigación médica a gran altitud, con 27 montañistas con una edad promedio de 43 años (26 a 62 años, 6 mujeres y 21 varones) durante los 20 días que duró el ascenso. El Ascenso comenzó a 3750 m, luego continuó hasta el campamento base (BC = 4,497 m), el campamento 1 (C1 = 5,533 m), el campamento 2 (C2 = 6,265 m), el campamento 3 (C3 = 6,865 m) y la cumbre (7.546 m), a una tasa promedio de ascenso de 200 m/día. Los exámenes se realizaron en BC y en cada día subsiguiente a la llegada a cada nuevo campamento y al regreso al campamento base (BC2). La Tabla 2 muestra la saturación arterial de oxígeno (SaO₂):⁽²³⁾

Tabla 1. Efecto de la altitud sobre la saturación arterial de oxígeno (SaO₂).⁽²³⁾

Estación	BC	C1	C2	C3	Cumbre	P _{valor}
Altitud, m	4497	5533	6265	6865	7546	
SaO ₂ , %	84±3	75±6	73±6	66±3		<i>P</i> < .0001

Como puede notarse, la saturación arterial de oxígeno disminuye en relación inversa al incremento de la altitud, desde 84±3% a 4497m hasta 66.3% a 6865 m. El artículo no reporta problema de salud grave, puesto que los participantes retornaron al campamento de inicio.

2.1.2 A nivel nacional

Gonzales y Salirrosas (2005)⁽²⁴⁾, compararon la SpO₂ en dos altitudes diferentes, Lima (150m) y Cerro de Pasco (4340m), desde el minuto 1 hasta las 24 horas de vida en neonatos a término. El primer minuto, la SpO₂ fue más baja en la gran altitud. A nivel del mar, la SpO₂ inició con 60,60 ± 1,20% en el primer minuto de vida, alcanzando a 91,10 ± 0,5% a los 15 minutos de vida en; mientras que en la altitud, el inicio fue de 45,08 ± 2,47% en el primer minuto, alcanzando a 87,56 ± 1,19% a los 30 minutos de vida. En todo momento, los valores de SpO₂ fueron más altos al nivel del mar que a una altitud elevada (*P* < 0.01).

Valero et al. (2009),⁽¹⁰⁾ encontraron que el período de adaptación de los recién nacidos en la altura es más prolongado. La frecuencia respiratoria y la frecuencia cardíaca muestran valores estables a partir de las 6 horas. La saturación de oxígeno que inicialmente es baja se estabiliza a partir de

las 6 horas; sin embargo, no muestran los valores de saturación durante los primeros diez minutos de vida.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Transición neonatal

La transición de la vida fetal a la vida neonatal es la adaptación más compleja que ocurre en la experiencia humana. La adaptación pulmonar requiere la eliminación coordinada del líquido pulmonar fetal, la secreción de surfactante y el inicio de una respiración constante. Con la remoción de la placenta de baja presión, la respuesta cardiovascular requiere cambios notables en el flujo sanguíneo, las presiones y la vasodilatación pulmonar. El recién nacido también debe controlar rápidamente su metabolismo energético y la termorregulación. Los mediadores principales que preparan al feto para el parto y que apoyan la transición multiorgánica son el cortisol y la catecolamina. Las anomalías en la adaptación se encuentran con frecuencia después del parto prematuro o el parto por cesárea a término, y muchos de estos bebés necesitarán reanimación en la sala de parto para ayudar en esta transición.⁽²⁵⁾

Los procesos de adaptación que ocurren en los minutos siguientes al parto son de vital importancia para la supervivencia del recién nacido en el ambiente extrauterino. Las principales adaptaciones inmediatas ocurren a nivel del aparato respiratorio y cardiovascular, adaptaciones que tienen que ver con la regulación de la temperatura corporal y adaptaciones mediatas.⁽²⁶⁾

Durante las primeras horas de vida se describen 3 períodos bien definidos conocidos como de transición⁽²⁷⁾:

Primer período de reactividad.- Abarca hasta los primeros 15 a 30 minutos, en el que se produce un incremento de la frecuencia cardiaca entre 160 y 180 latidos por minuto que persisten por 10 a 15 minutos y luego desciende gradualmente en 30 minutos hasta mantener una frecuencia basal entre 110 y 120 latidos por minuto.

Segundo periodo de respuesta disminuida.- corresponde entre los 15 minutos a 2 horas que caracteriza al período de tranquilidad relativa con tendencia al sueño y disminución de la actividad motora acentuándose la frecuencia cardiaca que se mantiene entre 100 y 120 latidos por minuto, al igual que la frecuencia respiratoria. Este período dura entre una hora a hora y media.

Tercer período de reactividad.- abarca de 2 a 8 horas después del parto. En este período, los latidos cardiacos se tornan débiles y se detectan grandes variaciones en la frecuencia cardiaca y respiratoria.⁽¹⁰⁾

La rfe muestra la descripción clásica de la transición neonatal, que incluye las tres etapas de transición descritas en recuadro 1.

2.2.2 El minuto de oro

Los primeros 60 segundos de la vida extrauterina (el minuto de oro) del recién nacido es un período de ansiedad para los padres y los asistentes de salud, ya que el recién nacido experimenta cambios fisiológicos rápidos y significativos para adaptarse al ambiente extrauterino. Este

corto período de tiempo es crucial puesto que define la vida o la muerte del recién nacido. En este período, el bebé debe estar respirando bien, de lo contrario debe ser ventilado con una bolsa y máscara. El minuto de oro identifica los pasos que un asistente de parto debe tomar inmediatamente después del nacimiento para evaluar al bebé y estimular la respiración, a través de los siguientes pasos: proporcionar calor, secar al bebé y estimular la respiración, evaluar la respiración, la frecuencia cardíaca y el color. Si la evaluación del recién nacido sugiere reanimación, debe proporcionar ventilación con presión positiva con una bolsa y máscara de reanimación, a fin de garantizar el suministro de oxígeno y la sobrevivencia del recién nacido. Durante este período de tiempo, es importante evitar retrasos innecesarios en el inicio de la ventilación, porque este es el paso más importante para la reanimación exitosa de los recién nacidos que no responden a los pasos iniciales. La decisión de avanzar más allá de los pasos iniciales está determinada por la evaluación simultánea de 2 características vitales: respiraciones (apnea, jadeo, respiración dificultosa o no trabajada) y frecuencia cardíaca (menos de 100/min). Una vez iniciada la ventilación con presión positiva (VPP) o la administración de oxígeno suplementario, se debe evaluar en simultáneo 3 características vitales: frecuencia cardíaca, respiración y saturación de oxígeno, según lo determine la oximetría de pulso, a fin de implementar o no la administración de oxígeno, siendo el aumento de la frecuencia cardíaca el indicador más sensible de una respuesta exitosa a cada paso.⁽²¹⁾

Aproximadamente del 5% al 10% de la población de neonatos requiere algún grado de reanimación activa al nacer, por ejemplo la estimulación para respirar,⁽²⁸⁾ y aproximadamente del 1% al 10% nacidos en el hospital requieren ventilación asistida. Más de 5 millones de muertes neonatales ocurren en todo el mundo cada año. Se ha estimado que la asfixia al nacer representa el 19% de estas muertes, lo que sugiere que el resultado podría mejorarse en más de 1 millón de bebés por año mediante la implementación de técnicas simples de reanimación. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que un millón de bebés mueren cada año por asfixia al nacimiento, la incapacidad para respirar inmediatamente después del nacimiento.⁽²⁹⁾ Para comprender el minuto de oro después del nacimiento, la Academia Americana de Pediatría desarrolló un nuevo programa llamado Ayudando a los bebés a respirar, donde se establecen los mecanismos de asistencia a los recién nacidos.⁽³⁰⁾

2.2.3 Fisiología de la transición neonatal

Los recién nacidos con afectaciones pulmonares y cardíacas dependen de la asistencia para recibir atención, pero en el útero dependían completamente de sus madres para sobrevivir. La placenta suministra oxígeno y nutrientes al feto y elimina los desechos acumulados a través del intercambio en el sitio de implantación uterina.

La sangre venosa uterina entra en el espacio intercelular placentario, donde se produce el intercambio de gases.

La vena umbilical transporta sangre relativamente oxigenada desde la placenta hasta el feto. La placenta tiene una baja resistencia circulatoria

y utiliza gran parte de la glucosa y el oxígeno que recibe para sus propias necesidades metabólicas⁽³²⁾ El sistema pulmonar fetal, aunque es fisiológicamente funcional cerca del término, es incapaz de participar directamente en la oxigenación antes del nacimiento. Menos del 10% del gasto cardíaco circula hacia los pulmones fetales en el útero, debido a la presión y la resistencia en el circuito pulmonar fetal. Las derivaciones anatómicas favorecen la derivación de derecha a izquierda de la sangre y optimizan el suministro de oxígeno y otros nutrientes a los tejidos.⁽³³⁾

Figura 6:

El ductus venoso dirige la sangre oxigenada desde la vena umbilical a la vena cava inferior del bebé.

- ✓ El foramen oval dirige el flujo de sangre intra-arterial de derecha a izquierda en el corazón fetal.
- ✓ El conducto arterioso dirige la sangre desde la arteria pulmonar a la aorta descendente.

2.2.4 La hora de oro

Al igual que el minuto de oro, la literatura enfatiza el otro período crítico para el neonato, denominado la hora de oro o la hora dorada de la vida neonatal, como la primera hora de la vida postnatal tanto en neonatos prematuros como a término. Este concepto en neonatología se ha adoptado del trauma en adultos, donde la primera hora inicial de manejo del trauma se considera como la hora de oro. El concepto de hora dorada incluye practicar toda la intervención basada en la evidencia para recién

nacidos a término y prematuros, en los primeros sesenta minutos de vida postnatal para un mejor resultado a largo plazo. Aunque la evidencia actual respalda el concepto de la hora dorada en los prematuros y aún no existe evidencia que busque el beneficio del enfoque de la hora dorada en los recién nacidos a término, pero el neonatólogo de todo el mundo siente la importancia del concepto de la hora dorada por igual en los recién nacidos prematuros y a término. La primera hora inicial de vida neonatal incluye reanimación neonatal, cuidados posteriores a la reanimación, transporte de recién nacidos enfermos a la unidad de cuidados intensivos neonatales, asistencia respiratoria y cardiovascular y curso inicial en guardería.⁽³¹⁾

2.2.5 El oxígeno para la vida neonatal

La paradoja básica de la vida es por un lado la necesidad de oxígeno para la supervivencia, y por el otro, lo perjudicial que puede ser el gas, especialmente para los neonatos prematuros. Esta contradicción fue definida como "el albatros de la medicina neonatal" o como una espada de doble filo. La falta de oxígeno puede conducir a la hipoxia, mientras que el exceso a la hiperoxia. La oximetría de pulso proporciona una medición objetiva de la saturación de oxígeno que permite un abordaje médico especialmente para bebés prematuros.⁽¹³⁾

La atmósfera actual de la Tierra es predominantemente N_2 (78%) y O_2 (21%) en volumen. El abundante N_2 proporciona la mayor parte de la presión superficial de la Tierra, que es fundamental para la estabilidad del agua líquida, mientras que el N es un nutriente esencial para toda la vida

en la Tierra. Los altos niveles de O₂ respaldan las demandas metabólicas de la compleja vida animal y humana, así como la producción de ozono (O₃) en la estratósfera, que protege la vida en la tierra de la radiación UV dañina para el ADN.⁽³⁴⁾

Los organismos terrestres dependen de la respiración para la provisión de oxígeno. Algunos se han adaptado en espacios cercanos al nivel del mar, mientras que otros en las grandes altitudes. En ambos casos, la vida para estos organismos es completamente dependiente del oxígeno, por lo que requieren de una constante provisión de este gas.

El oxígeno (O₂), dada su capacidad para actuar como el aceptor final de electrones en la cadena respiratoria mitocondrial y reducirse en agua, tiene la función de impulsar el metabolismo energético aerobio, para la oxidación de los combustibles energéticos, tales como la glucosa (C₆H₁₂O₆)(35) y los ácidos grasos⁽³⁶⁾ para la producción de energía en forma de ATP y calor a nivel celular.⁽³⁷⁾ El proceso puede resumirse a través de la siguiente ecuación:⁽³⁸⁾



La oxidación de un mol de glucosa en condiciones normales consume 6 moles de O₂ y produce 30 moles de ATP.⁽³⁸⁾ El oxígeno se transporta a través de la sangre ligado a la hemoglobina de los glóbulos rojos de la sangre, en una cantidad de 4 moles de O₂ por mol de Hb,⁽³⁹⁾ a través de un sistema vascular bien organizado; difunde desde los alvéolos hacia los capilares pulmonares y de los capilares sistémicos hacia los tejidos, de acuerdo con las leyes de difusión de Fick y el recorrido aleatorio de las

partículas difusas.⁽⁴⁰⁾ El suministro de oxígeno depende de los requerimientos metabólicos y del estado funcional de cada órgano, de manera que en una condición fisiológica, el órgano y el tejido se caracterizan por su propio estado de normoxia tisular o fisioxia.

El efecto biológico del oxígeno depende de su presión parcial, la cual, según la ley de Dalton, es igual al producto de la presión barométrica del aire y la concentración fraccional del oxígeno en el aire. Puesto que el aire contiene 21% de oxígeno, su presión parcial en el nivel del mar será 159.6 mm Hg ($PO_2 = 760 \times 0.21$). La presión parcial de oxígeno de un organismo (pO_2), depende del balance entre el suministro y el consumo de oxígeno.⁽⁴¹⁾ La hipoxia atmosférica puede resultar de una disminución de la concentración de oxígeno (hipoxia normobárica) o de una reducción de la presión barométrica (hipoxia hipobárica).⁽⁴²⁾

2.2.6 Saturación de oxígeno

La práctica clínica utiliza varios conceptos para expresar el nivel de oxigenación de la hemoglobina en la sangre arterial de personas que tienen la función circulatoria normal, según el método de medición a utilizar para obtener la información: presión parcial de oxígeno (PaO_2) y saturación arterial de oxígeno (SaO_2), cuando las mediciones se hacen directamente mediante análisis de gases en la sangre; y, saturación capilar periférica de oxígeno (SpO_2) cuando se mide indirectamente por oximetría de pulso.⁽⁴³⁾

La saturación de oxígeno se refiere a la medida en que la hemoglobina está saturada de oxígeno, y es considerada como el quinto signo vital

importante para la vida y la salud de los individuos, y como tal es necesario el monitoreo en los individuos.⁽⁴⁴⁾

Cada molécula de hemoglobina contiene cuatro átomos de hierro y, por lo tanto, puede combinarse con cuatro moléculas de oxígeno. La combinación completa (100% de saturación) indica que 1 g de hemoglobina transporta 1,34 ml de oxígeno. La medida expresa los sitios de hemoglobina llenos divididos por los sitios disponibles, según la siguiente fórmula:⁽⁴⁵⁾

$$\text{Saturación, \%} = \frac{\text{Sitios llenos}}{\text{Sitios disponibles}} \times 100$$

2.2.7 Análisis de gases en la sangre arterial

El análisis de gases en sangre arterial (AGA) es una prueba directa que mide los niveles de oxígeno y dióxido de carbono y el balance ácido-base (pH) en la sangre, a partir de muestras extraídas de una arteria, como parte importante del diagnóstico y manejo del estado de oxigenación del paciente.⁽⁴⁶⁾ La prueba es considerada el estándar de oro, por tanto, es una de las herramientas principales en la evaluación del estado respiratorio del neonato; sin embargo, por su carácter invasivo no es de mucha aplicación en los recién nacidos.⁽⁴⁷⁾

2.2.8 Oximetría de pulso

La oximetría de pulso es un método indirecto, simple y no invasivo que se utiliza para medir la saturación de oxígeno de la sangre capilar periférica, como alternativa al AGA.⁽⁴⁸⁾ El valor obtenido refleja la saturación de oxígeno en la sangre arterial. Las mediciones se pueden realizar en varias partes del cuerpo, tales como el pulpejo de los dedos de la mano, dedo gordo del pie y lóbulo de la oreja. En recién nacidos y lactantes menores se mide en las palmas y plantas. La lengua, alas nasales y las mejillas son los menos frecuentes. El lóbulo de la oreja tiene una mayor concordancia con la SaO₂, sobre todo en pacientes que ingresan a unidad de cuidados intensivos para cirugía de derivación coronaria.⁽⁵⁵⁾ En neonatos, la muñeca y el tobillo son los sitios alternativos para las mediciones en lugar de la palma o la planta de uso habitual,⁽⁵⁰⁾ con una precisión de 95% a 97%.⁽⁵¹⁾

El método utiliza el aparato oxímetro de pulso que detecta las cantidades de hemoglobina oxigenada (HbO₂) y hemoglobina desoxigenada (Hb) en la sangre arterial, como una estimación indirecta de la SaO₂.⁽⁵²⁾ Además, la oximetría de pulso proporciona resultados precisos de la frecuencia cardíaca y la amplitud del pulso, al captar las pulsaciones de sangre arterial que transmite valores lumínicos.⁽⁵³⁾

La oximetría de pulso utiliza la metodología espectrofotométrica y mide la saturación de oxígeno iluminando la piel y midiendo la absorción y emisión de luz de la hemoglobina oxigenada (HbO₂) y la hemoglobina desoxigenada (Hb) utilizando dos longitudes de onda de luz: 660 nm para

la luz roja y 940 nm para la luz infrarroja, debido a que estas longitudes de onda están disponibles en los semiconductores (Fig. 4). Esto está de acuerdo con una propiedad física única para cada especie molecular llamada coeficiente de extinción. La física de la oximetría de pulso se ha basado en la ley de Lambert-Beer, que tiene en cuenta el coeficiente de extinción, la concentración y la longitud del camino óptico. Esto se demuestra en la figura 4, que muestra una relación entre el coeficiente de extinción con la longitud de onda, en nanómetros (nm), detectando luz roja e infrarroja. El oxímetro de pulso mide la luz roja y la luz infrarroja transmitida y reflejada por un lecho de tejido. Tiene dos sensores con diodos emisores de luz, uno para la luz roja y otro para la luz infrarroja, y un fotodiodo detector. Para medir el oxígeno los diodos emisores de luz y el fotodiodo detector se colocan en puntos opuestos dejando en el medio el tejido translucido (pulpejo del dedo, pabellón auricular, etc.).

La oxihemoglobina absorbe más la luz infrarroja y permite el paso de la luz roja; por el contrario, la desoxihemoglobina absorbe más la luz roja y permite el paso de la luz infrarroja. La relación de absorbancia en estas longitudes de onda se calcula y calibra contra las mediciones directas de SaO_2 para establecer la medida de SpO_2 .⁽²⁰⁾

La SpO_2 en individuos sanos varía de 97% a 99%. La estimación precisa de SaO_2 por oximetría de pulso puede tener varios problemas técnicos, los cuales pueden distorsionar la información requerida. Por ejemplo, muchos absorbentes de luz distintos de la Hb arterial se encuentran en la

trayectoria de la luz transmitida por el oxímetro de pulso (piel, tejido blando, tejido venoso).⁽⁴⁹⁾

Como se puede ver, la oximetría de pulso es una herramienta valiosa para el monitoreo de la SpO_2 ; sin embargo, puede tener sus trampas, dado que la saturación de oxígeno cambia rápidamente en respuesta a pequeños cambios en las tensiones de oxígeno a gran altitud y que la precisión del aparato disminuye con saturaciones de oxígeno arterial menores de 80%.⁽⁵⁶⁾

La Asociación Americana del Corazón, estableció el año 2015 el algoritmo de reanimación neonatal donde incluye los valores de saturación periférica de oxígeno para la oximetría de pulso con relación al tiempo de vida extrauterina (Tabla 8).⁽²¹⁾

Los aparatos disponibles en la actualidad son muy fiables para medir valores de saturación de oxígeno entre el 80 y 100%, pero su fiabilidad disminuye por debajo de estas cifras.⁽⁵⁷⁾

El valor crítico para PaO_2 es el de 60 mm Hg que corresponde a una SpO_2 de 90%. Los valores inferiores significan desaturaciones alarmantes. Los valores de SpO_2 inferiores al 95% constituyen alerta para iniciar medidas terapéuticas sin demora, o bien valores del 90 al 92% si son pacientes con insuficiencia respiratoria crónica previa.⁽⁵⁸⁾ La oximetría de pulso, dada su importancia es considerada ahora como el quinto signo vital en neonatos.⁽⁵⁹⁾

2.2.9 Altitud

La altitud expresa la altura de un punto de la tierra con relación al nivel del mar.⁽⁶⁰⁾ La Sociedad Internacional de Medicina de Montaña, reconoce tres regiones altitudinales que reflejan la disminuida cantidad de oxígeno en la atmósfera:⁽⁶¹⁾

Altitud grande (1500 a 3500 m)

Inicia los efectos fisiológicos de la disminución de la presión del oxígeno inspiratorio (PIO_2), disminuye el rendimiento en el ejercicio y el aumento de la ventilación (disminución de la $PaCO_2$ arterial). Existe un deterioro menor en el transporte de oxígeno arterial (saturación de oxígeno arterial [SaO_2] a menos de 90%, pero PO_2 arterial disminuye significativamente). Debido a la gran cantidad de personas que ascienden rápidamente de 2500 a 3500 m, las enfermedades de altura son comunes en este rango.

Altitud muy alta (3500 a 5500 m)

La SaO_2 máxima cae por debajo del 90% ya que la PO_2 arterial cae por debajo de 60 mm Hg.

Puede producirse una hipoxemia extrema durante el ejercicio, durante el sueño y en presencia de edema pulmonar a gran altitud u otras afecciones pulmonares agudas. En este rango ocurre comúnmente la enfermedad de la altitud severa.

Altitud extrema (por encima de los 5500 m)

Las características de la altitud extrema son la marcada hipoxemia, hipocapnia y alcalosis. El deterioro progresivo de la función fisiológica eventualmente supera la aclimatación. Como resultado, no hay habitabilidad humana por encima de los 5500 m.

Zona de la muerte

La altitud de 8000 metros a más corresponde a la zona de la muerte, donde la presión atmosférica disminuye drásticamente a 266 mm Hg y la PO_2 a 56 mm Hg, por lo que prácticamente la disponibilidad de oxígeno es insuficiente para sostener la respiración humana. La cumbre del Monte Everest (8850m) está en la zona de la muerte.⁽⁶²⁾

2.2.10 Altitud y presión atmosférica

En el mundo existen tres grandes poblaciones asentadas en espacios de elevada o extrema altitud: los Tibetanos, los Sudamericanos y los Etíopes, que viven en las altas montañas adversas o inhabitables del Himalaya, los Andes y Etiopía, respectivamente, siendo uno de los mejores ejemplos de selección natural en acción.⁽⁶³⁾

Al nivel del mar, no hay mucho problema porque allí existe una mayor disponibilidad de oxígeno, mientras que en las grandes altitudes el problema es mayor por la menor disponibilidad de oxígeno. El organismo tiene dos sistemas de provisión de O_2 y remoción de CO_2 : respiratorio y cardiovascular. Ambos sistemas ajustan sus funciones de acuerdo a la altitud donde se encuentre el organismo.⁽⁶⁴⁾ A gran altitud, la presión

barométrica disminuye y con ella la presión parcial de oxígeno (PO_2), lo que podría comprometer el suministro de O_2 a los tejidos, disminuyendo la respiración mitocondrial y la capacidad aeróbica, y aumentando la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS). Es más, la exposición prolongada a altitudes extremas (>5500 m), disminuye la densidad del volumen mitocondrial muscular, con pérdida de la población subsarcolemal.⁽⁶⁵⁾ A nivel del mar, se considera normal una saturación media de SpO_2 de 94-100% para niños sanos de 1 mes a 5 años, mientras que los valores menores de 94% es hipoxemia;⁽⁶⁶⁾ en cambio, en la altitud la saturación disminuye 5% por cada 1000m de ascenso, estabilizándose en 60-65% por encima de 6500m. Por debajo de 60% ocurre seria disfunción celular, y si la baja saturación se prolonga, puede ocurrir la muerte.⁽⁶⁷⁾ Cuando la PO_2 cae por debajo de 60 mm Hg, desciende la saturación de oxígeno (Fig. 4), situación descrita como la "pendiente resbaladiza", ya que las pequeñas reducciones en la PaO_2 están acompañadas por reducciones desproporcionadamente grandes en la saturación y el contenido de oxígeno y, por lo tanto, en el suministro de oxígeno. Hasta cierto punto, el suministro reducido de oxígeno se contrarresta con la mayor facilidad con que el oxígeno se puede "deshacer" de los tejidos metabolizadores.⁽⁴³⁾

2.2.11 Termorregulación

La tasa metabólica del feto por unidad de peso de tejido corporal es relativamente alta en comparación con la de un adulto. El calor se transfiere al feto a través de la placenta y el útero, lo que resulta en una

temperatura de 0,3 a 0,5°C más alta que la de la madre.⁽⁶⁸⁾ Por lo tanto, la temperatura fetal es dependiente de la materna hasta el nacimiento. La poca cantidad de calor producido por el feto se disipa a través de la placenta y las membranas fetales, dado que el feto no puede producir calor adicional, debido a que está expuesto a los inhibidores de la termogénesis no tiritante, que se producen en la placenta y luego entran en la circulación fetal.⁽⁶⁸⁾

Al nacimiento, el neonato se enfría rápidamente en respuesta al ambiente extrauterino relativamente frío; por lo tanto, la temperatura neonatal desciende rápidamente poco después del nacimiento. Para sobrevivir, el neonato debe acelerar la producción de calor a través de la termogénesis no tiritante, acoplada a la lipólisis del tejido adiposo marrón y la oxidación de los ácidos grasos en las mitocondrias.⁽⁶⁹⁾

La termogénesis comienza poco después del nacimiento, por desacoplamiento de la síntesis de ATP y continúa por varias horas, para lo cual es necesario una adecuada provisión de oxígeno, sin el cual el neonato desarrolla hipoxemia, dificultando la adecuada producción de calor para aumentar su temperatura.⁽⁷⁰⁾

La termorregulación es la capacidad para equilibrar la producción de calor y la pérdida de calor a fin de mantener la temperatura del cuerpo dentro de un rango normal.⁽⁷¹⁾

La zona termo neutral (ZTN) es el rango de temperaturas del aire en el que el cuerpo no siente frío ni calor, sino está en confort térmico. Las fuentes revisadas indican que la zona termo neutral del neonato a término

está en el rango de 32-34°C;⁽⁷²⁾ sin embargo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda mantener una temperatura mínima en la sala de partos de 25°C,⁽⁷³⁾ la misma que se aleja bastante de la zona termo neutral del neonato.

Un neonato expuesto a una temperatura por debajo de su zona termo neutral debe realizar un trabajo metabólico forzado para producir calor adicional, para lo cual necesita un aporte rápido de combustible energético (glucosa, ácidos grasos) y oxígeno, cuyo déficit puede conducir a la hipotermia.⁽⁷⁴⁾

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación geográfica del ámbito de estudio

El trabajo se realizó en el Hospital Carlos Monje Medrano de gestión estatal de la ciudad de Juliaca, Provincia de San Román, Dpto. de Puno, ubicado en la meseta del Collao, a 3824 metros de altitud, 15°29'24" de Latitud Sur y 70°08'00" de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich, al noroeste del Lago Titicaca, en el Dpto. de Puno al sudeste de Perú, con una superficie de 533,5 Km², con una población de 228 726 habitantes (censo 2017)⁽⁷⁵⁾ y una densidad poblacional de 428.7 habitantes por Km².

La ciudad de Juliaca es la capital económica del departamento de Puno, donde compiten empresas locales, regionales, nacionales y transnacionales, a través de una dinámica actividad económica creciente, variada, masiva y emprendedora, en donde el empresariado local muchas veces se encuentra desprotegido, pero sigue adelante rindiendo culto al trabajo y a la prosperidad, desarrollando actividades comerciales, industriales, artesanales, agropecuarias, alimenticias, hoteleras, turísticas, entre otras.⁽⁷⁶⁾

La Red de Salud de San Román reporta una tasa de fecundidad de 7.29%, tasa de natalidad de 1.82%, tasa de mortalidad de 0.42%; una alta frecuencia de casos de salud que fluye al HCMM.⁽⁷⁷⁾

3.2 Aspectos ambientales del ámbito de estudio

La ciudad de Juliaca, dada su ubicación en gran altitud (3824m),⁽⁷⁸⁾ tiene una menor presión atmosférica con relación a la del nivel del mar. La presión atmosférica y la presión parcial de oxígeno (PO₂) varían en

relación inversa con la altitud,⁽⁷⁹⁾ por lo que fue necesario estimar la variación de ambos valores a través del calculador de presión atmosférica en función de la altitud, a una temperatura estándar de 15°C,⁽⁸⁰⁾ donde la presión atmosférica de la ciudad de Juliaca es 62% de la del nivel del mar, y la presión parcial de oxígeno (PO₂) disminuye en la misma proporción.

Tabla 2. Presión barométrica y presión parcial de oxígeno (PO₂), de la ciudad de Juliaca con relación a las del nivel del mar (valores calculados).⁽⁸⁰⁾

Presión atmosférica/PO ₂	Nivel del mar	Altitud (Juliaca)*
Presión atmosférica, mm Hg	760 (1 atm)	471 (0.62 atm)
Presión parcial de O ₂ (PO ₂), mm Hg	160	99
Temperatura del aire, °C (Senamhi.gob.pe)	19.9 ± 2.7**	7.8 ± 2.3

* Altitud de la ciudad de Juliaca: 3824m.⁽⁷⁸⁾ ** Lima.

3.3 Período de duración del estudio

El estudio se realizó entre los meses de abril y septiembre del año 2018, en el transcurso del internado médico correspondiente al servicio de Ginecología y Obstetricia, previa autorización por la Dirección del Hospital Carlos Monje Medrano, el mismo que posibilitó contar con la logística (partos, nacimientos, apoyo médico, paramédico y otros) para realizar el trabajo.

3.4 Diseño metodológico de la investigación

Tipo de estudio.

El estudio fue de tipo experimental porque hubo intervención del investigador, prospectivo porque hubo planificación de los datos, transversal porque los datos sólo se midieron una vez, analítico porque tiene más de dos variables.

Diseño de investigación.

El diseño fue experimental y comparativo, experimental porque se describió la saturación periférica de oxígeno (SPO₂) con oxímetro de pulso, según las variables de estudio; y comparativo porque se comparó los cambios cuantitativos minuto a minuto de la saturación de oxígeno en el recién nacido en altitud (3824m) con la saturación de oxígeno referencial del recién nacidos nivel del mar; para esta comparación se tomó como referencia los estudios mencionados en los antecedentes, a nivel del mar que reporta una SPO₂ en el recién nacido entre 97 y 100%.

3.5 Población y muestra

La población estuvo conformada por el universo de 1923 (58.2%) neonatos nacidos vivos por parto eutócico, a término, sin complicaciones en la sala de partos del Centro Obstétrico y Emergencia del HCMM de la ciudad de Juliaca, todos en contacto precoz piel a piel madre-neonato por más de 10 minutos (Tabla 9).

Tabla 3. Población de nacimientos registrados en el Hospital Carlos Monje Medrano, 2018 (Oficina de Estadística HCMM, Juliaca).

Estadístico	Vaginal	Cesárea	Total
Total anual	1923	1383	3306
Promedio mensual	160.3	115.3	275.5
Desv. Est. Mensual	20.3	10.2	22.2
C.V., %	12.7	8.9	8.0

La muestra estuvo conformada por 60 neonatos (unidades de análisis) entre varones y mujeres, sanos, nacidos a término en el periodo del estudio, obtenida a través del método no probabilístico por conveniencia⁽⁸¹⁾ o consecutivo,⁽⁸²⁾ más aplicable y de amplio uso en la investigaciones clínicas, dada la disponibilidad y la accesibilidad,⁽⁸³⁾ con tal que las unidades de análisis cumplan con los criterios de inclusión y exclusión. El procedimiento consiste en registrar a los pacientes según su disponibilidad, accesibilidad y proximidad, dentro del período de tiempo definido para el estudio, siendo por tanto un método rápido, económico y conveniente.⁽⁸²⁾

Los participantes se seleccionaron en forma consecutiva en orden de aparición. El proceso de muestreo finalizó cuando se alcanzó la cantidad total de participantes (saturación de la muestra) y/o el límite de tiempo (saturación del tiempo). Los participantes fueron asignados en forma aleatoria a cada grupo de intervención (género y edad gestacional), para la medición de la saturación de oxígeno (SpO₂), según corresponda.⁽⁸⁴⁾

Tabla 4. Distribución de la muestra de neonatos del Hospital Carlos Monje Medrano 2018 utilizados para el estudio.

Edad gestacional	Varones	Mujeres	P _{valor}
37-38 semanas + 6 días	3043.6 ± 277.3 (n = 7)	2922.1 ± 199.5 (n = 17)	0.2391
39-40 semanas + 6 días	3190.8 ± 337.3 (n = 18)	3159.2 ± 244.8 (n = 18)	0.7509
P _{valor}	0.3183	0.0036	
Promedio	3149.6 ± 323.0 (n = 25)	3041.4 ± 248.2 (n = 35)	0.1442

3.5.1 Criterios de inclusión:

- Madres dispuestas para la medición de saturación de oxígeno (SpO₂) en sus neonatos, previo consentimiento informado o petición expresa de parte para la prueba en su neonato.
- Neonato nacido de parto eutócico sin complicaciones.
- Gestación a término (36 a 41 semanas y 6 días), determinado por el método de diagnóstico de Capurro.⁽⁸⁵⁾
- Madres gestantes de procedencia urbana o rural con residencia en altura de por lo menos un año en el ámbito geográfico del parto.
- Apgar (del inglés appearance, pulse, grimace, activity, and respiration), las cinco pruebas para controlar la salud de un bebé, cada una calificable en una escala de 0 a 2, siendo 2 la mejor puntuación; un Apgar de nacimiento entre 7-10 puntos al primer minuto y a los cinco minutos de nacido.
- Examen físico normal y peso adecuado para la edad gestacional.

3.5.2 Criterios de exclusión:

- Madres no dispuestas para la medición de saturación de oxígeno (SpO_2) en sus neonatos, previo consentimiento informado.
- Neonato con anomalías congénitas (cardiopatías congénitas).
- Malformaciones anatómicas de la caja torácica.
- Nacido de madre con patología obstétrica como toxemia gravídica, diabetes, anemia, insuficiencia placentaria, hemorragias del tercer trimestre.
- Embarazo múltiple.
- Edad gestacional menor de 37 semanas o mayor de 42 semanas.
- APGAR menos de 7 puntos al primer minuto de nacido.
- Sufrimiento fetal agudo.
- Problemas neuromusculares que alteren la mecánica ventilatoria.

3.6 Estrategia de recolección de datos

Los datos se recolectaron durante el período de trabajo en el servicio de ginecología y obstetricia del Hospital Carlos Monje Medrano, como parte del internado médico realizado en el año 2018, mediante el registro de los valores de las variables de medición en neonatos incluidos en el estudio. El paso previo fue la identificación de las madres gestantes hospitalizadas en el servicio del centro obstétrico y en la sala de partos de emergencia del hospital, que se encontraban en período de dilatación y/o período expulsivo (en caso de sala de partos de emergencia), haciéndoles el seguimiento hasta completar la dilatación y expulsión fetal, la evolución del neonato, la determinación del APGAR (que debe ser >7), la coloración del líquido amniótico (que debe ser claro), hasta la

atención del neonato, secándose la boca, fosas nasales, cabeza y cuerpo con una toalla de algodón precalentada, pasándose al neonato a su madre para el contacto precoz piel con piel, en la sala de partos, cuya temperatura del aire fue de $21.6 \pm 1.4^{\circ}\text{C}$ (registrado con termómetro ambiental, marca) durante el período de estudio, la misma que fue menor a la temperatura de 25°C recomendado por la OMS para la sala de partos.⁽⁸⁶⁾ La atención del parto y el manejo del neonato y de la madre estuvo a cargo de personal médico y paramédico especializado, a fin de garantizar la entrega exitosa del producto.

La información registrada en las fichas de recolección de datos fue enumerada y tabuladas en el programa Microsoft Excel para los cálculos y análisis correspondientes.

3.7 Metodología

3.7.1 Determinación de la saturación de oxígeno (SpO_2) en los primeros 10 minutos de vida del recién nacido

La saturación de oxígeno se determinó mediante oximetría de pulso preductal, en cualquiera de las dos manos en forma indistinta,⁽¹⁴⁾ siguiendo el protocolo recomendado para la medición, desde el minuto 1 hasta el minuto 10, con intervalos de un minuto, registrando los valores en fichas individuales para cada neonato. Las mediciones se realizaron con el oxímetro de pulso, portátil (ChoiceMmed MD300M, serie N° 100143), pantalla de color (TFT) de alta resolución, alarma visual y acústica, ajustable para SpO_2 y frecuencia cardíaca y frecuencia de pulso, de uso pediátrico, procedente de Beijing, año 2014.

Las mediciones se realizaron previa revisión del manual de uso del aparato⁽⁸⁷⁾ y entrenamiento y con un mismo monitor para todos los neonatos en estudio, a fin de evitar errores de técnica y sesgos en los resultados. El procedimiento fue recostar al recién nacido en posición decúbito prono en la región abdominal y tórax de la madre, en contacto con la piel de la madre, a temperatura de la sala de partos, despierto y tranquilo. El sensor se colocó en la mano derecha o izquierda, región palmar o muñeca del neonato, por un tiempo ≥ 10 minutos. Los datos se registraron en las fichas respectivas, a partir de la pantalla del monitor.

Los resultados se expresaron en porcentajes de saturación, graficados mediante una línea de tendencia en modelo de regresión lineal polinómicos, con la correspondiente ecuación de predicción.

3.7.2 Determinación de la saturación de oxígeno (SpO₂) según sexo y edad gestacional del recién nacido.

La edad gestacional del feto se obtuvo de la historia clínica de la madre gestante, la misma que fue determinada en su oportunidad mediante ultrasonido (ecografía) durante el primer trimestre de gestación, con la asunción de su alta precisión.⁽⁸⁸⁾ Alternativamente, la edad gestacional fue estimada mediante el método de Capurro,⁽⁸⁵⁾ por personal especializado (pediatra o MR₃), en casos de no contar con la información. Los neonatos fueron asignados a uno de los dos grupos de edad gestacional: 37 a 39 semanas + 6 días, y 40 a 41 semanas + 6 días, a fin de verificar el efecto de esta variable sobre la saturación de oxígeno (SpO₂).

El sexo estuvo conformado por hombre y mujeres, por inspección genital al momento del parto; y el peso del neonato, se determinó mediante el registro gravimétrico con una balanza electrónica neonatal.

3.7.3 Evaluación de la saturación de oxígeno (SpO_2) en gran altitud con relación a altitudes bajas.

La saturación de oxígeno (SpO_2) en gran altitud con relación a la SPO_2 de latitudes bajas se realizó mediante la comparación de datos obtenidos en el trabajo con los datos referenciales de la bibliografía disponible, a fin de evaluar el efecto de la altitud sobre la variable de medición.

3.8 Variables

3.8.1 Variables independientes

Tiempo de saturación (1 a 10 minutos)

Sexo y edad gestacional

Altitud

3.8.2 Variable dependiente

Saturación de oxígeno pre-ductal (SpO_2)

3.9 Análisis estadístico

Los datos fueron expresados en estadísticos de tendencia central (promedio) y dispersión (desviación estándar). Los resultados de la saturación de oxígeno (SpO_2) durante los 10 minutos de vida se analizaron mediante regresión lineal simple y su correspondiente análisis de varianza (ANOVA), cuyos parámetros se analizaron mediante la prueba t , considerando el tiempo como la variable

independiente y la saturación de oxígeno como variable dependiente, sujeto al siguiente modelo, con un nivel de significancia de 5% ($\alpha = 0.05$), donde $i = 1, 2, \dots, n$ y los errores ε_i son independientes y están distribuidos normalmente con media 0 y varianza σ^2 .⁽⁸⁹⁾

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon_i$$

Donde: y_i , variable respuesta (SpO_2); x_1 , variable explicatoria (minutos); β_0 , intercepto de la regresión; β_1 , pendiente de la regresión; ε_i , error de la regresión.

Los resultados comparativos de saturación de oxígeno (SpO_2) dependientes de género (varones y damas), edad gestacional (a término temprano y a término tardío) y otros, se analizaron mediante la prueba de diferencia de medias, t Student dada su robustez,⁽⁹⁰⁾ sujeta a prueba de hipótesis, con un nivel de significancia de 5% ($\alpha = 0.05$).

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

El valor t_c se estimó con la siguiente fórmula, bajo la asunción de que las varianzas entre grupos son homogéneas:

$$t_c = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{S_p^2 \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Donde: t_c , t calculada; \bar{x}_1 , media del grupo 1; \bar{x}_2 , media del grupo 2; S_p^2 , varianza ponderada; n_1 y n_2 , número de neonatos por grupo.

La varianza ponderada (S_p^2 : varianza común o varianza conjunta) se calculó, considerando las dos muestras mediante la siguiente fórmula:

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Donde: S_p^2 , varianza común de dos poblaciones; S_1^2 , varianza de la primera muestra; S_2^2 , varianza de la segunda muestra; $n_1 + n_2 - 2$, grados de libertad.

Los cálculos se realizaron con programas de VassarStats de acceso libre.(91) Los datos de saturación a los 10 minutos se analizaron mediante el análisis de varianza (ANOVA) en diseño completo al azar, sujeto al siguiente modelo aditivo lineal, con un nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$).

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

y_{ij} : variable respuesta

μ : media general

τ_i : Variación entre grupos

ε_{ij} : Variación entre observaciones (error)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Saturación de oxígeno pre-ductal (SpO₂) durante los primeros 10 minutos de vida neonatal.

Tabla 5. Saturación de oxígeno pre-ductal (SpO₂) en los primeros 10 minutos de vida del recién nacido en el Hospital Carlos Monje Medrano de Juliaca (3824 m de altitud).

Minuto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	P _{valor}
Promedio, %	48.3	51.2	56.9	61.6	66.0	70.5	74.8	78.4	81.9	85.4	<.0001
Desv. Est.	4.5	6.2	7.3	7.5	7.2	6.6	5.9	5.7	5.8	5.2	
C.V., %	9.3	12.2	12.9	12.2	10.9	9.3	7.9	7.2	7.0	6.1	

Nota: La significancia se obtuvo mediante el análisis de varianza con los datos de los minutos 2, 4, 6, 8 y 10. Al minuto 10, la saturación de oxígeno pre-ductal (SpO₂) fue de 85.4±5.2%.

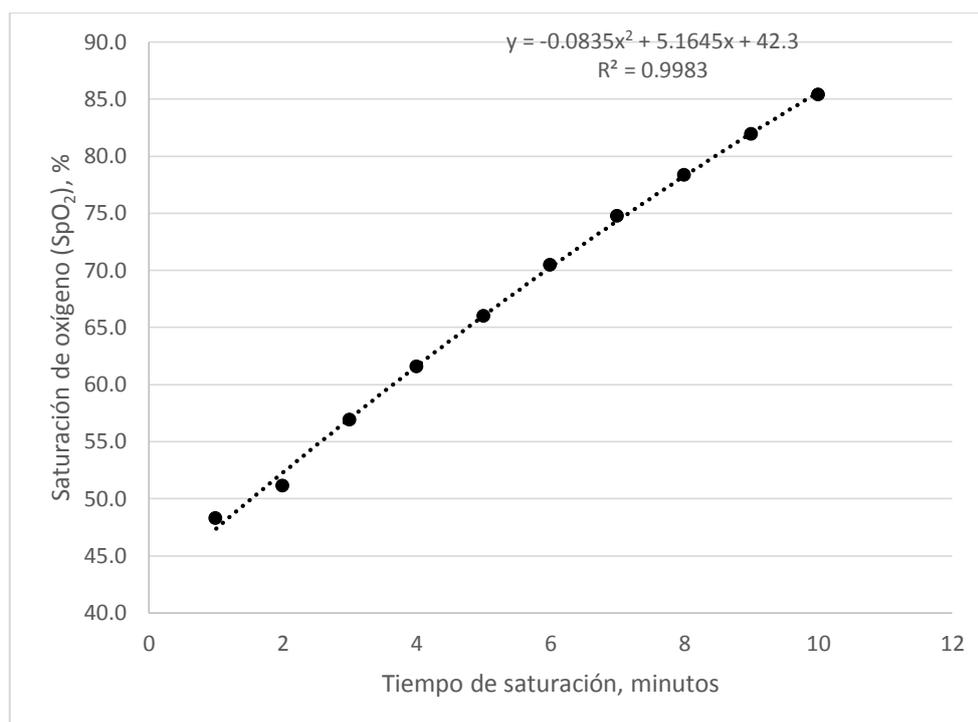


Figura 1. Curva de Saturación de oxígeno pre-ductal en recién nacidos a término, durante los diez primeros minutos de vida en el Hospital Carlos Monge Medrano de Juliaca 2018. La regresión fue significativa ($p < .0001$).

La saturación de oxígeno incrementa progresivamente de minuto a minuto. Inicia con $48.3 \pm 4.5\%$ en el primer minuto y finaliza con $85.4 \pm 5.2\%$ en el décimo minuto (Tabla 5), con un incremento de promedio de $4.12 \pm 0.86\%$ por minuto, altamente significativa entre minuto a minuto ($p < .0001$), con una tendencia lineal polinómica y un alto coeficiente de determinación (Figura 1.); con la aclaración, que la ecuación es válida como modelo de predicción solo para el segmento de línea trazada en el cuadrante.

Los resultados son concordantes con los datos reportados de estudios realizados en condiciones similares, tales como 42.3% y 79.3% en el minuto 1 y 10, respectivamente a 4340m de altitud;⁽²⁴⁾ similar también a 69.1% observado a los

5 minutos a 3826m de altitud;⁽¹⁰⁾ y similar también a 86,4% a los 10 minutos a 3640 m de altitud.⁽²²⁾

El contraste de los resultados obtenidos en el presente trabajo, con los datos disponibles para condiciones del nivel o próximos al nivel del mar, evidencian una diferencia grande, tales como 60.6% para el minuto 1 y >90% para el minuto 10 a 150m de altitud;⁽²⁴⁾ % 68% para el minuto 1 y 99% para el minuto 10 a 0 metros de altitud;⁽⁹²⁾ los cuales evidencian la altitud es un factor determinante en la variación de la saturación de oxígeno en neonatos.

4.2 Saturación de oxígeno pre-ductal (SpO₂) según sexo y edad gestacional del recién nacido.

La saturación de oxígeno es similar en varones y mujeres, así mismo entre las dos edades gestacionales (Tabla 6).

Tabla 6. Saturación de O₂ en el minuto 10 de vida del neonato, según sexo y edad gestacional en el Hospital Carlos Monje Medrano de Juliaca (3824 m altitud).

Edad gestacional	Varones (3.15±0.32 Kg)	Mujeres (3.04±0.25 Kg)	P _{valor}
37-38 semanas + 6 días	85.6 ± 4.2	84.9 ± 6.2	0.7745
39-40 semanas + 6 días	85.8 ± 4.8	85.7 ± 4.4	0.4123
P _{valor}	0.7972	0.9288	
Promedio	85.96 ± 4.60	84.66 ± 6.34	0.3599

Nota: El peso al nacimiento fue no significativo entre edades gestacionales y sexos (P_{valor} = 0.1610). Los varones tienen una ligera tendencia al mayor peso.

La saturación de oxígeno es similar, sin mostrar significancia entre sexos ni edades gestacionales con un promedio general de 85.2 ± 5.67 (desviación estándar). A partir de esta información y con base al valor $t = 1.6706$ para $n = 60$, los límites de confianza para la saturación de oxígeno pre-ductal (SpO_2) a los 10 minutos para neonatos nacidos en el Hospital Carlos Monje Medrano varía desde 83.98% hasta 86.42% ($p \leq 0.05$).

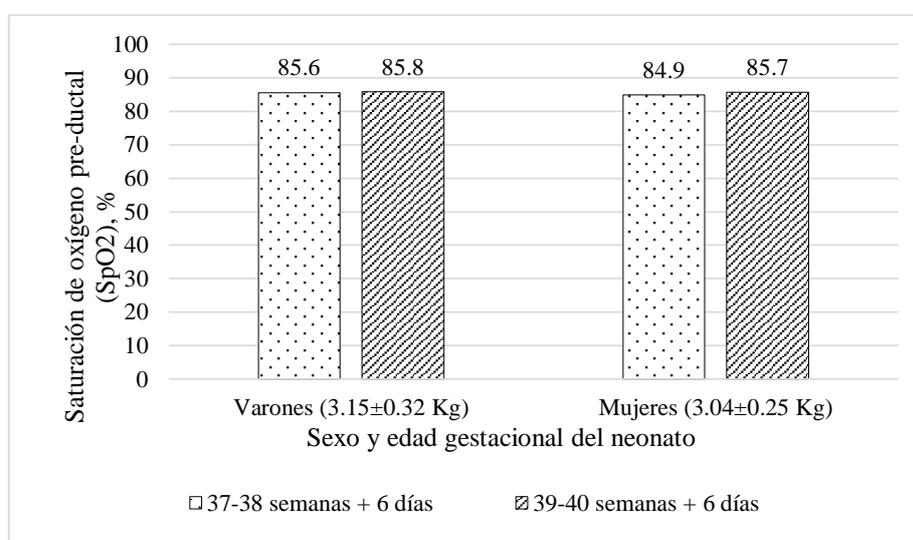


Figura 2. Saturación de oxígeno pre-ductal (SpO_2) al minuto 10 de neonatos varones y mujeres de diferentes edades gestacionales del Hospital Carlos Monje Medrano de Juliaca 2018.

4.3 Saturación de oxígeno (SpO_2) en altitud alta vs altitudes bajas

La ciudad de Juliaca, sede del Hospital Carlos Monje Medrano, ubicada a 3824 metros de altitud,⁽⁷⁸⁾ en el Altiplano de la meseta del Collao, en Puno-Perú, está en el espacio considerado como de gran altitud,⁽⁶¹⁾ con una menor presión atmosférica y una menor presión parcial de oxígeno (PO_2), como se estimó anteriormente (Tabla 1). Además, a la menor presión barométrica, le acompaña también el frío como el otro componente asociado a la altitud.

Para comparar la saturación de oxígeno (SpO_2) encontrada en el presente trabajo con la SpO_2 de las altitudes bajas, se realizó una revisión bibliográfica de trabajos reportados para altitudes comprendidas entre -200 y 1640 metros, habiéndose localizado 16 artículos relacionados a la oximetría neonatal pre-ductal, durante los 10 primeros minutos de vida, cuya información en detalle se presenta en los Anexos (Tabla 10.). Por consiguiente, se ha comparado 60 datos obtenidos en el presente trabajo con 16 datos obtenidos de las fuentes revisadas, cuyo resumen se presenta en la Tabla 7, para efectos comparativos.

Tabla 7. Saturación de oxígeno pre-ductal (SpO_2) en gran altitud vs baja altitud durante los primeros 10 minutos de vida del neonato.

Minutos después del nacimiento	Gran altitud (Juliaca)	Baja altitud (varios)	P _{valor}
	(3824 m)	(-200 – 1640 m)	
1	48.9 ± 4.8	70.7 ± 5.9	<.0001
5	66.3 ± 7.7	86.7 ± 5.2	<.0001
10	85.2 ± 5.7	94.1 ± 3.0	<.0001

Nota: gran altitud (n = 60); bajas altitudes (n = 16, promedios generales, Tabla 10).

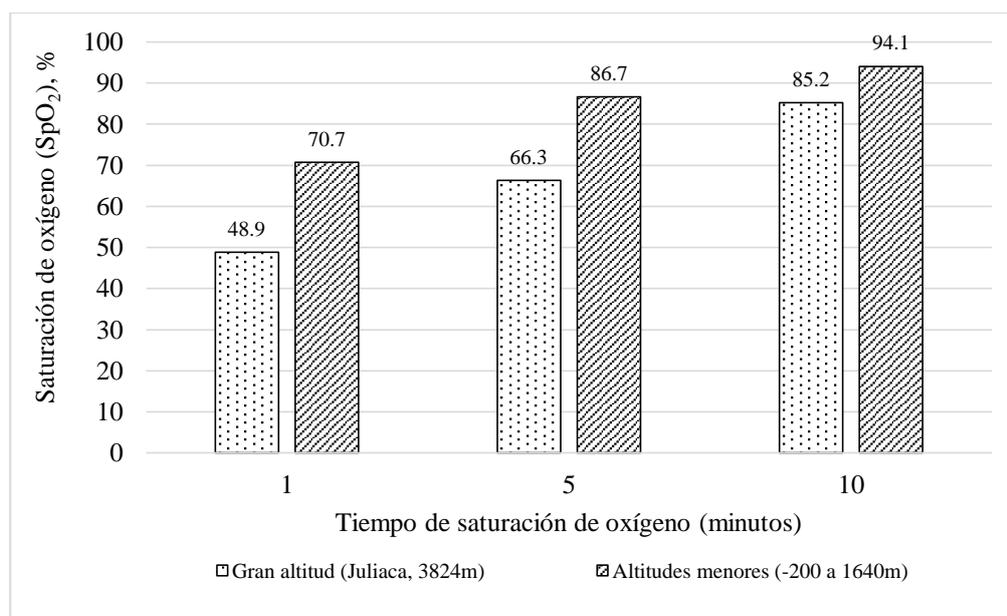


Figura 3. Saturación de oxígeno pre-ductal (SpO_2) en gran altitud vs baja altitud durante los primeros 10 minutos de vida del neonato.

Los resultados indican que la SpO_2 registrada en la gran altitud del presente trabajo es diferente ($p < .0001$) a la SpO_2 reportada por las distintas fuentes (Tabla 10) para las bajas altitudes, para los tres momentos de medición (1, 5 y 10 minutos). Un comparativo a los 10 minutos muestra que en gran altitud, la SpO_2 registrada es $85.2 \pm 5.7\%$, frente a $94.1 \pm 3.0\%$ estimada para las altitudes bajas, con una diferencia de 8.9%, lo cual es un valor alarmante para los principios fisiológicos establecidos para la saturación de oxígeno, sobre todo la saturación en el neonato, evidenciando que los neonatos nacidos en gran altitud tienen menor saturación de oxígeno con relación a los neonatos nacidos en altitudes bajas.

Sin embargo, los resultados encontrados en el presente trabajo concuerdan con los datos reportados para las grandes altitudes. Así por ejemplo, un estudio similar en niños residentes en El Alto (La Paz, Bolivia), comprendidos de 1 día

a 60 meses de edad, la saturación de oxígeno fue similar entre edades, estableciéndose un valor referencial de saturación de oxígeno por oximetría de pulso (SaO_2) para niños menores de 5 años que viven a gran altitud (4018 m), una media de $87.3 \pm 0.98\%$ para niños comprendidos desde 1 día hasta 60 meses de edad, donde los niños más pequeños tienen una SaO_2 media más baja que los niños mayores, lo que sugiere una adaptación fisiológica a la gran altura con el tiempo. El trabajo no reporta la saturación de oxígeno a los 10 minutos de vida, lo cual podría ser mucho menor, dado que la edad de 1 día de nacido implica una estabilidad plena la misma que ocurre en 120 minutos con una saturación de 90.5% obtenida con pulsoxímetro portátil MP 111 (ILIC Intelligent con un sensor en gancho de tecnología Masimo Set).⁽¹⁰⁾

Los resultados encontrados en el presente estudio son concordantes con los obtenidos en condiciones similares de altitud por otros autores. Salas (2008),⁽⁹³⁾ reporta saturaciones de oxígeno de 88.7% para infantes de 1 hora de nacidos, 87.2% para 12 horas y 88.2% para 24 horas. A pesar de que el tiempo supera largamente los 10 minutos, ninguno de estos datos supera el valor 94.1% como ocurre a los 10 minutos de vida neonatal en altitudes menores (Tabla 10), lo cual corrobora los resultados encontrados en el presente estudio, por lo que es necesario establecer, como lo recomienda Bergqvist (1992),⁽⁹⁴⁾ valores propios para las grandes altitudes donde viven enormes cantidades de poblaciones en condiciones ambientales definitivamente distintas con relación a las del nivel del mar, a fin de implementar tratamientos óptimos y evitar períodos hipóxicos o hiperóxicos potencialmente peligrosos.

La mayoría de las personas pueden ascender hasta los 2500 metros con mínimos efectos, por lo que en términos prácticos esta altitud no es preocupante, ya que por debajo de esta rara vez ocurre enfermedad.⁽⁹⁵⁾ Las altitudes mayores en cambio, pueden causar la enfermedad de montaña, muy frecuente en personas de costa que ascienden bruscamente a la altitud.⁽⁹⁶⁾

La Sociedad Internacional para la Medicina de Montaña (ISMM), clasifica la altitud en los siguientes niveles:⁽⁹⁵⁾

Altitud elevada : 1500 – 3500m

Altitud muy elevada : 3500 – 5500m (gran altitud)

Altitud extrema : > 5500m

A partir de la clasificación hecha por la Sociedad Internacional para la Medicina de Montaña (ISMM), la ciudad de Juliaca estaría ubicada en una altitud muy elevada (gran altitud).⁽⁹⁵⁾ Para una altitud de 1640 m, se ha establecido SpO₂ de 68.6% al nacimiento, 94.3% en 1 hora y 95.4% en 24 horas de vida del neonato, como valores normales.⁽⁹⁷⁾ Para una altitud de 1610 m, valore SpO₂ de 92% para las 24 horas y 93% para las 48 horas de vida neonatal;⁽⁹⁸⁾ y para altitudes comprendidas entre 1371 y 2484, sugieren un SpO₂ de 94.7% en promedio para la primera hora de vida,⁽⁹⁹⁾ lo cual es también muy distante al valor encontrado en el presente estudio. En forma similar, para 2800 metros de altitud para niños menores de 2 años, despiertos, SpO₂ fue de 91.7%, significativamente menor que los rangos normales reportados para el nivel del mar o la ciudad de Denver ubicado a 1609 metros de altitud.⁽¹⁰⁰⁾

La altitud, como la elevación, es la distancia sobre el nivel del mar; y la gran altitud se caracteriza por una menor presión atmosférica y una menor presión parcial de oxígeno (PO_2), asociado al frío y la baja humedad del medio ambiente.⁽¹⁰¹⁾ Así, a 3824 m de altitud donde se ubica el HCMM, la presión barométrica y la PO_2 calculada disminuye a 440.1 y 99 mm Hg, respectivamente, con relación a las del nivel del mar (Tabla 10),⁽¹⁰¹⁾ las mismas que impactan directamente sobre la función respiratoria. Por tanto, el neonato dado a luz en este espacio geográfico, inhala aire y oxígeno de menor presión en su primera respiración, lo cual desde ya implica un gran desafío para su organismo. El problema se complica aún más, dado que el aire inhalado se satura con vapor de agua en las vías respiratorias altas, por lo que la presión del aire inspirado y su PO_2 disminuyen aún más, debido a la presión parcial del vapor de agua que a 37°C es de 47 mm Hg independientemente de la altitud; de manera que los 440 mm Hg del aire atmosférico disminuye a 413 mm Hg del aire inspirado, y junto con esta, la PO_2 a 85 mm Hg la cual es la responsable del problema,⁽¹⁰²⁾ fenómeno conocido como la cascada de los gases por efecto de la altitud y el vapor de agua.⁽¹⁰³⁾⁽¹⁰⁴⁾

A pesar de que el porcentaje de oxígeno en el aire inspirado es constante a diferentes altitudes, la caída de la presión atmosférica a una altitud más alta disminuye la presión parcial del oxígeno inspirado y, por lo tanto, disminuye también la presión impulsora para el intercambio de gases en los pulmones.⁽¹⁰¹⁾

A continuación, se presenta la cascada de los gases por efecto de la altitud y el vapor de agua, sin considerar la temperatura del aire que también puede afectar los valores.

Presión atmosférica en el nivel del mar : 760 mm Hg ($PO_2 = 160$ mm Hg)

Presión atmosférica en gran altitud : 447 mm Hg ($PO_2 = 93.9$ mm Hg)

Presión del aire inspirado en gran altitud : 400 mm Hg ($PO_2 = 84.0$ mm Hg)

Además, en la gran altitud, el frío y la baja humedad son los compañeros inseparables que complican las condiciones ambientales para el neonato que pueden afectar la saturación de oxígeno y el metabolismo energético, como ocurre con otras especies que viven en altitudes extremas del Tíbet.⁽¹⁰⁵⁾

El feto, normalmente está en un estado de hipertensión pulmonar fisiológica puesto que recibe sangre oxigenada de la placenta a través de la vena umbilical. Al nacimiento, una vez que inicia la respiración, hay un rápido descenso de la resistencia vascular pulmonar y un aumento de la resistencia vascular sistémica debido a la remoción de la placenta de la circulación.⁽¹⁰⁶⁾ La presión arterial pulmonar debe disminuir progresivamente dentro de las 72 horas después del nacimiento,⁽¹⁰⁷⁾ de lo contrario puede desarrollar hipertensión arterial pulmonar.

El suministro de oxígeno, o la saturación de oxígeno, es fundamental para la transición exitosa hacia la vida extrauterina, a fin de que el neonato pueda establecer una presión arterial pulmonar baja. La limitada saturación de oxígeno (hipoxia) en los primeros minutos, horas o días de vida puede bloquear la disminución de la presión arterial pulmonar y promover la hipertensión.⁽¹⁰⁸⁾

La literatura revisada no muestra el nivel mínimo de saturación de oxígeno (SpO_2) para los neonatos dentro de las primeras 24 horas de vida y mucho menos muestra para la población mundial que reside a una altitud >1500 m. Morgan et al. (2017),⁽¹⁰⁹⁾ sugieren que un SpO_2 de 89% puede ser un límite razonable para

los recién nacidos a término y 97% para prematuros de bajo peso dentro de las primeras 24 horas de vida para una altitud de 1800 m.

Para altitudes mayores a 3800 metros, no se ha localizado reportes de niveles mínimos de SpO₂ que sean compatibles con la salud de los neonatos. Lo cierto es que en el presente trabajo se ha observado un promedio de SpO₂ 85.4±5.2%, lo cual es menor a la referencia mínima sugerida, que podría indicar hipoxia, o que la vida en altitud es una desventaja; sin embargo, los 60 neonatos nacidos bajo estas condiciones mostraron constantes clínicas normales, sin problemas de hipoxia, evidenciando su adaptación genética en las condiciones de la gran altitud.

La altitud es un espacio que ajusta al organismo debido a la presión parcial del oxígeno. Así por ejemplo, la placenta es capaz de adaptarse a la hipoxia hipobárica aumentando su capacidad funcional para el intercambio gaseoso, a través de una reducción en el espesor de la membrana vellosa;⁽¹¹⁰⁾ así mismo, la transición cardiopulmonar perinatal a gran altura difiere de la del nivel del mar porque el oxígeno desempeña un papel fundamental en los cambios del desarrollo del feto al recién nacido, las saturaciones de oxígeno arterial son menores, los patrones de respiración y la maduración de los reflejos de control respiratorio difieren, y la regresión de las características fetales de la vasculatura pulmonar avanza más lentamente,⁽¹¹¹⁾ lo cual es más bien una ventaja que sugiere la necesidad de establecer valores referenciales de SpO₂ para estas condiciones ambientales adversas.

En el mundo existen tres grandes espacios donde se ha asentado la vida humanas: los Tibetanos, los Sudamericanos y los Etíopes, que viven en las altas montañas

adversas o inhabitables del Himalaya, los Andes y Etiopía, respectivamente, siendo uno de los mejores ejemplos de selección natural en acción.⁽⁶³⁾ Al nivel del mar, no hay mucho problema, porque hay mayor disponibilidad de oxígeno, en cambio en las grandes altitudes el problema es mayor porque hay menor disponibilidad de oxígeno. Los organismos tienen dos sistemas de provisión de oxígeno y remoción de dióxido de carbono: el sistema respiratorio y el sistema cardiovascular. Ambos sistemas ajustan sus funciones de acuerdo a la altitud donde se encuentren los organismos.⁽⁶⁴⁾

A gran altitud, la presión barométrica disminuye y con ella la PO₂ inspirada, lo que podría comprometer el suministro de O₂ a los tejidos, disminuyendo la respiración mitocondrial y la capacidad aeróbica, y aumentando la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS). La exposición prolongada a altitudes extremas (> 5500 m), disminuye la densidad del volumen mitocondrial muscular, con pérdida de la población subsarcolemal.⁽⁶⁵⁾ Cuando la saturación de hemoglobina cae debajo de 60% ocurre seria disfunción celular, y si se prolonga la baja saturación, puede causar la muerte.

V. CONCLUSIONES

La saturación de oxígeno pre-ductal (SpO_2) en neonatos nacidos a 3824 metros de altitud, aumenta progresivamente ($p < .0001$) durante los primeros diez minutos de vida, desde $48.3 \pm 4.5\%$ en el minuto 1, hasta $85.4 \pm 5.2\%$ en el minuto 10.

La saturación de oxígeno pre-ductal (SpO_2) de neonatos nacidos a 3824 metros de altitud es similar entre sexos y edades gestacionales.

La saturación de oxígeno pre-ductal (SpO_2) durante los primeros diez minutos de vida neonatal en la gran altitud (3840m) es menor ($p < .0001$) a los valores reportados en la literatura para altitudes menores, desde -200m hasta 1640m.

VI. RECOMENDACIONES

Los resultados del presente trabajo podrían servir como fuente de información básica para investigaciones posteriores en saturación de oxígeno medidas a través oximetría de pulso en recién nacidos sanos, a término a gran altitud y así tener un referente local para evitar la administración innecesaria de oxígeno suplementario.

Realizar un estudio con mayor número de recién nacidos y un tiempo de saturación de oxígeno en 24 horas.

VII. REFERENCIAS

1. Morton S, Brodsky D. Fetal Physiology and the Transition to Extrauterine Life. *Clin Perinatol.* 2016;43(3):395–407.
2. Watts ME, Pocock R, Claudianos C. Brain Energy and Oxygen Metabolism: Emerging Role in Normal Function and Disease. *Front Mol Neurosci.* 2018;11(216):1–13.
3. Hyder F, Rothman DL, Bennett MR. Cortical energy demands of signaling and nonsignaling components in brain are conserved across mammalian species and activity levels. *PNAS.* 2013;110(9):3549–54.
4. Mukandala G, Tynan R, Lanigan S, O'Connor JJ. The Effects of Hypoxia and Inflammation on Synaptic Signaling in the CNS. *Brain Sci.* 2016;6(6):1–14.
5. Simonson TS, Yang Y, Huff CD, Yun H, Qin G, Witherspoon DJ, et al. Genetic Evidence for High-Altitude Adaptation in Tibet. *Science (80-).* 2010;329(5987):72–5.
6. Subudhi AW, Bourdillon N, Bucher J, Davis C, Elliott JE, Eutermoster M, et al. AltitudeOmics : The Integrative Physiology of Human Acclimatization to Hypobaric Hypoxia and Its Retention upon Reascent. *PLoS One.* 2014;9(3):1–11.
7. Luks AM. Physiology in Medicine: A physiologic approach to prevention and treatment of acute high-altitude illnesses. *J Appl Physiol.* 2015;118(5):509–19.
8. Savla JJ, Leviney BD, Sadek HA. The Effect of Hypoxia on Cardiovascular Disease: Friend or Foe? *High Alt Med Biol.* 2018;19(2):124–30.
9. Gassmann NN, van Elteren HA, Goos TG, Morales CR, Rivera M, Martin DS, et al. Pregnancy at high altitude in the Andes leads to increased total vessel density

- in healthy newborns. *J Appl Physiol*. 2016;121(3):709–15.
10. Valero WR, Zirena I, Coronel M, Dueñas JR. Artículo original. *Acta Med Per*. 2009;26(3):151–5.
 11. Yanda S, Lubis M, Yusroh Y. *Paediatrica Indonesiana*. *Paediatr Indones*. 2003;43(11):211–5.
 12. Odudu LA, Ezenwa BN, Esezobor CI, Ekure EN, Okwaji MTCE, Ezeaka C V, et al. Pre- and Post- ductal Oxygen Saturation among Apparently Healthy Low Birth Weight Neonates. *Niger Postgrad Med J*. 2018;24(4):224–9.
 13. Uslu S, Zubarioglu U, Sozeri S, Dursun M, Bulbul A, Bas EK, et al. Factors Affecting the Target Oxygen Saturation in the First Minutes of Life in Preterm Infants. *J ofTropical Pediatr*. 2016;0:1–8.
 14. Rüeegger C, Bucher HU, Mieth RA. Pulse oximetry in the newborn: Is the left hand pre- or post-ductal? *BMC Pediatr*. BioMed Central Ltd; 2010;10(35):1–6.
 15. Kamlin C, O'Donnell C, Davis P, Morley C. Oxygen saturation in healthy infants immediately after birth. Vol. 148, Original Articles. 2006.
 16. Rabi Y, Yee W, Chen SY, Singhal N. Oxygen saturation trends immediately after birth. *J Pediatr*. 2006;148(5):590–4.
 17. Gautam S, Agrawal A. Oxygen saturation trends in newborn after birth. *J Evol Med Dent Sci*. 2015;4(63):11037–42.
 18. Saugstad OD. Editorials: Oxygen saturations immediately after birth. *J Pediatr*. 2006;148:569–70.
 19. Taguchi Y, Hosono S, Kayama K, Kato R, Hine K, Nagano N, et al. The target

- value of oxygen saturation during the first 10 minutes after birth. *Pediatr Int.* 2017;59(10):1064–8.
20. Jubran A. Pulse oximetry. *Crit Care. Critical Care*; 2015;1–7.
 21. Wyckoff MH, Aziz K, Escobedo MB, Kapadia VS, Kattwinkel J, Perlman JM, et al. Part 13: Neonatal Resuscitation 2015 American Heart Association Guidelines Update for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care. *Circulation.* 2015;132(suppl 2):S543–61.
 22. Saavedra F, Vargas M. Influencia de la altura sobre la saturacion de oxigeno en recién nacidos sanos. *Rev Médica Organo Científico Of del Col Médico Dep Cochabamba.* 2016;23(1):14–8.
 23. Bosch MM, Merz TM, Barthelmes D, Petrig BL, Truffer F, Bloch KE, et al. New insights into ocular blood flow at very high altitudes. *J Appl Physiol.* 2009;106:454–60.
 24. Gonzales GF, Salirrosas A. Arterial oxygen saturation in healthy newborns delivered at term in Cerro de Pasco (4340 m) and Lima (150 m). *Reprod Biol Endocrinol.* 2005;3(46):1–8.
 25. Hillman N, Kallapur SG, Jobe A. Physiology of Transition from intrauterine to Extrauterine Life. *Clin Perinatol.* 2012;39(4):769–83.
 26. Moore SE, Walsh JK, Keenan WJ, Farrell MK, Wolske SK, Kramer M. Periodic Breathing in Infants With Histories of Prolonged Apnea. 2015;
 27. Hartley LH, Vogel JA. Reduction at altitude of maximal exercise with heart rate and its reversal atropine. 2019;36(3).
 28. Saugstad OEJP (1998) 157 (Suppl 1): S <https://doi.org/10.1007/PL0001428>. No

- Title. Saugstad, O Eur J Pediatr 157 (Suppl 1) S11
<https://doi.org/101007/PL00014284>.
29. C. K. Methods of resuscitation in low-Apgar-score newborn infants- a national survey. 1992;
 30. HBB. Guide for Implementation of Helping Babies Breathe. 211AD.
 31. Sharma D. Golden hour of neonatal life: Need of the hour. Matern Heal Neonatol Perinatol. Maternal Health, Neonatology and Perinatology; 2017;3(16):1–21.
 32. McNanley, T., & Woods J(. Placental physiology. In T. Glob Libr women’s Med. 2008;
 33. Fraser. Newborn Adaptation to Extrauterine Life and Newborn Assessment. 2014;
 34. Catling DC, Glein CR, Zahnle KJ, Mckay CP. Why O2 Is Required by Complex Life on Habitable Planets and the Concept of Planetary “Oxygenation Time.” Astrobiology. 2005;5(3):415–38.
 35. Wilson DF. Regulation of cellular metabolism : programming and maintaining metabolic homeostasis. 2019;1583–8.
 36. Melzer K. Carbohydrate and fat utilization during rest and physical activity. E Spen Eur E J Clin Nutr Metab. Elsevier Ltd; 2011;6:e45–52.
 37. Bonora M, Patergnani S, Rimessi A, Marchi E De, Suski JM, Bononi A, et al. ATP synthesis and storage. 2012;343–57.
 38. Berg JM, Tymoczko JL, Gatto GJ, Stryer L. Biochemistry. Eighth Edi. Parker KA, editor. New York: W H Freeman & Company; 2015.

39. Longeville S, Stingaciu L. Hemoglobin diffusion and the dynamics of oxygen capture by red blood cells. *Sci Rep.* 2017;7(10448):1–10.
40. Dun J, Mythen M, Grocott M. Physiology of oxygen transport. 2016;16(10):341–8.
41. Carreau A, Hafny-rahbi B El, Matejuk A, Grillon C, Kieda C. Why is the partial oxygen pressure of human tissues a crucial parameter ? Small molecules and hypoxia Imaging of hypoxic areas. 2011;15(6):1239–53.
42. Coppel J, Hennis P, Gilbert-kawai E, Grocott MPW. The physiological effects of hypobaric hypoxia versus normobaric hypoxia : a systematic review of crossover trials. 2015;
43. Collins JA, Aram R, John G, Howard L, O’Driscoll R. Relating oxygen partial pressure, saturation and content: the haemoglobin–oxygen dissociation curve. *Breathe (Sheff).* 2015;11(3):194–201.
44. Mower WR, Sachs C, Nicklin EL, Baraff LJ. Pulse Oximetry as a Fifth Pediatric Vital Sign. *Pediatrics.* 1997;99:681–6.
45. Fraser D. Blood Gas Analysis. In: Fraser D, editor. *Acute Respiratory Care of the Neonate.* 3rd Editio. 2016. p. 123–36.
46. Sood P, Paul G, Puri S. Interpretation of arterial blood gas. *Indian J Crit Care Med.* 2010;14(2):57–64.
47. Tan RRGB, Mulder EEM, Lopriore E, Pas AB, Merritt TA. Monitoring oxygenation and gas exchange in neonatal intensive care units: current practice in the netherlands. *Front Pediatr.* 2015;3(94):1–5.
48. Niknafs P, Norouzi E, Bijari BB, Baneshi MR. Can we Replace Arterial Blood

- Gas Analysis by Pulse Oximetry in Neonates with Respiratory Distress Syndrome , who are Treated According to INSURE Protocol? Iran J Med Sci. 2015;40(3):264–7.
49. Seifi S, Khatony A, Moradi G, Abdi A, Najafi F. Accuracy of pulse oximetry in detection of oxygen saturation in patients admitted to the intensive care unit of heart surgery: Comparison of finger, toe, forehead and earlobe probes. BMC Nurs. BMC Nursing; 2018;17(15):1–7.
50. Phattraprayoon N, Sardesai S, Durand M, Ramanathan R. Accuracy of pulse oximeter readings from probe placement on newborn wrist and ankle. Nature Publishing Group; 2011;32(4):276–80.
51. Pamela Shiao S-YK, Ou C-N, Johnson Professor LA. VALIDATION OF OXYGEN SATURATION MONITORING IN NEONATES Background and Significance. Am J Crit Care. 2007;16(2):168–78.
52. Jyotirmoy Das, Amit Aggarwal and NKA. Pulse oximeter accuracy and precision at five different sensor locations in infants and children with cyanotic heart disease. Indian J Anaesth 2010 Nov-Dec; 54(6) 531–534 doi 104103/0019-504972642.
53. Kamlin COF, Dawson JA, O'Donnell CPF, Morley CJ, Donath SM, Sekhon J, et al. Accuracy of Pulse Oximetry Measurement of Heart Rate of Newborn Infants in the Delivery Room. J Pediatr. 2008;152(6):756–60.
54. J. B. The transition to extrauterine life and disorders of transition. Clin Perinatol 1998; 25271-87.
55. FDA. Pulse Oximeters -Premarket Notification Submissions [510(k)s]: Guidance

for Industry and Food and Drug Administration Staff [Internet]. Vol. 510. 2013.

Available from:

<https://www.fda.gov/downloads/MedicalDevices/DeviceRegulationandGuidance/GuidanceDocuments/UCM081352.pdf>

56. Luks AM, Swenson ER. Pulse Oximetry at High Altitude. 2011;12(2):109–19.
57. Hanning CD, Alexander-Williams, Jm. Pulse oximetry: a practical review. Br Med J. 1995;311(August):367–70.
58. Noguero Casado M. Pulsioximetria. Fistera. 2011;1–4.
59. Das JC. Pulse Oximetry: The Fifth Vital Sign of Neonates. J Bangladesh Coll Physicians Surg. 2011;29(3):158–62.
60. Lexus. Diccionario enciclopédico color. 1997. Ediciones Trebol, S.L.Barcelona.
61. Paralikal SJ, Paralikal JH. High-altitude medicine. Indian J Occup Environ Med. 2010;14(1):1–12.
62. Tempest S, Starkey K, Ennew C. In the Death Zone : A study of limits in the 1996 Mount Everest disaster. 2007;60(7):1039–64.
63. Li Y, Wu D, Boyko AR, Wang G, Wu S, Irwin DM, et al. Population Variation Revealed High-Altitude Adaptation of Tibetan Mastiffs. 2014;31(5):1200–5.
64. Davenport PW, Leupoldt A Von, Wheeler-hegland K, Colrain IM. Frontiers in Respiratory Physiology – grand challenge. 2010;1(October):1–2.
65. Murray AJ, Horscroft JA. Mitochondrial function at extreme high altitude. 2016;5:1137–49.
66. Langley R, Cunningham S, Liverani ME, Cunningham S. How Should Oxygen

- Supplementation Be Guided by Pulse Oximetry in Children: Do we Know the Level? *Front Pediatr.* 2017;4(138):1–7.
67. Subhi R, Smith K, Duke T. When should oxygen be given to children at high altitude? A systematic review to define altitude- specific hypoxaemia. *Arch Dis Child.* 2009;94:6–10.
68. Asakura H. Fetal and Neonatal Thermoregulation. *J Nippon Med Sch.* 2004;71(6):360–70.
69. Polin, R.; Fox, W.; Abman, S. E. Power, G.; Blood, A. Fetal and Neonatal Physiology. 615-24, *Thermoregul Philadelphia Elsevier*; 2011;(Power, G.; Blood, A. Fetal and Neonatal Physiology. In: Polin,).
70. Asakura H. Fetal and Neonatal Thermoregulation. *J Nippon Med Sch.* 2005;71(6):360–70.
71. Cinar N, Alvur TM. Neonatal thermoregulation. *J Neonatal Nurs.* 2006;12(2):69–74.
72. Kumar V, Shearer J, Darmstadt G. Neonatal Hypothermia in Low Resource Settings: a review. *J Perinatol [Internet]. Nature Publishing Group*; 2009;29:401–12. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/jp.2008.233>
73. WHO. *Thermal Control of the Newborn: a practical guide.* Geneva; 1996.
74. Demissie BW, Abera BB, Chichiabellu TY, Astawesegn FH. Neonatal hypothermia and associated factors among neonates admitted to neonatal intensive care unit of public hospitals in Addis Ababa, Ethiopia. *BMC Pediatr [Internet]. BMC Pediatrics*; 2018;18(263):1–10. Available from: <http://www.embase.com/search/results?subaction=viewrecord&from=export&id>

=L623324828%0Ahttp://dx.doi.org/10.1186/s12887-018-1238-0

75. INEI. Censos Nacionales 2017: XII de Población y VII de Vivienda. Lima; 2018.
76. Apaza H. Actividades económicas en Juliaca. *Rev Investig K'uskiykyu*. 2016;1(1):185.
77. REDES. Plan Operativo Institucional. *Aerosp Med*. Juliaca; 2012;1973 Jul;4:146.
78. Choquehuanca A. Distritalización: una solución para el desarrollo de Juliaca. *Espac y Desarro*. 2014;26:143–64.
79. West JB. Prediction of barometric pressures at high altitudes with the use of model atmospheres. *J Appl Physiol*. 1996;81(4):1850–4.
80. MIDÉ. Air Pressure at Altitude Calculator. 2018.
81. Martínez J, González DA, Duquia RP, Bonamigo RR, Bastos JL. Sampling: how to select participants in my research study? *An Bras Dermatol*. 2016;91(3):326–30.
82. Elfil M, Negida A. Sampling methods in Clinical Research; an Educational Review. 2017;5(1):1–3.
83. Mathieson BK. “ Happy Trials to You ” Making Sense of Biostatistics : Types of Nonprobability Sampling. *J Clin Reasearch Best Pract*. 2014;10(10):1–2.
84. Suresh K, Thomas S V, Suresh G. Design, data analysis and sampling techniques for clinical research. *Ann Indian Acad Neurol*. 2011;14:287–90.
85. Capurro H, Konichezky S, Fonseca D, Caldeyro-Barcia R. A simplified method for diagnosis of gestational age in the newborn infant. *J Pediatr*. 1978;93(1):120–2.

86. Klein A. Mecanismos de termorregulación del RN. 2017.
87. Apex. Pulsioxímetro de mano: Manual de Instrucciones. Hamburg Germany: Beijing Choice Electronic Technology Co., Ltd.; 2014. p. 279.
88. Butt K, Fredericton NB, Ken MD, Vancouver BC. Determination of Gestational Age by Ultrasound. J Obstet Gynaecol Canada. Elsevier Masson SAS; 2014;36(2):171–81.
89. Bangdiwala SI. Regression: simple linear. Int J Inj Contr Saf Promot. Taylor & Francis; 2018;25(1):113–5.
90. Montilla JM. Robustez de las pruebas T en comparación de medias, ante violación de supuestos de normalidad y homocedasticidad. Rev Cienc e Ing. 2010;31(2):101–8.
91. Lowry R. VassarStats: Website for Statistical Computation. Vassar College, NY USA. 2019.
92. Smit M, Dawson JA, Ganzeboom A, Hooper SB, Van Roosmalen J, Te Pas AB. Pulse oximetry in newborns with delayed cord clamping and immediate skin-to-skin contact. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed. 2014;99(4).
93. Salas AA. Pulse oximetry values in healthy term newborns at high altitude. Ann Trop Paediatr. 2008;28(4):275–8.
94. Bergqvist G. Oxygen Saturation in Newborns at Altitude: The Pediatric Forum. In: AJDC. New York; 1992. p. 1134.
95. Dietz TE. An Altitude Tutorial. International Society for Mountain Medicine. 2006.

96. Luks AM, Swenson ER, Bärtsch P. Acute high-altitude sickness. *Eur Respir Rev.* 2017;26:1–14.
97. Bakr AF, Habib HS. Normal Values of Pulse Oximetry in Newborns at High Altitude. *J Trop Pediatr.* 2005;51(3):170–3.
98. Thilo EH, Park-Moore B, Berman ER, Carson BS. Oxygen Saturation by Pulse Oximetry in Healthy Infants at an Altitude of 1610 m (5280 ft): What is Normal? *AJDC.* 1991;145:1137–40.
99. Ravert P, Detwiler TL, Dickinson JK. Mean Oxygen Saturation in Well Neonates at Altitudes Between 4498 and 8150 Feet. *Adv Neonatal Care.* 2011;11(6):412–7.
100. Nicholas R, Yaron M, Reeves J. Oxygen Saturation In Children Living At Moderate Altitude. *J Am Board Fam Pr.* 1993;6:452–6.
101. Peacock AJ. Oxygen at high altitude. *ABC Oxyg.* 1998;317:1063–6.
102. Brugger H, Pun M, Swenson ER, Falk M. Editorial Research in High-Altitude and Mountain Emergency Medicine: Is Methodology Key? *High Alt Med Biol.* 2018;19(1):19–21.
103. Grocott M, Montgomery H, Vercueil A. High-altitude physiology and pathophysiology : implications and relevance for intensive care medicine. *Crit Care.* 2007;11(1):1–5.
104. Biro GP. From the Atmosphere to the Mitochondrion: The Oxygen Cascade. In: *Hemoglobin-Based Oxygen Carriers as Red Cell Substitutes and Oxygen Therapeutics.* Berlin: Kim H., Greenburg A. (eds). Springer, Berlin, Heidelberg; 2013. p. 27–53.
105. Ding XZ, Liang CN, Guo X, Wu XY, Wang HB, Johnson KA, et al.

- Physiological insight into the high-altitude adaptations in domesticated yaks (*Bos grunniens*) along the Qinghai-Tibetan Plateau altitudinal gradient. 2014;162:233–9.
106. Mathew B, Lakshminrusimha S. Persistent Pulmonary Hypertension in the Newborn. 2017;
 107. Kang C, Zhao E, Zhou Y, Zhao H. Dynamic Changes of Pulmonary Arterial Pressure and Ductus Arteriosus in Human Newborns From Birth to 72 Hours of Age. 2016;95(3):1–6.
 108. Niermeyer S, Shatter EM, Thilo E. Arterial oxygenation and pulmonary arterial pressure in healthy neonates and infants at high altitude. :3–8.
 109. Morgan MC, Maina B, Waiyego M, Mutinda C, Aluvaala J, Maina M, et al. Oxygen saturation ranges for healthy newborns within 24 hours at 1800 m. 2017;2016–8.
 110. Reshetnikova OS, Burton GJ, Milovanov AP. Effects of hypobaric hypoxia on the fetoplacental unit: The morphometric diffusing capacity of the villous membrane at high altitude. *Am J Obstet Gynecol*. Mosby-Year Book, Inc.; 1994;171(6):1560–5.
 111. Niermeyer S. Cardiopulmonary Transition in the High Altitude Infant. 2003;4(2).
 112. Desmond MM, Rudolph AJ, Phitaksphraiwan P. The Transitional Care Nursery: A Mechanism for Preventive Medicine in the Newborn. *Pediatr Clin North Am*. Elsevier Masson SAS; 1966;13(3):651–68.
 113. Gautam S, Eske GS, Agrawal A. Comparison of oxygen saturation range on the basis of mode of delivery in term new-borns: an observational study. *Int J*

Contemp Pediatr. 2018;5(3):847–50.

114. Habib HS. Oxygen saturation trends in the first hour of life in healthy full-term neonates born at moderate altitude. *Pakistan J Med Sci.* 2013;29(4):903–6.
115. Kamlin COF, O'Donnell CPF, Davis PG, Morley CJ. Oxygen saturation in healthy infants immediately after birth. *J Pediatr.* 2006;148(5):585–9.
116. Tiwari S, Tiwari S, Nangia S, Saili A. Oxygen Saturation Profile in Healthy Term Neonates in the Immediate Post Natal Period. *Int J Clin Pediatr.* 2013;2(1):19–23.
117. Lu Y, Wang C, Lee C, Hwang K, Hua Y, Yuh Y, et al. Reevaluating Reference Ranges of Oxygen Saturation for Healthy Full-term Neonates Using Pulse Oximetry. *Pediatr Neonatol.* Elsevier Taiwan LLC; 2014;55(6):459–65.
118. Zubarioglu U, Uslu S, Can E, Bülbül A, Nuhoglu A. Oxygen Saturation Levels during the First Minutes of Life in Healthy Term Neonates. *Tohoku J Exp Med.* 2011;224:273–9.
119. Dawson JA, Kamlin COF, Vento M, Wong C, Cole TJ, Donath SM, et al. Defining the Reference Range for Oxygen Saturation for Infants After Birth. *Pediatr* Vol 125, Number 6, June 2010. 2010;125(6):e1340.
120. House JT, Gravenstein N, Jt H, Rr S, Continuous GN. IN THE OELIVERY ROOM BY PULSE OXIMETRY Raymond R . Schultetus , MD , PhD ,. 1987;11–2.
121. Rao R. Pulse oximetry in asphyxiated newborns in the delivery room. 2015;(February):22–6.
122. Porter K, Goldhamer R, Mankad A, Peevy K, Gaddy J, Spinnato J. Evaluation of

- arterial oxygen saturation in pregnant patients and their newborns. *Obstet Gynecol.* 1988;71(3):354–7.
123. Dimich I, Pal P, Mo S, Mo AA. Clinical Investigation Evaluation of oxygen saturation monitoring by pulse oximetry in neonates in the delivery system. 1991;3–6.
124. Verklan MT, Padhye NS, Turner NC. Oxygen Saturation Levels in the First 30 Minutes of Life OF THE. 2008;231–6.
125. Khriesat WM, Amarin ZO, Kassab M, Shkour M, Maghyreh MAL. Oxygen Saturation Immediately after Birth in Healthy Full - term Neonates Born below Sea Level. *J Clin Neonatol* 2016;5259-61. 2016;5:259–61.

ANEXOS

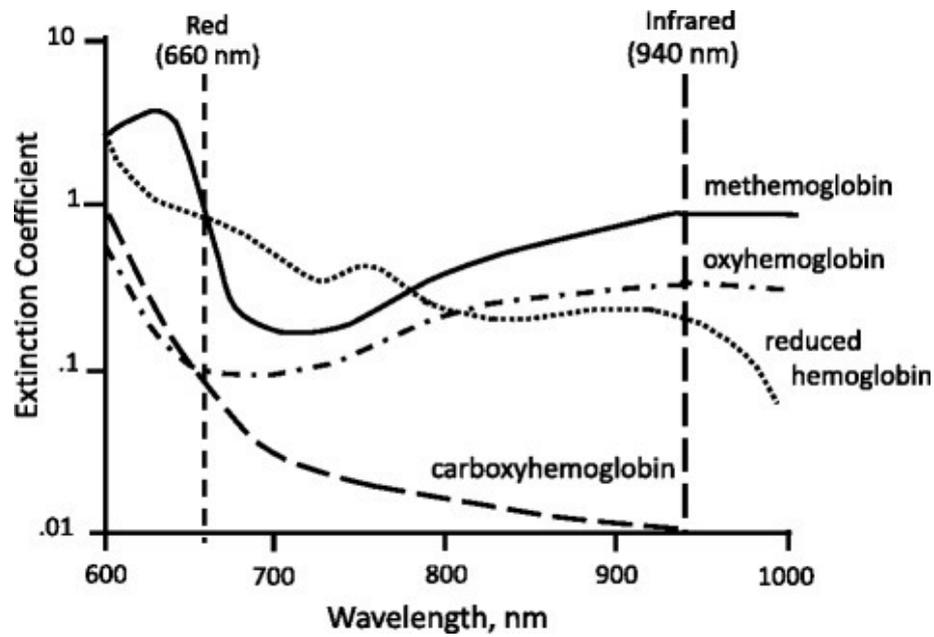
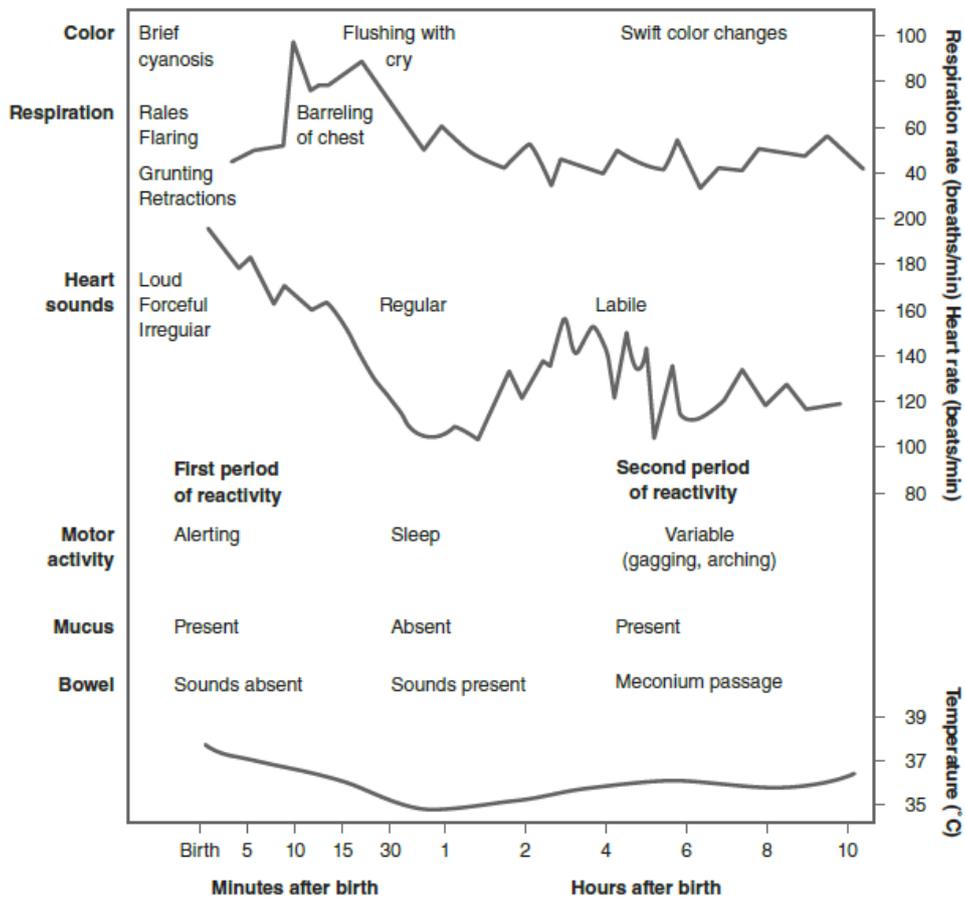


Figura 4. Espectros de absorción de luz transmitida de cuatro especies de hemoglobina: oxihemoglobina, hemoglobina reducida, carboxihemoglobina y metahemoglobina ⁽²⁰⁾

Figura 5. Período de transición neonatal.(112)



Reproduced from Desmond, M. M., Rudolph, A. J., Phitaksphraiwan, P., et al. (1966). The transitional care nursery: a mechanism for preventive medicine in the newborn. *Pediatric Clin North Am*, 13, 651–68, Copyright Elsevier 1966.

Recuadro 1: Períodos de transición neonatal inmediata

<p>Primera etapa (0–30 minutos): primer período de reactividad.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aumento rápido de la frecuencia cardíaca en un rango de 160-180 latidos / min (0-15 min) • Disminución gradual de la frecuencia cardíaca durante 30 minutos hasta la frecuencia de referencia de 100 a 120 latidos / min • Respiraciones irregulares (primeros 15 minutos), frecuencia respiratoria máxima de 60 a 80 respiraciones / min • Rales presentes en la auscultación • Se pueden observar gruñidos, abocardamientos y retracciones, así como breves períodos de apnea (menos de 10 segundos de duración) • Plétoxa: Sobrancia de sangre u otro líquido en el organismo a una parte de él, plenitud de sangre ó al estado resultante de la cantidad de glóbulos rojos sobre su cifra normal. • Alerta con reacciones de sobresalto espontáneas, movimientos gustativos, temblores, llanto y movimientos de la cabeza de lado a lado • Disminución de la temperatura corporal • Aumento generalizado de la actividad motora, con aumento del tono muscular • El intestino suena ausente y el abdomen distendido • Producción mínima de saliva
<p>Segunda etapa (de 30 minutos a 2 horas): período de respuesta disminuida.</p> <ul style="list-style-type: none"> • El recién nacido duerme o tiene una disminución marcada en la actividad motora • El tono muscular vuelve a la normalidad, pero la capacidad de respuesta disminuye • Respiración rápida, superficial y sincrónica (60 respiraciones / min) sin disnea • El color del recién nacido es pálido pero rosado, con excelente perfusión y relleno capilar • Suele haber un aumento en el diámetro anterior-posterior (formación de barril) del tórax • La frecuencia cardíaca disminuye a 100–120 latidos / min o menos; El recién nacido es relativamente menos sensible a los estímulos externos • El abdomen se redondea y los sonidos intestinales son audibles; Las ondas peristálticas pueden ser visibles y el meconio puede pasar • Falta moco oral • Las sacudidas y contracciones espontáneas son comunes, pero el recién nacido vuelve a descansar rápidamente

Tercera etapa (2–8 horas): Segundo período de reactividad.

- Retorno y posible exageración de la capacidad de respuesta
- Frecuencia cardíaca lábil: períodos de taquicardia
- Breves periodos de respiraciones rápidas
- Cambios bruscos de tono, color y sonidos intestinales
- Posible prominencia del moco oral; Las arcadas y los vómitos no son inusuales
- Posible eliminación de meconio del intestino
- Mayor capacidad de respuesta a estímulos endógenos y exógenos
- Señales de hambre recién nacidas; Períodos tranquilos, de alerta cuando se establece el vínculo materno

Modified from Hernandez, J. A., & Thilo, E. (2005). Routine care of the full-term newborn. In L. C. Osborn, T. G. DeWitt, L. R. First, & J. Zenel (Eds.), (2004). Pediatrics. St. Louis, MO: Mosby. Copyright 2005, with permission from Elsevier.

Figura 6. Descripción clásica de la transición neonatal

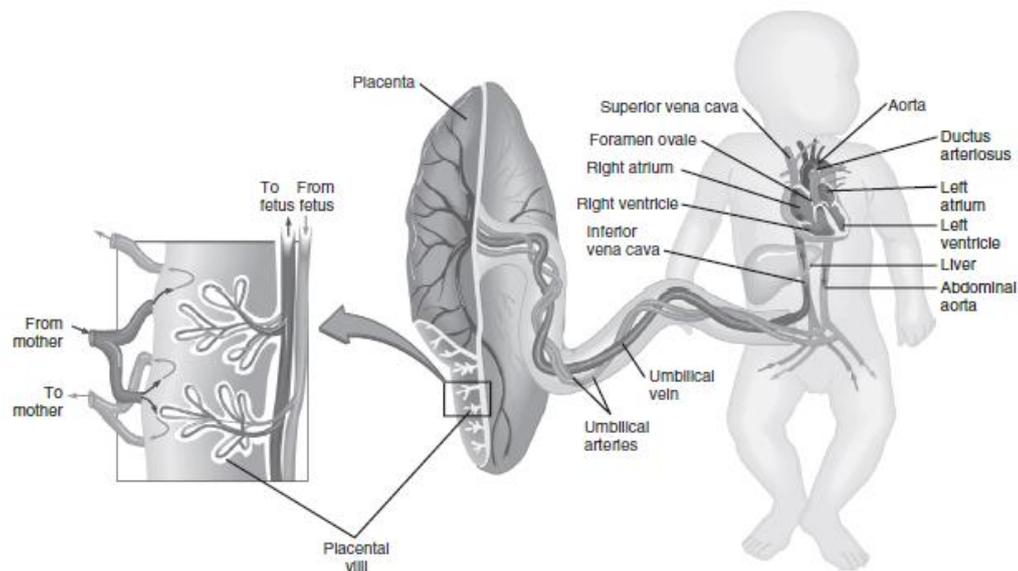


Tabla 8. Saturación periférica pre-ductal de oxígeno (SpO₂) después del nacimiento recomendado por la guía de reanimación cardiopulmonar neonatal.⁽²¹⁾

Tiempo después del nacimiento (Minutos)	Saturación (SpO ₂) (%)
1	60 - 65%
2	65 - 70%
3	70 - 75%
4	75 - 80%
5	80 - 85%
10	85 - 95%

Tabla 9. Total de Partos en el HCMM durante los años 2017 y 2018

Mes (2018)	Año 2017			Año 2018		
	Vaginal	Cesárea	Total	Vaginal	Cesárea	Total
Enero	162	105	267	189	118	307
Febrero	153	109	262	145	110	255
Marzo	150	117	267	181	105	286
Abril	154	96	250	183	110	293
Mayo	131	99	230	150	109	259
Junio	136	96	232	123	113	236
Julio	154	132	286	155	101	256
Agosto	149	123	272	150	132	282
Setiembre	142	94	236	165	135	300
Octubre	180	108	288	162	111	273
Noviembre	139	122	261	139*	122*	261
Diciembre	181	117	298	181*	117*	298
Total anual	1831	1318	3149	1923	1383	3306
Promedio mensual	152.6	109.8	262.4	160.3	115.3	275.5
Desv. Est. Mensual	15.7	12.4	22.2	20.3	10.2	22.2
C.V., %	10.3	11.3	8.5	12.7	8.9	8.0

* Datos del año 2018, por no contar con información a la fecha de obtención.

Datos obtenidos en la investigación:

HOSPITAL CARLOS MONJE MEDRANO DE JULIACA-PUNO-PERÚ (Altitud 3824 m)														
Tabla A4. Saturación de oxígeno pre-ductal (SpO ₂ , %) de neonatos a término sanos, parto vaginal, durante los primeros 10 minutos de vida.														
Edad gestacional: 37 - 38 semanas + 6 días (varones).														
Observ.	Ficha		Saturación de oxígeno (SpO ₂ , %) registrada con oxímetro de pulso neonatal ChoiceMed MD300M.										Temp. Sala parto, °C	Peso g
	N°		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	6		53	64	66	70	74	79	81	85	87	91	22	3335
2	7		51	53	59	59	63	69	75	72	87	87	21	2980
3	17				60	64	70	72	76	82	84	82	23	3110
4	18			52	57	58	70	74	78	81	85	87	22	2750
5	25				61	63	64	67	68	73	76	81	23	3250
6	43		43	44	47	52	57	63	69	74	77	81	24	2610
7	50				75	78	81	85	86	87	90	90	23	3270
Promedio			49.0	53.3	60.7	63.4	68.4	72.7	76.1	79.1	83.7	85.6	22.6	3044
Desv. Est.			5.3	8.2	8.5	8.5	7.9	7.5	6.4	6.1	5.3	4.2	1.0	277
CV, %			10.8	15.4	14.1	13.4	11.5	10.3	8.4	7.7	6.3	5.0	4.3	9.1
Edad gestacional: 37 - 38 semanas + 6 días (mujeres).														
Observ.	Ficha		Saturación de oxígeno (SpO ₂ , %) registrada con oxímetro de pulso neonatal ChoiceMed MD300M.										Temp. Sala parto, °C	Peso g
	N°		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	1			43	44	51	61	70	71	76	60	75	22	3135
2	5		45	54	60	62	65	70	76	81	84	89	25	3346
3	8				46	49	52	58	62	64	68	69	21	2800
4	10			51	53	55	60	64	68	73	77	82	21	2850
5	20		47	49	51	62	65	69	76	79	88	89	21	2900
6	21				61	62	65	68	70	77	85	95	20	2710
7	24				47	49	53	61	66	73	80	85	20	2545
8	26			46	50	55	58	64	70	75	81	86	22	3050
9	27				59	61	66	68	71	76	83	84	22	2900
10	29			49	55	61	63	65	71	76	81	83	21	2840
11	35		47	49	50	58	61	67	71	77	81	85	21	2930
12	39					62	64	69	73	78	82	86	22	2900
13	40			39	46	51	54	64	72	77	87	92	21	3055

Tabla 10. Saturación de oxígeno en diferentes minutos en altitudes bajas:

N°	Oxímetro de pulso utilizado para las mediciones	Saturación SpO ₂ , %			Lugar del estudio Ciudad (País)	Altitud (m)	Presión, mm Hg		Fuente
		1	5	10			Aire	PO ₂	
1	Masimo rad 5	63.7	82.9	95.7	Jabalpur (India)	412	724.0	152.0	Gautam & Agrawal (2015) (17)
2	Masimo rad 5	70.0	89.0	98.0	Jabalpur (India)	403	724.0	152.0	Gautam et al. (2018) (113)
3	Digioxo PO920	68.0	73.0	94.0	Taif (Saudi Arabia)	1640	625.0	131.3	Habib (2013) (114)
4	OVL-3100	65.9	87.0	95.0	Tokyo (Japan)	40	756.0	158.8	Tagushi et al. (2017) (19)
5	Masimo rad 5	63.0	90.0	93.9	Melbourne (Australia)	31	757.0	159.0	Kamlin et al(2006) (115)
6	LNOP NeoPt-L	74.5	87.0	96.9	Alberta (Canada)	1111	666.0	139.9	Rabi et al. (2006) (16)
7	Masimo rad 5	70.1	87.6	92.8	New Delhi (India)	216	741.0	155.6	Tiwari et al. (2013) (116)
8	Masimo rad 5	67.0	94.0	99.0	Taipei (Taiwan)	346	729.0	153.1	Lu et al. (2014) (117)
9	Masimo Radical	72.4	84.3	91.2	Istanbul (Turkey)	40	756.0	158.8	Zubarioglu(118)
10	LNOP Neo Masimo	68.0	92.0	97.0	Melbourne, Australia	31	757.0	159.0	Dawson et al. (2010) (119)
11	Nellcor N-100 (Hayward, CA)	78.0	83.9	90.1	Centro de Salud de la Universidad de Florida, Gainesville.	54	755.0	158.5	House et al.(120)
12	Novametrix 515A®	69.3	89.3	93.7	Nueva Delhi, India	216	741	155,6	Rao et al. (121)
13	Masimo RAD- 8	77.6	84.4	89.4	Alabama, EEUU	152	747	152,67	Porter et al. (122)
14	Ohmeda Biox 3700	71.9	83.3	90.7	New York (USA)	10	759	159,39	Dimich et al. (123)
15	Hewlett Packard Viridia	85.4	94.9	98.4	Houston (USA)	13	759	159.4	Verklan et al. (124)
16	Digioxo PO920	66.1	85.0	91.0	Irbid (Jordan)	-200	775.2	162.8	Khriesat et al. (2016) (125)
	Promedio	70.7	86.7	94.1					
	Desv. Estándar	5.9	5.2	3.0					
	Coef. Variabil., %	8.3	6.0	3.2					

Tabla 11. Análisis de varianza de saturación de oxígeno pre-ductal (SpO₂) de los primeros 10 minutos de vida de recién nacidos del Hospital Carlos Monje Medrano de Juliaca (3824 m de altitud).

Fuente de variación	SC	GL	CM	Fc	P _{valor}
Entre grupos	35192.7965	4	8798.1991	179.36	<.0001
Error	12803.2262	261	49.0545		
Total	44791.6541	265			

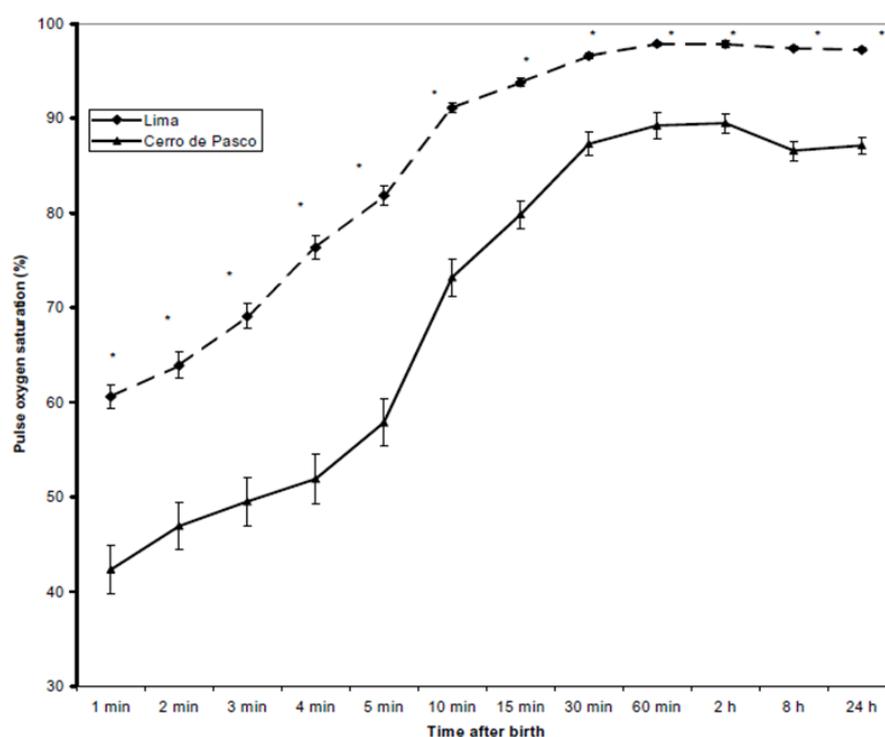


Figura 7. Saturación media de oxígeno en el pulso en recién nacidos a las 40–41 semanas de edad gestacional al nivel del mar ya gran altura (4340 m) Gonzáles y Salirrosas (2005).

Saturación media de oxígeno en el pulso en recién nacidos a las 40–41 semanas de edad gestacional al nivel del mar ya gran altitud (4340) metro). Los datos son media ± SEM. Valor F = 2146.97, P <0.0001 (prueba ANOVA de dos vías). * P <0.001 con respecto a los valores al nivel del mar.

Tabla 12. Curva de SPO2 cuantificados con oximetría de pulso, al minuto 1, 5 y 10; comparados a diferentes altitudes

Lugar	Altitud	SPO2 minuto 1	SPO2 minuto 5	SPO2 minuto 10
Jordán- Irbid	-200	66.10%	85.00%	91.00%
Netherlands	0	68.00%	91.00%	99%
Arabia Saudita	1640	68%	73%	94%
Juliaca Perú	3824	48.90%	66.30%	85.20%
Cerro de Pasco	4340	42.32%	58.76%	79.31%

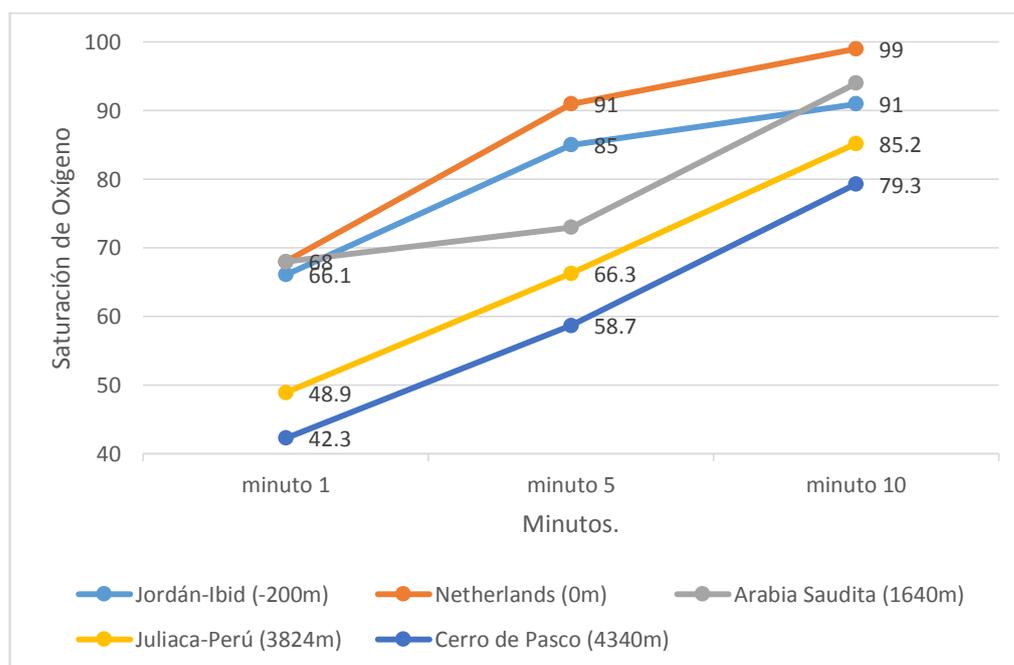


Figura 8. Curva de SPO2 cuantificados con oximetría de pulso, al minuto 1, 5 y 10; comparados a diferentes altitudes

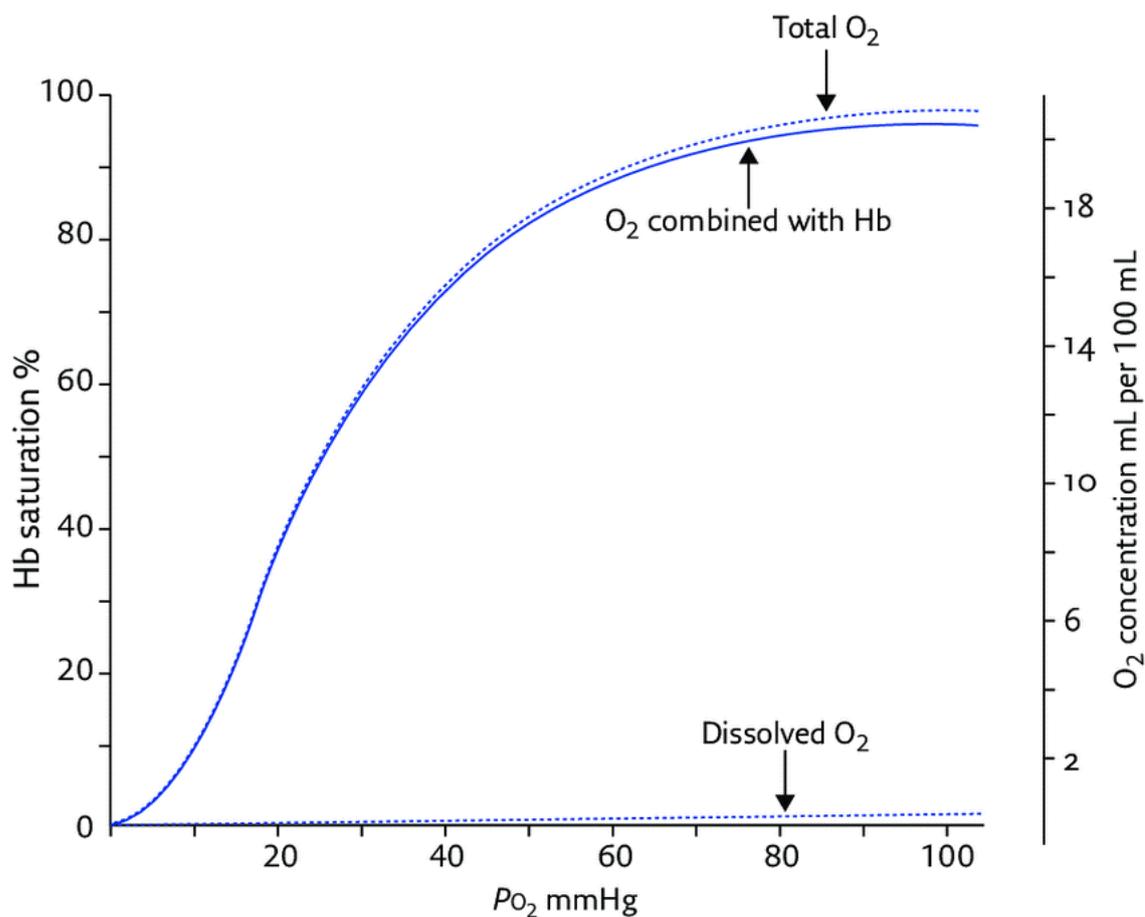


Figura 9. Curva de disociación de oxígeno en un sujeto teóricamente sano con una concentración normal de hemoglobina (Hb) en sangre de $15 \text{ g}\cdot\text{dL}^{-1}$. El eje expresa el % de saturación o contenido de oxígeno (concentración); esta última muestra la muy pequeña cantidad de oxígeno disuelto en la solución.⁽⁴³⁾