

***“Comportamiento de la Frecuencia Cardíaca y la  
Saturación de Oxígeno durante una Prueba de Esfuerzo  
Máxima en Mujeres Embarazadas Sanas a 2,640m sobre el  
nivel del mar: Estudio Piloto”***

***Autor:***

***Verónica Natalia Bachiller Parra***



***Universidad El Bosque***

***Postgrado de Medicina del Deporte***

***Bogotá D.C., Febrero de 2010***

***“Comportamiento de la Frecuencia Cardíaca y la  
Saturación de Oxígeno durante una Prueba de Esfuerzo  
Máxima en Mujeres Embarazadas Sanas a 2,640m sobre el  
nivel del mar: Estudio Piloto”***

Investigador:

***Verónica Bachiller Parra***

***Residente de III Año***

Tutor Académico:

***Doctor Juan Manuel Sarmiento (UNBOSQUE)***

***Doctor Mauricio Serrato (CSB)***

***Michelle Mottola (Asesor a distancia UWO-Canadá)***

Tutor Metodológico:

***Doctora María Helena Alarcón***

**Universidad El Bosque  
Postgrado Medicina del Deporte  
Bogotá D.C.**

**2010**

## Dedicatoria:

Aunque este trabajo en principio parecía imposible debido a las múltiples implicaciones éticas, hubo personas que estuvieron a mi lado para alentarme y darme la motivación necesaria para continuar y finalmente llevarlo a cabo exitosamente. Gracias a todas las personas que creyeron en mí y que de una u otra forma me acompañaron en el proceso.

Es por eso que hoy dedico este trabajo en primer lugar, a mi familia que ha sido mi más grande motivación y motivo de orgullo. Porque siempre han creído en mí y siempre me han apoyado. En especial quiero agradecer a mi padre, que participo en el proceso de adecuación de la banda sin fin para poder utilizar el arnés de seguridad que emplearon las pacientes en el estudio y que hoy se utiliza en todas las pruebas de esfuerzo realizadas en el Centro de Servicios Biomédicos de COLDEPORTES, Bogotá.

También quiero agradecer al director del postgrado de medicina del deporte, que más que un guía académico-profesional ha sido un gran colega y un amigo.

لتوأم روجي, for your unconditional support in spite of the distance..., for being a motivation, for admiring me, for believing in my potential and for making my day when I was about to give up; this achievement is also for you.

## Agradecimientos:

Agradezco al Dr. Juan Manuel Sarmiento, director del postgrado de Medicina del Deporte de la Universidad El Bosque y asesor científico de este trabajo, por su asesoría, por creer en este trabajo y en especial por valorar y exaltar mi perseverancia haciendo que mi determinación para lograr el objetivo propuesto fuera cada día más fuerte.

Al Dr. Mauricio Serrato docente del postgrado de Medicina del Deporte de la Universidad El Bosque y asesor científico, por su colaboración en el estudio y por permitir realizar las pruebas de esfuerzo en el Centro de Servicios Biomédicos de Bogotá (Centro de Alto Rendimiento en Altura, COLDEPORTES, Bogotá) lugar que dirige. Se agradece también a la institución en mención por proveer los recursos y medios para llevar a cabo este estudio.

A la Dr. María Helena Alarcón asesora metodológica del presente, por su gran disposición y colaboración que desde siempre la ha caracterizado.

A los docentes del postgrado de Medicina del Deporte, por aportar sus conocimientos en el tema y por las correcciones sugeridas para hacer de éste un gran trabajo de tesis.

I also want to thank Dr. Michelle Mottola (Ph.D.) associate professor in the Faculty of Health and Sciences at The University of Western Ontario (London Ontario, Canada) for being an extraordinary rotation tutor at The Exercise and Pregnancy Lab at UWO, for letting me reproduce her protocol in my study, for being my long distance adviser and also for being a friend.

## Salvedad de Responsabilidad Institucional

“La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por el investigador en su trabajo, solo velará por el rigor científico y metodológico del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia”

## Tabla de Contenido

	Página
Lista de Tablas	7
Lista de Gráficas	8
Lista de Siglas	9
Lista de Anexos	11
Resumen	12
1. Introducción	14
2. Problema de Estudio	16
3. Justificación	18
4. Propósito	19
5. Objetivo General y Específicos	20
6. Marco Teórico	21
7. Metodología	31
8. Comité de Ética	35
9. Matriz de Variables	36
10. Análisis Estadístico	37
11. Resultados	38
12. Discusión	46
13. Conclusiones	53
14. Limitaciones del Estudio	54
15. Cronograma y Presupuesto	55
Referencias bibliográficas	57
Anexos	61

## Lista de Tablas

	Página
Tabla 1. Diferencias fisiológicas en embarazos a nivel del mar frente a alturas moderadas	28
Tabla 2. Matriz de Variables	35
Tabla 3. Método T de Student para la Diferencia de Medias	36
Tabla 4. Características de la Población de Estudio	37
Tabla 5. Variables fisiológicas y Resultados de la Prueba	39
Tabla 6. Comparación de resultados Mottola et al vs. Bachiller et al.	47

## Lista de Gráficas

	Página
Gráfica 1. Comportamiento individual de la frecuencia cardiaca durante una prueba de esfuerzo máxima	40
Gráfica 2. Comportamiento Grupal de la Frecuencia Cardiaca durante una prueba de esfuerzo máxima	40
Gráfica 3. Relación Frecuencia Cardiaca y Consumo de Oxígeno durante una prueba de esfuerzo máxima	42
Gráfica 4. Comportamiento Individual de la Saturación de Oxígeno durante una prueba de esfuerzo máxima	43
Gráfica 5. Comportamiento Grupal de la Saturación de Oxígeno durante una prueba de esfuerzo máxima	43

## Lista de Siglas

ACGO	American College of Gynaecology and Obstetrics
ACT	Agua Corporal Total
BPN	Bajo peso al nacer
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CSEP	Canadian Society of Exercise Physiology
cms	Centímetros
DLI	Decúbito Lateral Izquierdo
DS	Desviación Estándar
Ft	Del inglés feet (Pies)
FCmáx	Frecuencia Cardíaca Máxima
FCrec	Frecuencia Cardíaca de Recuperación
FCrep	Frecuencia Cardíaca de Reposo
FCres	Frecuencia Cardíaca de Reserva
FCumb	Frecuencia Cardíaca al Umbral
FCF	Frecuencia Cardíaca Fetal
FR	Frecuencia Respiratoria
FUP	Flujo Útero Placentario
GC	Gasto Cardíaco
HIE	Hipertensión Inducida por el Embarazo
IC	Índice Cardíaco
IMC	Índice de Masa Corporal

kg	Kilogramos
km/hr	Kilómetros por hora
lpm	Latidos por minuto
m	Metros
min.	Minutos
ml/kg/min	Mililitros por Kilogramo por Minuto
mph	Millas por hora
MAM	Mal Agudo de Montaña
PaO <sub>2</sub>	Presión Arterial de Oxígeno
PAM	Presión Arterial Media
PP	Período Postparto
PSE	Percepción Subjetiva al Esfuerzo
RCIU	Retardo del Crecimiento Intrauterino
RN	Recién Nacido
RQ	Coefficiente Respiratorio
RVP	Resistencia Vasular Periférica
Sat.O <sub>2</sub>	Saturación de Oxígeno
SOGC	Society of Obstetricians and Gynaecologists of Canada
TPP	Trabajo de Parto Pretérmino
VL	Volumen Latido
VO <sub>2</sub> máx	Consumo de Oxígeno Máximo
VO <sub>2</sub> pico	Consumo de Oxígeno Pico

## Lista de Anexos

	Página
Anexo 1. Clasificación del Embarazo según el Riesgo Obstétrico	60
Anexo 2. Rangos de Frecuencia Cardíaca y Ejercicio Aeróbico en el embarazo	61
Anexo 3. Contraindicaciones Absolutas y Relativas para realizar ejercicio en el embarazo y causas de terminación del mismo	61

## Resumen

*Propósito:* Este estudio pretende observar el comportamiento de la Frecuencia Cardíaca y la Saturación de Oxígeno durante una prueba de esfuerzo máxima en mujeres sanas con embarazos de bajo riesgo en la ciudad de Bogotá. *Métodos:* Se evaluaron ocho mujeres con embarazos de bajo riesgo de II y III trimestre de gestación, quienes realizaron una prueba de esfuerzo limitada por síntomas empleando un protocolo de Balke modificado. Para el análisis se dividieron por edad biológica y gestacional además de realizar un análisis individual y grupal de las variables medidas. *Resultados:* el promedio de FC<sub>máx</sub> encontrado no difiere con sus contrapartes a nivel del mar o alturas bajas, sin embargo hay que tener en cuenta que en algunos casos las cargas empleadas no fueron las mismas; lo mismo ocurre para los valores de VO<sub>2</sub>pico. Por otra parte, es la primera vez se observa el comportamiento de la saturación de oxígeno durante el ejercicio y la recuperación encontrando que para la población estudiada, la desaturación durante el ejercicio y posterior aumento de los valores cerca de los iniciales fueron significativos. *Conclusión:* Este es el primer estudio de su tipo, el cual encontró que el comportamiento de la frecuencia cardíaca máxima materna es similar a otras publicaciones a diferentes alturas. La saturación de oxígeno demostró una adecuada respuesta adaptativa a la altura confiriendo seguridad durante una prueba maximal en embarazos de bajo riesgo a alturas moderadas.

Palabras clave (key words): pregnancy and exercise, maternal heart rate, guidelines, pregnancy and altitude, altitude and exercise, maximal exercise test and pregnancy, oxygen saturation and pregnancy.

## Abstract

*Purpose:* The aim of this study is to observe the behavior of the heart rate and the oxygen saturation during a maximal exercise test in healthy pregnant women with low risk pregnancies at the city of Bogota. *Methods:* Eight women of II and III trimester of gestation with low risk pregnancies were evaluated; they performed a maximal exercise test limited by symptoms using a modified Balke protocol. For the analysis, they were divided by biological and gestacional age in addition to an individual and group analysis for the measured variables. *Results:* the average of maximal heart rate found does not differ with their counterparts at sea level or low altitudes, nevertheless it is necessary to keep in mind that in some cases the loads were different; the same happens for the  $VO_{2peak}$  values. On the other hand, this is the first time the oxygen saturation behavior has been observed during exercise and recovery for the studied population. The low saturation during exercise and later increase of these values close to the initial ones at recovery were significant. *Conclusions:* This is the first study of its kind, finding that maternal maximal heart rate is similar to other publications at different altitudes. Oxygen saturation demonstrated a suitable adaptive response to altitude demonstrating safety during a maximal exercise test in low risk pregnancies at moderate altitudes.

**Key Words:** pregnancy and exercise, maternal heart rate, guidelines, pregnancy and altitude, altitude and exercise, maximal exercise test and pregnancy, oxygen saturation and pregnancy.

## Introducción

Hasta hace un par de décadas se creía que el ejercicio durante el embarazo podía desencadenar sufrimiento fetal agudo, trabajos de parto pretérmino, abortos o retardo del crecimiento intrauterino (49). Hoy en día existen estudios que soportan que el ejercicio es benéfico tanto para la madre como para el feto (1, 10, 18, 46). En 1980, el Instituto Melpomene en Minnesota demostró que los recién nacidos de madres que realizaban ejercicio presentan puntajes de APGAR y pesos normales (30). En 1992 un meta-análisis con 18 estudios concluyó que se puede prescribir el ejercicio durante el embarazo de forma segura (27).

En 2002 y 2003, el Colegio Americano y la Sociedad Canadiense de Ginecología y Obstetricia publicaron respectivamente las últimas guías sobre embarazo y ejercicio por las cuales nos regimos actualmente para la prescripción del mismo (1, 49). Estas guías recomiendan que mujeres naturales y residentes a nivel del mar no deben realizar ejercicio durante el embarazo a más de 1800m sobre el nivel del mar y se desaconseja realizar ejercicio a más de 3100m aun para mujeres naturales y residentes a altura; pero por falta de estudios y evidencia no se pueden dar una recomendación clara para alturas entre 1800 y 3100m sobre el nivel del mar o denominadas alturas moderadas (8).

Hoy en día más de 140 millones de personas residen a más de 2500m sobre el nivel del mar (48) y allí se presentan embarazos en mujeres que continúan su vida normal, trabajando y algunas de ellas realizando actividades de la vida diaria que requieren grandes esfuerzos como cargar a otros hijos en sus espaldas y caminar

por largos periodos de tiempo como se ha observado en diferentes poblaciones de la región andina (35). A pesar de los cambios propios del embarazo, la altura por sí misma y los posibles efectos adversos de la actividad física durante el embarazo en altura; muchos de estos embarazos llegan a un feliz término. Sin embargo no existen estudios que hablen sobre la seguridad del ejercicio durante el embarazo a más de 2228m sobre el nivel del mar (16).

En 2.006 la Dra. Mottola y colaboradores encontraron los rangos de frecuencia cardiaca a los que mujeres de II trimestre de embarazos (normales) pueden ejercitarse con mayor seguridad según su estado físico y edad biológica (37).

Este estudio pretende bajo un protocolo similar al empleado por Mottola y colaboradores, observar el comportamiento de la frecuencia cardiaca máxima, el consumo de oxígeno ( $VO_2$ ) pico y la saturación de oxígeno ( $Sat.O_2$ ) maternos a la altura de Bogotá (2640m) en un intento por determinar la seguridad tanto de las pruebas maximales como del ejercicio en mujeres gestantes a alturas moderadas. A su vez, en lo posible hacer una recomendación en cuanto a la  $FC_{máx}$  para la prescripción del ejercicio según las respuestas fisiológicas encontradas a estas alturas.

## Problema de Estudio

En la Resolución número 00412 de 2.000 emitida por el Ministerio de Salud de Colombia, cuyo objetivo es desarrollar actividades de detección y atención temprana de enfermedades de interés en salud pública, además de reducir el riesgo de enfermedad y muerte por causas evitables garantizando la salud en nuestro país; se hace referencia a la *“Norma técnica para la detección temprana de las alteraciones del embarazo”* donde una de las recomendaciones es que médicos generales o personal de salud encargado del control prenatal, fomenten el ejercicio para embarazos de bajo riesgo e incluso para algunos de alto riesgo (Ver Anexo 1). Es probable que esto no se cumpla hasta cuando la prescripción según la frecuencia cardíaca materna sea basada en un consenso general soportado por suficiente evidencia y seguridad. Esta es la razón por la cual hoy en día la prescripción se hace basada en las recomendaciones de las principales guías de manejo de ejercicio durante el embarazo publicadas las cuales pueden llegar a ser tanto conservadoras como erróneas para nuestra población, la cual tiene características demográficas y antropométricas diferentes además de adaptaciones a la altura (3, 49) (Ver Anexo 2).

En el año 2.006, la Dra. Mottola M. y colaboradores. (37) publicaron un estudio en el cual realizaron pruebas de esfuerzo máximas en banda sin fin a mujeres con embarazos bajo riesgo de 16 a 22 semanas en London, Ontario a 254m a nivel del mar; calcularon su  $VO_{2pico}$  y por medio de una ecuación de predicción obtuvieron rangos de frecuencia cardíaca de trabajo según el nivel de acondicionamiento y

edad biológica. Gracias a este estudio, hoy se sabe cuál es la frecuencia cardiaca de prescripción para realizar ejercicio durante embarazos de bajo riesgo en mujeres naturales y residentes a nivel del mar y bajas alturas.

Los estudios realizados a mayor altura hasta hoy, han sido a 2228m sobre el nivel del mar donde los resultados no fueron concluyentes para desaconsejar el ejercicio durante el embarazo; pero debido a la gran población a alturas superiores y ya que existe un consenso de presurización de las cabinas de los aviones a  $\approx 2500\text{m}$  implicando esto que, mujeres embarazadas realicen largos viajes aéreos con una mayor necesidad de realizar actividad física durante los vuelos para evitar complicaciones. Es por esto que se deben realizar más estudios a alturas moderadas para poder determinar la seguridad, recomendar y prescribir el ejercicio en mujeres con embarazos bajo riesgo a estas alturas.

Así que nace el interrogante: “¿Cómo es el comportamiento de la Frecuencia Cardiaca y la Saturación de Oxígeno en mujeres con embarazos bajo riesgo a alturas moderadas (2640m sobre el nivel de mar) durante un ejercicio maximal?”

Este trabajo pretende primero describir las respuestas fisiológicas al ejercicio a alturas moderadas (para residentes a estas alturas), su seguridad y posteriormente observar el comportamiento de la frecuencia cardiaca y la saturación de oxígeno de mujeres con embarazos sanos a la altura de Bogotá durante una prueba maximal en banda sin fin.

## Justificación

Hasta el presente no se han realizado estudios de pruebas maximales en gestantes a alturas moderadas para determinar si los resultados obtenidos en estudios previos a nivel del mar son aplicables y reproducibles a nuestra población. El estudio es **conveniente** porque será el primer paso para lograr un consenso sobre la frecuencia cardiaca materna de trabajo, identificará si ésta difiere a diferentes alturas y así se podrá hacer una prescripción más segura. **Estadísticamente** los resultados aportarán información sobre el nivel de acondicionamiento materno (signos vitales y percepción al esfuerzo).

El aporte y alcance de los resultados del estudio son **relevantes** ya que la literatura en general y los estudios de ejercicio durante el embarazo son limitados por aspectos éticos y por lo dispendioso que resulta estudiar mujeres embarazadas. Además las guías publicadas (americanas y canadienses) hacen referencia a poblaciones diferentes a las nuestras (aspectos antropométricos, genéticos, socioculturales y de adaptación a la altura). Igualmente las **implicaciones prácticas** permitirán implementar nuevos protocolos y/o mejorar los ya existentes en relación a la prescripción del ejercicio. El **alcance social** es significativo ya que hay una gran población objeto de intervención (mujeres gestantes) a las que se les conferirá mayor seguridad durante el ejercicio en el embarazo, mejorarán factores como su autoestima (imagen corporal) y su salud a corto plazo (bienestar), mediano plazo (menor incidencia de lesiones y aumento de aptitudes físicas) y a largo plazo (disminución en la incidencia de enfermedades crónicas no transmisibles).

## Propósito

Reproducir como un estudio piloto el protocolo empleado por la Dra. Mottola M. y colaboradores (con su previa autorización), a la altura de Bogotá (2640m) para observar el comportamiento de la frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno en mujeres embarazadas a alturas moderadas y determinar según su comportamiento si es seguro realizar pruebas maximales durante embarazos de bajo riesgo a estas alturas, y observar los efectos de la altura sobre el Consumo de Oxígeno Pico ( $\text{VO}_2$  pico).

Debido a que se trata de un estudio piloto, este estudio podrá servir como base para estudios futuros.

## Objetivo General

- Observar el comportamiento de la frecuencia cardiaca y la saturación de oxígeno durante el ejercicio dinámico (prueba de esfuerzo máxima) en mujeres con embarazos normales a 2640m sobre el nivel del mar

## Objetivos Específicos

- Observar el comportamiento de la frecuencia cardiaca materna durante el ejercicio dinámico en mujeres con embarazos de bajo riesgo.
- Observar el comportamiento de la saturación de oxígeno durante el ejercicio dinámico en mujeres con embarazos de bajo riesgo.
- Medir el Consumo de Oxígeno Pico ( $VO_{2pico}$ ) de mujeres con embarazos bajo riesgo a la altura de Bogotá.
- Encontrar la correlación entre la Frecuencia Cardiaca Máxima y el  $VO_{2pico}$  para la población en estudio.
- Observar diferencias entre las diferentes edades de gestación en cuanto a las variables fisiológicas medidas.

## Marco Teórico

### **Importancia de la monitorización de la Frecuencia Cardíaca durante el ejercicio en el embarazo**

Durante el embarazo no es posible hacer una adecuada prescripción del ejercicio guiándose únicamente por la Percepción Subjetiva al Esfuerzo (PSE) ya que ésta subestima la correlación con la Frecuencia Cardíaca (FC) e intensidad. Esto debido a que las variables fisiológicas se ven afectadas durante el embarazo. Incluso para tener en cuenta solo la PSE no debe existir música de fondo ya que esta altera la PSE aun con FC altas, es por esto que la FC debe ser monitorizada directamente y es la manera más adecuada de valorar la intensidad del trabajo durante el embarazo (39). La PSE permanece constante en el embarazo y disminuye el periodo postparto (PP) (40).

Es importante calcular los rangos de FC de trabajo durante el embarazo para obtener los mayores beneficios del ejercicio bajo parámetros de una adecuada e individualizada prescripción, eficaz y segura tanto para la madre como para el feto. Además es responsabilidad de la persona que prescribe y también para la que está presente en la ejecución del ejercicio, saber las contraindicaciones absolutas y relativas para ejercitarse durante el embarazo además de las causas de terminación del mismo (Ver Anexo 3).

## **Cambios fisiológicos durante el embarazo a nivel del mar**

Con el embarazo, el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ .) aumenta en reposo en un 30%, aumenta la producción del dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el volumen corriente y la frecuencia respiratoria aumentan en un 50% (13, 32, 33). A través del embarazo el volumen sanguíneo aumenta en un 40-50%, el volumen latido aumenta un 10% y la frecuencia cardiaca en un 20% durante el reposo y el ejercicio moderado frente a un 30-50% en el ejercicio vigoroso; esto debido a un aumento de la resistencia vascular (32).

El aumento del  $VO_2$  se presenta aun en mujeres sedentarias sin importar la posición en la que se les mida (47) y el  $VO_2$  máximo se presenta alrededor de la semana 32 de gestación (3). Aunque si hay un aumento del  $VO_2$  durante el embarazo este no es significativo en relación al aumento de peso y se sigue presentando el fenómeno de encontrar  $VO_2$  mayores en Banda sin fin que en Cicloergómetro (28, 29). Las mujeres activas durante el embarazo presentan mayores  $VO_2$  durante y después del embarazo (11).

Es evidente un aumento de la Frecuencia Cardiaca de Reposo (FCrep) desde el I trimestre aumentando progresivamente hasta unos 15-20 lpm comparada con mujeres no embarazadas (49). Esto se presenta por una modulación simpaticoadrenal alterada y una respuesta vagal disminuida, esto para trabajos a 60-80% del  $VO_{2max}$  para la edad (6).

El umbral ventilatorio no es diferente en mujeres embarazadas al compararse con las no embarazadas. Pero el coeficiente respiratorio y el  $VO_2$  post-ejercicio si es

menor cuando realizan un esfuerzo maximal. Sin embargo, el embarazo no afecta adversamente la capacidad al trabajo durante el ejercicio (19, 29). Con respecto a la saturación de O<sub>2</sub> en reposo durante un estudio realizado a 490m sobre el nivel del mar en 90 mujeres no obesas sanas los valores que se encontraron para el primer trimestre fueron de 94.3% con un rango entre 94.1 y 94.7% y en el tercer trimestre de 94.2% con un rango entre 93.5 y 94.3%(2). No se han publicado datos del comportamiento de la saturación durante el embarazo a mayores alturas en el reposo ni durante una prueba maximal incluida la recuperación. Estudios en el pasado sugerían dos veces más riesgo de una respuesta ventilatoria hipóxica a moderadas alturas pero se demostró seguridad aun a 2500m sobre el nivel del mar (7).

### **Embarazo y ejercicio: Evidencia**

El ejercicio regular es capaz de atenuar síntomas del primer trimestre como náusea, fatiga y dolor lumbar (4), además mejora la autoestima y otros parámetros psicológicos como insomnio, estrés, ansiedad y depresión (12, 43, 45) y mejora incluso el riesgo cardiovascular materno (12). También conlleva grandes beneficios para la salud materna como la disminución de la tensión arterial (reposo y ejercicio), una mejor función muscular diafragmática mejorando el patrón respiratorio durante el trabajo de parto, limita la ganancia de peso (retención grasa), además de un trabajo de parto y parto más fácil (31).

Se ha demostrado que mujeres entrenadas previo al embarazo, que mantienen un nivel de actividad durante el embarazo (45 minutos 3 veces por semana) tienen

mayor volumen vascular placentario y mayor extracción de  $O_2$  que mujeres sedentarias (27). También pueden compensar más fácilmente con un aumento del hematocrito (Hcto) (9). El nivel de acondicionamiento previo determina el régimen del ejercicio al que será sometido durante el embarazo (32). Es por esto que se puede concluir que el embarazo aumenta la eficiencia al ejercicio (28).

La  $FC_{max}$  no aumenta a través del embarazo, es más, se observa un aumento lento o una disminución de la misma (29). La respuesta está atenuada durante el ejercicio máximo lo cual determina una disminución de la Frecuencia Cardiaca de Reserva ( $FC_{res}$ ) (34).

La gran mayoría de estudios durante el embarazo han sido pruebas submaximales extrapoladas a pruebas maximales y en ellas se ha visto que el embarazo afecta la relación lineal  $FC-VO_2$  con una pendiente menor (29). Además la mayoría de estos estudios han sido en Cicloergómetro (40). Según Astrand, las pruebas en Cicloergómetro sobrestiman el  $VO_2$  en un 8% mientras que en Banda sin fin un 5% por medición directa en mujeres sanas no embarazadas mientras que durante el embarazo la  $FC$  aumenta en un 3% y el  $VO_2$  en un 10% en Banda sin fin con respecto a sus contrapartes. Los cambios más evidentes se presentan en la semana 35 de gestación (28).

La seguridad de las pruebas de esfuerzo durante el embarazo ha sido demostrada observando un aumento en la  $FC$  de 20 lpm post-ejercicio (30). Además se determinaron las intensidades a las que las mujeres embarazadas trabajan más

cómodamente durante el embarazo siendo 18-50% en el I trimestre, 40-50% en el II trimestre y 42-76% en el PP (10).

Según observaciones no publicadas por la Dr. Mottola en 2.005, los rangos de FC de trabajo encontrados por su grupo (Ver Anexo 2.) no se aplican para mujeres muy entrenadas (37).

Con respecto a la respuesta de la Frecuencia Cardiaca Fetal (FCF) se ha observado que no hay cambios significativos en aquellos fetos cuyas madres se ejercitan regularmente durante el 2do y 3er trimestre de embarazo (21) y tampoco hay una disminución de la variabilidad cardiaca fetal significativa (31).

Con relación a los pesos de los recién nacidos se demostró que los hijos de madres sedentarias tienen pesos normales, los hijos de madres activas tienen mayores pesos pero si las madres se ejercitan vigorosamente la tendencia es que sus hijos tengan Bajo Peso al Nacer (BPN) (8). Un meta-análisis de Cochrane con 11 estudios y 472 mujeres entrenadas y una alta duración por sesión al principio del embarazo y posterior disminución de la duración e intensidad demostró recién nacidos y placentas mas grandes (26). No hay cambios en el peso al nacer de hijos de madres que se ejercitaron hasta la semana 28 de gestación (43).

Según el PARmed-X-embarazo, mujeres de 20-29 años pueden ejercitarse con seguridad a 135-150 lat/min, las mujeres de 30-39 años de 130-145 lat/min (10). Pero según el estudio de Mottola y colaboradores para mujeres acondicionadas de 20-29 años se calculó una FC de 145-160lat/min y para el grupo de 30-39 años de 140-156lat/min (37). Lo anterior se aplica para mujeres a nivel del mar o alturas

bajas pero se desconoce si son los rangos adecuados para mujeres a alturas superiores. Las guías canadienses y americanas han sido criticadas porque son muy restrictivas, recomendando que todas las mujeres (activas o no) mantengan FC menores o iguales a 140lat/min en sesiones de 15 minutos (15).

Se sugiere que el ejercicio a más de 1830m de altura aumenta el riesgo de parto pretérmino, sangrado y limita el aporte de O<sub>2</sub> en complicaciones obstétricas; pero no se han documentado estas repuestas con ejercicio submáximo a esta altura ni tampoco complicaciones en mujeres embarazadas expuestas, como turistas en centros de esquí y azafatas lo que podría sugerir que el ejercicio a esta altura es seguro (3, 36, 38).

### **Seguridad del Ejercicio en el Embarazo: Flujo Útero Placentario (FUP)**

Una de las observaciones más importantes con la cual se puede considerar seguro el ejercicio durante el embarazo es que durante pruebas submáximas en embarazos normales no se identificó un cambio en el Flujo Útero Placentario (FUP) y aun más llamativo es que el feto llega a tolerar una disminución del 50% del FUP sin llegar a sufrir hipoxia aun con aumento del Gasto Cardíaco (GC) e Índice Cardíaco (IC). Tampoco hubo repercusión en el peso al nacer de hijos de madres que se ejercitaron hasta la semana 28 de gestación (43).

El FUP en reposo en decúbito lateral izquierdo (DLI) es mayor que en posición supina, pero posterior al ejercicio es mayor que en la posición supina en reposo

sobretudo en pruebas realizadas en banda sin fin y esto es aún más notorio en mujeres sedentarias (22).

En 2.002 Clapp afirmó que el ejercicio durante el embarazo es seguro y complementario, sin llegar a sobrepasar más del 80% de la FCmax ya que a estas intensidades puede existir una disminución del FUP (14). Además el ejercicio vigoroso ha demostrado aumento de riesgo para Trabajo de Parto Pretérmino (TPP), hipoxia y Acidosis Fetal. La bipedestación prolongada puede llegar a disminuir el FUP hasta en un 18% (9).

La respuesta fetal post-ejercicio observada es una disminución de la Resistencia Vascular Periférica (RVP) y un aumento del flujo umbilical, también una disminución de la resistencia de la Aorta en pruebas submáximas (31, 42). Todos los estudios de mediciones directas se han realizado únicamente en modelos animales pero no hay mediciones directas del FUP en humanos, solo son estimados indirectos (16).

### **Embarazo y Altura**

Hoy en día se estima que más de 140 millones de personas residen a alturas mayores de 2500m sobre el nivel del mar y más de 34 millones de personas se exponen a mas de 2500m ya sea por turismo o el simple hecho de tomar un avión (20, 38, 41). Es por esto que es importante contar con evidencia para hacer algún tipo de recomendaciones para una población especial como lo son las embarazadas.

Hasta donde se sabe, el embarazo no aumenta la susceptibilidad al Mal Agudo de Montaña (MAM) (16, 17). Pero poco se conoce sobre altura y embarazo, por lo menos no a más de 1600m sobre el nivel del mar. Se sabe que con la altura hay un aumento de la Frecuencia Respiratoria (FR) y del Hematocrito, además de una disminución en la Saturación de O<sub>2</sub> (Sat.O<sub>2</sub>) (36).

Sin embargo durante el embarazo la Sat.O<sub>2</sub> es mayor, al igual que la PaO<sub>2</sub>. Hay una disminución de 0.2% de la Sat.O<sub>2</sub> por cada 100m de ascenso (16). Un hallazgo muy llamativo en un estudio que comparo diferentes asentamientos humanos a diferentes alturas, es que la línea de quiebre de peso al nacer se presenta alrededor de los 2000m o 6000ft. Lo cual se relaciona directamente con la curva de disociación de la Hemoglobina. La edad gestacional es 0.5 semanas más corta a 2744 m (9000 ft) pero esto no explica la diferencia de 240gr en el peso al nacer. Sin embargo poblaciones como la Andina y Tibetana con más de 10.000 y 20.000 años respectivamente de asentamiento presenta un tercio menos reducción del peso al nacer que la población Europea o Han (en China) que llevan menos de 500 años asentados a alturas similares. Esto explicaría nuevamente un tipo de adaptación genética con el desarrollo de mecanismos protectores (35).

En general, existen cambios propios del embarazo y cambios propios de altura que por separado, son contradictorios (24). Durante un embarazo normal (a nivel del mar) hay un aumento de la masa eritrocitaria y del volumen plasmático lo que produce una pseudoanemia. En la exposición a la altura hay una disminución del agua corporal total (ACT) y del volumen plasmático lo que produce un aumento en hematocrito y la osmolaridad sérica. Por lo tanto se considera que el embarazo

curso con un aumento del GC y una disminución de la viscosidad mientras que la altura cursa con un bajo GC y una alta viscosidad (24, 25). Es por todo lo anterior que mujeres naturales y residentes a bajas alturas deben completar al menos cinco días de aclimatación para realizar ejercicios de intensidad leve a moderada a mas de 1800m y haberse descartado otros factores de riesgo como son el tabaquismo, la anemia o RCIU (20).

En un estudio en Colorado, con mujeres con embarazos sanos y con Hipertensión Inducida por el Embarazo (HIE) a diferentes alturas demostró que para el grupo de residentes a 2134-2743m sobre el nivel del mar; el peso al nacer de los recién nacidos no tuvo diferencias significativas frente a los otros grupos e incluso las mujeres que presentaban HIE a estas alturas demostraron RN con pesos mayores que las mujeres con HIE a bajas alturas (23).

**Tabla 1. Diferencias fisiológicas en embarazos a nivel del mar frente a alturas moderadas**

<b>Variabes</b>	<b>Embarazo a nivel del mar (0-500m) 110m</b>	<b>Embarazo a grandes alturas (3000-5500m) 4370m</b>
<b>Peso al nacer del RN</b>	3290gr	11% menor (2934gr)
<b>GC</b>	41%	31% menor (10-17%)
<b>VL</b>	10%	15% menor
<b>FC</b>	Aumenta reposo 10% y en ejercicio 20-50% (72lpm)	11% menor (80lpm)
<b>PAM</b>	84mmHg	8% menor (91mmHg)
<b>PO2</b>	95mmHg	50mmHg
<b>Saturación O<sub>2</sub></b>	98%	80%
<b>Masa celular roja</b>	Aumenta 25%	Aumenta Hcto y Osm
<b>Volumen plasmático</b>	Aumenta 40-50%	Disminuye ACT
<b>Estado</b>	Alto GC y baja viscosidad	Bajo GC y alta viscosidad

Resumen de Kametas y colaboradores. (24)

## **Embarazo, Altura y Ejercicio**

La evidencia al respecto es poca, pero se sabe que el FUP es menor a 3100m que a 1600m sobre el nivel del mar. Es por esto que se considera que el ejercicio en altura puede llegar a ser un riesgo combinando una baja Sat.O<sub>2</sub> y un FUP disminuido (16). Según la SOGC/CSEP estos efectos no se han demostrado en mujeres no residentes expuestas a alturas de 1800-2500m sobre el nivel del mar (6000-8250ft) (49).

Los cuatro estudios que han investigado estas respuestas tienen grandes limitaciones dadas por el número de pacientes (7 a 12), duración del ejercicio (3-12min), altura (1338-2228m sobre el nivel del mar) y que solo tuvieron en cuenta personas desacondionadas (34). El ejercicio durante el embarazo en mujeres no residentes a moderadas o grandes alturas debe ser evitado por los grandes riesgos que puede conllevar además de la necesidad de realizar una adecuada aclimatación de al menos 5 días. Si se presenta el caso, debe descartarse tabaquismo materno, RCIU y anemia (20). A 1524m o 5000ft no hay diferencias significativas en FCF reposo, reactividad fetal o actividad uterina antes o después del ejercicio pero si se han encontrado cambios a 2225m o 7300ft (3).

## Metodología

- a) Tipo de Estudio: Este fue un estudio descriptivo.
- b) Población de estudio: La población estuvo dada por mujeres naturales a más de 2000m de altura y residentes en la ciudad de Bogotá (mínimo 6 meses previo al estudio). Con edades entre los 20 y los 36 años con embarazos bajo riesgo que asistieran a programas de control prenatal.
- c) Fueron reclutadas por conveniencia de Septiembre a Diciembre de 2009 cuantas mujeres quisieron participar en el estudio y que cumplían con los criterios de inclusión. Según su edad, se dividieron en dos grandes grupos: de 20 a 28 años y de 29 a 36 años. Así mismo, fueron divididas por trimestres; hasta 12 semanas se consideraron como de I, hasta 26 semanas como de II y de 27 o más semanas como de III trimestre.
- d) Criterios de Inclusión: Se incluyeron en el estudio aquellas mujeres gestantes sanas, con embarazos de bajo riesgo entre los 20 y los 36 años que quisieron participar en el estudio, no fumadoras, que no estuvieran tomando medicamentos más allá de los suplementos vitamínicos prenatales, sin contraindicaciones absolutas para realizar ejercicio y que hubieran firmado el consentimiento informado.
- e) Los criterios de exclusión fueron: maternas con problemas de salud materna o fetal, alteraciones osteomusculares, mujeres que no llevaran al menos 6

meses viviendo continuamente a la altura de Bogotá y mujeres que hubiesen nacido a nivel del mar o a alturas bajas.

f) El material empleado consta de:

<input type="radio"/> Fonendoscopio
<input type="radio"/> Tensiómetro con Esfingomanómetro
<input type="radio"/> Oxímetro de pulso marca PALCO Modelo 305
<input type="radio"/> Termómetro de mercurio
<input type="radio"/> Báscula Adultos (Tanita)
<input type="radio"/> Tallímetro Adultos
<input type="radio"/> Escala de BORG
<input type="radio"/> Banda sin fin Marca Track Master Referencia
<input type="radio"/> Ergoespirómetro Marca Jagger Oxycon Delta y máscara de gases
<input type="radio"/> Cardiófrecuenciómetro Polar S810i
<input type="radio"/> Arnés industrial para detención y restricción de caídas en "H". Ref 9059-5
<input type="radio"/> Cordino de escalada de 6mm de diámetro y Eslinga industrial para posicionamiento y restricción de caídas Referencia 9017-621
<input type="radio"/> Desfibrilador mas carro de paro (disponibles fácilmente)
<input type="radio"/> Electroodos

Las gestantes se clasificaron en 2 grupos etáreos: de 20 a 28 años y de 29 a 36 años.

Adicionalmente se hizo un análisis en cuanto a las variables valoradas para cada trimestre de edad gestacional.

Se obtuvo el consentimiento informado de cada una de las participantes. El protocolo propuesto fue aprobado por El Centro de Servicios Biomédicos de Bogotá (COLDEPORTES). Este protocolo fue realizado y aprobado previamente en la Universidad de Western Ontario en London, Ontario, Canadá.

Para asegurar un adecuado aporte materno de glucosa durante el ejercicio, se solicitó a las maternas desayunar como habitualmente lo hacen (pruebas realizadas en horas de la mañana), las que la realizaron en horas de la tarde (dos pacientes), se les aseguró un aporte calórico de 250kcal 1 hora antes.

La talla y el peso se midieron en centímetros y kilogramos respectivamente y se llevaron a la unidad completa más cercana (siendo .5 llevado a la siguiente unidad). Se tomaron signos vitales en reposo (Frecuencia cardiaca, frecuencia respiratoria, tensión arterial y temperatura axilar materna y frecuencia cardiaca fetal la cual se tomó con fonendoscopio en los casos valorables).

Previo a cada prueba se calibró la máquina de gases Jaeger Oxycon Delta con concentraciones de gases estándar certificados y se aceptó una variabilidad de calibración del 2%. El aire espirado fue recolectado de manera continua por una técnica de circuito abierto respiración a respiración.

El protocolo propuesto fue el mismo que se empleó en las pruebas a nivel del mar (Mottola y colaboradores), un protocolo de Balke Modificado hasta la fatiga. Se empleó este protocolo ya que cada 2 minutos permitía a la gestante adaptarse a cada nueva carga de trabajo. Antes de iniciar la prueba, con el sujeto de pie sobre la banda sin fin en reposo se recolectaron gases respiratorios durante 3-5 minutos

con un monitoreo constante del  $\text{VO}_2$ . La frecuencia cardiaca se monitorizó por medio de un cuadro de 10 derivaciones electrocardiográficas y por un Cardiófrecuenciómetro (Polar S810i). Adicionalmente, pensando en brindar mayores medidas de seguridad, las mujeres portaron un arnés de seguridad que estaba sujeto a una estructura diseñada especialmente para la banda sin fin.

El calentamiento constó de 3 minutos a 3mph ( $4.8\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) a 0% de inclinación. Durante la prueba, la velocidad se mantuvo constante con un aumento de la inclinación de 2% cada 2 minutos hasta que lograron la fatiga. Cuando alcanzaron una inclinación del 12% y aun no se habían llegado a la fatiga, se procedió a aumentar la velocidad en 0.2mph ( $0.3\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) por etapa hasta lograr la fatiga. En los primeros 30 segundos de cada etapa se evaluó la percepción al esfuerzo empleando la Escala de Borg. Se le permitió a las maternas que no estaban familiarizadas con la banda sin fin sujetarse de la misma durante la prueba con solo una mano; a las demás se les indicó que no se sujetaran durante la prueba y de hacerlo se daría por terminada la prueba. Al presentarse alguno de los siguientes criterios se dio también por terminada la prueba: que la materna solicitara terminar la prueba, que se alcanzara una percepción al esfuerzo 9-10 o 19-20 en la escala de Borg o que se alcanzara la fatiga. Posterior a esto se procedió a realizar 3 minutos de enfriamiento a 2.5mph ( $4\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) y 0% de inclinación. El  $\text{VO}_2$  pico se obtuvo del promedio de los últimos 30 segundos del análisis de gases del equipo una vez alcanzado la fatiga.

## Comité de Ética

Se obtuvo aprobación por parte del Comité de Ética del Centro de Servicios Biomédicos de Bogotá (COLDEPORTES). La institución como tal recibió auditoría médica externa a la cual también fue sometido éste protocolo, recibiendo la correspondiente aprobación.

El protocolo empleado también fue aprobado por el comité de ética de la Universidad de Western Ontario en London, Ontario, Canadá; siendo éste el mismo del estudio de la Dra. Mottola et al (2006) por lo tanto se solicitó y obtuvo su autorización para reproducirlo.

**Tabla 2. Matriz de Variables**

<b>Nombre</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Escala de Medición</b>
<b>Carga (I)</b>	Estimulo con efectos diferenciados que consta de una naturaleza, magnitud, orientación y organización	Velocidad e Inclinación del protocolo propuesto	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Continua numérica</li> <li>· Velocidad <b>km/hr</b> o <b>mph</b></li> <li>· Inclinación en %</li> <li>· <b>Watts</b></li> </ul>
<b>Edad (I)</b>	Duración de la existencia de un individuo en unidad de tiempo	Día del último cumpleaños	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Continua numérica</li> <li>· <b>Años</b></li> </ul>
<b>Frecuencia Cardíaca (D)</b>	Interacción del sistema nervioso simpático y parasimpático para regular la frecuencia de descarga eléctrica generado latidos cardíaco	Numero de latidos cardíacos censados o palpados en 1 minuto	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Continua numérica</li> <li>· <b>lpm</b></li> </ul>
<b>Saturación de Oxígeno (D)</b>	Contenido arterial de O <sub>2</sub> que está unido a la hemoglobina y que es aportado a los tejidos	Valor obtenido del porcentaje de Hemoglobina unida al O <sub>2</sub> por longitud de onda en partes acrales de extremidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Continua numérica</li> <li>· <b>Sat. O<sub>2</sub> en %</b></li> </ul>
<b>Consumo de Oxígeno (D)</b>	Punto de mayor cantidad de O <sub>2</sub> que consume el organismo al realizar un esfuerzo máximo	Meseta en la curva de consumo de O <sub>2</sub> durante la realización de un ejercicio incremental	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Continua numérica</li> <li>· <b>VO<sub>2</sub>pico ml/kg/min</b></li> </ul>

## Análisis Estadístico

Se empleo una hoja electrónica *EXCEL* para elaborar la base de datos y para hacer el análisis estadístico (*medidas de tendencia central*) a las variables antropométricas y fisiológicas de cada una de las pacientes y los resultados grupales. Para encontrar la correlación entre FC y VO<sub>2</sub>pico se empleo el *Método de Regresión Lineal con Mínimos Cuadrados Ordinarios*. Para hallar la significancia estadística de las variables FC, VO<sub>2</sub>pico y Sat.O<sub>2</sub> se empleó el método de *T-de-Student* del Programa SAS (*Statistical Analysis System Software*). Finalmente, se utilizó el programa *GraphPad Prism 5* para hacer las gráficas del mismo.

**Tabla 3. Método T-de Student para la diferencia de medias**

<i>Diferencia</i>	<i>n</i>	<i>Media de la Diferencia</i>	<i>DE</i>	<i>Error Estadístico</i>	<i>° de Libertad</i>	<i>Estadístico T</i>	<i>Valor P</i>
<b>FC</b> <i>rep-umb</i>	8	-80.75	19.11	6.75	7	-11.95	<0.0001
<i>umb-max</i>	8	-4.25	4.59	1.62	7	-2.62	0.0345
<i>rep-max</i>	8	-85	18.33	6.48	7	-13.11	<0.0001
<b>Sat.O<sub>2</sub></b> <i>rep-umb</i>	8	2.87	1.24	0.44	7	6.52	0.0003
<i>umb-rec</i>	8	2	0.53	0.18	7	-10.58	0.0001
<i>rep-rec</i>	8	0.87	0.83	0.29	7	2.97	0.020

Hipótesis:  $H_0 = V_1 - V_2 = 0$  y  $H_a = V_1 - V_2 \neq 0$

Grado de Confianza determinado por el investigador: 99%

Por lo tanto, la diferencia de FCumb vs. FCmax y Sat.O<sub>2</sub> reposo vs. recuperación demostraron no ser significativos, mientras que el resto de datos si lo fueron.

## Resultados

Once mujeres embarazadas (entre activas y sedentarias) con embarazos de bajo riesgo de II y III trimestre fueron reclutadas al azar. De éstas, solo ocho mujeres se incluyeron en el estudio ya que no presentaron algún tipo de complicación médica ni obstétrica ni otros factores de riesgo asociados durante el embarazo actual o imprevistos durante la prueba; al final quienes los presentaron fueron excluidas del estudio. Una de ellas por presentar agenesia renal (materna y fetal), otra por sangrado vaginal del I trimestre y otra porque el equipo presentó fallas técnicas durante la prueba que alteraron los resultados finales.

**Características de los sujetos.** La Tabla 4 resume las características descriptivas de las ocho pacientes del estudio que completaron satisfactoriamente la prueba maximal.

**Tabla 4. Características de la población del estudio.**

<b>Variables</b>	<b>Maternas (n=8)</b>	<b><math>\sigma</math> (n-1)</b>	<b>Rango</b>
Edad (años)	30,4	3,6	(23-34)
Edad Gestacional (semanas)	23,3	7,9	(13-35)
Peso (kg)	64,9	9,2	(53-79)
Talla (cms)	158,9	2,2	(155-162)
IMC ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ )	25,5	4,2	(20-31)

La causa de terminación de la prueba fue para cuatro pacientes fatiga muscular (No. 1, 5, 7 y 8), fatiga central o cardiovascular para tres de ellas (No. 2, 4 y 6) y

solo una paciente presento disnea sin presentar alteraciones en la FC o TA, electrocardiográficas, pulmonares o de saturación de oxigeno y por lo contrario presento una adecuada recuperación posterior (No. 3).

Hay que resaltar que una materna (12%) era previamente activa y continuó siéndolo a intensidades, duración y frecuencia similares durante el embarazo (entrenada); cinco mujeres eran previamente activas (63%) y suspendieron la actividad física con el embarazo y dos mujeres eran previamente sedentarias (25%). En cuanto a la clasificación por edad biológica, las gestantes fueron relativamente homogéneas ya que dos de ellas estaban el grupo de 20-28 años (25%). Las seis restantes corresponden a mujeres entre los 29 y 36 años de edad (75%). Con una edad mínima de 23 años y una máxima de 34 años.

**Diseño del estudio.** Las maternas fueron evaluadas a la altura de Bogotá (2640m sobre el nivel del mar) en condiciones ambientales de temperatura promedio 19.5°C (17-22°C) y de humedad promedio de 46.4% (42-56%). Todas las pruebas se consideraron maximales ya que las pacientes suspendieron la prueba al alcanzar un valor de 19-20 en la Escala de Borg y para este momento ya habían alcanzado el  $RQ \geq 1$  (Coeficiente respiratorio). Los datos obtenidos en el umbral (umbral anaeróbico) corresponden al momento en que se alcanzo el  $RQ=1$ .

**Posterior a la prueba.** Se monitorizó manualmente tensión arterial, frecuencia cardiaca materna y fetal en recuperación activa (3 min.) y pasiva (5 min) una vez terminada la prueba.

La Tabla 5 muestra las medias y desviaciones estándar para cada una de las variables fisiológicas medidas. Se creía que la única paciente activa (No. 2) podría sesgar los resultados por lo que se decidió hacer un análisis estadístico excluyéndola, sin embargo no se encontraron diferencias significativas por lo cual se decidió incluirla en el estudio.

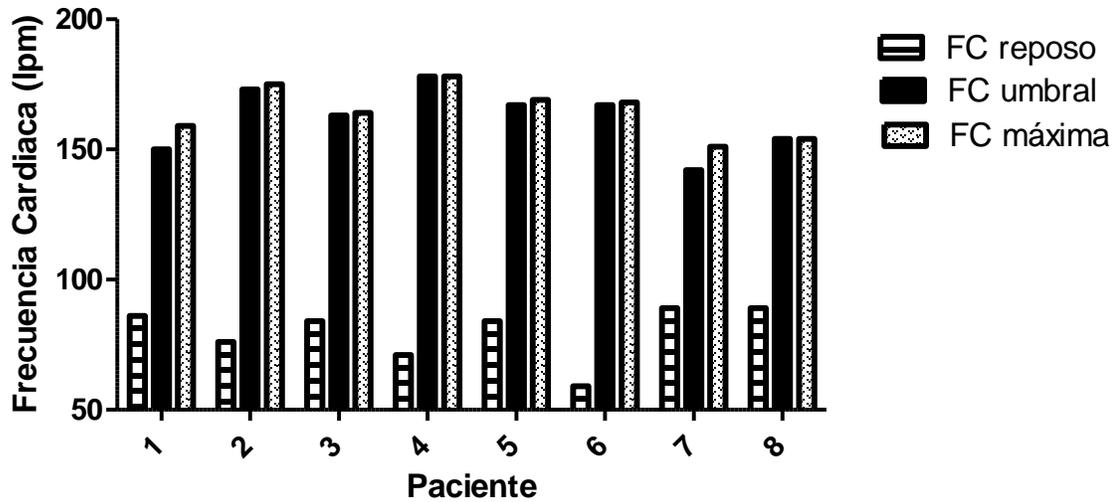
**Tabla 5. Características de la prueba y variables fisiológicas.**

<b>Variables</b>	<b>Maternas (n=8)</b>	<b><math>\sigma_{(n-1)}</math></b>	<b>Rango</b>
Etapas	8,9	2,9	(6-15)
Etapas al Umbral	8,1	2,6	(6-13)
Frecuencia Cardíaca en Reposo en latidos por minuto (lpm)	79,8	10,5	(59-89)
Frecuencia Cardíaca Umbral	161,8	12,2	(142-178)
Frecuencia Cardíaca Máxima	164,8	9,6	(151-178)
Consumo de Oxígeno máximo o VO <sub>2</sub> máx. (mL·kg <sup>-1</sup> )	28,5	4,2	(23-40)
Saturación de Oxígeno en Reposo o Sat. O <sub>2</sub> Reposo (%)	95,5	1,2	(94-97)
Saturación de Oxígeno Umbral o Sat. O <sub>2</sub> Umbral	92,6	1,2	(91-94)
Saturación de Oxígeno en Recuperación o Sat.O <sub>2</sub> Recup.	94,6	1,1	(93-96)

Por otra parte se consideró tomar como referencia el valor de VO<sub>2</sub>pico excluyendo el peso del arnés (1.5kg adicionales), considerando que el arnés pende del soporte diseñado para la banda sin fin y así se ve anulado el efecto de la gravedad para este dispositivo de seguridad; por lo tanto se considera que no ejerce acción sobre el peso real de las pacientes alterando los valores de VO<sub>2</sub>.

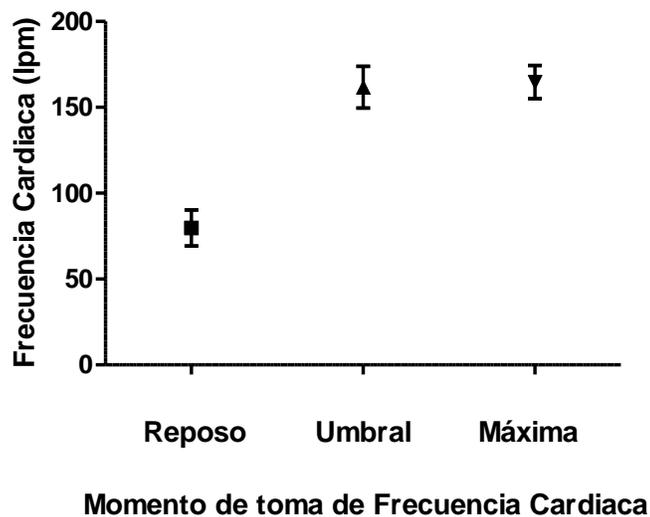
Los resultados del comportamiento de la FC se observan para cada una de las pacientes en la Gráfica 1 y a nivel grupal a partir de los promedios con sus respectivas desviaciones estándar en la Gráfica 2.

Gráfica 1. Comportamiento individual de la frecuencia cardiaca durante la prueba de esfuerzo máxima.



Como era de esperarse, se encontraron diferencias significativas entre la FC<sub>rep</sub> versus la FC<sub>umb</sub> y la FC<sub>máx</sub> (T student = <0.0001 en ambos casos) para cada uno de los casos, mientras que no se encontraron diferencias significativas entre la FC<sub>umb</sub> versus la FC<sub>máx</sub> en cada una de las gestantes (T student = 0.0345).

Gráfica 2. Comportamiento grupal de la frecuencia cardiaca durante la prueba de esfuerzo máxima.



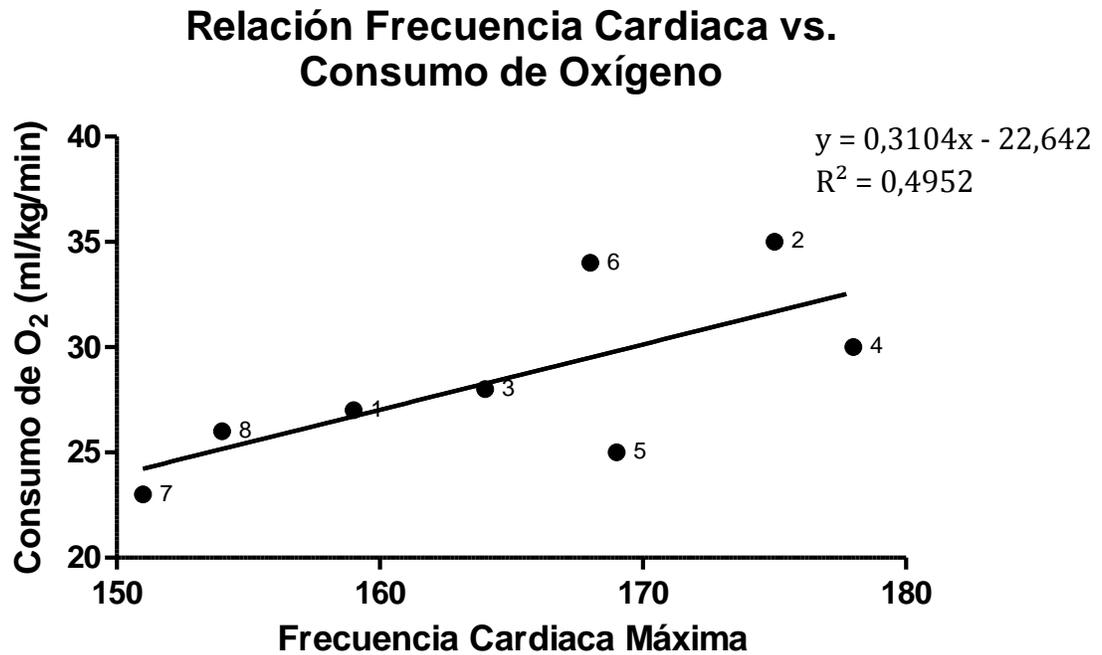
En dos pacientes (No. 4 y 8), la FCumb coincidió exactamente con la FCmax, cuatro pacientes (No. 2, 3, 5 y 6) tuvieron menos de 5 lpm de diferencia entre la FC obtenida al umbral frente a la FCmax, y dos pacientes (No. 1 y 7) presentaron una diferencia de 9 lpm. Estos hallazgos nos hacen pensar que una vez las mujeres gestantes alcanzan la fatiga ( $RQ > 1$ ), no tardan mucho tiempo (1.6min en promedio para este protocolo) en alcanzar la fatiga máxima durante una prueba maximal.

En relacion a las etapas, dos pacientes duraron 2 etapas más despues de alcanzar el umbral (No. 1 y 2), dos pacientes duraron solo 1 etapa más (No. 3 y 7) y en las cuatro restantes (No. 4, 5, 6 y 8) coincidio exactamente la etapa umbral con el número de etapas máximas. Asi mismo, podemos inferir que una vez alcanzan el umbral, la fatiga máxima y consecuente terminación de la prueba estan muy cerca. Se observó un comportamiento similar para las etapas alcanzadas con el comportamiento de la FC. Esto nos puede indicar tambien, que las pruebas realmente fueron maximales.

La Gráfica 3 muestra la relación entre la FCmáxima y el  $VO_2$ pico, además la ecuación de regresión lineal de la misma siendo  $R^2 = 0.495$ .

Los  $VO_2$ pico mas altos corresponden a la paciente entrenada (No. 2) y una paciente que era previamente sana y suspendio durante el embarazo (No. 6).

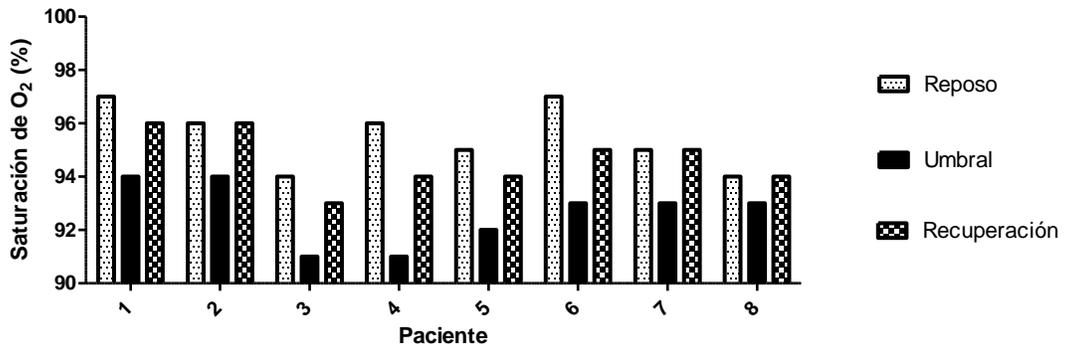
Gráfica 3. Relación entre frecuencia cardiaca maxima y consumo de oxígeno pico durante la prueba de esfuerzo máxima.



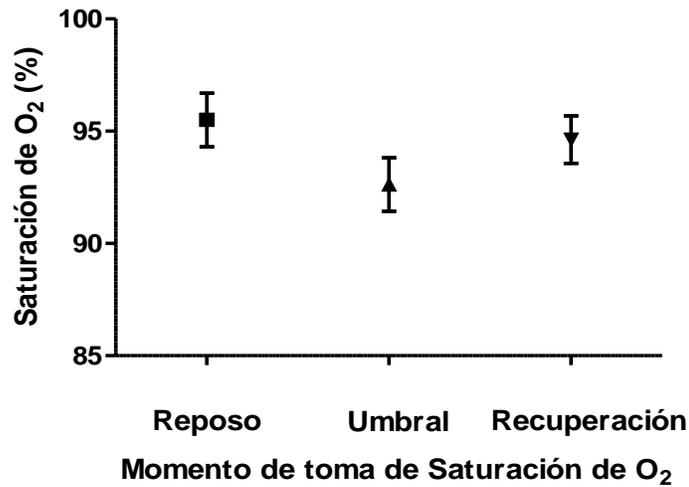
Por primera vez en un estudio a altura moderada se observó el comportamiento de la Saturación de Oxígeno durante el ejercicio en mujeres gestantes sanas. En la Gráfica 4 se presentan los resultados obtenidos para cada una de las gestantes observando un comportamiento similar en reposo, umbral y tercer minuto de recuperación activa. Sin embargo, la diferencia entre el reposo contra el umbral y el umbral contra la recuperación son estadísticamente significativas (T de student = 0.0003 y 0.0001 respectivamente), mientras que para la saturación en reposo vs. la de recuperación no fue significativa (T de student = 0.020).

En la Gráfica 5 se observa el mismo comportamiento de la saturación de oxígeno anteriormente descrito.

**Gráfica 4. Comportamiento individual de la saturación de oxígeno durante la prueba de esfuerzo máxima.**



**Gráfica 5. Comportamiento grupal de la saturación de oxígeno durante la prueba de esfuerzo máxima.**



Tres pacientes presentaron disminución del 3% en la Sat.O<sub>2</sub> de reposo frente a la obtenida en la etapa en donde alcanzaron el umbral (No. 1, 3 y 5), dos pacientes presentaron diferencias de 2% (No. 2 y 7), una paciente presentó una diferencia de 1%(No. 8), otra de 4%(No. 6) y finalmente otra de 5%(No. 4). Posteriormente, durante la recuperación activa, tres pacientes retornaron a valores de Sat.O<sub>2</sub> de

reposo( No. 2, 7 y 8), tres alcanzaron 1% por debajo del inicial(No. 1, 3 y 5) y dos pacientes estuvieron 2% por debajo con respecto a la inicial(No. 4 y 6).

Por otra parte se hizo un análisis de los resultados por trimestres, en este caso II y III trimestre para encontrar diferencias significativas entre las variables fisiológicas medidas. Sin embargo solo se encontraron diferencias significativas para edad siendo las de III trimestre mas añosas (32.5 vs. 29.7 años), la diferencia esperada entre las edad gestacional (33.5 vs 19.8 semanas), el número de etapas y etapa umbral lo cual se ve alterado por la presencia de la mujer más activa del grupo en el grupo de III trimestre (11 vs 8.2 etapas), pero por lo demás es decir, FC máxima, FC umbral,  $VO_2$ pico y saturación de  $O_2$  no hubo diferencias importantes entre los grupos.

## Discusión

Este es el primer estudio piloto del que se tenga conocimiento en el que se haya realizado pruebas de esfuerzo maximales a más de 2500m sobre el nivel del mar (2640m o 8661ft) en mujeres naturales o residentes a estas alturas con embarazos bajo riesgo de II y III trimestre.

Durante el estudio e inmediatamente después de las pruebas no se presentaron complicaciones agudas maternas ni fetales. Incluso tres de las pacientes tuvieron el parto durante el tiempo que se realizó el estudio (después de haber realizado la prueba maximal), dos de ellas tuvieron partos normales sin complicaciones y la tercera tuvo parto por cesárea por antecedente de cesárea previa. Esto sugiere que realizar una prueba maximal a alturas moderadas es seguro para la población estudiada y sugiere que pueda serlo para una población que cumpla las características descritas.

Existen estudios donde se realizaron pruebas maximales a alturas inferiores a la de Bogotá, sin embargo los resultados obtenidos para las variables medidas son similares a algunos de esos estudios. Podemos decir que las diferencias encontradas pueden estar dadas por la adaptación a la altura, el nivel de actividad previo y durante la gestación, las diferencias antropométricas, la edad gestacional de las pacientes, la carga y el protocolo empleado.

Sady y colaboradores (1988) (44) en un estudio realizado en cicloergómetro con treinta mujeres gestantes sanas de III trimestre a nivel del mar (Rhode Island,

USA), reportaron FCmax de  $181 \pm 7.8$  lpm y valores de  $VO_{2pico}$  de  $27 \pm 4.06$  ml/kg/min.

Por su parte, Lotgering y colaboradores (1992) (28) en un estudio a nivel del mar (Rotterdam, Holanda) en banda sin fin con treinta y tres gestantes sanas de todos los trimestres, encontraron que para pruebas maximales durante el II y III trimestre el  $VO_{2pico}$  fue  $21.3 \pm 0.07$  y  $21.1 \pm 0.07$  ml/kg/min. respectivamente y reportaron valores de FCmax de  $178 \pm 2$  lpm (II y III trimestres). La carga empleada por ese estudio es igual a la del presente, sin embargo se observaron diferencias en los valores de  $VO_{2pico}$  y FCmax.

Artral y colaboradores (1995) (3) en un estudio en Cicloergómetro con siete pacientes de III trimestre y de características antropométricas similares a las del presente estudio pero naturales y residentes a nivel del mar, realizaron una prueba maximal a nivel del mar (LA, California.USA) encontrando una FC máxima media de  $167.86 \pm 5.89$  lpm y luego fueron llevadas a 1828m (6000ft) sobre el nivel del mar donde realizaron la misma prueba y encontraron que la FC máxima media fue de  $161.64 \pm 7.3$  lpm, lo cual no fue estadísticamente significativo entre las misma pacientes. Al comparar los consumos de oxígeno se encontraron diferencias significativas siendo a nivel del mar de  $19.61 \pm 1.46$  ml/kg/min, mientras que a 1828m fue de  $16.82 \pm 2.05$  ml/kg/min.

Heenan y colaboradores (2001) (19) en un estudio en cicloergómetro con catorce gestantes sanas de II trimestre realizado a nivel del mar (Kingston, ON. Canadá) mostró una FCmax de  $178 \pm 2$  lpm y un  $VO_{2pico}$  de  $30 \pm 1.36$  ml/kg/min.

Por su parte Mottola y colaboradores (2006) (37) con ciento cincuenta y seis gestantes sanas de II trimestre a nivel del mar (London, Ontario. Canadá) publicaron en su estudio una FCmax de  $167.1 \pm 12.2$  lpm y un  $VO_2$ pico de  $23.5 \pm 5.9$  ml/kg/min. Se considera que esta publicación permite una posible comparación con el presente estudio, ya que la población objeto de intervención es similar, se empleó el mismo protocolo y las cargas son similares. Al hacer un análisis más detallado, se encontró que los resultados de la presente publicación están de acuerdo a los resultados de los subgrupos de mujeres activas y desacondionadas reportados en el grupo de Mottola; siendo estos muy diferentes a los de las mujeres acondicionadas.

**Tabla 6. Comparación de resultados Mottola et al vs. Bachiller et al.**

Variables	<i>Estudio Mottola et al. 254m SNM</i>	<i>Estudio Bachiller et al. 2640m SNM</i>
<i>FCmax (lpm)</i>	$167.1 \pm 12.2$	$164.8 \pm 9.4$
<i>VO2pico (ml/kg/min)</i>	$23.5 \pm 5.9$	$28.5 \pm 4.2$
<i>Carga</i>	$3.5 \pm 0.2$ mph y $11 \pm 1\%$	$3.3 \pm 0.3$ mph y $12\%$

Algunos de los estudios citados previamente no pueden ser comparados con el presente, ya que los protocolos empleados fueron diferentes y/o las cargas de los mismos también lo son, haciendo imposible una comparación objetiva. Además este no es uno de los objetivos propuestos para este trabajo.

Se observó que la FC a altura moderada tiene un comportamiento muy similar a protocolos realizados en banda sin fin a nivel del mar.

Aunque se esperaba una disminución en los valores de  $VO_2$ pico a alturas moderadas frente a nivel del mar, llamó mucho la atención que el  $VO_2$ pico en este estudio se comportó de manera similar e incluso mayor frente a otras

publicaciones incluidos las de nivel del mar. El  $VO_2$  puede depender de la altura como tal y de otros factores como: edad biológica, edad gestacional, IMC, el nivel de acondicionamiento de cada materna y el protocolo empleado. Lo esperado es que una persona (no gestante) disminuya sus valores de  $VO_{2max}$  con el aumento de altura, pero posterior a una adecuada aclimatación, logre aumentar este valor. Se considera que las mujeres embarazadas residentes en alturas pueden presentar  $VO_2$  similares a sus contrapartes a nivel del mar ya sea por las adaptaciones a la altura o bien, por algún cambio propio del embarazo en altura que pueda explicar esta hallazgo y que aun se desconozca.

El resultado obtenido en cuanto a la relación de FC- $VO_2$  y su pendiente, es similar a lo publicado en otros estudios donde la pendiente es muy baja. A partir de esta relación normalmente se puede inferir el Consumo de Oxígeno a determinada Frecuencia Cardiaca, pero para la población estudiada no es posible hacerlo con precisión ya que no se encontró una relación lineal. Sin embargo, este hallazgo difiere con lo encontrado en algunos estudios en mujeres embarazadas, por lo que se considera el tamaño de la población como una de las causas; otro aspecto a tener en cuenta es que otros autores han empleado ecuaciones de predicción para encontrar ya sea los rangos de FC de trabajo así como el  $VO_{2pico}$ , pero hay otras publicaciones que sostienen que la mejor y más objetiva forma de medir el  $VO_{2pico}$  durante el embarazo es midiéndolo directamente. Estos resultados difieren de sus contrapartes no gestantes donde se puede predecir con más certeza el  $VO_2$  por medio de esta relación.

Con respecto a los valores de Saturación de O<sub>2</sub>, Entin y colaboradores (2004) (16) encontraron que para mujeres embarazadas (naturales a nivel del mar) en reposo a nivel del mar los valores son de 98.5±0.7%, para 1600m es de 95.4±0.4%, para 3100m es de 92.5±0.4% y para 4300m es de 87.4±0.4%. Desafortunadamente no existen datos del comportamiento de la Sat.O<sub>2</sub> durante el ejercicio en gestantes a nivel del mar ni a altura moderada durante pruebas maximales. Por lo tanto, aquí radica uno de los principales y tal vez más importante hallazgo de este estudio donde por primera vez se valoró la saturación de oxígeno durante el ejercicio en el embarazo además de obtener los valores en recuperación activa. Los valores de saturación de reposo para nuestra población son un poco mayores a los reportados y esto se explica por las adaptaciones a la altura como son la hemoconcentración fisiológica, un PaO<sub>2</sub> sanguíneo mayor, una aumentada capacidad para hiperventilar con una consecuente alcalosis respiratoria compensatoria y una aumento en la producción de la 2,3-DPG manteniendo los valores PaO<sub>2</sub> y PaCO<sub>2</sub> sin cambios.

El comportamiento de la Sat.O<sub>2</sub> observado en este estudio demuestra que las maternas residentes a la altura presentan una desaturación significativa al realizar una prueba maximal frente a los valores de reposo, pero la recuperación activa (de tres minutos) también es estadísticamente significativa al compararla con los valores del umbral. No se encontraron diferencias significativas con respecto a los valores de recuperación contra el reposo; sugiriendo seguridad en las pruebas maximales en mujeres embarazadas con adaptaciones a la altura. Estos cambios pueden corresponder a cambios en la PaCO<sub>2</sub>, temperatura corporal, pH sanguíneo o incluso la edad gestacional. También es posible que las gestantes residentes en

altura tengan una mejor respuesta hiperventilatoria en la etapa de recuperación haciendo que rápidamente se restablezcan los valores de saturación de reposo. El cortocircuito fisiológico propio del embarazo, el aumento de la extracción periférica de oxígeno aumentada durante este y aun más durante el ejercicio en el embarazo pueden explicar la desaturación, así como GC aumentado puede significar menor tiempo para que los glóbulos rojos se oxigenen en la barrera alveolo-arterial. Por lo anterior, se sugieren realizar estudios futuros para determinar la causa exacta de este comportamiento.

Durante la revisión, se encontró el estudio de Woorons y col. (2005) (50) en el cual se evaluaron las mismas variables de Frecuencia Cardíaca,  $VO_2$  pico y Saturación de Oxígeno a nivel del mar, alturas moderadas y grandes alturas en mujeres no gestantes. Allí se estudiaron catorce mujeres, siete activas y siete sedentarias, naturales de nivel del mar. Fueron evaluadas con una prueba de esfuerzo máxima en cicloergómetro a nivel del mar, a 1000m, 2500m y 4500m sobre el nivel del mar. Para la discusión se tienen en cuenta únicamente los resultados de las mujeres sedentarias ya que se asemejan más a la población de estudio del presente. La frecuencia cardíaca disminuyó significativamente para el grupo de mujeres entrenadas mas no para el grupo de sedentarias. Esta disminución frente a la FC de reposo fue menor a 2500m ( $- 2.1 \pm 3.7$  lpm) que en la prueba realizada a nivel del mar. El  $VO_2$ max presentó una disminución del  $9.4 \pm 6.4\%$  en mujeres sedentarias al realizar la prueba a 2500m frente a la realizada a nivel del mar. La saturación de oxígeno disminuyó con el aumento en la altura, siendo este menor para el grupo de

mujeres sedentarias (96% a nivel del mar, 94% a 1000m, 90% a 2500m y 73% a 4500m).

Teniendo en cuenta que el estudio mencionado previamente hace referencia a una población no gestante, al comparar estos resultados con los encontrados en el presente estudio podemos observar cómo la adaptación a la altura muestra una desaturación menor en los valores de reposo. Sin embargo, no existe un estudio donde se haya hecho un seguimiento del comportamiento de la saturación durante el ejercicio ni de la recuperación del mismo para mujeres no gestantes como tampoco para las mujeres en estado de gravidez.

Debido a la limitación del número de pacientes incluidas en este estudio se sugiere realizar estudios futuros con una población más significativa y en lo posible hacer un estudio multidisciplinario y consiguiente seguimiento estricto a las pacientes y sus hijos para determinar la seguridad del ejercicio. Se considera que a partir de los resultados obtenidos de FC y  $VO_2$ pico, es posible calcular zonas de trabajo para prescribir el ejercicio en las mismas pacientes en caso de un embarazo futuro, pero estos resultados también sugieren que los rangos de prescripción del ejercicio son similares a los publicados por Mottola y colaboradores, haciendo necesario realizar otros estudios con mayor cantidad de población y así poder hacer una recomendación con suficiente evidencia.

## Conclusiones

La FC umbral y máxima no difieren de otros estudios realizados a alturas bajas o nivel del mar, lo que sugiere que los rangos de FC empleados para la prescripción pueden ser los mismos a los ya publicados.

La Sat.O<sub>2</sub> en reposo tiene un comportamiento similar a lo observado en estudios previos, pero no hay manera de comparar los resultados del comportamiento durante el ejercicio y la recuperación porque no se han realizado estudios al respecto incluso a nivel del mar. Sin embargo, una pronta recuperación en los valores de saturación demuestra en parte seguridad para que la población a estudio pueda realizar ejercicio a alturas moderadas.

El VO<sub>2</sub>pico obtenido a 2640m sobre el nivel del mar en este estudio es similar al obtenido en otros estudios a alturas inferiores que la de Bogotá. Las diferencias con otras publicaciones pueden estar dadas por protocolos y/o cargas diferentes empleados, extrapolación de resultados de pruebas submáximas o simplemente las diferencias en la adaptación a la altura.

No se encontraron diferencias significativas entre las variables estudiadas en los dos grupos de edad o en el grupo de I o II trimestre de gestación.

## Limitaciones del Estudio

La limitación más grande del estudio es el tamaño de la muestra, por lo que se sugiere realizar estudios en el futuro con una población más numerosa.

Se considera se debe hacer un estudio multidisciplinario para valorar la seguridad y respuesta fisiológica durante una prueba maximal tanto de la madre como del feto simultáneamente.

La saturación de oxígeno fue medida de forma indirecta por medio de un oxímetro de pulso, sin embargo para determinar las causas del comportamiento observado, se considera realizar estudios con mediciones directas.

Una limitación que no solo se presenta en este estudio sino en las publicaciones referenciadas en este, es que no hay una estandarización respecto los protocolos y cargas empleados en la investigación con mujeres embarazadas, lo que hace difícil la comparación de los resultados.

## Cronograma y Presupuesto

### *Cronograma:*

Mes Actividad	Ene (09)	Feb (09)	Mar (09)	Abr (09)	May (09)	Jun (09)	Jul (09)	Ago (09)	Sep (09)	Oct (09)	Nov (09)	Dic (09)	Ene (10)
Aprobación Anteproyecto													
Adecuación Infraestructura y Equipo Pruebas													
Comité de Ética													
Recolección de Muestra													
Realización de Pruebas													
Análisis de Resultados													
Entrega y Correcciones													
Sustentación													
Entrega Final													

### *Presupuesto:*

- Valor Total Calculado para Veinte Pruebas de Esfuerzo: \$5'500.000
  - Papelería \$50.000 (Investigador)
  - Parqueadero en las Instalaciones \$50.000 (Investigador)  
 del Centro de Servicios Biomédicos  
 COLDEPORTES, Bogotá

---

  - Valor Ergoespirometría \$270.000 Cada una  
X 20 Pruebas  
\$5'400.000 (COLDEPORTES)

---

  - Valor TOTAL \$5'500.000

## Referencias bibliográficas

1. ACOG January 2002 Exercise During Pregnancy & The Postpartum Period. *Obstet Gynecol* 2002;99:171-3.
2. Amador-Licona N. et al. Heart sympathetic activity and pulmonary function in obese pregnant Women. *Acta Obstetricia et Gynecologica*. 2009; 88: 314\_319
3. Artal R, Fortunato V. et al. A comparison of cardiopulmonary adaptations to in pregnancy at sea level and altitude. *Am J Obstet Gynecol* 1995;172:1170-80.
4. Artal R: Hormonal Responses to Exercise In Pregnancy, In Artal R, Wiswell Ra, Drinkwater Bl (Eds): *Exercise In Pregnancy*, Ed 2. Baltimore, Williams & Wilkins, 1991, Pp 175-184
5. Artal R., O'Toole M. Guidelines of the American College of Obstetricians and Gynecologists for exercise during pregnancy and the postpartum period. *Br. J. Sports Med.* 2003;37;6-12
6. Avery N., Wolfe A, Amara C, Davies G, Y Mcgrath M. Effects Of Human Pregnancy On Cardiac Autonomic Function Above And Below The Ventilatory Threshold. *J. Appl.Physiol.* 90:321-328, 2001.
7. Baumann H, Huch R: Altitude exposure and staying at high altitude during pregnancy: Effects on the mother and fetus. *Zentralbl Gynakol* 1986; 108:889-899
8. Bartsch P, Saltin B, General introduction to altitude adaptation and mountain sickness. *Scand J Med Sci Sports* 2008; 18. 1-10
9. Berk B. Recommending Exercise During and After Pregnancy: What the Evidence Says. *International Journal of Childbirth Education*; Jun 2004; 19, 2; ProQuest Nursing & Allied Health Source pg. 18
10. Canadian Society Exercise Physiology (CSEP). *Parmed-X Pregnancy*.Canada, 1996.
11. Clapp III J. and Capeless E. The VO<sub>2</sub> of recreational athletes before and after pregnancy. *Med. Sci. Sports Exerc.* Vol 23. No. 10. Pp 1128-1133. 1991
12. Clapp III JF. Long-term outcome after exercising throughout pregnancy: fitness and cardiovascular risk. [www.AJOG.org](http://www.AJOG.org)
13. Clapp, J.F., III. Rokey R, et al. Exercise In Pregnancy. *Med. Sci. Sports Exerc.*1992;24:S291-300

14. Clapp III J, Kim H, Burciu B, Schmidt S, Petry K, and Lopez B. (2002). Continuing regular exercise during pregnancy: Effect of exercise volume on fetoplacental growth. *American Journal of Obstetrics and Gynecology* 186(1): 142-147.
15. Davies G, Wolfe L, Mottola M, et al: Joint SOGC/CSEP Clinical Practice Guideline: Exercise In Pregnancy and The Postpartum Period. *Can J Appl Physiol* 2003;28(3):329-341
16. Entin P. and Coffin L. *High Alt. Med. Biol.* 5:321-334, 2004. Physiological Basis For Recommendations Regarding Exercise During Pregnancy At High Altitude
17. Hackett P, and Roach R. High -Altitude Illness. *N Engl J Med*, Vol. 345, No. 2
18. Hatoum, N., J. F. Clapp, et al. Effects of Maternal Exercise on Fetal Activity In Late Gestation. *J. Matern-Fetal Med.* 6:134-139, 1997.
19. Heenan A., Wolfe L., and Davies G. Maximal Exercise Testing in Late Gestation: Maternal Responses. *Obstet Gynecol* 2001;97:127-34.
20. Huch R. Physical Activity at Altitude in Pregnancy
21. Jarski R., Trippett D. The risks and benefits of exercise during pregnancy *Journal of Family Practice*, Feb, 1990
22. Jeffreys RM, Stepanchak W., Lopez B., Hardis J., Clapp III JF. Uterine blood flow during supine rest and exercise after 28 weeks of gestation. *RCOG 2006 BJOG An International Journal of Obstetrics and Gynaecology*
23. Jensen G y Moore L. The Effect of High Altitude and Other Risk Factors on birth weight: Independent or Interactive Effects? *Am J Public Health.* 1997; 87:1003-1007
24. Kametas A., McAuliffe F., et al. Maternal cardiac function during pregnancy at high altitude. *BJOG: an International Journal of Obstetrics and Gynaecology.* October 2004, Vol. 111, pp. 1051-1058
25. Kametas A., Krampfl E., et al. Pregnancy at High Altitude: A Hyperviscosity State. *Nicolaides. Acta Obst Gynecol Scand* 2004;83:627-633
26. Kramer MS, McDonald SW. Aerobic exercise for women during pregnancy (Cochrane Review)

27. Lockey EA, Tran ZV, Et Al: Effects of Physical Exercise On Pregnancy Outcomes. *Med Sci Sports Exerc* 1991; 23:1234-1239.
28. Lotgering F. et al. Errors in predicting maximal oxygen consumption in pregnant women. *J. Appl. Physiol.* 72(2); 562-567. 1992
29. Lotgering F. et al. Max aerobic exercise in pregnant women: HR, VO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> production and ventilation. *J. Appl. Physiol.* 70(3) 1016-1023. 1991
30. Lutter JM, Lee V: Exercise And Pregnancy. In: Pearl A, Ed. *The Athletic Female*, Champaign, Ill: Human Kinetics; 1993:81-101.
31. MacPhail A., Davies G., MD, Victory R., MD, and Wolfe L., PhD. Maximal Exercise Testing in Late Gestation: Fetal Responses. *Obstet Gynecol* 2000;96;565-70.
32. Marten D. et al. Pregnancy and Exercise: Physiological Changes and Effects on the Mother and Fetus. *National Strength and Conditioning Association Volume 28, Number 1, pages 78-82.*
33. Mashini Is, Albazzaz Sj, Fadel He, Abdulla Am, Hadi Ha, Harp R, Et Al. Serial Noninvasive Evaluation Of Cardiovascular Hemodynamic During Pregnancy. *Am J Obstet Gynecol* 1987; 156:1208-13.
34. McMurray, R. G., M. F. Mottola, L. A. Wolfe, R. Artal, L. Millar, And J. M. Pivarnik. Recent Advances In Understanding Maternal And Fetal Responses To Exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25:1305-1321, 1993.
35. Moore LG, Niermeyer S, Zamudio S. Human adaptation to high altitude: regional and life-cycle perspectives. *Am J Phys Anthropol.* 1998;Suppl 27:25-64
36. Moorea L., et al. Maternal Adaptation to High-altitude Pregnancy: An Experiment of Nature—A Review. *Placenta* (2004), 25, Supplement A, *Trophoblast Research*, Vol. 18, S60-S71
37. Mottola F., Davenport M., et al. V<sub>O</sub><sub>2</sub>peak Prediction And Exercise Prescription For Pregnant Women. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 38, No. 8, Pp. 1389-1395, 2006
38. Niermeyer S: The Pregnant Altitude Visitor. *Adv Exp Med Biol* 1999;474:65-77

39. O'Neill M, Cooper K, et al. Accuracy of Borg's ratings of perceived exertion in the prediction of heart rates during pregnancy. *Br J Sp Med* 1992; 26(2)
40. Pivarnik J. Lee W and Miller J. Physiological and perceptual responses to cycle and treadmill exercise during pregnancy. *Med. Sci Sports Exerc.* Vol 23 No. 4. Pg 470-475. 1991
41. PW, Pollard Aj: Altitude Illness. *BMJ* 2003;326(7395):915-919
42. Rafla, N. M., and J. R. Cook. The Effect Of Maternal Exercise On Fetal Heart Rate. *J. Obstet. Gynaecol.* 19:379- 383. 1999
43. Rauramo I; Forss M. Effect of exercise on Maternal Hemodynamics and Placental Blood Flow in Healthy Women. *Acta Obstet Gynecol Scand* 67 : 21 -25, 1988
44. Sady et al. Prediction of VO 2 max during cycle exercise in pregnant women. *J. Appl. Physiol.* 65(2): 657-661, 1988
45. Slavin J.L., Lutter J.M., Cushman S. And Lee V. Pregnancy and Exercise. In: Puhl J.L., Brown C.H. And Voy R.O. *Sport Science Perspectives for Women.* Champaign; Human Kinetics Books, 1988: 151-60.
46. SMA Statement. The Benefits and Risks of Exercise During Pregnancy
47. Ueland K. Novy M. and Metcalfe J. Cardiorepiratory responses to pregnancy and exercise in normal women and patients with heart disease. *Am J of Obstet Gynecol.* Vol 115 Number 1. 1972
48. West J., MD, PhD. The Physiologic Basis of High-Altitude Diseases. *Ann Intern Med.* 2004;141:789-800.
49. Wolfe, L. A., And G. DAVIES. Canadian Guidelines For Exercise In Pregnancy. *Clin. Obstet. Gynecol.* Volume 46, Number 2:488-495, 2003
50. Woorons X., Mollard P, Lamberto C, Letournel M, and Richalet J. Effect Of Acute Hypoxia On Maximal Exercise In Trained and Sedentary Women. *Med. Sci. Sports Exerc.,* Vol. 37, No. 1, Pp. 147-154, 2005.