



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

**FACULTAD DE MEDICINA**  
División de Estudios de Posgrado

**HOSPITAL ESPAÑOL DE MÉXICO**

**INFLUENCIA DE LA PEEP EN LA CORRELACIÓN  
ENTRE LA DA-aO<sub>2</sub> Y LA PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>**

**TESIS PROFESIONAL**

para obtener el título de

**ESPECIALISTA EN MEDICINA DEL ENFERMO EN ESTADO**

**CRÍTICO**

**PRESENTA:**

**GRISEL HERNÁNDEZ RIOS**

**ASESOR DE TESIS**

**DR. ULISES W. CERÓN DÍAZ**

**México, D.F. Julio 2014**

Facultad de Medicina





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Sr. de Gracias por concederme lo que le he pedido.

A mis padres Laura y Simón por ser cómplices y tener la visión para guiarme a través de este camino.

A Rafael mi hijo por ser mi aliento.

A Diana mi hermana por caminar siempre junto a mi.

A los Dr. Ulises Cerón y Dr. Ricardo Martínez por su incansable compromiso con mi formación en la Medicina Crítica.

# Índice

Introducción	1
Material y métodos	4
Resultados	5
Discusión	6
Conclusiones	7
Referencias	8
Anexos	9

## **INFLUENCIA DE LA PEEP EN LA CORRELACIÓN ENTRE LA DA-aO<sub>2</sub> Y LA PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>**

### **INTRODUCCIÓN**

La relación PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> es un índice muy extendido para evaluar el intercambio de oxígeno; los cambios de la FiO<sub>2</sub> ejercen una influencia sobre la fracción del shunt intrapulmonar observado. Es decir, al incrementar la FiO<sub>2</sub> a 1 los efectos de las alteraciones de la relación ventilación/perfusión pueden ser enmascarados, pudiendo subestimar el shunt intrapulmonar, sobre todo en situaciones en las que existe una disminución de la relación ventilación/perfusión por ejemplo, aquellos pacientes con asma, EPOC, además habrá que considerar que con FiO<sub>2</sub> elevadas suelen producirse atelectasias las cuales a su vez incrementan el shunt.

Por otra parte, no debemos perder de vista que no existe una relación lineal entre la relación PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ni siquiera cuando el shunt permanece constante, ya que la PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> puede mostrar distintos comportamientos para una mayor o menor FiO<sub>2</sub> en función de la fracción de shunt presente. Todo lo anterior viene determinado por la compleja relación entre la curva de disociación de la hemoglobina, el gradiente A-a PO<sub>2</sub>, la presión arterial de CO<sub>2</sub> y los niveles de hemoglobina.

Por si misma la PEEP (presión positiva al final de la espiración) modifica la relación PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>, de tal forma que un mismo valor de PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> puede ser obtenido en condiciones respiratorias muy distintas con PEEP diferentes. Dichos problemas se han abordado mediante índices de PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> como PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> x presión media de la vía aérea, dicho estudio se llevo a cabo en pacientes postoperados de cirugía cardiaca en ventilación mecánica en la que a la relación PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> se infiere la inclusión de la PEEP a través de la presión media de la vía aérea sin embargo su utilidad no se ha extendido.

Goeda y Klocke demostraron que la relación PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> es útil para estimar el grado de intercambio de gases bajo condiciones clínicas usuales. Por otra parte, existen dos estudios publicados por Robinson y Zetterstorm que demostraron la correlación entre la PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> y el gradiente alveolo-arterial de oxígeno aplicando la ecuación de gas alveolar.

La PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ha sido ampliamente utilizada en pacientes bajo ventilación mecánica, sin embargo no explica el estado funcional del pulmón por cambios primarios en la PEEP; de tal forma que pacientes con una relación PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> idéntica con diferente valor de PEEP no se debe clasificar o evaluar de forma similar ya que dicho resultado podría ser engañoso.

La diferencia de PO<sub>2</sub> entre el gas alveolar y la sangre arterial (PAO<sub>2</sub>-PaO<sub>2</sub>) es una medida indirecta de alteraciones de ventilación-perfusión. El gradiente PAO<sub>2</sub>-PaO<sub>2</sub> se determina a través de la ecuación del aire alveolar.

Este gradiente normal se eleva uniformemente al aumentar la edad. Suponiendo que la mayoría de los pacientes adultos de la Unidad de Terapia Intensiva tenga más de cuarenta años de edad, el gradiente A-a PO<sub>2</sub> de un paciente adulto de la Unidad de Terapia Intensiva cuando esta respirando al aire ambiente puede ser de hasta 25 mmHg. Sin embargo, pocos pacientes ingresados respiran este aire, y el gradiente A-a PO<sub>2</sub> aumenta además cuando se añade oxígeno al aire inspirado. De tal forma que el gradiente A-aPO<sub>2</sub> debe ajustarse de acuerdo a la siguiente fórmula:  $D(Aa)O_2 = 7 + 0.27 (\text{edad})$ .

Por otra parte, existe influencia del oxígeno inspirado sobre el gradiente A-a PO<sub>2</sub>. Este gradiente aumenta de 15-60 mmHg al aumentar la FiO<sub>2</sub> del 21% (aire ambiente) al 100%. De acuerdo con esta relación, el gradiente A-a PO<sub>2</sub> normal aumenta de 5 a 7 mmHg por cada 10% de aumento de la FiO<sub>2</sub>. Presumiblemente, este efecto esta causado por la pérdida de vasoconstricción hipóxica regional en los pulmones. La vasoconstricción hipóxica regional durante la respiración complementaria de oxígeno mantiene el flujo sanguíneo en las regiones pulmonares mal ventiladas, y esto aumenta la fracción de

cortocircuito intrapulmonar e incrementa el gradiente A-a PO<sub>2</sub>.

Caso aparte es la ventilación mecánica con presión positiva, la cual eleva la presión en las vías respiratorias por encima de la presión atmosférica ambiental. Por lo tanto, cuando se determina el gradiente A-a PO<sub>2</sub> en un paciente que depende de un ventilador, debe añadirse la presión media de las vías respiratorias a la presión atmosférica. Por lo que olvidar la contribución de la presión positiva de las vías respiratorias durante la ventilación mecánica conducirá a estimar por defecto el nivel de intercambio gaseoso normal.

## **JUSTIFICACIÓN**

Una correcta clasificación de la gravedad de la falla hipoxémica es indispensable para efectos clínicos y para la investigación ya que permitiría homogeneizar los grupos investigados y con ello mejorar la validez interna de los estudios. Lo anterior justifica el esfuerzo de encontrar un parámetro que clasifique mejor la gravedad de este grupo de pacientes. Encontrar un mejor índice de oxigenación que evalúe de forma eficiente el grado de intercambio de gases en condiciones clínicas distintas; ya que, en estudios similares no se han incluido aquellas variables que modifican dichos índices de oxigenación por lo que omitir la contribución de estas conducirá a infraestimar el nivel de intercambio gaseoso.

## **OBJETIVOS**

### Primario

- Determinar que el valor de la PEEP mejora la correlación entre la relación PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> y el gradiente A-a PO<sub>2</sub>.

### Secundarios

- Comparar la diferencia entre la fórmula tradicional del gradiente A-a PO<sub>2</sub> vs la fórmula ajustada de acuerdo a la edad.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Población objetivo**

Todos los pacientes que se encuentren en ventilación mecánica invasiva de la Unidad de Terapia Intensiva “Alberto Villazón Sahagún” del Hospital Español de México.

#### Criterios de inclusión

Pacientes en ventilación mecánica invasiva

#### Criterios de exclusión

Pacientes sin ventilación mecánica invasiva

Pacientes en ventilación mecánica no invasiva

#### Criterios de eliminación

Pacientes en los que no se pueda obtener muestra para gasometría arterial.

Se incluyeron pacientes en ventilación mecánica invasiva, ingresados en un periodo de seis meses, a quienes se les realizó gasometría arterial en su primera día de ingreso. Una vez que el paciente presentaba varias horas de estabilidad hemodinámica (con o sin fármacos) y respiratoria (no variaba la saturación en las últimas dos horas); se determinaban PaO<sub>2</sub>, PaCO<sub>2</sub>, FiO<sub>2</sub> y PEEP. De estas variables se obtenían tres más calculadas: la PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>, diferencia (A-a)O<sub>2</sub>, PAO<sub>2</sub> e índice respiratorio, a partir de las siguientes fórmulas:



$$PAO_2 = (585 - 47)(FiO_2 - ) - (PaCO_2 / 0.8)$$

$$DA-aO_2 = PAO_2 - PaO_2$$

$$IR = DA-aO_2 / PaO_2$$

También se calculó la  $PaO_2/FiO_2$  ajustada al valor de PEEP a través de la ecuación publicada por Sánchez:

$$PaO_2/FiO_2 = \ln(PaFi/[PEEP+12])$$

Se realizó una transformación logarítmica de la  $PaO_2/FiO_2$  a través de la siguiente fórmula:

$$\ln PaO_2/FiO_2$$

Posteriormente se hicieron correlaciones para evaluar las siguientes hipótesis:

a) La correlación lineal obedece al ajuste con PEEP, b) La correlación lineal obedece a la transformación logarítmica.

### **Análisis estadístico**

Para la descripción de las variables cuantitativas continuas, usamos la media y desviación estándar. Las variables cualitativas se describen en frecuencias y porcentajes. Para el análisis de correlación se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson el coeficiente de determinación ( $r^2$ ).

### **RESULTADOS**

Fueron incluidos 91 pacientes con una edad promedio de  $64 \pm 13.71$  años, los datos demográficos se muestran en la tabla 1. Las variables determinadas a partir de la  $PaO_2$ ,  $PaCO_2$ ,  $FiO_2$  y PEEP se muestran en la tabla 2. La correlación entre la  $PaO_2/FiO_2$  y la  $DA-aO_2$  obtuvo una " $r$ " = 0.93 (" $r^2$ " = 0.85 ) (Fig. 1). La correlación lineal entre la relación  $PaO_2/FiO_2$  ajustada a la PEEP con la ecuación de Sánchez y la  $DA-aO_2$ , obtuvo una " $r$ " = 0.86 (" $r^2$ " = 0.70 ) (Fig. 3). La correlación entre la  $PaO_2/FiO_2$  transformada a valores logarítmicos y la  $DA-aO_2$  obtuvo una " $r$ " = 0.91 (" $r^2$ " = 0.79 ) (Fig. 4). La correlación entre la PEEP y la  $DA-aO_2$  obtuvo una " $r$ " = 0.07 (" $r^2$ " = 0.016 ) (Fig. 2).

## DISCUSIÓN

El gradiente alveolo arterial de oxígeno se eleva uniformemente al aumentar la edad. De tal forma que la DA-aO<sub>2</sub> debe ajustarse de acuerdo a la siguiente fórmula: DA-aO<sub>2</sub> = 7 + 0.27 (edad).

Por otra parte, existe influencia del oxígeno inspirado sobre la DA-aO<sub>2</sub>. Este gradiente aumenta de 15 a 60 mmHg al aumentar la FiO<sub>2</sub> del 21% (aire ambiente) al 100% respectivamente. De acuerdo con esta relación, la DA-aO<sub>2</sub> normal aumenta de 5 a 7 mmHg por cada 10% de aumento de la FiO<sub>2</sub>. Presumiblemente, este efecto está causado por la pérdida de vasoconstricción hipóxica regional en los pulmones. La vasoconstricción hipóxica regional durante la respiración complementaria de oxígeno mantiene el flujo sanguíneo en las regiones pulmonares mal ventiladas, y esto aumenta la fracción de cortocircuito intrapulmonar e incrementa la DA-aO<sub>2</sub>.

Caso aparte es la ventilación mecánica con presión positiva, la cual eleva la presión en las vías respiratorias por encima de la presión atmosférica ambiental. Por lo tanto, cuando se determina la DA-aO<sub>2</sub> en un paciente que depende de un ventilador, debe añadirse la presión media de las vías respiratorias a la presión atmosférica (7). Por lo que olvidar la contribución de la presión positiva de las vías respiratorias durante la ventilación mecánica conducirá a infraestimar el nivel de deterioro en el intercambio gaseoso.

La relación PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> es un índice muy extendido para evaluar el intercambio de oxígeno debido a su facilidad de cálculo; sin embargo, se infiere que el impacto que tiene este índice debiera modificarse al establecer diferentes niveles de PEEP, de aquí el hecho de plantearnos el problema de si la correlación lineal encontrada por Sánchez es resultado del ajuste de la relación PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> aplicando PEEP a su modelo matemático o es resultado solamente de la transformación logarítmica. Nuestros resultados corroboran que no existe correlación entre la PEEP y la DA-aO<sub>2</sub> y que la razón por la que mejora la correlación lineal es la transformación logarítmica de la PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>; por tal motivo no existiría diferencia en el ajuste si solamente se hace la

transformación logarítmica de la  $PaO_2/FiO_2$  sin agregar el valor de la PEEP. Aunque la  $DA-aO_2$  es un parámetro útil para evaluar el deterioro en la capacidad de oxigenación, un determinado valor tiene un significado diferente dependiendo del nivel de apoyo mecánico (PEEP, presión media de la vía aérea),  $FiO_2$  y edad del enfermo. Por esta razón, es necesario explorar las formas de ajustar esta variable para que refleje mejor el grado de deterioro del intercambio de gases y sirva como estándar de comparación para otras formas, más fáciles, de evaluar este importante parámetro

## **CONCLUSIONES**

No existe correlación entre la PEEP y la  $DA-aO_2$ . La razón por la que mejora la correlación lineal entre la  $PaO_2/FiO_2$  y la  $DA-aO_2$ , como lo propone Sánchez y cols., es la transformación logarítmica de la  $PaO_2/FiO_2$ , mas no el valor agregado por la PEEP.

## REFERENCIAS

1. J, Torres A, Hernández C, Rodríguez, et al. Pulmonary gas exchange response to oxygen breathing in acute lung injury. *Am J Respir Crit Care Med.* 2000;161:26--31.
2. Bartter TC, Pratter MR, Abouzheib WB, Irwin RS. Respiratory Failure Part I: A physiologic approach to respiratory failure. En: Irwin RS, Rippe JM, editores. *Intensive Care Medicine.* 6a ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2008. p. 491--8.
3. Karbing DS, Kjaergaard S, Smith BW, Espersen K, Allerod C, Andreassen S, et al. Variation in the PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ratio with FiO<sub>2</sub>: mathematical and experimental description, and clinical relevance. *Crit Care.* 2007;11:R118.
4. Aboab J, Lous B, Jonson B, Brochard L. Relation between PaO<sub>2</sub> /FiO<sub>2</sub> ratio and FiO<sub>2</sub> : a mathematical description. *Int Care Med.* 2006;32:1494--7.
5. Marini JJ, Wheeler AP. Respiratory monitoring. En: Marini JJ, Wheeler AP, editores. *Critical Care Medicine. The Essentials.* 4a ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2010. p. 81--113.
6. El-Khatib M, Jamaledine G. A new oxygenation index for reflecting intrapulmonary shunting in patients undergoing open-heart surgery. *Chest.* 2004;125:592--6.
7. Sánchez M, Quintana M, Palacios D, Hotigüela V. Relación entre el gradiente alveolo-arterial de oxígeno y la PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> introduciendo la PEEP en el modelo. *Med Intensiva.* 2012; 36(5): 329-334.

## **ANEXOS**

**Tabla 1. Características demográficas de la población**

n= 91	MEDIA±DE "n" (%)
<b>Edad</b>	64±13.7
<b>Sexo</b>	
• Femenino	33 (36)
• Masculino	58 (63)
<b>Diagnóstico principal</b>	
• Choque séptico	31(34)
• Sepsis severa	34(37)
• Cáncer de pulmón de células claras	1(1)
• EPID	2(2)
• Hemorragia alveolar	2(2)
• Falla respiratoria	21(23)
<b>SAPS III</b>	50.21±17.92

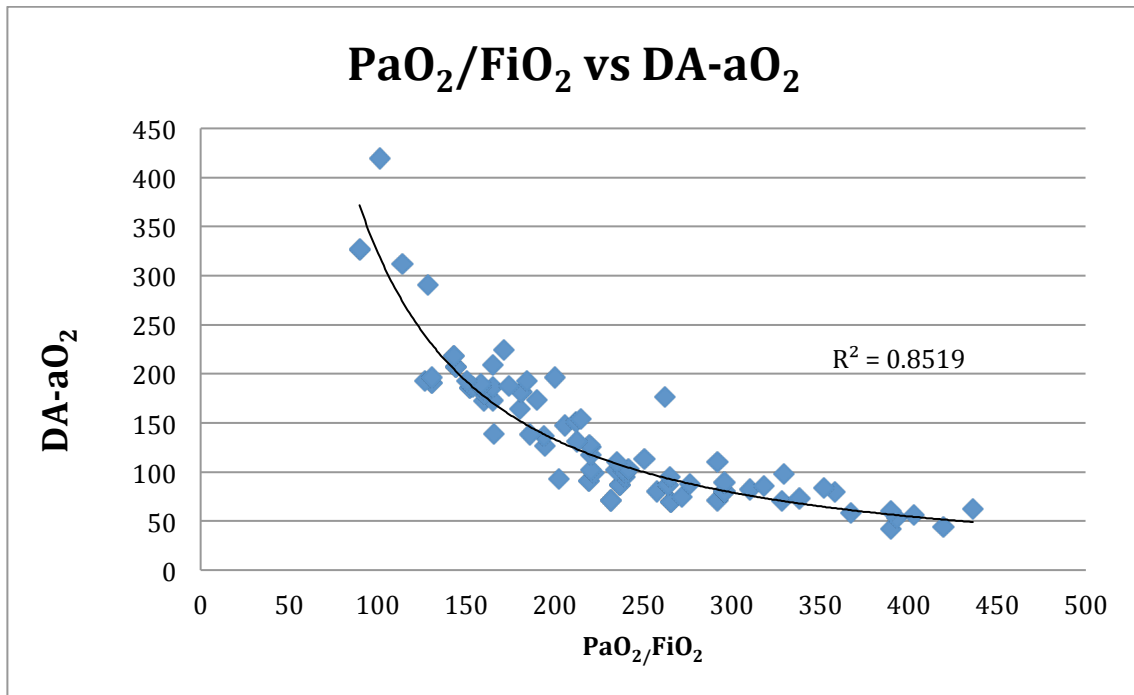
DE = Desviación Estándar, EPID = Enfermedad Pulmonar Idiopática Difusa

**Tabla 2. Variables**

Variable	Media ±DE
<b>Hb</b>	12.2±2.4
<b>FC</b>	76.9±8.8
<b>PAM</b>	73.5±6.5
<b>PaO<sub>2</sub></b>	80.6±19.0
<b>PaCO<sub>2</sub></b>	36.9±8.9
<b>PEEP</b>	8.3±3.0
<b>PAO<sub>2</sub></b>	219.1±64
<b>DA-aO<sub>2</sub></b>	138.5±70.6
<b>IR</b>	1.8±1.1
<b>PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub></b>	226.0±79.1
<b>P50</b>	27.3±3.1
<b>FiO<sub>2</sub></b>	0.4±0.1

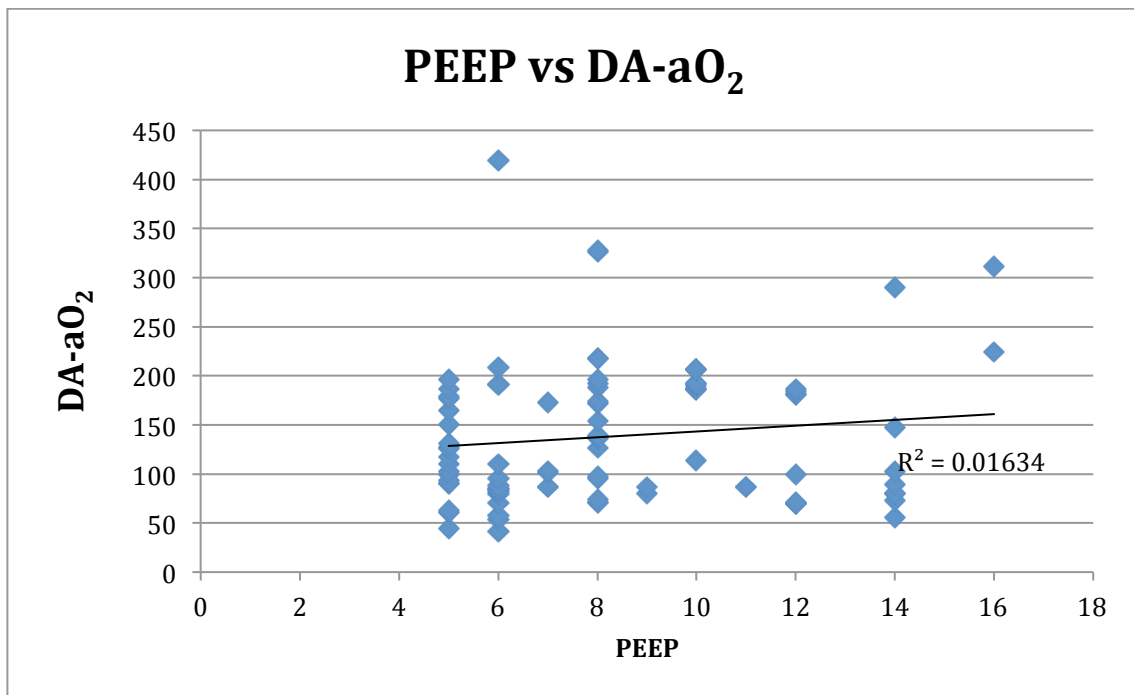
DE=Desviación Estándar,  
Hb=Hemoglobina, FC=Frecuencia  
cardíaca, PAM=Presión arterial media,  
PaO<sub>2</sub>=Presión arterial de oxígeno,  
PaCO<sub>2</sub>=Presión arterial de dióxido de  
carbono, PEEP=Presión positiva al final de  
la espiración, PAO<sub>2</sub>=Presión alveolar de  
oxígeno, DA-aO<sub>2</sub>=Diferencia alveolo-

**Figura 1.** PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> vs DA-aO<sub>2</sub>



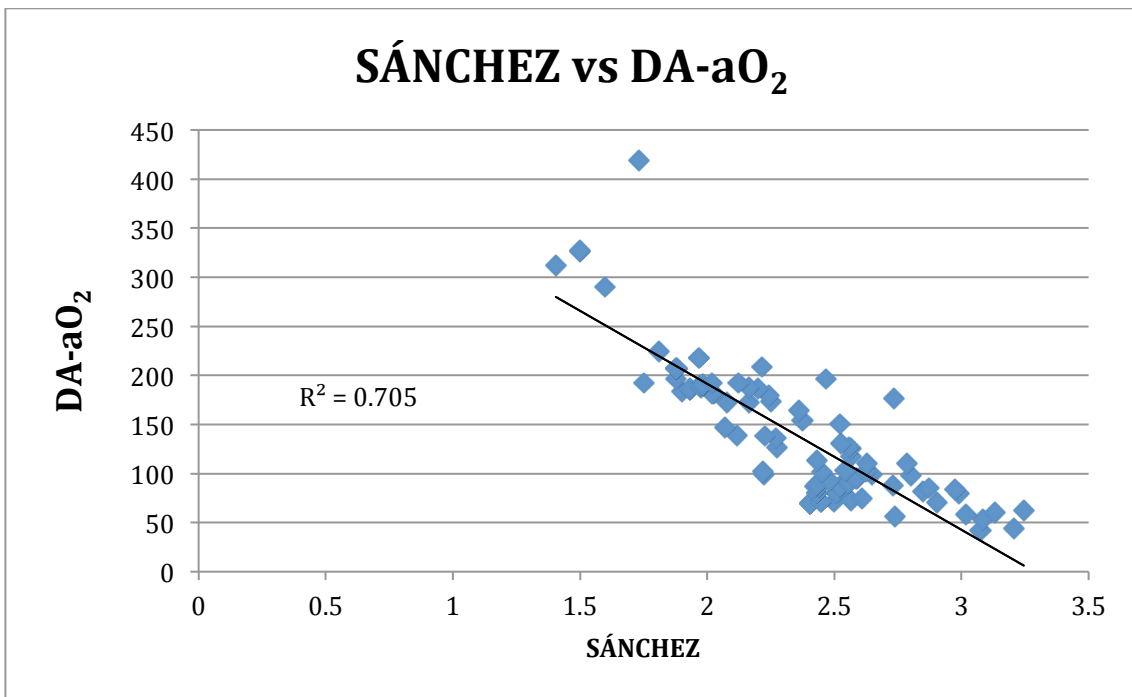
PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>= Presión arterial de oxígeno/Fracción inspirada de oxígeno  
DA-aO<sub>2</sub>= Diferencia alveolo arterial de oxígeno

**Figura 2.** PEEP vs DA-aO<sub>2</sub>



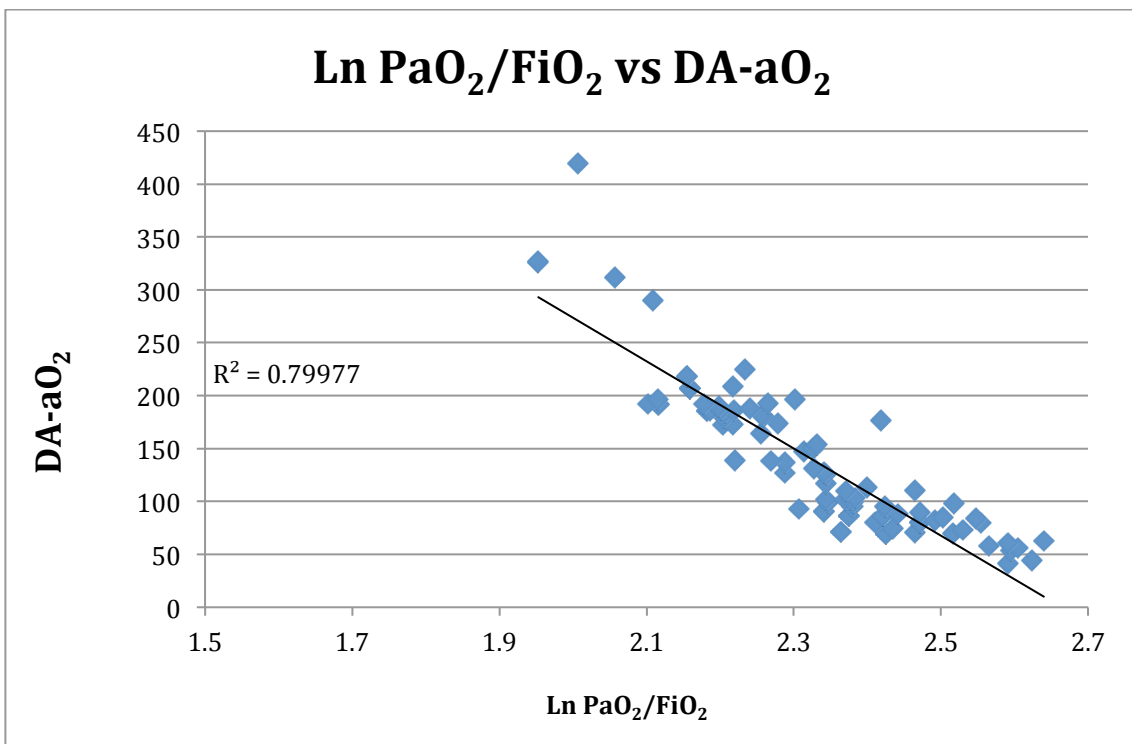
PEEP= Presión positiva al final de la espiración  
DA-aO<sub>2</sub>= Diferencia alveolo arterial de oxígeno

**Figura 3. Sánchez vs DA-aO<sub>2</sub>**



SÁNCHEZ=  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 = \text{Ln}(\text{PaFi}/[\text{PEEP}+12])$   
DA-aO<sub>2</sub>= Diferencia alveolo arterial de oxígeno

**Figura 4. Ln(PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>) vs DA-aO<sub>2</sub>**



$\text{LnPaO}_2/\text{FiO}_2$ = Logaritmo natural de la Presión arterial de oxígeno/Fracción inspirada de oxígeno  
DA-aO<sub>2</sub>= Diferencia alveolo arterial de oxígeno



