



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA

VALIDACIÓN DE 5 DIFERENTES PULSIOXIMETROS

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

ESPECIALISTA EN MEDICINA (MEDICINA INTERNA)

PRESENTA:

SALAZAR NANDO, AYAX GILBERTO

ASESOR: LOZANO NUEVO, JOSÉ JUAN
HUERTA RAMÍREZ, SAÚL

CIUDAD DE MÉXICO.

2017



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

““VALIDACION DE 5 DIFERENTES PULSOXIMETROS””
INDICE

1. RESUMEN	2
2. SUMMARY	3
3. INTRODUCCION	4
4. ¿Qué ES LA PULSOXIMETRIA?	7
5. PRINCIPIOS	10
6. ESTANDARES DE CALIDAD DE PULSIOXIMETROS	14
7. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
8. JUSTIFICACION	16
9. PREGUNTA DE INVESTIGACION	18
10. HIPOTESIS DE TRABAJO	18
11. HIPOTESIS NULA	18
12. HIPOTESIS ALTERNA	18
13. OBJETIVO GENERAL	19
14. OBJETIVOS ESPECIFICOS	19
15. TIPO DE ESTUDIO	19
16. TAMAÑO DE LA MUESTRA	20
17. MATERIAL Y METODOS	21
18. METODOLOGIA	22
19. ANALISIS ESTADISTICO	25
20. RESULTADOS	26
21. DISCUSION	31
22. CONFLICTO DE INTERES	32
23. CONCLUSIONES	32
24. VARIABLES	33
25. CRONOGRAMA	34
26. BIBLIOGRAFIA	35
27. ANEXOS	37

RESUMEN

ANTECEDENTES: La pulsoximetría estima la saturación arterial de oxígeno de forma no invasiva mediante 2 emisores de luz y un receptor, colocados de manera externa a través de un lecho capilar pulsátil, siendo el principio fundamental la de medir la absorción de un haz de luz infrarroja por la oxihemoglobina, teniendo una exactitud entre 97% a 98% en un rango de saturación del 70% a 100%.

OBJETIVO: Determinar la sensibilidad, especificidad y correlación de 5 diferentes tipos de oxímetros de pulso comparándolos con el estándar de oro (gasometría de línea arterial).

MATERIAL Y METODOS: Estudio transversal analítico, observacional y retrospectivo, con hombres y mujeres mayores de 18 años que contaran con línea arterial para toma de gasometría y simultáneamente medir la saturación de oxígeno por medio de 5 oxímetros de pulso. Se realizó estadística descriptiva para las variables sociodemográficas, variables numéricas y variables nominales. Debido a la distribución de datos utilizamos la prueba de Friedman (pruebas no paramétrica), se hizo comparación de medianas de los grupos de oxímetros entre sí; empleamos el coeficiente de correlación de Pearson, contra la prueba de referencia (gasometría de línea arterial), cada oxímetro se sometió a un análisis multivariado; además calculamos razones de verosimilitud: sensibilidad y especificidad comparando cada pulsoxímetro con el estándar de oro.

RESULTADOS: Medianas e intervalos de confianza al 95% de los 5 pulsoxímetros comparados entre sí mediante test de Friedman con similitud en las mediciones: oxímetro 1=94.41 (+/- 5.59); oxímetro 2=90.20 (+/- 9.8); oxímetro 3=89.66 (+/- 10.34); oxímetro 4=89.52 (+/- 10.48); oxímetro 5=90.39 (+/- 9.61), $p=0.08$. Todos los oxímetros se correlacionaron de manera positiva contra el estándar de oro (Prueba de Pearson). Oxímetro 1 ($r=0.90$); oxímetro 2 ($r=0.64$), influenciado por el no registro del aparato en 1 de 101 pacientes; oxímetro 3 ($r=0.57$), influenciado por el no registro del aparato en 2 de 101 pacientes; oxímetro 4 ($r=0.84$); y oxímetro 5 ($r=0.89$), con $p<0.001$ para todos los oxímetros; calculamos área bajo la curva ROC (para su cálculo eliminamos los valores no registrados de los oxímetros 2 y 3): oxímetro 1 (0.91), oxímetro 2 (0.89), oxímetro 3 (0.87), oxímetro 4 (0.87), oxímetro 5 (0.90).

CONCLUSIONES: No hubo diferencias estadísticamente significativas comparando los oxímetros entre sí, las pruebas de correlación y de sensibilidad-especificidad muestran valores más altos del oxímetro número 1, pero sin diferencias significativas entre el estándar de oro y los otros 4 dispositivos, error alfa permisible ($p<0.001$).

SUMMARY

BACKGROUND: Pulse oximeter estimates arterial oxygen saturation in a non-invasive manner by means of 2 light emitters and a receiver, externally placed through a pulsatile capillary bed, the fundamental principle being to measure the absorption of an infrared light beam by oxyhemoglobin, having an accuracy of 97% to 98% in a saturation range of 70% to 100%.

OBJECTIVE: To determine the sensitivity, specificity and correlation of 5 different types of pulse oximeters compared to the gold standard (arterial line gasometry).

MATERIALS AND METHODS:

Observational and retrospective cross-sectional study with men and women over 18 years of age who had arterial line for blood gas analysis and simultaneous measurement of oxygen saturation using 5 pulse oximeters. Descriptive statistics were performed for sociodemographic variables, numerical variables and nominal variables. Due of the data distribution we used the Friedman test (non-parametric tests), we compared medians of the oximeter groups to each other; We used the Pearson correlation coefficient against the reference test (arterial line gasometry), each oximeter was subjected to a multivariate analysis; We also calculate likelihood ratios: sensitivity and specificity by comparing each pulse oximeter with the gold standard.

RESULTS: Medians and 95% confidence intervals of the 5 pulse oximeters compared to each other by Friedman test with similarity in measurements: oximeter 1 = 94.41 (+/- 5.59); Oximeter 2 = 90.20 (+/- 9.8); Oximeter 3 = 89.66 (+/- 10.34); Oximeter 4 = 89.52 (+/- 10.48); Oximeter 5 = 90.39 (+/- 9.61), $p = 0.08$. All oximeters correlated positively against the gold standard (Pearson's test). Oximeter 1 ($r = 0.90$); Oximeter 2 ($r = 0.64$), influenced by non-recording of the device in 1 of 101 patients; Oximeter 3 ($r = 0.57$), influenced by non-recording of the device in 2 of 101 patients; Oximeter 4 ($r = 0.84$); And oximeter 5 ($r = 0.89$), with $p < 0.001$ for all oximeters; We calculated the area under the ROC curve (we removed the unregistered values of oximeters 2 and 3): oximeter 1 (0.91), oximeter 2 (0.89), oximeter 3 (0.87), oximeter 4 (0.87), oximeter 5 (0.90).

CONCLUSIONS: There were no statistically significant differences comparing oximeters to each other, correlation tests and sensitivity-specificity showed higher values of oximeter number 1, but no significant differences between the gold standard and the other 4 devices, permissible alpha error ($p < 0.001$).

INTRODUCCION

La globalización, ha convalidado en el empleo generalizado y masivo de diferentes productos tanto de uso doméstico, comercial, e incluso médico.

En las últimas décadas, la capacidad de los seres humanos para innovar tecnológicamente, así como de utilizar la capacidad de abstracción se nota incluso en los ingeniosos aparatos desarrollados para facilitar algunos aspectos de la vida. La medicina no ha sido la excepción, y es una de las principales beneficiadas en el avance tecnológico que día a día se han suscitado en el devenir de los años.

Una actividad aparentemente sencilla, pero de la mayor utilidad ha sido la medición de las diversas constantes vitales del cuerpo humano, mediante el uso de instrumentos, que han innovando, facilitando y ¿por qué no? mejorando dicho registro.

Pero, qué tan confiables son estos aparatos o dispositivos electrónicos de uso cada vez más generalizados en el ámbito personal, profesional, social, cultural, sobre todo qué importancia aporta en el ámbito profesional médico, ¿será la verosimilitud de sus lecturas lo bastante fiables como para basar en éstas la toma de decisiones terapéuticas? Y en qué tanto pudieran arrojar un resultado potencialmente adverso.

En nuestro medio, es cada vez más común el uso de ciertos dispositivos médicos, electrónicos, como esfigmomanómetros, termómetros, oxímetros de pulso, y está precisamente en estos últimos nuestro interés científico y el motivo de este trabajo de investigación.

Para destacar algunos aspectos de importancia necesitamos conocer algunas características y sobre todo principios básicos en el razonamiento del funcionamiento de dichos dispositivos.

En el pasado la guía para valorar los trastornos respiratorios o el estado del intercambio gaseoso así como la oxigenación tisular eran las características clínicas, como la coloración de la piel o de la sangre (en el campo quirúrgico), así se percataban de un episodio de hipoxemia.

La historia de la pulsoximetría se remonta hacia el año 1862 cuando el profesor alemán de química aplicada, Félix Hoppe Seyler, acuñó el término de hemoglobina (Hb) y reconoció que la sangre oxigenada se puede diferenciar de la no oxigenada. Dos años después George Stokes reportó que la Hb transporta oxígeno (O₂) en la sangre. En 1869 Robert Bunsen y Gustav Kirchhoff construyeron el primer espectroscopio y demostraron que cada elemento tiene un espectro de luz específico. Siete años después Karl Von Vierordt usó el espectroscopio para la medición del O₂ utilizando la transmisión de la luz. (1)

El origen de los pulsoxímetros, tuvo ocasión en 1935 por Karl Matthes (1905-1962) quien construyó el primer dispositivo capaz de medir la saturación de O₂ mediante la iluminación a través de tejido celular, a comienzos de la década de los cuarenta del siglo XX, Glen Allan Millikan (1906-1947) acuñó el término oxímetro para describir al dispositivo que detecta la saturación de O₂ en la Hb, usado primeramente en la aviación para investigar la hipoxia a gran altura, Para superar los problemas de calibración, Earl Wood (1913-2009) añadió un manguito neumático para medir el incremento de luz en cuando la oreja palidecía.

En 1949, Earl Wood, en la Clínica Mayo, modificó la pieza auricular de Millikan aumentando una cápsula de presión con dos ventajas: mayor exactitud y lectura absoluta de saturación de O₂ (2)

Estos adelantos y modificaciones dieron inicio a la oximetría moderna, con Shaw en 1964, quien ensambló el primer oxímetro auricular, autocalibrable, utilizando ocho longitudes de onda, y el método de calentar el pabellón de la oreja para “arterializar”

los capilares sanguíneos. A pesar de que se convirtió en un modelo clínico y demostró seguridad para la monitorización intraoperatoria, su tamaño, costo y la dificultad del sensor auricular impidieron su aceptación como monitor de rutina (3), en 1970 fue comercializado por Hewlett Packard (HP) para investigación fisiológica y cateterización cardíaca.

Para separar la sangre arterial de la influencia de la iluminación se realizaba compresión y calentamiento de la zona valorada para eliminar señales procedentes de las venas y capilares, lo que producía frecuentemente quemaduras en los pacientes.

En 1972 se produjo un gran impulso en la pulsoximetría, por un descubrimiento accidental, Takuo Aoyagi, bioingeniero de Nihon Kodhen Corp. trabajando en una disolución de tinte cardíaco para monitorización, encontró que en un dispositivo de oreja detectaba las fluctuaciones pulsátiles. Estas fluctuaciones variaban en función del grado de saturación de oxígeno. Por lo tanto se podía compensar la absorción producida con la luz roja con una luz infrarroja cuando el tinte no absorbía.

Antes de la introducción de la pulsoximetría, la oxigenación en sangre de un paciente sólo se podía determinar mediante la extracción de sangre para analizar su contenido en oxígeno, que requería de bastante tiempo para obtener resultados. El desarrollo de diodos LED, foto detectores y microprocesadores permitió refinar la técnica y que los oxímetros pudieran ser introducidos en la práctica clínica. Ahora podemos obtener la saturación de oxígeno mediante un dispositivo no invasivo permitiendo la medición continua de ésta.

¿QUE ES LA PULSOXIMETRIA?

Es la estimación de la saturación arterial de oxígeno en forma no invasiva del oxígeno transportado por la hemoglobina en el interior de los vasos sanguíneos usando 2 emisores de luz y un receptor colocados a través de un lecho capilar pulsátil. (4)

Los parámetros que se miden con este dispositivo son la saturación de oxígeno y la frecuencia cardiaca.

Los pulsoxímetros dan al médico un indicador no invasivo del estatus cardiorrespiratorio del paciente, por lo cual tiene un uso hospitalario y extra hospitalario, (consultorios, transporte de pacientes etc.)

El principio fundamental del funcionamiento del pulsoxímetro se basa en la ley de Lambert-Beer-Bouguer el cual consiste en medir la absorción de un haz de luz infrarroja por la oxihemoglobina cuando aquel atraviesa un lecho vascular arterial pulsátil. Todas las técnicas de oximetría se basan en el análisis espectrofotométricos que mide la luz transmitida y absorbida por la hemoglobina, combinado con el principio de la pletismografía. Es un método simple, continuo y no invasivo.

“Las sustancias químicas son capaces de absorber luz (o radiación electromagnética) de determinadas longitudes de onda. Cuando un haz de luz monocromática (de una sola longitud de onda) incide sobre una solución de una sustancia que se absorbe, la intensidad de la luz transmitida (la que atraviesa la solución) es menor que la incidente”

El oxímetro de pulso cuantifica la saturación de oxígeno, al valorar la absorción de luz en dos longitudes de onda. En el espectro luminoso, la longitud de onda entre

400 y 700 nanómetros (nm) corresponde a la luz visible, una longitud de onda menor a 400 nm a la luz ultravioleta, y una mayor de 700 nm a la luz infrarroja, El oxímetro de pulso emite luz con dos diferentes longitudes de onda. Las características del espectro de absorción de luz de la hemoglobina oxigenada oxihemoglobina (O_2Hb) y no oxigenada, desoxihemoglobina o reducida (RHb), presentan diferencias que son máximas en la región roja e infrarroja del espectro. A una longitud de onda de 660nm, la luz roja visible se absorbe más por la RHb y, a 940nm, la luz infrarroja se absorbe más por la oxihemoglobina (O_2Hb). Estas dos luces de diferente longitud de onda, roja e infrarroja, se pasan a través del árbol arterial y el porcentaje de oxihemoglobina (O_2Hb) y desoxihemoglobina (RHb) es determinado por el fotodetector (5). Cada segundo, se realizan aproximadamente 600 medidas individuales y mediante un algoritmo implementado en el interior del microprocesador, se compara con valores obtenidos anteriormente y después se usan fórmulas específicas para cada fabricante. El valor visualizado se obtiene realizando un promedio entre los 3 a 6 valores anteriores y actualizando cada 0.5 a 1.0 segundo. El promedio se utiliza para reducir los efectos de señales erróneas.

La exactitud de los pulsoxímetros comerciales tiene generalmente 2% a 3% de fallo en el rango de 70% a 100% de saturación. Por debajo de 70%, la exactitud se obtiene por extrapolación y, por tanto, los valores de exactitud no son confiables. La exactitud varía con el tipo y la localización de las sondas (10)

La calidad de las mediciones de saturación de la presión de oxígeno arterial (SpO_2) depende de la aplicación correcta y del tamaño del sensor, de una circulación adecuada en el sitio en donde está el sensor y de la exposición a la luz ambiental [11].

El incremento de longitudes de onda en el rango de 600 nm a 940 nm aumenta la exactitud.

Algunas de las limitaciones del pulsoxímetro en el momento de tomar las medidas se deben al movimiento, la mala posición, la dependencia del pulso, la interferencia de sustancias y la luz ambiente entre otras.

Los dispositivos para la adquisición de datos, aunque existan en el mercado de diferentes formas y modelos, se pueden diferenciar dependiendo del ámbito de uso en dos tipos: Los estáticos y los móviles

Los aparatos estáticos o fijos están conectados a una red eléctrica, forman parte de sistemas de monitorización más complejos o como grandes aparatos individuales. Se utilizan cuando hay que monitorizar la saturación arterial de oxígeno (SaO_2) de un paciente con insuficiencia respiratoria.

Los aparatos móviles son pequeños, funcionan mediante pilas o baterías recargables, son muy manejables que se usan preferentemente para exploraciones puntuales en consultas y salas de hospitalización o como monitorización temporal en pacientes durante traslados. Existen distintas clases de pulsoxímetros portátiles en cuanto a su forma y modo de uso (6)

De los primeros, que se usan principalmente en hospitales, destacan fabricantes como Philips, Covidien, Massimo, Nihon Kohden, Dräger o Fukuda Denshi, pero la tecnología principalmente está suministrada por empresas como Nellcor y Massimo como fabricantes de equipos originales u OEM. En esta gama de productos destaca Philips con Intellivue MP70, que además tiene la capacidad de registrar electrocardiogramas (ECG) y permite mediante módulos el registro de otros factores biológicos y la medición de la saturación de oxígeno (SpO_2).

PRINCIPIOS

El oxígeno (O_2) es un gas claro, sin olor, que constituye el 21% de los gases del aire en el planeta tierra. Es esencial para producir la energía indispensable para el metabolismo. Mucho o poco O_2 puede ocasionar enfermedad o muerte, por lo que es necesario cuantificar su la cantidad en la sangre.

La hemoglobina es la parte activa del eritrocito en el transporte de oxígeno (O_2). Está constituida por cuatro átomos de hierro (hem) y cuatro cadenas de poli péptidos (globina). Cada átomo de hierro reacciona con una molécula de oxígeno (O_2). Un gramo de hemoglobina transporta 1.34 mL de O_2 . La sangre del adulto habitualmente contiene cuatro especies de hemoglobina: Oxihemoglobina (O_2Hb), desoxihemoglobina (RHb), carboxihemoglobina (COHb) y metahemoglobina (MetHb). Las últimas dos se encuentran en mínimas concentraciones, excepto en condiciones patológicas (7)

La otra vía de transporte de oxígeno (O_2) es el plasma. La cantidad de oxígeno (O_2) a una presión atmosférica normal es solamente el 3% del total de O_2 transportado, la mayor cantidad se une a la hemoglobina.

Hay tres factores que pueden afectar el total de O_2 liberado a las células:

- 1.- Perforación tisular
- 2.- Cantidad de hemoglobina
- 3.- Saturación de hemoglobina con O_2 .

El oxímetro de pulso aporta una estimación no invasiva de la saturación de hemoglobina, variable que está directamente relacionada al contenido de O_2 de la sangre arterial. Si todas las moléculas hem se enlazan con las moléculas de O_2 , la hemoglobina se encuentra totalmente saturada (100%). La gran afinidad del hem

por el O₂ origina una saturación muy cercana al total en la sangre arterial en personas sanas. Usualmente es del 97%.

Saturación funcional de hemoglobina: Relaciona las concentraciones de la oxihemoglobina (O₂Hb) y (RHb) de la siguiente manera

$$\text{SaO}_2 \text{ funcional} = \frac{\text{O}_2\text{Hb}}{\text{O}_2\text{Hb} + \text{RHb}} \times 100\%$$

Saturación fraccional de hemoglobina: Los otros tipos de hemoglobina, en ocasiones presentes en la sangre del adulto, la carboxihemoglobina (COHb) y la metahemoglobina (MetHb) dan lugar a la definición de saturación fraccional de hemoglobina, esto es, la relación de oxihemoglobina (O₂Hb) con la concentración total de todas las hemoglobinas presentes

$$\text{SaO}_2 \text{ fraccional} = \frac{\text{O}_2\text{Hb}}{\text{O}_2\text{Hb} + \text{RHb} + \text{COHb} + \text{MetHb}} \times 100\%$$

La saturación fraccional de hemoglobina arterial se relaciona con el contenido arterial de oxígeno (Ca O₂) mediante la siguiente fórmula

$$\text{CaO}_2 = [1.37 \times \text{hemoglobina} \times (\text{O}_2\text{Hb}\%/100)] + (0.003 \times \text{PaO}_2)$$

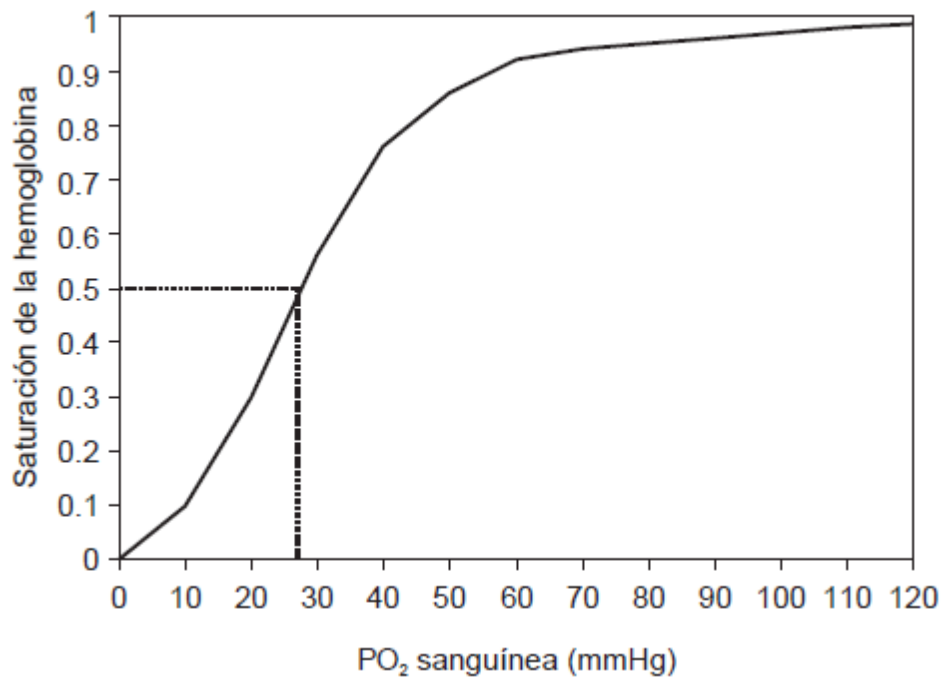
Dónde: Hb, es la concentración total de hemoglobina en g/dL; presión parcial de oxígeno (PaO₂) es la presión parcial de O₂ en mm Hg. El primer término de la ecuación representa el O₂ unido a la hemoglobina, el cual bajo condiciones normales de Hb = 15 g/dL y oxihemoglobina (O₂Hb) % = 98, es igual a 20 mL de O₂)

por 100 mL de sangre. El segundo término representa el oxígeno (O_2) disuelto en plasma, que es igual a 0.3 mL/100 mL, para una presión de oxígeno arterial (PaO_2) de 100 mm Hg. Esta ecuación muestra que el contenido arterial de O_2 es directamente proporcional a la hemoglobina y la saturación fraccional de oxihemoglobina (O_2Hb). La O_2Hb y la presión de oxígeno arterial (PaO_2) se relacionan mediante la curva de disociación de la oxihemoglobina (8)

Curva de disociación de oxihemoglobina:

La relación entre la cantidad de oxígeno disuelto en la sangre y el que se une a la hemoglobina constituye la curva de disociación de oxihemoglobina. Esta curva representa los cambios en la saturación de la hemoglobina de acuerdo a las modificaciones en la presión parcial de O_2 . La hemoglobina está saturada 98% en los pulmones y 33% en los tejidos de manera que cede casi el 70% de todo el O_2 que puede transportar.

La función de la hemoglobina es captar y liberar O_2 , la unión del oxígeno a la hemoglobina sigue un patrón homotrópico en el cual el oxígeno O_2 se comporta como modulador de la actividad catalítica y produce una curva de disociación sigmoidea:



Normalmente se inscribe una curva sigmoidea con una porción vertical (hasta presión de oxígeno PO₂: 70mmHg) y otra horizontal (de 70 a 100 mmHg).

La Hb nunca se satura al 100%.

En la curva se demuestra que cada vez se necesita menos presión de oxígeno para aumentar la saturación de O₂. La curva en un primer momento aumenta mucho y tiene una pendiente pronunciada (indica que la Hemoglobina se está saturando), a medida que la curva avanza va disminuyendo la pendiente a partir de una presión aproximada de 70mm de Hg, presión a la cual se necesita menos O₂ para saturar la Hemoglobina.

La hemoglobina tiene una afinidad que puede aumentar o disminuir debido a varias situaciones. Los factores más importantes que modifican el comportamiento de la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno son:

a) La temperatura: En presencia de hipertermia, el metabolismo celular aumenta, por lo que también aumenta la demanda de oxígeno y éste es el estímulo para desplazar la curva de disociación hacia la derecha, es decir, disminuye la

afinidad y el oxígeno se desplaza hacia los tejidos. Lo contrario ocurre en casos de hipotermia.

b) La presión de dióxido de carbono arterial (PaCO_2) y el potencial de hidrógeno (pH): Tanto el aumento de la presión de dióxido de carbono arterial (PaCO_2) como la disminución concomitante del pH representan condiciones celulares ávidas de O_2 , por lo que la curva de disociación se desplaza hacia la derecha.

c) El 2,3-difosfoglicerato: Producto de la glucólisis anaerobia, su elevación representa hipoxia tisular, por lo que se convierte en un estímulo para disminuir la afinidad de la hemoglobina (Hb) por el O_2 y desplazar la curva a la derecha.

Una molécula de Hb puede unirse en forma reversible a un máximo de 4 moléculas de O_2 . Esta unión es de tipo cooperativo: la unión de la primera molécula de oxígeno provoca un cambio estructural en la molécula y esto hace que se produzca mayor afinidad (9)

Una alta concentración de H^+ y de dióxido de carbono (CO_2) en los tejidos, favorece la liberación de O_2 por la hemoglobina; este fenómeno se denomina efecto Bohr y sucede debido a que en la deoxihemoglobina existen más sitios de unión afines para protones que en la oxihemoglobina y a que el dióxido de carbono (CO_2) se une a los grupos amino primarios de las cadenas polipeptídicas para formar carbamatos cargados negativamente, que favorecen la conformación de deoxihemoglobina (13)

ESTANDARES DE CALIDAD PULSOXIMETROS

Están regulados bajo ciertas normas de calidad aunque las especificaciones técnicas varían de fabricante a fabricante, la administración federal de medicamentos FDA (por sus siglas en inglés), certifica la precisión y exactitud de los oxímetros de pulso cuando la desviación estándar de las diferencias es menor a 3% de los valores de saturación entre 70% y 100% (13), obtenido en una prueba

de mediciones repetidas a sujetos sanos expuestos a mezclas hipóxicas. Los sujetos no son sometidos a saturaciones menores del 80% de tal manera que la calibración por debajo de este nivel se realiza por extrapolación. (14)

En México estos aparatos están regulado por la ley general de salud fracción VI artículo 262.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso generalizado de la tecnología constituye un aporte científico en muchas de las ramas de la ciencia. La Medicina ha obtenido importantes beneficios en el desarrollo de nuevas tecnologías, la monitorización continua de la saturación de la oxihemoglobina (SatO₂) es hoy en día ampliamente empleado en el manejo clínico de los sujetos con insuficiencia respiratoria, en pacientes con estado crítico o anestesiados. La evaluación de saturación de oxígeno arterial (SatO₂) mediante el uso de una técnica oximétrica espectro fotoeléctrica es el método más útil ya que proporciona un procedimiento no invasivo, continuo, y directo en la determinación in vivo de la saturación de oxígeno arterial (SatO₂) (15, 16)

Los estándares de calidad están predichos, pero qué tan confiables son y qué margen de error tienen no está establecido en estudios comparativos de dichos dispositivos

Hoy en día la mayoría de las marcas que nos atañen en el uso diario provienen y son de origen asiático. ¿Eso demeritaría en algo la calidad?

En nuestro medio una gran parte de los diversos problemas que nos involucran se deben a problemas de carácter respiratorio, pacientes con EPOC, hipertensión arterial pulmonar, falla cardiaca, neumonía en sus diversas formas, han surgido en el quehacer diario en muchas ocasiones el desfase en la lectura de muchos pulsoxímetros de entre toda la diversa gama de dispositivos que podemos encontrar en un hospital de 2º y 3er nivel.

JUSTIFICACION

La simplificación de las tareas que en un pasado resultaban en el consumo de una gran cantidad de tiempo, y recursos, ha permitido el aprovechamiento de los recursos en los diversos escenarios de trabajo, permitiendo adecuar, los mismos con la finalidad de aprovechar en la utilización hacia distintos tipos de objetivos.

El incremento de la capacidad de procesamiento, la miniaturización, las comunicaciones inalámbricas y la reducción del consumo de los dispositivos electrónicos, entre otros factores, posibilita el desarrollo de redes inalámbricas e inteligentes de sensores (17)

En un hospital, el ahorro del tiempo y recursos, es vital para la mejoría en la atención de cada uno de los pacientes, aunque lo ideal es utilizar métodos plenamente probados a veces no es posible debido a la gran cantidad de aspectos presentes en una unidad de salud

La utilización de pruebas que proporcionen un margen conveniente de seguridad y de confiabilidad es lo esperado en este tipo de estudios

El uso continuo casi universal del empleo de los oxímetros de pulso, la sencillez de su diseño, lo cómodo de su transporte los hacen cada vez más útiles en el uso clínico diario, pero qué tan confiable son, y ¿la determinación de cada una de las pruebas de verosimilitud los haría más confiables?

El uso muy extendido de estos dispositivos la facilidad de uso, nos hace preguntar qué tan confiables son en comparación con una prueba estándar como sería la gasometría arterial

El estándar de oro en este tipo de casos nos lo da la gasometría tomada directamente de una línea arterial, que empleamos como variable dependiente, para determinar qué tan cercanas son las variaciones,

PREGUNTAS DE TRABAJO

¿Pueden los pulsoxímetros utilizados en un servicio de Medicina Interna en la Cd de México, tener la especificidad y sensibilidad suficiente para discriminar de forma adecuada la saturación arterial de oxígeno en comparación con una prueba estándar (gasometría de una línea arterial)?

¿Cuál de las 5 opciones escogidas al azar de entre los diversos dispositivos de oximetría de pulso es más confiables?

HIPOTESIS NULA

Los pulsoxímetros utilizados en el servicio de Medicina Interna del Hospital General de Ticomán no tienen la sensibilidad y la especificidad adecuadas para comparar su rendimiento con un estándar de oro.

HIPOTESIS ALTERNA

Los pulsoxímetros utilizados en el servicio de Medicina Interna del Hospital General de Ticomán tienen la sensibilidad y la especificidad adecuadas para comparar su rendimiento con un estándar de oro.

OBJETIVO GENERAL

Determinar la sensibilidad y especificidad de 5 diferentes tipos de oxímetros de pulso que comúnmente se utilizan en un servicio de Terapia Intensiva y Medicina Interna en la Ciudad de México en relación a una prueba estándar (gasometría de una línea arterial).

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Comparar el rendimiento entre 5 diferentes tipos de oxímetros de uso común en un servicio de terapia intensiva en la Ciudad de México:

- 1.-Diferenciar las características específicas de al menos 5 dispositivos y determinar el rendimiento de cada uno de ellos.
- 2.- Medir niveles de oximetría comparada a nivel de la Cd. de México.
- 3.- Correlacionar los resultados de la saturación medidos con oxímetros de pulso contra una prueba estándar.
- 4.- Comparar todos los pulsoxímetros entre sí.

TIPO DE ESTUDIO

Diseño transversal analítico observacional y retrospectivo para establecer la confiabilidad de cada instrumento diagnóstico mediante la correlación de su medición comparándolo contra el estándar de oro.

TAMAÑO DE LA MUESTRA

SE CALCULO EN BASE A LA FORMULA:

$$n = \left(\frac{z_{1-\alpha/2} + z_{1-\beta}}{\frac{1}{2} \ln \left(\frac{1+r}{1-r} \right)} \right)^2 + 3 = \left(\frac{1,96 + 0,84}{\frac{1}{2} \ln \left(\frac{1+0,3}{1-0,3} \right)} \right)^2 + 3 \approx 85$$

Z: desviación estándar a 1.96

1- α : riesgo de cometer error tipo 1 seguridad del 95% $\alpha=0.05$

1- β : riesgo de cometer error tipo 2 con poder estadístico del 80% $\beta=0.2$

r: correlación que se pretende detectar

$$z_{1-\alpha/2} = 1.96$$

$$z_{1-\beta} = 0.84$$

$$z_{1-\alpha} = 1,645$$

PREVIENDO PÉRDIDAS DEL 20%

$$n' = \frac{n}{1-L} = \frac{85}{1-0,2} = 106,25 \approx 107$$

Resultado del cálculo de n: 107 pacientes

MATERIAL Y METODOS:

a) LUGAR Y POBLACION:

El estudio se hizo en pacientes hospitalizados mayores de 18 años de una institución médica pública del distrito federal en la Cd de México específicamente en las instalaciones del Hospital General de Ticomán de la Secretaria de Salud de la Ciudad de México con pacientes ingresados al servicios de Terapia Intensiva y Medicina Interna y realizando mediciones con dispositivos diagnósticos con el uso de 5 oxímetros de pulso de las marcas más comunes entre los Médicos Residentes, tomando como patrón estándar los valores del resultado de una gasometría la cual se tomó directamente de una línea arterial para mayor confiabilidad.

CRITERIOS DE INCLUSION

- Hombres y mujeres
- Mayores de 18 años
- Hospitalizados en el servicio de Terapia Intensiva (UTI) de 4 hospitales generales de la red de Servicios de Salud de la Ciudad de México.
- Pacientes estables previo al alta del servicio de UTI sin manejo invasivo de la vía aérea
- Consentimiento informado aceptado

CRITERIOS DE EXCLUSION

- Pacientes que no aceptaron el procedimiento
- Pacientes con apoyo mecánico ventilatorio
- Pacientes con ventilación mecánica no invasiva (VMNI)
- Pacientes con uso reciente de broncodilatadores (6 horas).

METODOLOGIA

Se incluyeron 101 pacientes (38 mujeres y 63 hombres) mayores de 18 años mediante muestreo no probabilístico intencional de pacientes obtenidos de la UTI y el servicio de Medicina Interna del Hospital General de Ticomán de la Secretaría de Salud de la Ciudad de México, periodo: del 1º de Enero de 2015 al 30 de Octubre de 2016, quienes cumplieron los criterios de inclusión y previamente explicado y aceptando su participación por medio de consentimiento informado otorgado por el familiar tras la descripción del procedimiento (paciente despierto, con línea arterial funcional para toma de muestra de sangre arterial, sin ventilación mecánica, sin uso previo de broncodilatadores, y sin uso de laca para las uñas, para permitir adecuada lectura por medio del pulsoxímetro), realizando de manera transversal con la aplicación de 5 modelos de pulsoxímetros diferentes:

1.- Modelo MC300C1C Beijin Choice electronic (marca registrada) DEDO 5



2.- Oxímetro de dedo-pulso marca zondan modelo ZON-A5 (marca registrada)
DEDO 4



3.- Pulsoxímetro marca Rossmax modelo SB200 (marca registrada) DEDO 3



4.- Oxímetro para dedo marca Homecare modelo FPX-033 (marca registrada)
DEDO 2



5.- Oxímetro digital adulto gráfico MCA de medimetrics SpO2 DEDO UNO



Previamente, sin medicación broncodilatadora u oxígeno suplementario mínimo 1 hora y con el paciente en decúbito supino colocamos el dispositivo dedal por espacio de 3 minutos en cada uno de los 5 dedos de la mano hasta presentar homogeneidad de la lectura, procediendo de inmediato a la lectura, simultáneamente procedimos a la toma de la muestra de catéter de línea arterial previa infusión de 0.5 a 1 ml de sol. heparinizada obteniendo con jeringa de 1 ml impregnada de heparina de bajo peso molecular, posteriormente se verificó que no quedaran residuos de aire dentro de la jeringuilla y en caso de haberlo, retirarlo de inmediato, procediendo a transportar la muestra al analizador de gases utilizado (ANALIZADOR DE GASES GEM PREMIER 3000 IL WARFAN ©) dentro de los 10-15 minutos, evitando de manera intencionada las principales fuentes de error descritas en la guía SEPAR (20)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis de datos se realizó en el programa STATA versión 11.0, la realización de gráficos comparativos se realizó con el programa SPSS versión 24. Primero se realizó estadística descriptiva para las variables sociodemográficas, utilizando medidas de tendencia central media o mediana según correspondió a cada distribución de las variables numéricas, o bien, frecuencias y porcentajes para las variables nominales, con sus respectivas medidas de dispersión (desviación estándar y percentiles según aplicó).

Para el análisis y debido a la distribución de datos se hicieron pruebas no paramétricas para la comparación de los grupos de oxímetros entre sí, rangos, medianas y percentiles utilizamos el test de Friedman comparando medianas de 5 grupos cuyas muestras están relacionadas. Para la prueba de hipótesis (prueba de correlación de cada oxímetro contra la prueba de referencia) utilizamos el coeficiente de correlación de Pearson,

Además se hicieron cálculos de razón de verosimilitud: sensibilidad y especificidad vertidas en una curva ROC en relación al estándar de oro tomando como base el índice de saturación de la gasometría de la línea arterial considerando como punto de corte la saturación del 90% como valor clave que correlaciona en la literatura con datos de insuficiencia respiratoria con un valor pareado de PO_2 de 60 mmHg

Para la significancia estadística establecimos el valor estadístico de $p < 0.05$.

RESULTADOS

Una vez hechas las pruebas no paramétricas se observó que los resultados eran consistentes.

Tabla 1. Valores registrados por cada oxímetro del total de determinaciones

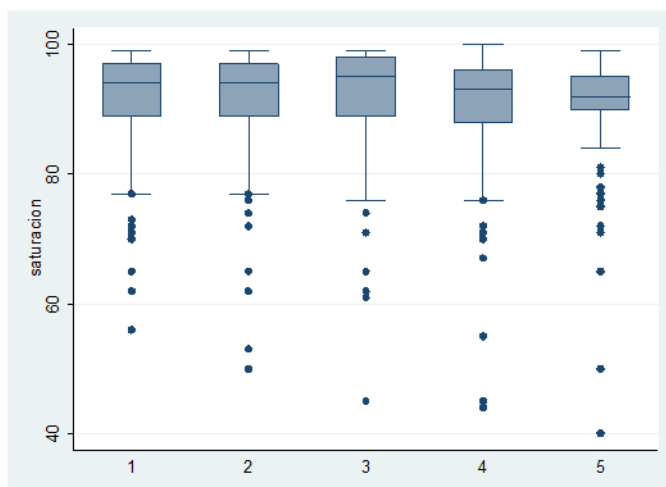
Oxímetro 1	Oxímetro 2	Oxímetro 3	Oxímetro 4	Oxímetro 5
101/101	100/101	99/101	101/101	101/101

Se determinaron medianas e intervalos de confianza al 95% de los 5 pulsoxímetros entre sí mediante test de Friedman determinando las diferencias entre cada uno de ellos demostrando consistencia e igualdad en las lecturas no mostrando ventajas o inconsistencias entre cada uno de ellos oxímetro 1=94.41 (+/- 5.59); oxímetro 2=90.20 (+/- 9.8); oxímetro 3=89.66 (+/- 10.34); oxímetro 4=89.52 (+/- 10.48); oxímetro 5=90.39 (+/- 9.61), $p=0.08$ (tabla 2).

Tabla 2 Intervalos de confianza y medianas de 5 pulsoxímetros

OXIMETRO 1	OXIMETRO 2	OXIMETRO 3	OXIMETRO 4	OXIMETRO 5	P
94.41 (+/-5.59)	90.20 (+/-9.8)	89.66 (+/-10.34)	89.52 (+/-10.48)	90.39 (+/-9.61)	0.08

Fig. 1 Intervalos de confianza de las medianas de medición de 5 pulsoxímetros



Todos los oxímetros se correlacionaron de manera positiva contra la prueba estándar de oro (gasometría de línea arterial). (TABLA 3).

Oxímetro 1 modelo MC300C1C Beijín Choice electronic (marca registrada) mostró una correlación de $r=0.90$ con una r^2 de 0.82; $p < 0.001$

Oxímetro 2 marca zondan modelo ZON-A5 (marca registrada) mostró una correlación de $r=0.64$ con r^2 de 0.41; $p < 0.001$

Oxímetro 3 marca Rossmax modelo SB200 mostró una correlación de $r=0.57$ con una r^2 de 0.32; $p < 0.001$).

Oxímetro 4.- marca Homecare modelo FPX-033 (marca registrada) mostró una correlación de $r=0.84$; $r^2 = 0.71$; $p < 0.001$

Oxímetro 5 digital adulto gráfico MCA de medimetrics SpO2 con una correlación de $r = 0.89$; $r^2 = 0.80$; $p < 0.001$)

Tabla 3 Correlación de Pearson de 5 pulsoxímetros comparados con el estándar de oro.

OXIMETRO	R	Coefficiente de determinación R2	P
OXIMETRO 1	0.90	0.82	0.0001
OXIMETRO 2	0.64	0.41	0.0001
OXIMETRO 3	0.57	0.32	0.0001
OXIMETRO 4	0.84	0.71	0.0001
OXIMETRO 5	0.89	0.80	0.0001

Fig. 2 Gráfico de dispersión comparando los resultados de las lecturas de SatO₂ de 5 pulsoxímetros analizados contra los resultados de la lectura de la gasometría arterial

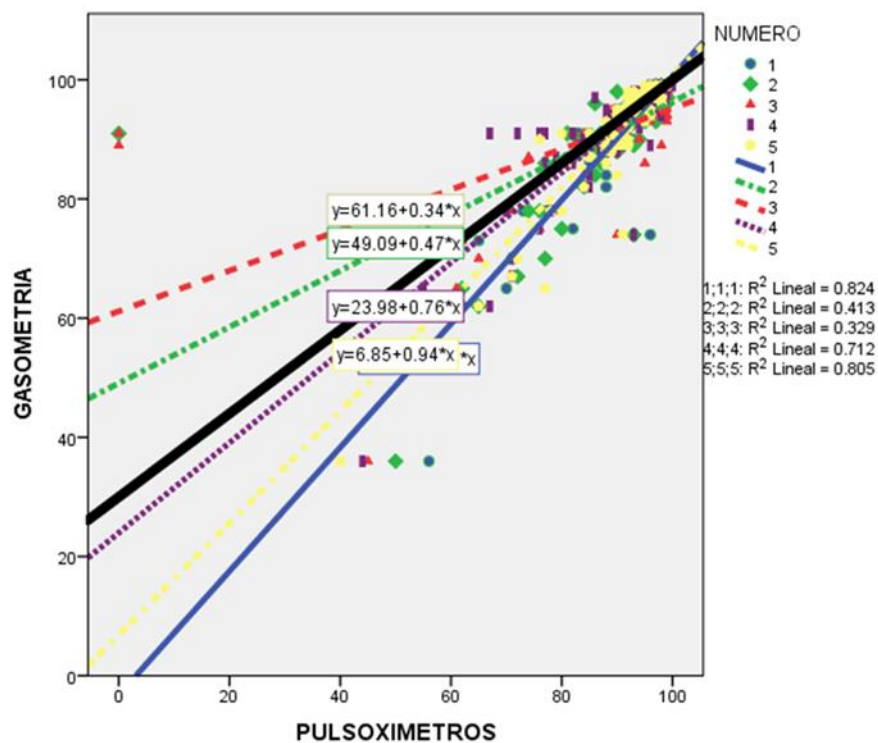
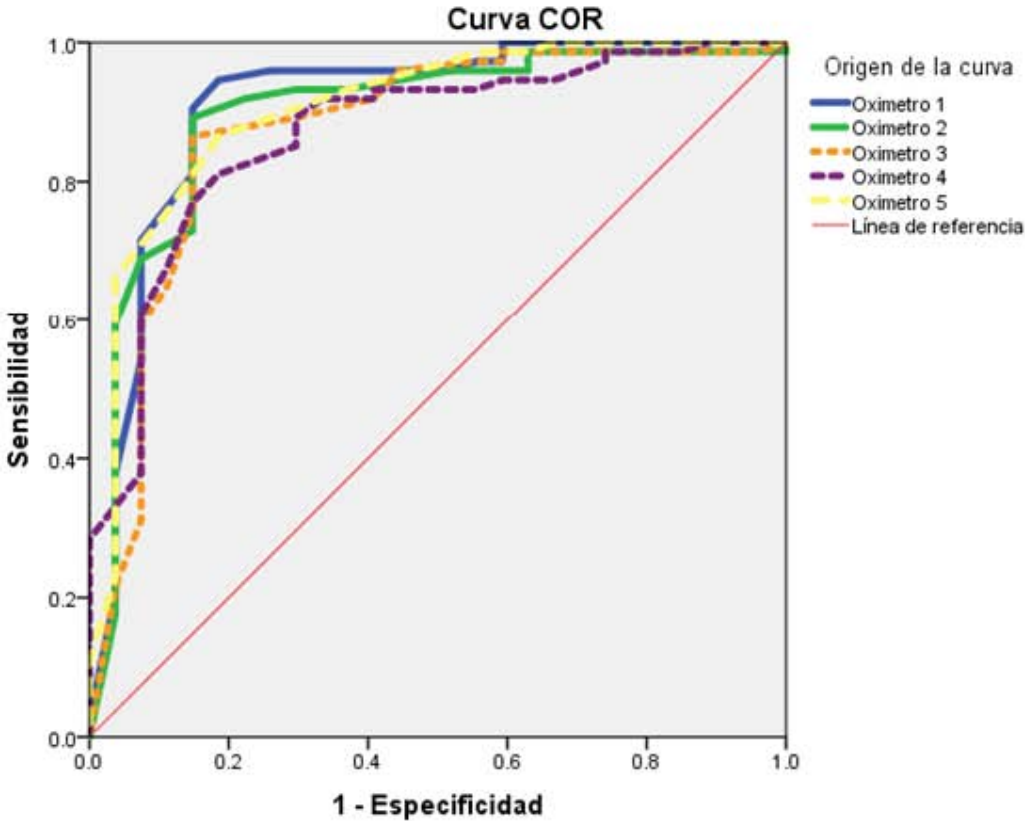


Tabla 4 Sensibilidad y especificidad de 5 pulsoxímetros

OXÍMETRO	SENSIBILIDAD	ESPECIFICIDAD	VPP	VPN	ABC	V(+)	V(-)	P
1	(88) %	(91) %	77	96	0.91	9.78	0.13	<0.05
2	(88) %	(89) %	74	96	0.89	8	0.13	<0.05
3	(88) %	(86) %	70	96	0.87	6.29	0.14	<0.05
4	(85) %	(82) %	61	94	0.87	4.72	0.18	<0.05
5	(85) %	(86) %	69	94	0.90	6.07	0.17	<0.05

Para las pruebas de validación realizamos la determinación de sensibilidad y especificidad, y construcción de curvas ROC, bajo la premisa de dicotomizar la variable SatO₂ de la gasometría arterial con punto de corte de 90% obteniendo que el oxímetro 1 modelo MC300C1C Beijín Choice electronic (marca registrada) fue el que presentó una mejor sensibilidad y especificidad (SE 88% ES 91% VPP 77% VPN 96%) con un área bajo la curva (ABC) de ROC 0.91. El oxímetro 2 marca zondan modelo ZON-A5 (marca registrada) tuvo SE 88% ES 89% VPP 74% VPN 96% y área bajo la curva de 0.89 a diferencia del oxímetro 3 Pulsoxímetro marca Rossmax modelo SB200 (marca registrada) que muestra una sensibilidad de 88% especificidad del 86% VPP de 70% VPN 96% y un área bajo la curva de 0.87. El oxímetro 4 Homecare modelo FPX-033 (marca registrada) mostró una SE 85% ES 82% VPP 61% VPN 94% y área bajo la curva de 0.87 y el oxímetro 5 digital adulto gráfico MCA de medimetrics SpO₂ con SE 85% ES 86% VPP 69% VPN 94% y área bajo la curva de 0.90. todos con verosimilitud + y verosimilitud – satisfactoria en relación al punto de corte de 90%. Tabla 4.

Fig. 2 curvas ROC de 5 pulsoxímetros analizados contra gasometría arterial



DISCUSION

La medicina es un arte como lo mencionaba Hipócrates en el siglo V antes de cristo, pero más que un arte, es la ciencia de la probabilidad y un arte de manejar la incertidumbre como bien acuñó sir William Osler en el siglo XIX, y dicha incertidumbre se extiende no sólo a las actividades preventivas, terapéuticas y pronósticas sino también a las diagnósticas y es aquí donde la ciencia florece, tratando de asignar un valor dado a los dispositivos diagnósticos que apoyan o soportan el diagnóstico y por ende deben tener validez, reproductividad y sobre todo seguridad, condiciones inherentes que en cierta medida cumplen los dispositivos motivo de estudio, y al tener estas características hacen que su uso sea de manera general como en el caso de los pulsoxímetros, pero, a pesar del uso tan difundido de los pulsoxímetros no se encontraron estudios relevantes de la variabilidad intraclase y la confiabilidad entre las diferentes marcas comerciales.

Al comparar los 5 pulsoxímetros entre sí no encontramos diferencias entre las mediciones y las medianas entre los 5, habiendo similitud en las medidas presentando validez y sólo cambios sutiles que se calcularon mediante técnicas estadísticas debido a la distribución no paramétrica de los resultados con una $p=0.08$, concluyendo que no hay superioridad entre uno y otros, ¿pero qué valida la confiabilidad de cada dispositivo?, en la literatura se comenta de resultados concernientes a la correlación entre el porcentaje de saturación de oxígeno arterial y la presión arterial de oxígeno alveolar con valores relacionados entre 90% y 91% que corresponderían a un valor promedio de < 60 mmHg diagnóstico suficiente de insuficiencia respiratoria tipo 1, que es más común en la insuficiencia respiratoria aguda y que tomamos de base en el presente trabajo, las pruebas de sensibilidad y especificidad obviamente se hacen en base a una variable dicotómica continua, , en el presente estudio validamos los dispositivos en base a la saturación de oxígeno arterial de 90% a la altura de la Cd. De México (2255 metros sobre el nivel del mar) dicotomizando la serie dando valor de $< \text{ó} = 90\%$ (0) y valor de $> 90\%$ (1), obteniendo resultados definitivos, que a la vez nos muestran el rendimiento entre cada uno de los dispositivos que en este caso el oxímetro número 1 Modelo MC300C1C Beijín Choice electronic (mr) fue el que presentó mayor consistencia y validez en las

pruebas sobre los otros 4 dispositivos, aunque cabe aclarar que los 5 tuvieron áreas bajo la curva por arriba de 0.87 pero esto no se vio reflejado en una superioridad estadística de dicho dispositivo ($p=0.08$). Hubo fallos de 2 dispositivo (oxímetro 2 y oxímetro 3) que durante la recolección de datos no marcaron dato alguno en 1 y 2 ocasiones respectivamente; lo que a la postre daría una correlación relativamente baja de esos oxímetros, sin embargo esto tampoco se vio reflejado en la significancia estadística ($p<0.001$).

Esto es, no inferioridad con la gasometría arterial, dando validez a nuestro contraste de hipótesis, obviamente remitimos al lector a los resultados de la literatura médica al respecto para comparar la consistencia y reproductividad de la prueba con nuestros resultados como comentamos anteriormente las características de fabricación y control de calidad muy probablemente estén afectadas por la falta de registro de algunos dispositivos que en nuestro estudio se reflejó en la correlación de los dispositivos 2 y 3

¿Qué tanto equivaldrían las mediciones obtenidas por los pulsoxímetros en relación a la gasometría arterial como para que de manera eventual pudiera ser reemplazada la SatO₂ de una gasometría por la SatO₂ de los oxímetros a fin de dar mayor fineza y despejar definitivamente la duda que aqueja de cuál es el más confiable?

Cabe la probabilidad de manejar otras variables en estudios posteriores que no fueron tema de estudio pero si lo serán en futuras investigaciones.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de intereses

CONCLUSIONES

La mayor consistencia y reproductibilidad en la correlación y sensibilidad en los resultados obtenidos muestran ventaja del oxímetro número 1 sin presentar diferencias significativas entre el estándar de oro y los otros 4 dispositivos, comparando las medianas entre ellos no hay diferencias significativas mostrando buen rendimiento en general.

VARIABLES A MEDIR

VARIABLE	TIPO	CARACTERISTICA	DEFINICION OPERACIONAL	UNIDADES	INSTRUMENTO	VALIDACION
Edad	Independiente	Numérica discreta	El tiempo que ha vivido una persona desde su nacimiento	Años	Expediente	No aplica
Sexo genérico	Independiente	Numérica nominal	Son las peculiaridades físicas que distinguen a un individuo en femenino y masculino	Hombre/mujer	Expediente	No aplica
IMC	Independiente	Numérica continua	Es el índice sobre la relación entre el peso y la altura, generalmente utilizado para clasificar el peso insuficiente, el peso excesivo y la obesidad en los adultos	Metros cuadrados de superficie corporal	Expediente	No aplica
Saturación por pulsoxímetro	Dependiente	Numérica discreta	Es el cálculo mediante ondas de luz del porcentaje de Hb contenido en un segundo	Porcentaje	Oximetría de pulso	Autorización por cofepris
Saturación por Gasometría	Dependiente	Numérica discreta	Es el cálculo mediante cálculos matemáticos por medio de un software instalado en un gasómetro	Porcentaje	Gasómetro marca	Autorización por cofepris
Frecuencia cardiaca	Independiente	Numérica continua	el número de contracciones del corazón o pulsaciones por unidad de tiempo	Latidos por minuto		No aplica

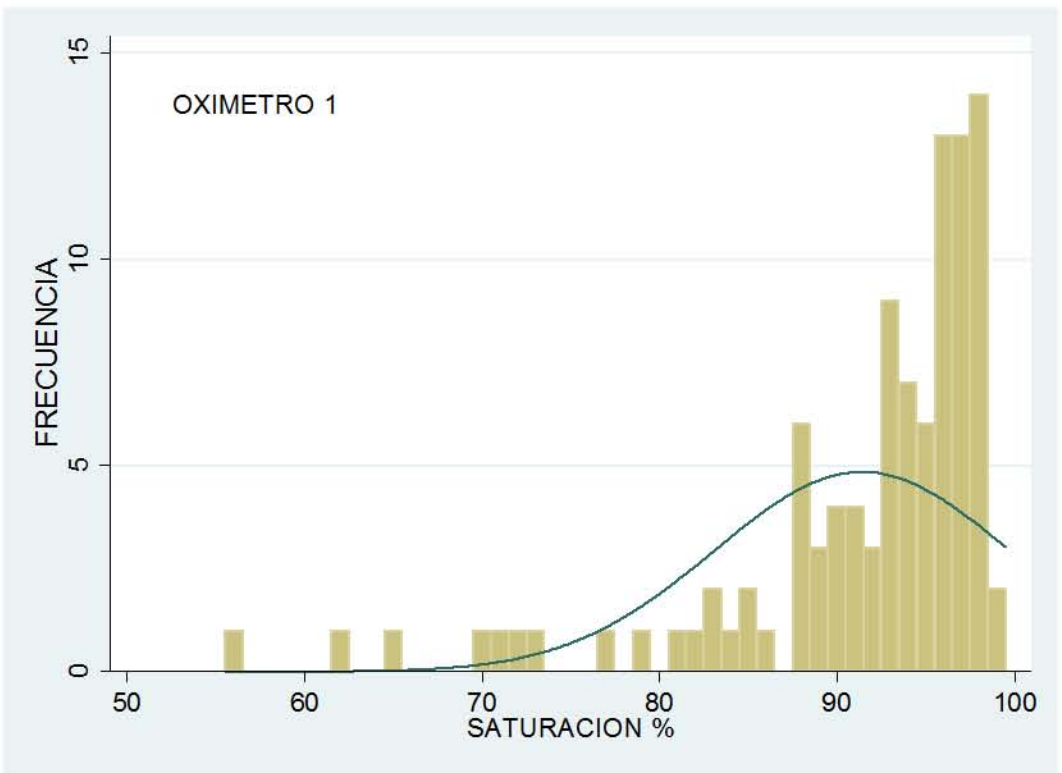
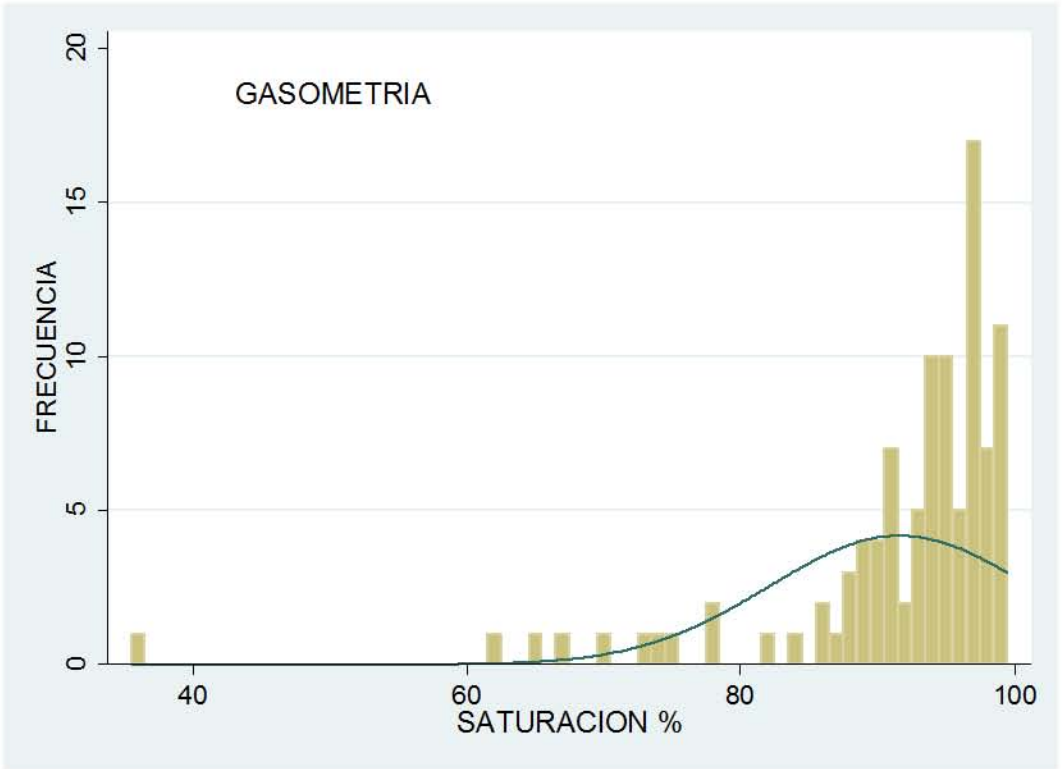
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

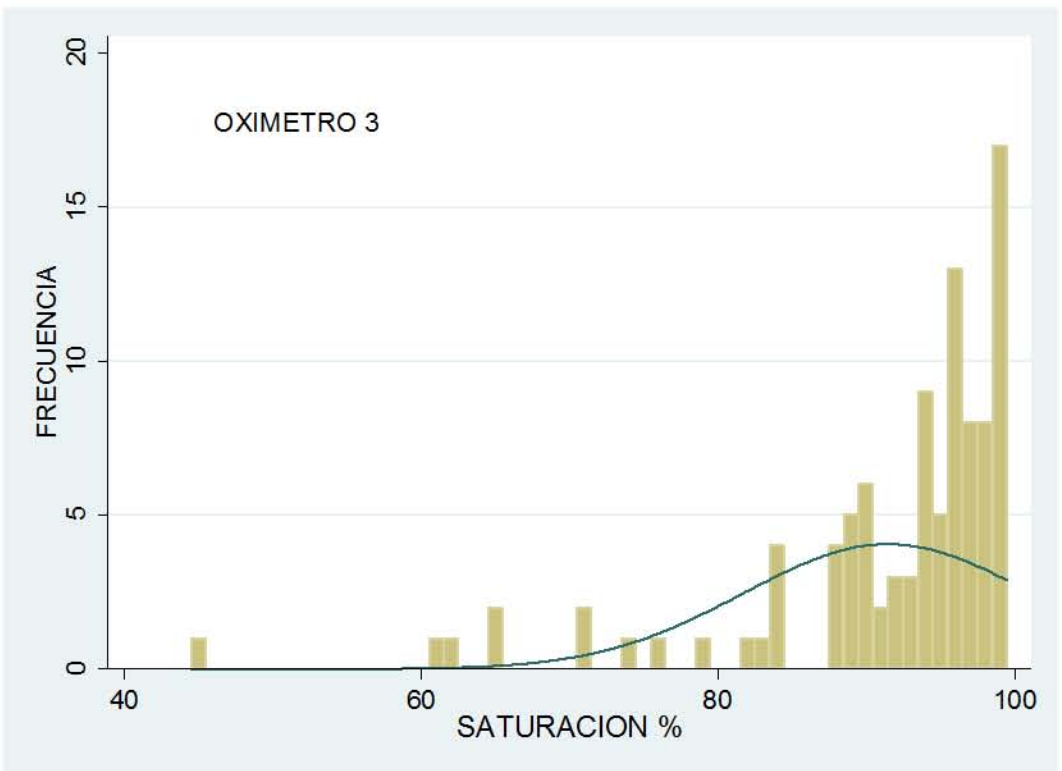
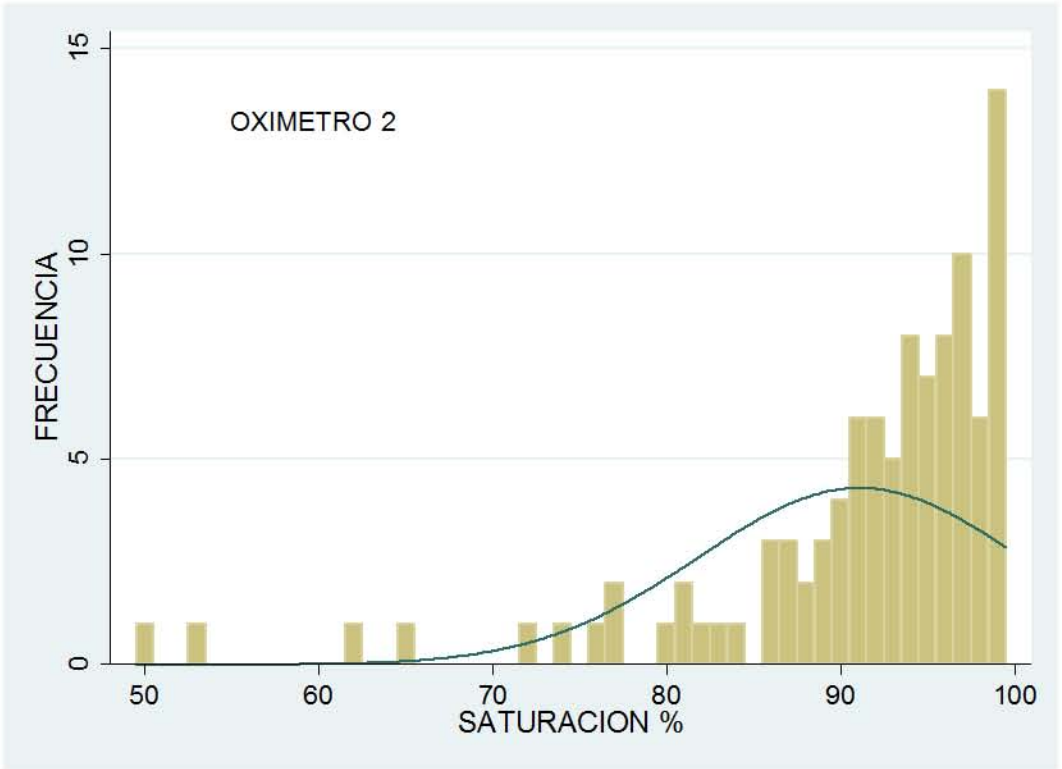
	ENERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Planteamiento del problema	XXX										
Recopilación bibliográfica	XXX	XXX									
Elaboración Marco Teórico			XXX	XXX							
Presentación comité ética					XXX						
Aprobación comité ética						XXX					
Toma de muestras							XXX	XXX			
Aplicación de instrumentos y procesamiento de la información									XXX		
Análisis e interpretación de datos										XXXX	
Conclusiones										XXXX	
Informe Final											XXXX

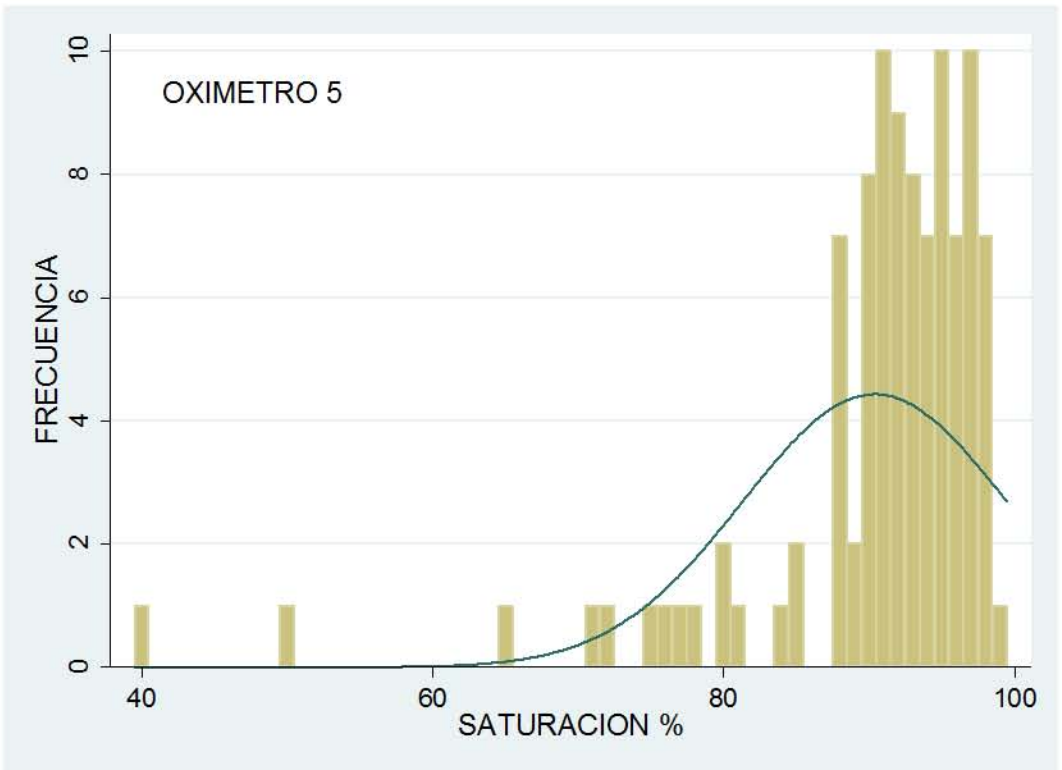
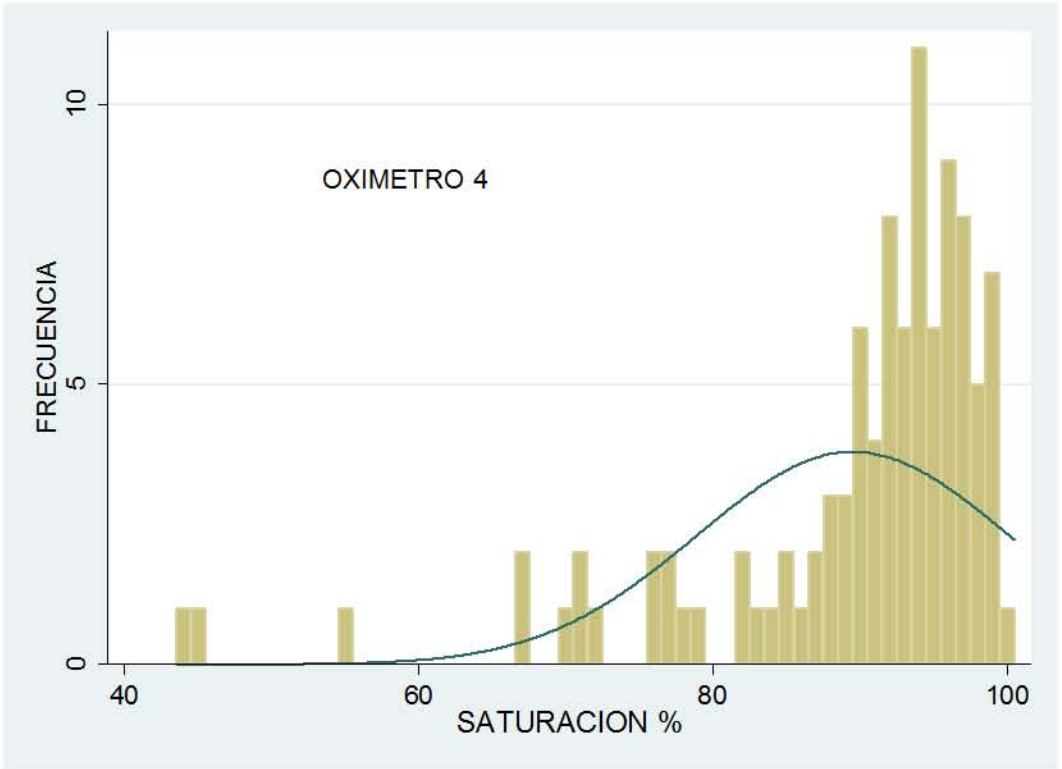
BIBLIOGRAFIA

- 1.- López-Herranz GP. Oximetría de pulso. Rev. Med. Host. Gen Mex 2003; 66 (3): 160-169
- 2.- Tremper KK, Baker SJ. Pulse oximetry. Anesthesiology 1989; 70: 98-108.
- 3.- Collins VJ. Vigilancia del estado fisiológico del paciente anestesiado. En: Collins VJ. Anestesiología. México: Nueva Editorial Interamericana, 1983; 52-55.
- 4.- DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS PARA LA CALIBRACIÓN DE PULSIOXIMETROS Luis G. Meza Contreras, Luis Enrique Llamasa R., Silvia Patricia Cevallos Scientia et Technica Año XIII, No 37, Diciembre 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701 págs. 491-496
- 5.- Alejandro Millán Lozano SISTEMA INALÁMBRICO DE MONITORIZACIÓN DE CONSTANTES VITALES CON PLATAFORMA ARDUINO Y VISUALIZACIÓN EN APLICACIÓN MOVIL
- 6.- Tremper KK, Baker SJ. Pulse oximetry. Anesthesiology 1989; 70: 98-108
- 8.- Mendelson Y, Cheung PW, Neuman MR, Fleming DG, Cahn SD. Spectrophotometric investigation of pulsatile blood flow for transcutaneous reflectance oximetry. Adv. Exp Med Biol 1983; 59: 93-102.
9. - *Chittock DR, Ronco J, Russell JA. Monitoring of oxygen transport and oxygen consumption. In: Tobin MJ. Principles and Practice of Intensive Care Monitoring. Edit. McGraw-Hill 1998: 317-343
- 10.- ** CAMPOS CANTON, I; MARTINEZ GARZA, L.A; RODRIGUEZ LOPEZ P.C. Instrumentación virtual de un pulsoxímetro. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/570/57065314.pdf>
- 11.- ***Revista médica del Hospital General de México. Oximetría de pulso: A la vanguardia en la monitorización no invasiva de la oxigenación.
- 12.- ****Elizalde JI, Hernández G, Llach J, et al. Gastric intramucosal acidosis in mechanically ventilated patients: Role of mucosal blood flow. Crit. Care Med 1998; 26: 827-832
13. - ***** Bickler PE, Feiner JR, Severinghaus JW, Effects of skin pigmentation on pulse oximeter accuracy at low saturation. Anesthesiology 2005; 102 (4): 715-9

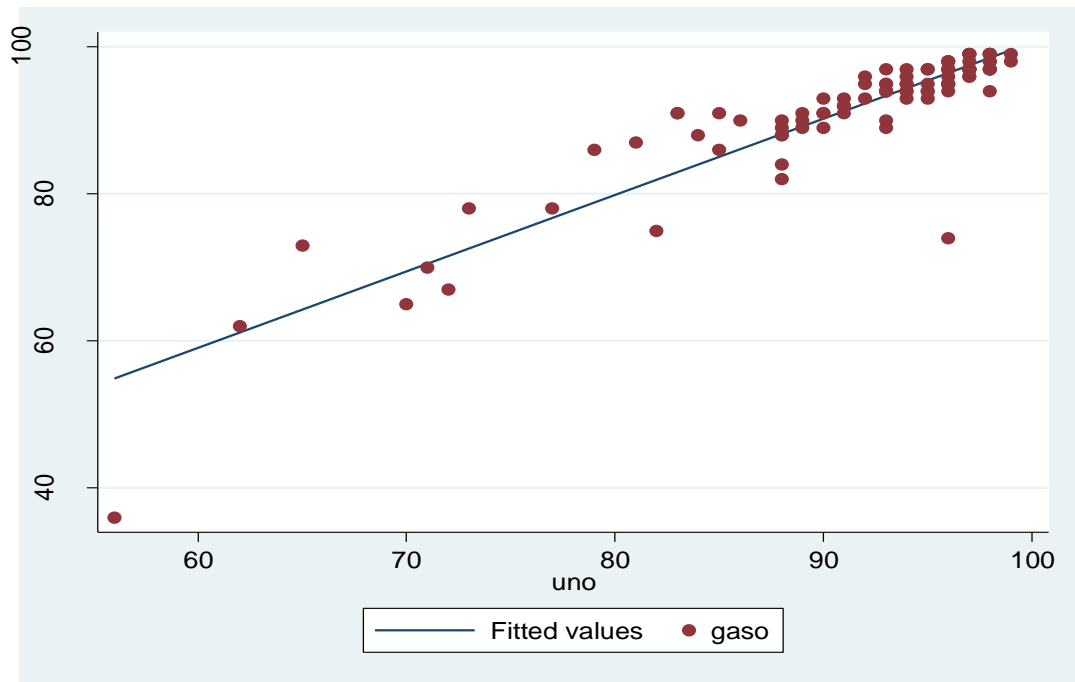
14. - ***** Tivedi NS, Ghouri AF, Lai E. Shah NK, Barker SJ. Pulse oximeter performance during desaturation and resaturation a comparison of seven models. J clin Anesth 1997; 9(3): 184-8.
- 15.- + Eichhorn JH, Cooper JB, Cullen DJ, Maier WR, Philip JH, Seeman RG. Standards for patient monitoring during anesthesia at Harvard Medical School JAMA 1986; 256: 1017–1020
16. - ++ Severinghaus JW, Astrup PB. History of blood gas analysis. VI. Oximetry. J ClinMonit1986; 2: 270–288.
- 17.- +++E. Jovanov, J. Price, D. Raskovic, K. Kavi, T. Martin, R. Adhami, “Wireless Personal Area Networks in Telemedical Environment”, Proceedings of the IEEE EMBS International Conference on Information Technology Applications in Biomedicine, 2000, pp.74-78
- 18.- El tamaño de muestra: un enfoque práctico en la investigación clínica pediátrica: Juan Manuel Mejía Aranguré, Arturo Fajardo Gutiérrez, Alejandro Gómez Delgado, María Luisa Cuevas Urustiegui, Dulce María Hernández, Juan Garduño Espinoza, Susana Navarrete Navarro
Boletín Médico Del Hospital Infantil de México volumen 52 numero (6); Junio 1995 381-391
- 19.-Clasificación en Niveles de los estudios de investigación clínico-epidemiológicos: Dulce María Hernández, Juan Garduño Espinoza, Juan Francisco Hernández Sierra, Arturo Fajardo Gutiérrez, Juan Manuel Mejía Aranguré Revista de Investigación clínica 1998 50, págs. 79-86
20. - NORMATIVAS SEPAR Normativa sobre la gasometría arterial Grupo de Trabajo de la SEPAR para la práctica de la gasometría arterial* Arch. Bronconeumol 1998; 34: 142-153 R. RODRÍGUEZ-ROISÍN
- 21.- Torre-Bouscolet L, et al. Oxímetro de pulso de “de bolsillo” en la ciudad de México. Rev. Inv. Clin. 2006: 58 (1): 28-33
22. - Critical Care Medicine “Acute respiratory failure” Patrick Melanson, MD, FRCPC Copyright © 2017 McGill University
23. - Revisiting respiratory failure Richard D. Pinson, MD, FACP, CCS 2014 HCPro, a division of BLR.



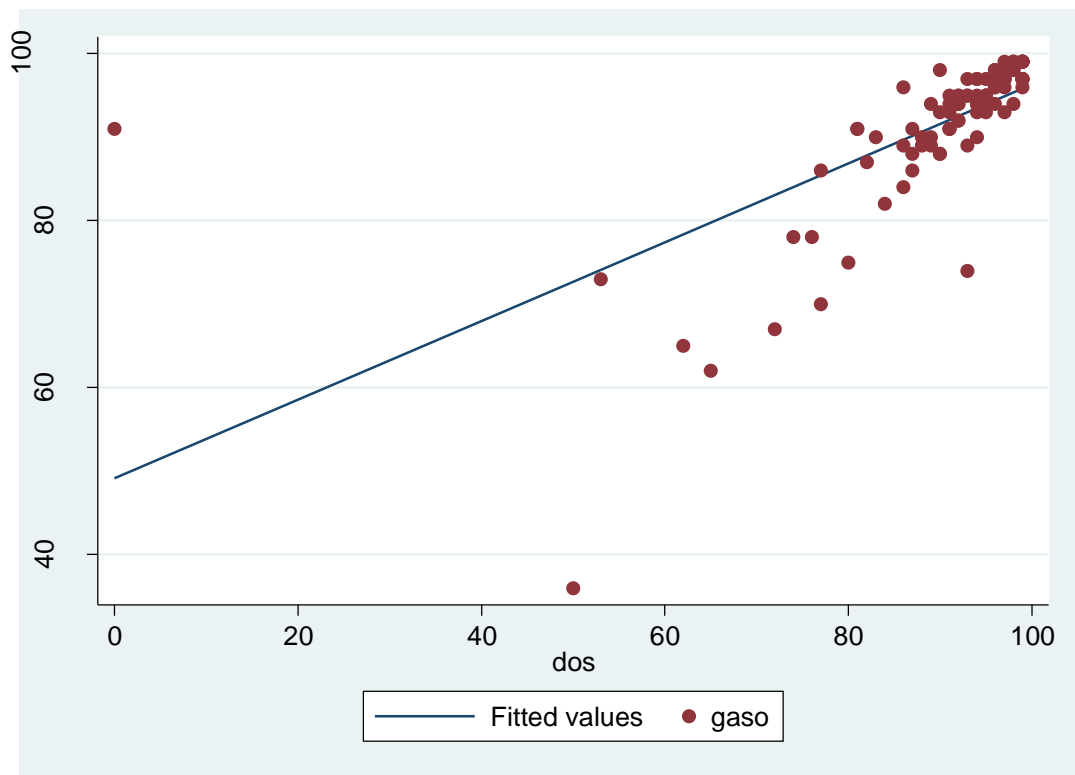




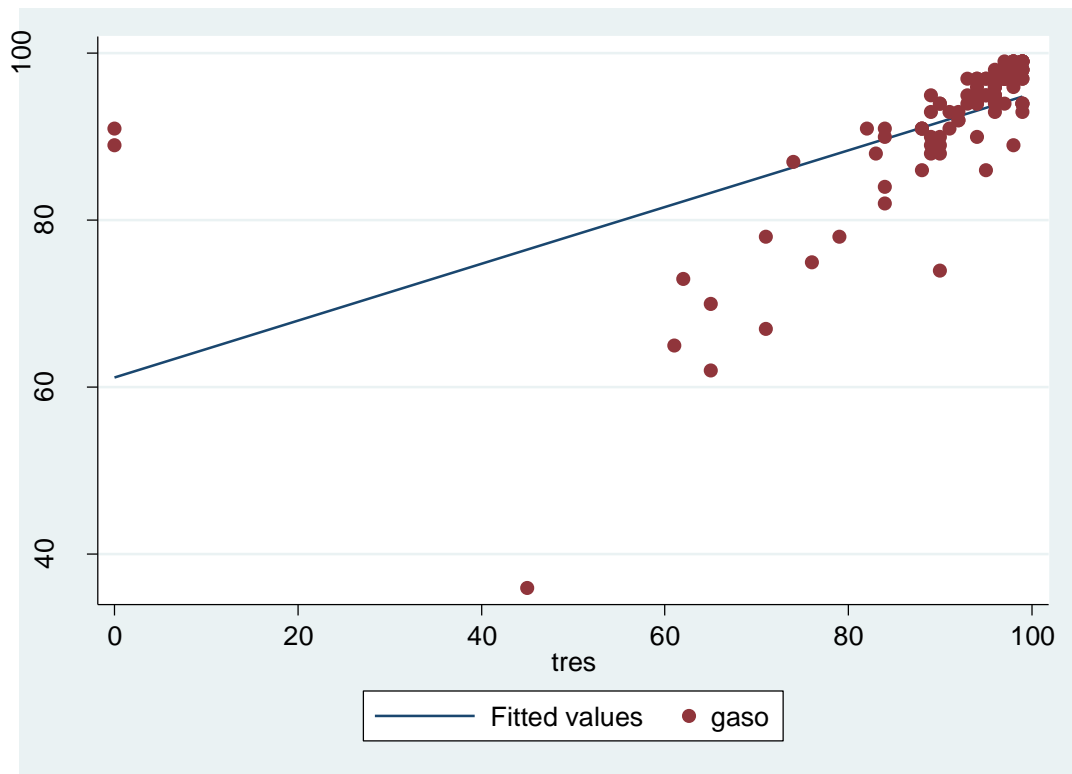
OXIMETRO 1



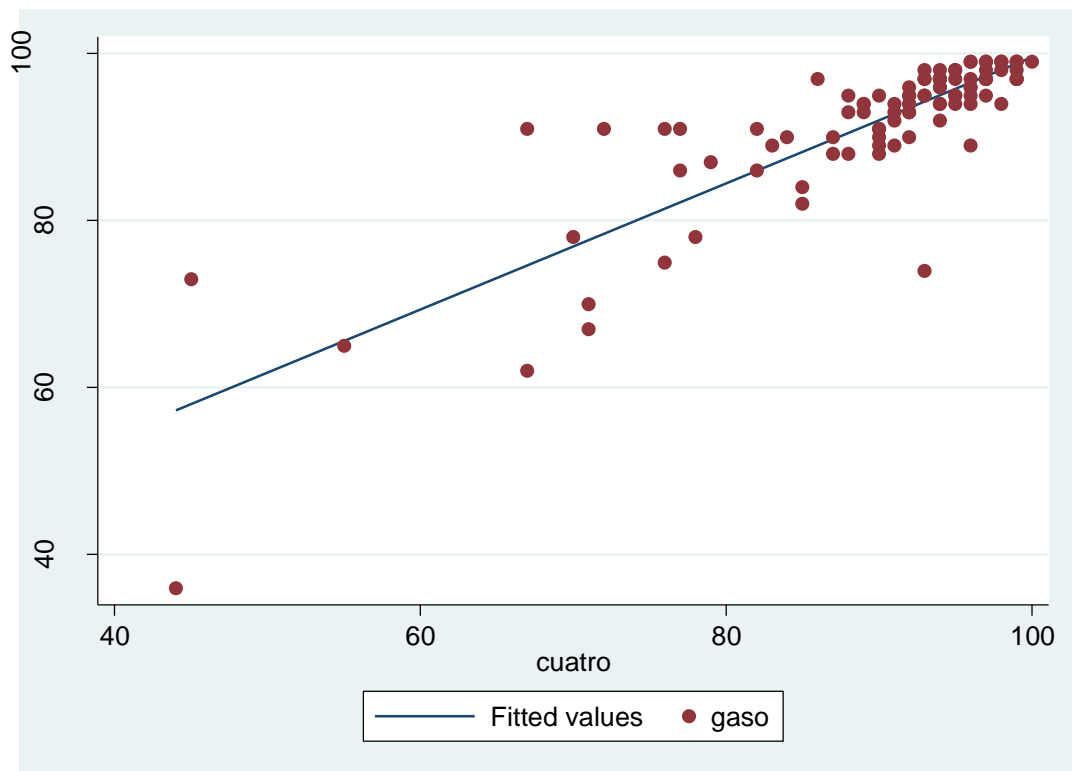
OXIMETRO 2



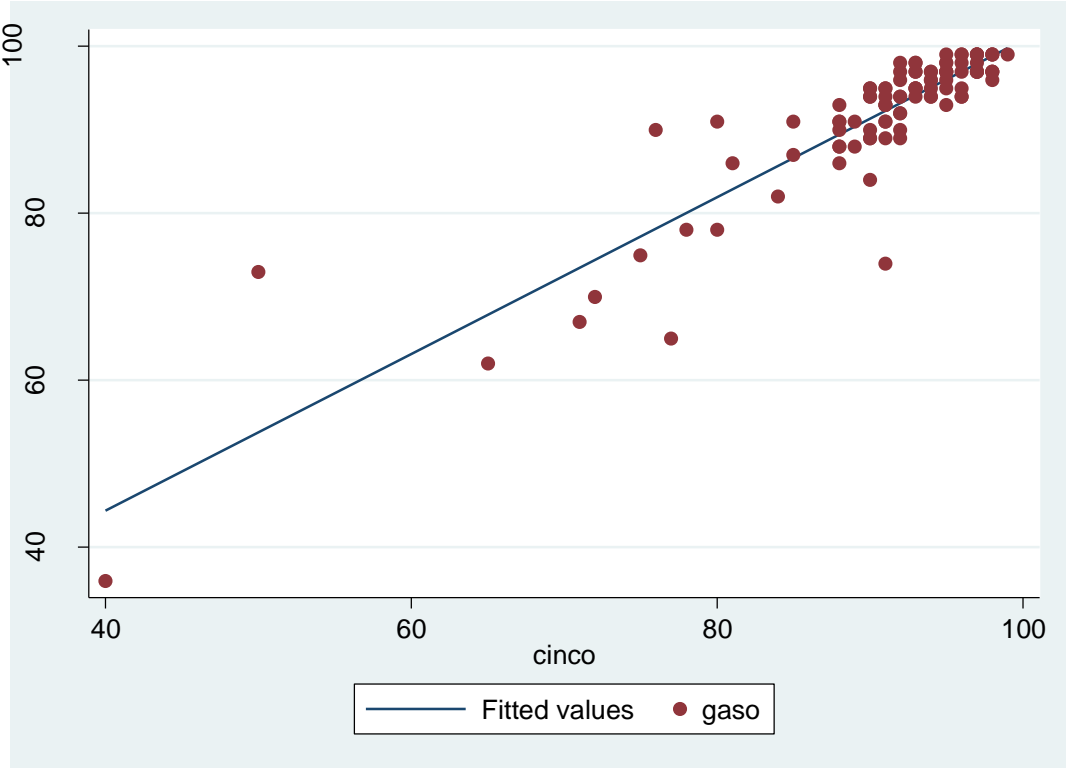
OXIMETRO 3



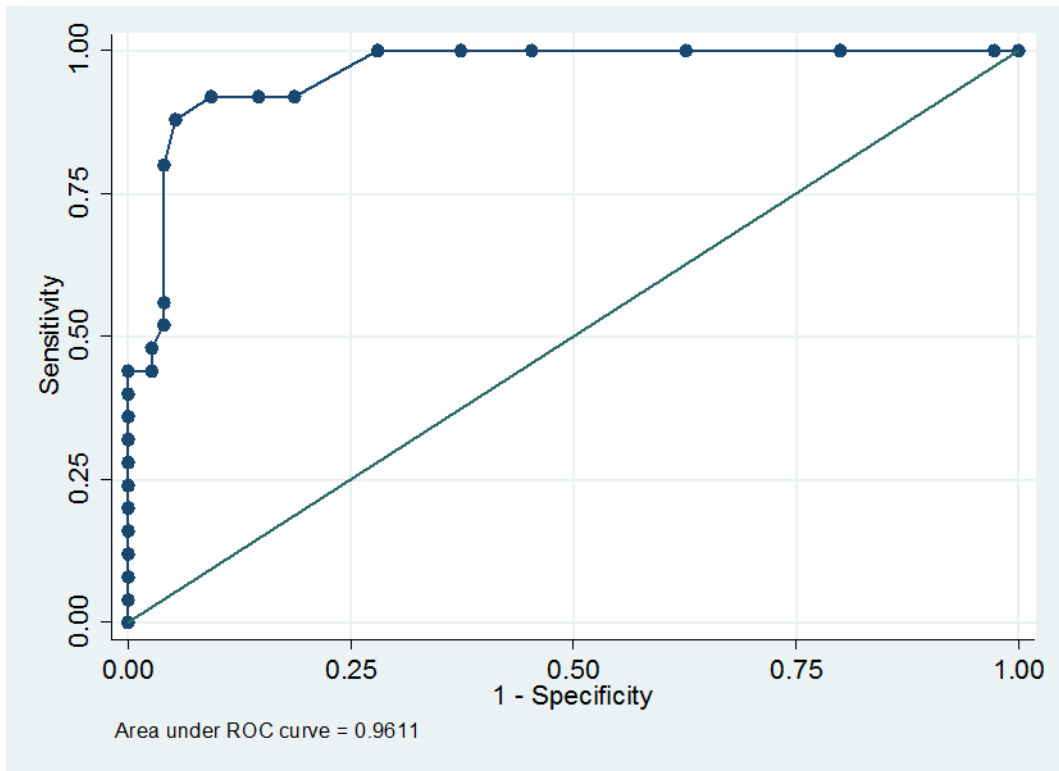
OXIMETRO 4



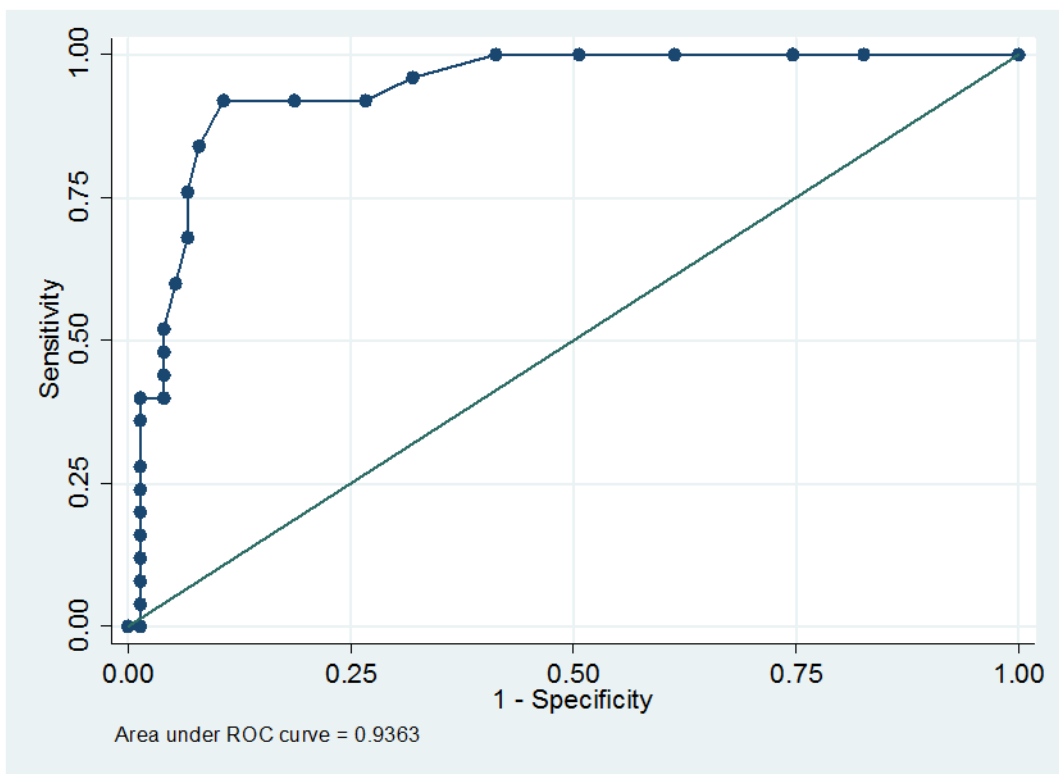
OXIMETRO 5



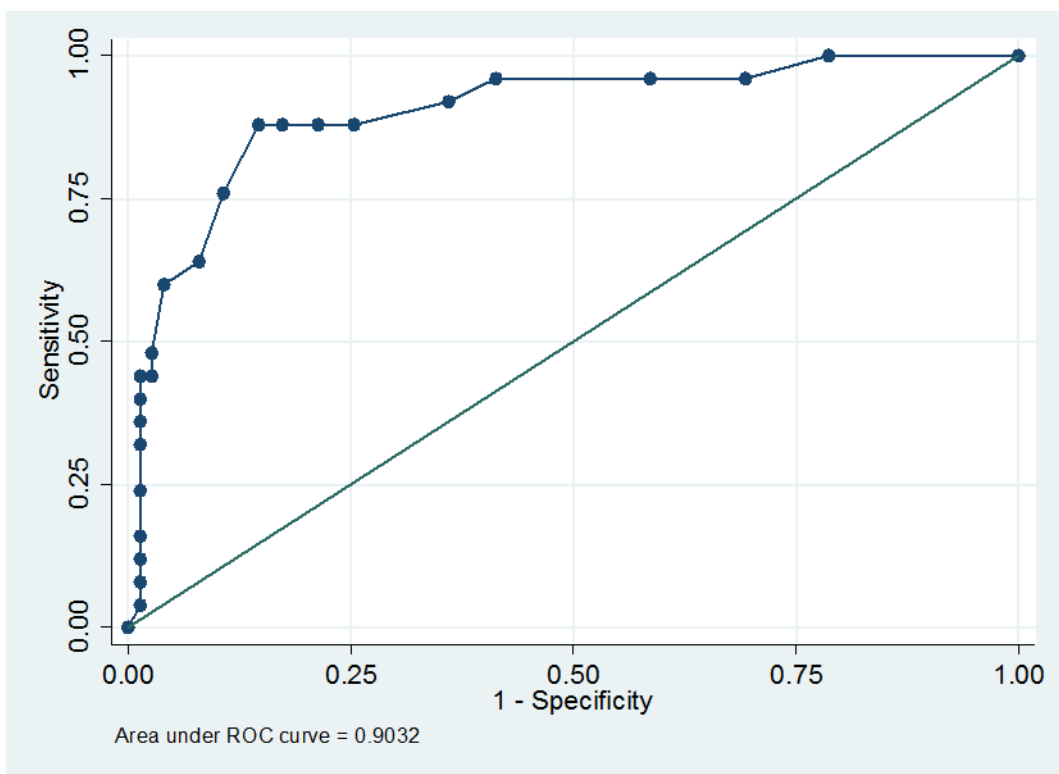
CURVAS ROC
OXIMETRO 1



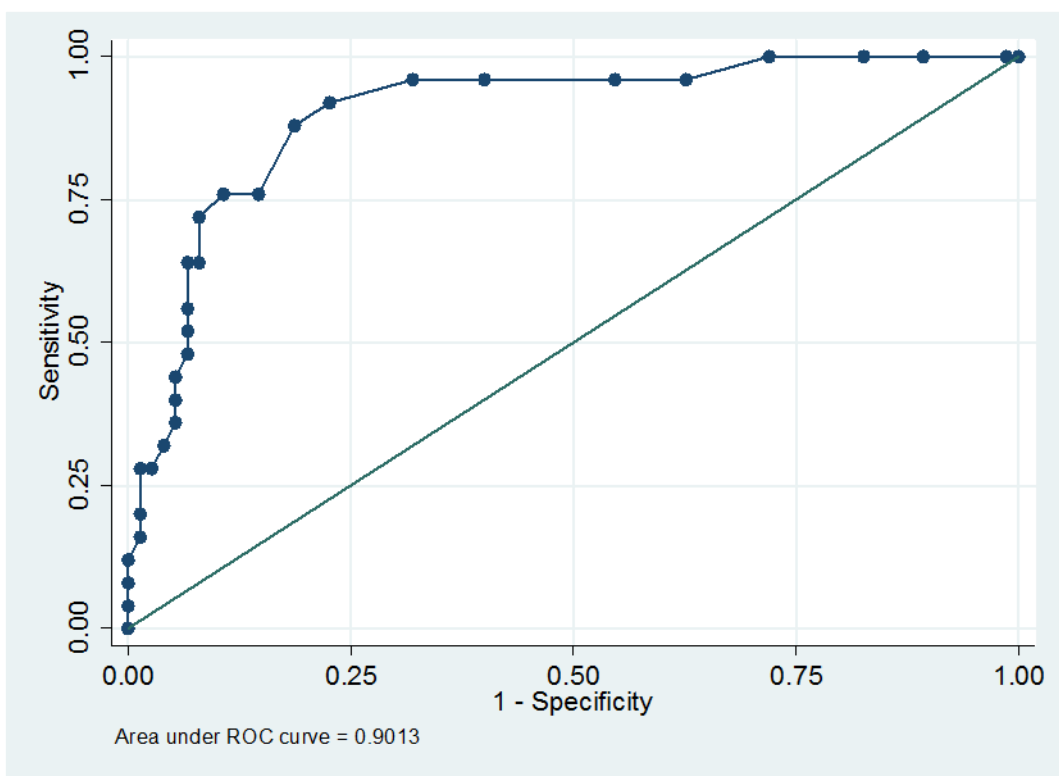
OXIMETRO 2



OXIMETRO 3



OXIMETRO 4



OXIMETRO 5

