



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Comportamiento de la función pulmonar asociada al ejercicio físico en condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica de un grupo de deportistas de la Universidad de Antioquia, Medellín 2018.

Marley Yurani Acevedo Ortiz

**Universidad de Antioquia
Facultad Nacional de Salud Pública
“Héctor Abad Gómez”
Medellín, Colombia
2019**



Comportamiento de la función pulmonar asociada al ejercicio físico en condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica de un grupo de deportistas de la Universidad de Antioquia, Medellín 2018

Marley Yurani Acevedo Ortiz

Trabajo de grado para optar al título de Administradora en Salud: Gestión Sanitaria y Ambiental

**Asesor:
Juan Gabriel Piñeros Jiménez
PhD Salud Pública**

**Universidad de Antioquia
Facultad Nacional de Salud Pública
“Héctor Abad Gómez”
Medellín, Colombia
2019**

Mis agradecimientos sinceros a mi asesor Juan Gabriel Piñeros por brindarme su apoyo incondicional y su confianza para realizar este trabajo de grado con los temas que más me apasionan como lo son la investigación y el deporte.

Para los deportistas que voluntariamente participaron y tuvieron el compromiso y la mejor disposición para realizar las pruebas consideradas en este estudio, **¡infinitas gracias!**.

Agradezco al grupo de investigación Salud y Ambiente (GISA) por apoyar parte del financiamiento de este proyecto y especialmente a mis colegas Dania Rojas, Diana Isabel Cano, Alejandra Hoyos, Salomé Mejía y Duván Suárez, por su acompañamiento en la logística durante el trabajo de campo. Así como a mi amiga comunicadora social de la Universidad de Antioquia Luisa Gutiérrez y a todas las personas que estuvieron acompañando mi proceso formativo durante estos 5 años.

De manera similar, agradezco al profesor y médico Carlos Quiroz y a la ingeniera ambiental Sara Grisales por su apoyo en el planteamiento de la metodología de este estudio y a los gerentes en sistemas de información en salud, Dorian Ospina y Juan Pablo Holguín, por brindarme asesoría respecto a los análisis estadísticos.

También agradezco de manera especial al profesor e investigador Hugo Grisales por su apoyo con el procesamiento e interpretación de los resultados estadísticos de este estudio.

A Maribel Carmona y Sebastian Orozco, licenciados en educación física de la Universidad de Antioquia agradezco por su apoyo con la coordinación del test de Léger. A John Enrique García y a Humberto Valencia por el préstamo de las herramientas y espacios requeridos para el trabajo de campo.

También agradezco al jefe de deportes Juan Gabriel García y al equipo de deportes de Bienestar Universitario de la Universidad de Antioquia, a los entrenadores, muy especialmente al mío; Miguel Humberto Cadavid.

Gracias también al centro de extensión de la Facultad Nacional de Salud Pública y al Laboratorio de Salud Pública por permitirme usar el espirómetro y demás equipos para la realización de las espirometrías. Al centro de investigación de la Facultad Nacional de Salud Pública por su aprobación del fondo de apoyo a trabajos de pregrado.

Y como lo mejor se deja para el final, quiero agradecer a mi familia y principalmente a mi madre Luz Stella Ortiz, por su amor, paciencia y ejemplo, a ella le debo más que la vida y a ella dedico este pequeño logro.

“Al final lo que verdaderamente importa no es el resultado, sino la satisfacción personal de haberlo entregado todo durante el proceso”

Yurani Acevedo

Tabla de contenido

Resumen.....	14
Introducción.....	15
1. Planteamiento del Problema.....	18
2. Objetivos.....	22
2.1. Objetivo General.....	22
2.2. Objetivos Específicos.....	22
3. Marcos.....	23
3.1 Marco teórico y conceptual.....	23
3.1.1 Contaminación del aire.....	23
3.1.1.1 Características del Valle de Aburrá que influyen en la contaminación del aire.....	28
3.1.2 Efectos en la salud.....	36
3.1.3 Actividad física, ejercicio físico y deporte.....	37
3.2 Marco institucional.....	40
3.3 Marco legal.....	42
4. Metodología.....	46
4.1 Tipo de estudio.....	46
4.2 Recolección de datos ambientales.....	46
4.2.1 Estaciones de monitoreo de calidad del aire.....	46
4.2.2 Estaciones de variables meteorológicas.....	47
4.3 Clasificación de la condición de estabilidad en los escenarios atmosféricos.....	48
4.4 Población objeto.....	50
4.5 Criterios de inclusión y exclusión.....	50
4.5.1 Criterios de inclusión.....	50
4.5.2 Criterios de exclusión.....	50
4.6 Muestreo y tamaño de muestra.....	50
4.7 Instrumentos y equipos de recolección de información.....	50
4.7.1 Cuestionarios.....	51
4.7.2 Planilla del test de Léger.....	51
4.7.3 Espirómetro Vitalograph® Pneumotrac 6800.....	51
4.8 Ruta de trabajo de campo.....	52

4.8.1 Encuentros institucionales y con la población objeto	52
4.8.2 Prueba piloto.....	53
4.8.3 Reunión colectiva con la muestra seleccionada	53
4.8.4 Realización de espirometría	55
4.8.5 Realización del test de Léger.....	66
4.8.6 Percepción de síntomas	70
4.9 Análisis de información	71
4.10 Consideraciones éticas	73
5. Resultados.....	74
5.1 Clasificación de estabilidad atmosférica, PM _{2.5} y variables meteorológicas .	74
5.2 Descripción de la muestra.....	78
5.3 Calidad de las sesiones de espirometría	79
5.4 Interpretación de los resultados de espirometrías.....	80
5.5 Normalidad de los datos	80
5.6 Parámetros de función pulmonar	80
5.6.1 Descripción univariada de los parámetros de función pulmonar en cada escenario atmosférico.....	80
5.6.2 Cambios de los parámetros de función pulmonar entre escenarios atmosféricos	81
5.7 Correlaciones.....	81
5.8 Otros resultados.....	82
5.8.1 Test de Léger y consumo máximo de oxígeno (VO _{2máx})	82
5.8.2 Percepción se síntomas.....	84
6. Discusión	85
Conclusiones.....	92
Referencias	93
Anexos	103

Lista de tablas

Tabla 1. Niveles máximos permisibles de PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO ₂ , NO ₂ y O ₃	26
Tabla 2. Propiedades del material particulado 2.5µm	27
Tabla 3. Efectos en la salud causados por exposición a PM ₁₀ , PM _{2.5} , O ₃ y NO ₂	36
Tabla 4. Legislación Calidad del Aire	42
Tabla 5. Legislación Deporte.....	44
Tabla 6. Clases de estabilidad según Pasquill-Gifford-Turner.....	49
Tabla 7. Formación de grupos y programación de pruebas por día y escenarios atmosféricos	55
Tabla 8. Requerimientos mínimos de los espirómetros.....	58
Tabla 9. Grados de calidad de las sesiones de espirometría.....	63
Tabla 10. Codificación usada para los informes de función pulmonar arrojados por el software Spirotrac de Vitalograph®.....	63
Tabla 11. Guía general para la interpretación de la espirometría.....	66
Tabla 12. Clasificación de estabilidad de los escenarios atmosféricos según metodología de Pasquill-Gifford-Turner	75
Tabla 13. Promedios de las variables ambientales en los escenarios atmosféricos.	78
Tabla 14. Normalidad de los datos con estadístico de Shapiro Wilk	80
Tabla 15. Estadísticos descriptivos de los parámetros de función pulmonar en los escenarios atmosféricos.....	81
Tabla 16. Diferencia de medianas de los parámetros de función pulmonar entre escenarios atmosféricos.....	81
Tabla 17. Correlaciones entre las concentraciones de PM _{2.5} y cambios pre/post ejercicio de los parámetros de función pulmonar en cada escenario atmosférico.	82
Tabla 18. Distribución de frecuencias del VO ₂ máx obtenido por los deportistas en cada escenario atmosférico.....	83
Tabla 19. Descripción de etapas alcanzadas por los deportistas entre los diferentes escenarios atmosféricos.....	83
Tabla 20. Frecuencia de notificación de síntomas en los escenarios atmosféricos	84

Lista de figuras

Figura 1. Distribución de tamaños del material particulado	26
Figura 2. a) Ubicación y división administrativa del Valle de Aburrá. b) Vista frontal del relieve del Valle de Aburrá.....	28
Figura 3. Representación gráfica de las capas de la atmósfera en función de la temperatura.....	29
Figura 4. Sección transversal vertical de la evolución diurna ideal de la CLA sobre la superficie terrestre bajo condiciones de cielo despejado	31
Figura 5. a) Ciclo diurno de la altura de la CLA. b) Ciclo diurno del PM _{2.5} registrado en la estación #25 Universidad Nacional, sede El Volador (MED-UNNV).....	33
Figura 6. a) Representación gráfica de estabilidad atmosférica en el Valle de Aburrá. b) Representación gráfica de inestabilidad atmosférica en el Valle de Aburrá.....	34
Figura 7. Incremento del parque automotor entre 2005 a 2018 en el Valle de Aburrá.	35
Figura 8. Imagen satelital de la Ciudadela Universitaria-Universidad de Antioquia	41
Figura 9. Estación de monitoreo de calidad del aire #25 Universidad Nacional, sede El Volador (MED-UNNV)	47
Figura 10. Imagen satelital de ubicación y distancia entre estaciones de monitoreo elegidas y sitio del estudio.....	47
Figura 11. a) Estación meteorológica #203 UNAL. b) Estación meteorológica #6004 AMVA.....	48
Figura 12. Espirómetro Vitalograph® Pneumotrak 6800.....	51
Figura 13. Jeringa de precisión Vitalograph® de 3 litros.....	52
Figura 14. Explicación para la realización de espirometrías. 1 de noviembre de 2018. Salón de reuniones del coliseo universitario de la UdeA.....	54
Figura 15. Participantes del estudio realizando espirometría. 1 de noviembre de 2018. Salón de reuniones coliseo universitario de la UdeA.	54
Figura 16. Participantes diligenciando cuestionario pre/post ejercicio.	57
Figura 17. Toma de pulso, frecuencia respiratoria y presión arterial a los participantes.....	57
Figura 18. Toma de peso y estatura a los participantes.....	58
Figura 19. Revisión de exactitud del espirómetro con jeringa Vitalograph® de 3 litros modelo 2040.....	59
Figura 20. Participantes realizando maniobras espirométricas.....	60
Figura 21. Ejemplo en Spirotrac V de maniobra que no cumplió criterios de aceptabilidad.....	62

Figura 22. Ejemplo de curvas flujo-volumen y volumen-tiempo de una misma maniobra espirométrica	64
Figura 23. Ejemplo de presentación de resultados en el informe de función pulmonar del software Spirotrac V	65
Figura 24. Ejemplo de presentación de información de calidad y repetibilidad en el informe de función pulmonar del software Spirotrac V	65
Figura 25. Pista de Atletismo de la UdeA donde se realizó el test de Léger	68
Figura 26. Coordinadores del test de Léger	69
Figura 27. Coordinadores del test de Léger dirigiendo calentamiento a los participantes antes de la realización de la prueba.....	69
Figura 28. Participantes realizando el test de Léger en la pista de atletismo de la UdeA.	70
Figura 29. Participantes diligenciando la sección IV del cuestionario Pre/Post ejercicio sobre la percepción de síntomas presentados antes y después de realizar el test de Léger.....	71
Figura 30. Ciclos diurnos de PM _{2.5} (µg/m ³) en los días de estudio (8, 15 ,22 y 29 de noviembre de 2018)	74
Figura 31. Temperatura (°C) registrada durante los días de estudio (8, 15 ,22 y 29 de noviembre de 2018)	76
Figura 32. Humedad relativa (%) registrada durante los días de estudio (8, 15 ,22 y 29 de noviembre de 2018)	76
Figura 33. Precipitación (mm) registrada durante los días de estudio (8, 15 ,22 y 29 de noviembre de 2018)	77
Figura 34. Radiación (W/m ²) registrada durante los días de estudio (8, 15 ,22 y 29 de noviembre de 2018)	77
Figura 35. Velocidad del viento (m/s) registrada durante los días de estudio (8, 15 ,22 y 29 de noviembre de 2018).....	78
Figura 36. Tamaños de muestra en y entre escenarios atmosféricos.	79
Figura 37. a) Proporción según la calidad de las espirometrías realizadas antes del ejercicio (Pre). b) Proporción según la calidad de las espirometrías realizadas después el ejercicio (Post)	79

Lista de anexos

Anexo 1. Cuestionario de inicio	103
Anexo 2 Cuestionario Pre/Post ejercicio	104
Anexo 3. Planilla del test de Léger	106
Anexo 4. Especificaciones técnicas del Vitalograph® Pneumotrac modelo 6800	107
Anexo 5. Características del Spirotrac versión 5 de Vitalograph®	108
Anexo 6. Información y recomendaciones para la espirometría.....	109
Anexo 7. Información y recomendaciones para el test de Léger.....	111
Anexo 8. Esquema del trabajo de campo.....	113
Anexo 9. Consentimiento informado	114

Glosario

Actividad física: Cualquier movimiento corporal que se produzca por la contracción de los músculos esqueléticos y que produzca aumentos sustanciales en el consumo de energía del cuerpo con respecto al estado de reposo.

Adaptación fisiológica aguda al ejercicio: Reacción momentánea a la carga física que tiene un individuo. Se entiende como aquella respuesta del organismo para recuperar y regular los niveles de equilibrio (homeostasis) en relación con un estímulo provocado por el ejercicio físico.

AMVA: Área Metropolitana del Valle de Aburrá, entidad administrativa de derecho público que asocia a los 10 municipios que conforman el Valle de Aburrá: Medellín es la ciudad núcleo, alrededor de la cual están conurbados los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Itagüí, Sabaneta, Envigado, La Estrella y Caldas; actúa como autoridad de transporte público metropolitano y autoridad ambiental urbana.

Atmósfera: Esfera de aire. Es una mezcla compleja de gases y otras sustancias que envuelven la tierra formando una capa que se extiende alrededor de unos 1.000 km por encima de la superficie terrestre. La atmósfera provee el oxígeno que necesitan todos los seres vivos.

ATS: *American Thoracic Society*, en español Sociedad Torácica Americana, es una sociedad internacional con más de 16.000 miembros dedicada a mejorar la comprensión clínica y científica de las enfermedades pulmonares.

Calidad del aire: Hace referencia a las concentraciones de componentes presentes en el aire, que satisfacen la salud, el bienestar de la población, el equilibrio ecológico, y los materiales o bienes con valor económico.

Capa Limite Atmosférica (CLA): Representa el estrato de aire en el que la turbulencia atmosférica originada por desequilibrios térmicos o mecánicos, produce una intensificación de los movimientos caóticos del aire, favoreciendo el fenómeno de difusión y transporte de energía y materia hasta un nivel delimitado normalmente por la presencia de una discontinuidad térmica, a partir de la cual, el comportamiento de la atmósfera no está sujeto a dichos intercambios turbulentos.

Capacidad Vital Forzada (CVF): Parámetro de función pulmonar referente al máximo volumen de aire que puede ser exhalado de manera forzada, después de una inspiración máxima.

Ceilómetro: Dispositivo láser diseñado para tomar perfiles verticales de la atmósfera, que permiten conocer la evolución y estructura de la Capa Límite

Atmosférica, la altura, transición de régimen estable a inestables, y la distribución de contaminantes en la vertical; información importante para el estudio de la calidad del aire.

Consumo máximo de oxígeno ($VO_{2máx}$): Es la cantidad máxima de oxígeno (O_2) que el organismo es capaz de absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo. Permite medir la capacidad aeróbica de un individuo.

Contaminación del aire: Es el fenómeno de acumulación o concentración de contaminantes en el aire.

Contaminantes criterio: Contaminantes trazadores que permiten establecer el efecto de la contaminación del aire en la salud (PM_{10} , $PM_{2.5}$, O_3 , NO , NO_2 , NO_x , SO_2 , CO , etc.).

Deporte: Es una forma de actividad física sujeta a reglas o normas concretas. Generalmente requiere entrenamiento o un programa de ejercicio físico específico. Su faceta más lúdica o social se ve representada en el deporte recreativo y su faceta más competitiva en el deporte de representación y de alto rendimiento.

Ejercicio físico: Es un tipo de actividad física planeado y estructurado que considera características concretas como tipo de ejercicio, intensidad, frecuencia, tiempo, entre otras y que se realiza con el fin de mantener la aptitud física y la salud.

Episodio crítico de contaminación atmosférica: Momento donde existe un desbordamiento de los valores límite en las concentraciones de los contaminantes en el aire (PM_{10} , $PM_{2.5}$ y O_3) y que por sus tiempos de exposición ameritan la declaratoria de una alerta y que deben entenderse como una afectación a la salud de la población y al ambiente mismo. Cuando se declara un episodio crítico de contaminación en el Valle de Aburrá, se activa el protocolo del plan operacional para enfrentar episodios de contaminación atmosférica (POECA).

ERS: *European Respiratory Society*, en español Sociedad Respiratoria Europea, es una organización internacional que reúne a médicos, profesionales de la salud, científicos y otros expertos que trabajan en medicina respiratoria.

Espirometría: Es una prueba de función pulmonar que mide la cantidad de aire total que tienen los pulmones y la velocidad con la que sus volúmenes de aire se desplazan (flujos pulmonares). Es una prueba básica en el estudio de las enfermedades respiratorias, que sirve para valorar el rendimiento pulmonar y el estado de salud.

Espirómetro: Dispositivo especial que registra la cantidad de aire que un sujeto inhala o exhala así como la velocidad a la cual dicho aire es desplazado hacia fuera o dentro del pulmón. Mide los volúmenes pulmonares y las velocidades de flujo.

Estabilidad atmosférica: Propiedad de la atmósfera que tiende a inhibir el movimiento vertical de una parcela de aire; es decir, el estado turbulento y la capacidad de dispersión de la atmósfera, por tanto, propicia la concentración de contaminantes en la misma.

Fuente de emisión: Actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire.

Función pulmonar: Hace referencia al funcionamiento de los pulmones de una persona, es decir, qué tan bien trabajan los pulmones al ayudar a una persona a respirar.

Inestabilidad atmosférica: Propiedad de la atmósfera donde predominan los movimientos convectivos y la presencia de turbulencia que favorecen la dispersión y mezcla de los contaminantes.

Material Particulado 2.5µg (PM_{2.5}): Partículas en suspensión de diámetro aerodinámico inferior o igual a los 2,5 micrómetros, 100% respirables e indicador de contaminación en el aire.

NIOSH: *The National Institute for Occupational Safety and Health*, en español Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional, es la Agencia Federal de los EE.UU. encargada de hacer investigaciones y recomendaciones para la prevención de enfermedades y lesiones relacionadas con el trabajo. Es parte de los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC por sus siglas en inglés) del Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU.

OMS: Organización Mundial de la Salud, es la autoridad directiva y coordinadora de la acción sanitaria en el sistema de las Naciones Unidas (ONU por sus siglas en inglés). Es la organización responsable de desempeñar una función de liderazgo en los asuntos sanitarios mundiales, configurar la agenda de las investigaciones en salud, establecer normas, articular opciones de política basadas en la evidencia, prestar apoyo técnico a los países y vigilar las tendencias sanitarias mundiales.

POECA: Plan Operacional para Enfrentar Episodios de Contaminación Atmosférica, es el protocolo que contiene medidas inmediatas que buscan disminuir los niveles de contaminación y superar la contingencia ambiental declarada. Estas medidas incluyen la restricción del uso de vehículos particulares y motos, la definición de ciertos horarios para el desplazamiento de volquetas y camiones, la restricción de actividades industriales, entre otras.

Radar de vientos: Dispositivo que permite monitorear la estructura vertical de los vientos en el Valle de Aburrá, mediante ondas electromagnéticas que interactúan con la humedad presente en la atmósfera; registrando información desde la

superficie hasta 8 km de altura. Esta información permite determinar el potencial de formación de lluvias y tormentas, así como su propagación.

Radiómetro: Dispositivo que se encarga de monitorear la estructura vertical de la atmósfera, midiendo variables como temperatura, humedad y cantidad de agua. Es clave para el pronóstico meteorológico a corto plazo y determinante para entender los fenómenos que se generan en el Valle de Aburrá, entre ellos el grado de inestabilidad atmosférica, al igual que la influencia del estado de la atmósfera en la calidad de aire.

Relación VEF₁/CVF: Parámetro de función pulmonar equivalente al volumen espiratorio forzado en un segundo, expresado como porcentaje de la capacidad vital forzada. Se trata de la fracción del total que se exhala en el primer segundo.

SIATA: Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá, es un proyecto estratégico para la gestión ambiental y de riesgos del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Alcaldía de Medellín. Entre sus procesos se encuentra el monitoreo ininterrumpido y en tiempo real de variables hidrológicas, meteorológicas y de calidad del aire en este territorio.

Test de Léger: Prueba de ejercicio físico que mide la capacidad aeróbica o resistencia cardio-pulmonar. Diseñada para calcular la velocidad aeróbica máxima (VMA) y estimar el consumo máximo de oxígeno (VO_{2máx}), de una persona.

Valores de referencia o predichos en espirometría: Valores esperados de varios volúmenes pulmonares y velocidades de flujo, obtenidos de sujetos sanos no fumadores. Los valores están ajustados para el sexo, la edad, la talla y la raza.

Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo (VEF₁): Parámetro de función pulmonar equivalente al volumen de aire exhalado del pulmón de manera forzada durante un segundo después de la inspiración.

Resumen

Objetivo: Describir el comportamiento de la función pulmonar asociada al ejercicio en condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica de deportistas de la Universidad de Antioquia de Medellín.

Métodos: Usando un enfoque cuasi-experimental se realizaron medidas repetidas de parámetros de función pulmonar (CVF, VEF₁ y VEF₁/CVF) antes y después de realizar un test de esfuerzo en tres escenarios del día: A) 7:00 a.m.-10:00 a.m. B) 12:00 m-3:00 p.m. y C) 6:00 p.m.-9:00 a.m. De cada uno se obtuvieron concentraciones horarias de PM_{2.5} y variables meteorológicas, y se determinó la condición de estabilidad atmosférica con la metodología de Pasquill-Gifford-Turner. Se compararon los cambios de función pulmonar pre/post ejercicio en y entre escenarios usando la prueba de Wilcoxon y se usó el coeficiente de Spearman para medir las correlaciones entre los cambios pre/post ejercicio de los parámetros y las concentraciones horarias de PM_{2.5}.

Resultados: Los escenarios A y B presentaron condiciones atmosféricas de inestabilidad. Hubo diferencias en la CVF ($p=0,02$) y el VEF₁ ($p=0,01$) pre/post ejercicio cuando se compararon los escenarios A vs C. Se encontró relación inversamente proporcional entre las concentraciones de PM_{2.5} y los cambios pre/post ejercicio de la CVF ($p=0,00$) en el escenario C.

Conclusión: Este estudio sugiere que entre 7:00 a.m. y 10:00 a.m., la adaptación fisiológica aguda del sistema respiratorio de los deportistas fue menor respecto a los demás horarios; y que el incremento en las concentraciones horarias de PM_{2.5} de 6:00 p.m. a 9:00 p.m. se relaciona con una disminución en la capacidad pulmonar de los deportistas.

Palabras clave: Contaminación del aire, función pulmonar, ejercicio físico, estabilidad atmosférica, inestabilidad atmosférica.

Introducción

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. Está demostrado que la exposición de los seres humanos a altas concentraciones de pequeñas partículas tiene una relación directa con el aumento de la mortalidad diaria y a largo plazo.(1)

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) una de cada nueve muertes en todo el mundo es resultado de condiciones relacionadas con la contaminación del aire, donde las personas más susceptibles son aquellas con enfermedades previas o crónicas, los niños menores de 5 años y los adultos mayores de 65 años, las mujeres embarazadas, personas que viven en situación de vulnerabilidad social, los trabajadores y población que permanece por largos periodos en exteriores, lo que demuestra que los riesgos y efectos en la salud no están distribuidos equitativamente en la población.(2)(3)

Algunos datos arrojados por dicha organización revelan un vínculo estrecho entre las exposiciones de largo y corto plazo a la contaminación del aire y la morbilidad por enfermedades cardiovasculares y respiratorias.(4)

Entre los contaminantes del aire más relevantes para la salud pública, se encuentra el material particulado (PM por sus siglas en inglés *Particulate Matter*) con diámetros de $10\mu\text{m}$ y $2.5\mu\text{m}$, y partículas ultrafinas (UFP por sus siglas en inglés *Ultra Fine Particle*) con diámetros inferiores a $0,1\mu\text{m}$, las cuales por su tamaño, pueden atravesar la barrera alveolo-endotelial y llegar al torrente sanguíneo. Algunos efectos de estos contaminantes son asma, neumonía, bronquitis aguda o crónica, disminución de la función pulmonar, síntomas respiratorios agudos, insuficiencia cardíaca congestiva, muertes prematuras, entre otros.(2)(5)

Las principales fuentes de emisión de este tipo de contaminantes provienen del parque automotor (carros, camiones, motocicletas, autobuses, aviones y locomotoras), también llamadas fuentes móviles; y los procesos industriales, también conocido como fuentes fijas.(6)

En el Valle de Aburrá por su condición de valle ubicado en un entorno montañoso, un aspecto importante a considerar y que está relacionado con el aumento en la concentración de los contaminantes en el aire, son las condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica que se presentan, y que dependen principalmente de la exposición directa que tenga el terreno montañoso a los flujos de energía solar y de los procesos de interacción mecánicos y térmicos del suelo con la atmósfera.(7)(8)(9)

El fenómeno de la contaminación del aire en el Valle de Aburrá entendido bajo las condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica, requiere la comprensión del

concepto de Capa Límite Atmosférica (CLA), cuyo espesor difiere fuertemente entre el día y la noche(10) y la concentración de contaminantes en el aire es altamente dependiente de su altura, en otras palabras, es la altura de la CLA quien definirá el espacio disponible para la dispersión de estos contaminantes, pero a su vez, la altura de la CLA es altamente dependiente de las variables meteorológicas que se presenten. De ahí que, el momento de la transición del estado estable a estado inestable de la atmósfera varíe de acuerdo a los fenómenos climáticos y condiciones atmosféricas características de cada época del año.(9)

La evaluación diaria de los estados estables e inestables de la atmósfera, podría clarificar cuales serían las horas del día en las que se favorece la dispersión de los contaminantes y a partir de esto, planificar la realización de actividades cotidianas que pueden aumentar la exposición de las personas a los contaminantes del aire, como por ejemplo, la realización de actividades físicas en forma de ejercicio, deportes aeróbicos o entrenamientos, cuya práctica regular genera efectos favorables en varios sistemas del cuerpo (11), y se considera un factor de protección importante contra las enfermedades no transmisibles (ENT).

No obstante, a pesar de que la actividad física regular es beneficiosa para la salud y la longevidad, se debe evitar realizarla en lugares y momentos donde existen altas concentraciones de contaminantes en el aire (11), es decir, es tan importante hacer la actividad física, como el entorno donde se hace, especialmente si es al aire libre.

Algunas investigaciones que relacionan el deporte con la contaminación del aire han reconocido tanto los efectos beneficiosos para la salud de la práctica regular de actividades físicas, como los efectos negativos a largo y corto plazo de la exposición a la contaminación del aire. Sin embargo, los impactos en los indicadores de tipo fisiológico como la función pulmonar de la exposición “ultracorta” al PM_{2.5} están menos claramente definidos.

Es bien conocido que todas las personas están expuestas a la contaminación del aire, pero no todas de la misma manera. Este estudio pretende describir el comportamiento de la función pulmonar asociada al ejercicio físico en condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica de un grupo de deportistas de la Universidad de Antioquia de la ciudad de Medellín, bajo la hipótesis de que estas condiciones influyen en los parámetros de función pulmonar en estos individuos.

Para comprobar dicha hipótesis se diseñó un estudio exploratorio con un enfoque cuasi-experimental, donde se definieron tres escenarios diarios según las horas del día (A: 7:00 a.m.-10:00 a.m., B: 12:00 m-3:00 p.m. y C: 6:00 p.m. -9:00 p.m.), en los cuales se realizaron medidas repetidas de indicadores de función pulmonar (CVF, VEF₁ y VEF₁/CVF) en 28 deportistas de representación de la Universidad de Antioquia donde cada deportista realizó dos espirometrías, una antes (Pre) y otra después (Post) de realizar una prueba física de esfuerzo intermitente (Test de Léger) en cada escenario definido.

Esta es la primera investigación en Medellín donde se analiza la función pulmonar de deportistas universitarios en tres momentos diferentes del día y su relación con el comportamiento diurno del PM_{2.5} teniendo en cuenta condiciones atmosféricas de estabilidad e inestabilidad que se presentan en el Valle de Aburrá

De manera que, este trabajo consta de seis apartados; en el primero se presenta la problemática relacionada con la contaminación del aire y sus impactos generales sobre la salud a nivel mundial, regional y local. En el segundo se precisa la finalidad del estudio. En el tercero se describen los marcos que determinan los contextos temáticos y referentes considerados en el estudio. En el cuarto se describen los métodos y procedimientos empleados para alcanzar los objetivos propuestos, así como las consideraciones éticas. En el quinto se presentan los hallazgos y en el sexto se discuten estos resultados en relación con los objetivos planteados, adicionalmente se describen los aspectos importantes del estudio, sus limitaciones e implicaciones en futuras investigaciones. Finalmente, se presentan las principales conclusiones generadas.

1. Planteamiento del Problema

Una de las amenazas de salud ambiental más grandes del mundo es la contaminación del aire que representó en el 2017 4.9 millones de muertes y 147 millones de años de esperanza de vida perdidos en todo el mundo(12). El estudio de la carga de enfermedad global (GBD por sus siglas en inglés *Global Burden of Disease*) realizó un análisis sobre el impacto en la carga de la enfermedad atribuible a la contaminación del aire a nivel mundial y nacional, y reportó que entre 1990 y 2015 el PM_{2.5} ocupaba el quinto puesto entre los factores de riesgo con mayor impacto en la mortalidad global. Se estimó que la contaminación del aire causó cerca de 4,2 millones de muertes anuales, que representaron el 7,6% del total de muertes mundiales, principalmente por eventos cardio y cerebro-vasculares, enfermedades respiratorias y algunos tipos de cáncer(13). Sin embargo, las enfermedades con la mayor proporción de carga atribuible a la contaminación del aire durante este periodo fue la infección del tracto respiratorio inferior (IRL) y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC); las partículas ambientales son responsables del 27,5% de todas las muertes por IRL y 26,8% de las muertes por EPOC.(14)

La región de las Américas es la más urbanizada del mundo y el 79% de la población de América Latina y el Caribe (ALC) vive en pueblos y ciudades con más de 20.000 habitantes, lo que representa una importante demanda de energía, incluyendo la provisión de servicios, la producción y consumo de materiales y bienes, el transporte y la movilidad, contribuyendo con la contaminación del aire.(2) Adicionalmente, por lo menos 100 millones de personas están expuestas a concentraciones de contaminantes en el aire que sobrepasan los niveles máximos permisibles establecidos en las guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud.(15)

Para América Latina se calcula que cada año mueren alrededor de 35.000 personas por la contaminación del aire intraurbano y 276.000 años de vida se pierden por la misma causa(16). Brasil, Argentina, México, Colombia, Chile, Perú, Bolivia, Paraguay y Venezuela son los nueve países latinoamericanos con mayor cantidad de muertes atribuibles a la contaminación del aire y también los países que exhiben las mayores poblaciones urbanas.(15)

En Colombia existe un interés creciente relacionado con la problemática y degradación ambiental que genera la contaminación del aire; esta preocupación ha tomado fuerza en los últimos años debido al incremento de los efectos negativos que causa este factor en la salud de las personas y al ambiente.(16).

El último informe de carga de la enfermedad ambiental de Colombia, realizado por el Instituto Nacional de Salud (INS) encontró que la contaminación del aire es uno de los dos principales factores de riesgo ambiental que genera más pérdidas de

vida saludable, en este caso con 15.681 muertes atribuibles, donde el 13,9% de las muertes fueron por enfermedad isquémica del corazón y el 17,6% por enfermedad pulmonar obstructiva crónica(17). Este resultado complementa el estudio de carga mundial de la enfermedad donde Colombia se ha ubicado entre las naciones donde las muertes atribuidas al PM_{2.5} representan cerca del 5% de las muertes por todas las causas.(18)

En el análisis por factor de riesgo y enfermedad se encontró que en la enfermedad isquémica del corazón la fracción atribuible a PM_{2.5}, para la carga total de esta enfermedad fue del 15,8% a nivel nacional, donde los valores más altos se presentaron en Quindío, Córdoba y Antioquia, con cifras por encima del 17%.(17)

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) las zonas que mayor afectación presentan por importantes niveles de contaminación del aire son: el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), tres localidades en la ciudad de Bogotá, el municipio de Ráquira en Boyacá y la zona industrial de ACOPI en el municipio de Yumbo en el Valle del Cauca.(19)

En la región del Valle de Aburrá conformada administrativamente por Medellín y otros nueve municipios, residen un poco más de 4 millones de habitantes y las fuentes móviles son las principales generadoras de contaminantes críticos contribuyendo con el 82% de las emisiones de PM_{2.5}. (7)

Un reciente estudio epidemiológico aportó valiosa evidencia sobre el incremento del riesgo de mortalidad y morbilidad de tipo respiratorio y cardiovascular asociado a los incrementos de 10µg /m³ en la concentración diaria de contaminantes criterio (PM₁₀, PM_{2.5} y O₃) en población de menores de 5 años y mayores de 65 años entre 2008 y 2015(18). No obstante, no explora las consecuencias sobre la salud asociadas a la exposición de la contaminación del aire de personas jóvenes o con exposiciones particulares.

Una de las variables que está directamente influenciada por las emisiones de material particulado que se producen en el Valle de Aburrá es la intensidad de retrodispersión. Esta variable es capaz de representar la concentración de partículas en un instante de tiempo determinado y su variación vertical en la atmósfera.(9)

Estudios locales han demostrado que el ciclo diurno del PM_{2.5} en la intensidad de retrodispersión es un ciclo bimodal modulado principalmente por dos procesos: los estados de estabilidad e inestabilidad atmosférica y la dinámica de las emisiones en superficie que, a su vez, están influenciadas por dos periodos correspondientes a horas donde se presenta alto flujo vehicular y mayor dinámica en las actividades industriales, conocidos como “*horas pico*”, estos periodos coinciden con horas en las que la atmósfera presenta un comportamiento estable y se presenta un periodo de mayores concentraciones de contaminantes entre las 6:00 a.m. y las 10:00 a.m.,

y uno un poco menos pronunciado entre las 7:00 p.m. y las 11:00 p.m. (figura 5).(8)
(9)

Si bien es cierto que todas las personas están expuestas a la contaminación del aire, también es cierto que no todas están expuestas a las mismas concentraciones de contaminantes, pues dependiendo de la hora del día, la exposición puede ser mayor o menor. Esto es de suma importancia, puesto que también existen grupos poblacionales que por su ocupación o por sus hábitos de vida cotidianos permanecen por largos periodos de tiempo en exteriores, catalogándose como grupos altamente expuestos a la contaminación del aire.

Es el caso de los deportistas que practican su disciplina deportiva o realizan frecuentemente sus ejercicios y entrenamientos al aire libre. Para este grupo la vía principal de recepción de estos contaminantes es inhalatoria y debido a que durante la práctica de las actividades deportivas ocurre una mayor ventilación y broncodilatación, aumenta el número de respiraciones por minuto, la profundidad de la respiración y se reduce la resistencia nasal; las partículas contaminantes pueden llegar fácilmente al tracto respiratorio inferior(20). De ahí que, estas adaptaciones respiratorias, el volumen de aire inhalado y la fracción de partículas suspendidas en el aire depositadas en el tracto respiratorio son considerablemente más altas durante el ejercicio en comparación con el reposo.(21)

Algunos estudios sugieren que dentro de las posibles consecuencias de inhalar contaminantes durante el ejercicio físico se encuentran la disminución de la función pulmonar, el aumento de las exacerbaciones de asma, la disminución de la capacidad de difusión, la hipertensión pulmonar, la disminución del rendimiento deportivo y otros efectos de tipo cardiovascular.(11)(21)

La función pulmonar es un indicador importante de la salud respiratoria, que ha sido relacionada con la contaminación del aire. Muchos estudios transversales y varios estudios longitudinales han reportado una función pulmonar más baja y un crecimiento más lento de la función pulmonar como resultado de la exposición a la contaminación del aire en niños y adolescentes y ha sido menos estudiado en adultos, pero cada vez hay más pruebas de estudios de cohortes individuales en EE. UU, Asia y Europa, como el más reciente estudio de cinco cohortes europeas dentro del proyecto del Estudio Europeo de Cohortes para los Efectos de la Contaminación del Aire (ESCAPE).(22)

Otros autores como Das y Park han concluido en sus estudios que la contaminación del aire elevada podría estar asociada con flujos espiratorios reducidos en niños futbolistas y ciclistas respectivamente. (23)(11)(24) De modo que, es de interés para la salud pública entender cómo se modifican los efectos respiratorios del deporte, la actividad física e incluso la recreación al aire libre, cuando se realiza en un entorno urbano contaminado(21), problema que se agrava en ciudades encerradas en valles estrechos como es el caso de Medellín y su Área Metropolitana, susceptible de

acumular grandes cantidades de contaminantes y donde las concentraciones anuales de material particulado (PM) han superado los estándares nacionales, incrementando el riesgo de efectos en la salud en esta población.(25)(26)

Teniendo en cuenta que los cambios de las concentraciones durante el día de los contaminantes en el aire están estrechamente influenciadas por las condiciones atmosféricas que se presentan diariamente en el Valle de Aburrá y que en el ámbito local, hasta el momento, no existe evidencia que relacione estos cambios con los indicadores de función pulmonar en deportistas, este estudio pretende responder la siguiente pregunta:

¿Cómo es el comportamiento de la función pulmonar asociada al ejercicio físico en condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica de un grupo de deportistas de la Universidad de Antioquia, Medellín 2018?

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Describir el comportamiento de la función pulmonar asociada al ejercicio físico en condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica de un grupo de deportistas de la Universidad de Antioquia, Medellín 2018

2.2. Objetivos Específicos.

- i.** Establecer las condiciones de estabilidad e inestabilidad en los escenarios atmosféricos estudiados e identificar los niveles de concentración del $PM_{2.5}$ a los que está expuesto un grupo de deportistas de la Universidad de Antioquia.
- ii.** Evaluar la función pulmonar en condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica de un grupo de deportistas de la Universidad de Antioquia.
- iii.** Explorar la relación entre los cambios en los parámetros de función pulmonar y las concentraciones de $PM_{2.5}$ en condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica en un grupo de deportistas de la Universidad de Antioquia.

3. Marcos

3.1 Marco teórico y conceptual

3.1.1 Contaminación del aire

Se considera que el aire está contaminado cuando contiene impurezas en forma de humos, gases, vapores, cenizas, polvos, partículas en suspensión, bacterias patógenas, elementos químicos extraños y partículas radiactivas, durante lapsos prolongados y en cantidades que rebasan los grados de tolerancia permitidos, y que además resultan dañinos a la salud humana, a sus recursos o a sus bienes.(27)
En otras palabras, el aire se contamina cuando se introducen sustancias distintas a las que lo componen naturalmente, o bien, cuando se modifican las cantidades de sus componentes.(6)

Existen varios tipos de contaminantes atmosféricos, entre los cuales se encuentra el material particulado en suspensión y los gases (28). Los contaminantes que se presentan en forma de gases constituyen el 90% de la masa total emitida a la atmósfera, y los contaminantes en forma de material particulado y compuestos orgánicos volátiles el 10% restante.(29)

Según la OMS el material particulado afecta a más personas que cualquier otro contaminante. Los principales componentes del PM son los sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro de sodio, el hollín, los polvos minerales y el agua. Consisten en una compleja mezcla de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas de distintos tamaños suspendidas en el aire.(30)

La contaminación del aire se puede clasificar de diferentes maneras, por ejemplo:

Según el tipo de fuente que la produce: Estas pueden ser naturales o antropogénicas, por lo general las fuentes naturales están relacionadas con la erosión de suelos, evaporación de agua de mar, vegetación, animales, erupciones volcánicas, incendios forestales etc. y representan un porcentaje bajo de los problemas de salud pública debidos a la contaminación; por su parte, las fuentes antropogénicas, es decir, causadas por las actividades del ser humano, son más importantes como causas de problemas de salud pública, su naturaleza y el tipo de contaminantes que emiten son muy diversos.(28)(31)

Ahora bien, dependiendo de la actividad que la origina pueden clasificarse a su vez en industriales, mineras, agropecuarias, artesanales, domésticas, entre otras. También se clasifican dependiendo de su localización, como fuentes dispersas y puntuales o comúnmente conocidas como fuentes fijas y móviles.(29)(31)

- *Fuentes fijas*, como su nombre lo indica, es una fuente de ubicación inmóvil o instalación fija de donde se descargan contaminantes. También se refiere a una

fuente única e identificable de contaminación, por ejemplo: una tubería, zanja, pozo de una mina o chimenea de una fábrica(6). Estas fuentes incluyen el uso de combustibles fósiles en actividades industriales, de generación termoeléctrica, en calefacción comercial y residencial.(28)

- *Fuentes móviles*, todo tipo de fuente de contaminación del aire que pueda desplazarse de un sitio a otro, pertenece a esta categoría. Entre estos se encuentran los carros, los camiones, las motocicletas, los autobuses, los aviones y las locomotoras. La proporción en que se emiten estos contaminantes depende de una serie de factores entre los que se encuentran el tipo de motor, la calidad del combustible usado y el estado de mantenimiento del vehículo(6). Las emisiones son provenientes de los gases de escape de los vehículos, pero también de componentes originados por desgaste de frenos y partes metálicas, desgaste de neumáticos, etc.(28)
- *Fuente de área*, se trata de cualquier fuente de contaminación que es liberada sobre un área relativamente pequeña y no puede ser clasificada como fuente fija. Son fuentes muy pequeñas para ser consideradas de forma individual pero colectivamente representan un porcentaje significativo de las emisiones de contaminantes. Las estaciones de servicio de combustibles son un ejemplo de este tipo de fuentes contaminantes.(6)

Según el tipo de contaminante: Si son **primarios**, es decir, que son emitidos directamente por las fuentes y se encuentran en el aire tal y como fueron producidos, ejemplo de ellos son el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂) las partículas suspendidas totales (PST), el material particulado de diámetro aerodinámico 10µm (PM₁₀), 2.5 µm (PM_{2.5}) las partículas ultrafinas (UFP) <1.0 µm, los hidrocarburos (HC) y compuestos orgánicos volátiles (COV's) o si son **secundarios**, es decir, si son contaminantes que resultan de la interacción de los contaminantes primarios, como lo es la lluvia ácida, los oxidantes fotoquímicos y el smog.(29)(32)

Según los efectos: Si son sobre los organismos, el ecosistema o ambos. Los efectos se relacionan con el tiempo de exposición, la distancia a la fuente y los organismos o sistemas afectados.

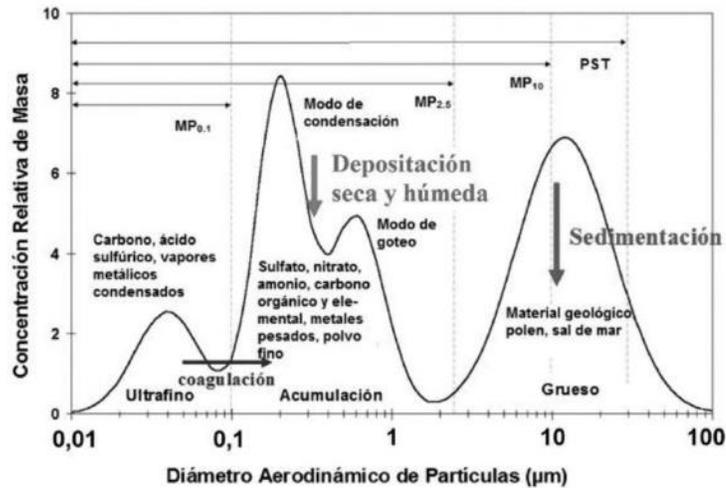
- *Con el tiempo de exposición*, si son efectos que se observan a corto plazo o aparecen después de varios años y ocasionalmente en generaciones posteriores a la exposición, ósea a largo plazo.(28)(31)
- *Con la distancia a la fuente*, si los efectos ocurren en lugares cercanos al origen del contaminante, estos se conocen como efectos microambientales y están relacionados con los daños a la vegetación o a la salud de poblaciones humanas en una zona en particular; y si los efectos ocurren en sitios diferentes de donde

se generan los contaminantes, se conocen como efectos macroambientales o globales que pueden alterar varios ecosistemas en todo el mundo y son resultado indirecto del desequilibrio ambiental inducido por uno o más contaminantes de efecto similar que se generan al mismo tiempo en diversos lugares del mundo, algunos efectos de este tipo son por ejemplo la lluvia ácida, el efecto invernadero y la destrucción de la capa de ozono.(31)

- *Con los organismos afectados*, si son contaminantes que afectan organismos vivos los efectos son biológicos y a su vez, estos pueden ser tóxicos si afectan un organismo en particular o eco-tóxicos si afectan a uno o más ecosistemas, como ocurre con la desaparición de especies o la alteración de hábitat. Y son efectos no biológicos, si son sobre los ciclos bioquímicos, que incluye efectos físicos y químicos. También puede ocurrir que un mismo contaminante cause varios tipos de efectos, es decir, tóxicos, eco-tóxicos, físicos y químicos. (31)

En cuanto al material particulado, el tamaño es el parámetro más importante en su caracterización. En conjunto con la composición química, permite la determinación del origen, propiedades e impactos en la salud. El tamaño se describe generalmente por medio del diámetro de las partículas, el cual puede ser determinado geométricamente por análisis microscópico, por su comportamiento físico como la velocidad de sedimentación, la movilidad eléctrica, etc. Para ello se usa el diámetro aerodinámico que corresponde al diámetro de una esfera uniforme en unidad de densidad que alcanza la misma velocidad terminal de asentamiento que la partícula de interés y que está determinado por la forma y densidad de la partícula.(28)

De acuerdo a esto, pueden ser clasificadas como partículas gruesas (3-20 μm), finas (0,1-2,5 μm) y ultrafinas (0,01-0,1 μm). La fracción fina contiene la mayoría del material particulado de origen secundario, usualmente esta fracción se denota como PM_{2.5} y la fracción gruesa está constituida por partículas mayores a 3 μm , generadas en procesos mecánicos, denotada como PM₁₀ (28) En la figura 1 se muestra la distribución de tamaños según el diámetro aerodinámico de estas partículas.



Fuente: Introducción a la Contaminación Atmosférica. Jorquera H.2018

Figura 1. Distribución de tamaños del material particulado

Generalmente, las mediciones de la calidad del aire se notifican como concentraciones medias diarias o anuales de PM_{10} por metro cúbico (m^3) de aire. Las mediciones sistemáticas de la calidad del aire describen esas concentraciones de PM expresadas en microgramos/metro cubico ($\mu g/m^3$). Cuando se dispone de instrumentos de medición suficientemente sensibles, se notifican también las concentraciones de $PM_{2.5}$ o más pequeñas.(30)

La tabla 1 muestra los niveles máximos permisibles según el tiempo de exposición de los cinco contaminantes más comunes del aire fijados en las guías de calidad del aire de la OMS y en la Resolución 2254 de 2017 que adopta la norma de calidad del aire ambiente en Colombia.(30)(33)(34)

Tabla 1. Niveles máximos permisibles de PM_{10} , $PM_{2.5}$, SO_2 , NO_2 y O_3

Contaminante	Tiempo de exposición	Nivel máximo permisible ($\mu g/m^3$).	
		OMS	Resolución 2254 de 2017
PM_{10}	Anual	20	50
	24 horas	50	75
$PM_{2.5}$	Anual	10	25
	24 horas	25	37
SO_2	24 horas	20	50
	*	500 (10 min*)	100 (1 hora*)
NO_2	Anual	40	60
	1 hora	200	200
O_3	8 horas	100	100

Material particulado 2.5µm (PM_{2.5})

Es un contaminante criterio que genera impactos negativos en la salud humana debido a su tamaño microscópico que puede llegar a las células más pequeñas de los pulmones y al torrente sanguíneo interfiriendo con la adecuada función celular y oxigenación de la sangre.(35)

Las partículas de 2.5µm están compuestas por elementos tóxicos como metales pesados y compuestos orgánicos. Generalmente por sulfatos y nitratos de amonio y carbono orgánico secundario que sedimentan lentamente, es decir, permanecen suspendidas en el aire por largos periodos debido a su tamaño y densidad, y se transportan a largas distancias.(28)

En la tabla 2 se describen algunas propiedades de estas partículas.

Tabla 2. Propiedades del material particulado 2.5µm

Categoría	Fino PM _{2.5}
Procesos de formación	Reacción química entre gases Nucleación Condensación Coagulación Evaporación de niebla y de gotas de lluvia en que se han disuelto y reaccionado gases
Composición Química	Sulfatos, SO ₄ ⁻ Nitratos, NO ₃ ⁻ Amonio, NH ₄ ⁺ Ion hidrogeno, H ⁺ Carbono elemental Compuestos orgánicos Metales Agua ligada a las partículas
Solubilidad	Muy solubles, higroscópicas y delicuescentes
Vida media	Días a semanas
Distancia recorrida desde fuentes	Cientos a miles de km
Fuentes que aportan	Combustión de carbón, petróleo pesado, gasolina, diésel, leña Oxidación atmosférica de NO _x , SO ₂ y compuestos orgánicos volátiles, incluyendo especies biogénicas como isopreno, limoneno, etc. Procesos a alta temperatura: fundiciones, siderurgia, cemento, vidrio, pirometalurgia, etc.

Fuente: Introducción a la Contaminación Atmosférica. Jorquera H.2018

Exposición a la contaminación del aire

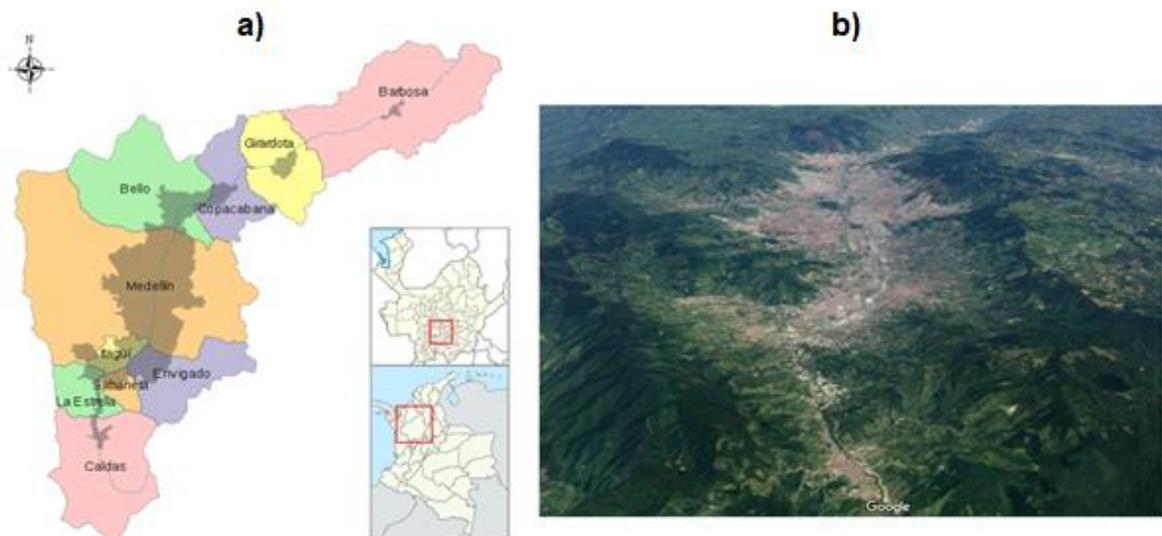
Diariamente las personas se exponen diferencialmente a la contaminación del aire determinada por una serie de factores individuales y poblacionales. Entre los

factores individuales se encuentran, por ejemplo, el tiempo de permanencia en las viviendas, lugares de trabajo y/o de estudio, recreación, etc., cercanía a vías principales de estos lugares y hábitos y actividades cotidianas. Mientras que los factores poblacionales, hacen referencia, por ejemplo, a las condiciones geográficas, atmosféricas, climáticas, meteorológicas y ecológicas del territorio, incluyendo condiciones demográficas relacionadas con el crecimiento urbano, características del parque automotor, del transporte y de la producción industrial.

3.1.1.1 Características del Valle de Aburrá que influyen en la contaminación del aire

Condiciones geográficas: El Valle de Aburrá está localizado en el costado noroccidental de Suramérica, sobre las estribaciones de la cordillera central andina, centro-sur del Departamento de Antioquia, Colombia (entre los 6.0° - 6.5° N y 75.5° - 75.7°W).(36), es una depresión alargada (figura 2-a) que se extiende en dos tramos: uno de aproximadamente 30 km de longitud que va de sur a norte, desde el municipio de Caldas hasta el municipio de Bello, con un ensanchamiento máximo de unos 7 km a la altura del municipio de Medellín y el otro, más estrecho, orientado hacia el noroeste que va del municipio de Bello a Barbosa y mide aproximadamente 35 km de largo.(37)

Es la cuenca natural del Río Medellín, que nace en el sur, su topografía irregular (figura 2-b) comprende pendientes que varían entre 10% y 50% y alturas que oscilan entre los 2.000 a los 3.105 metros.(37)



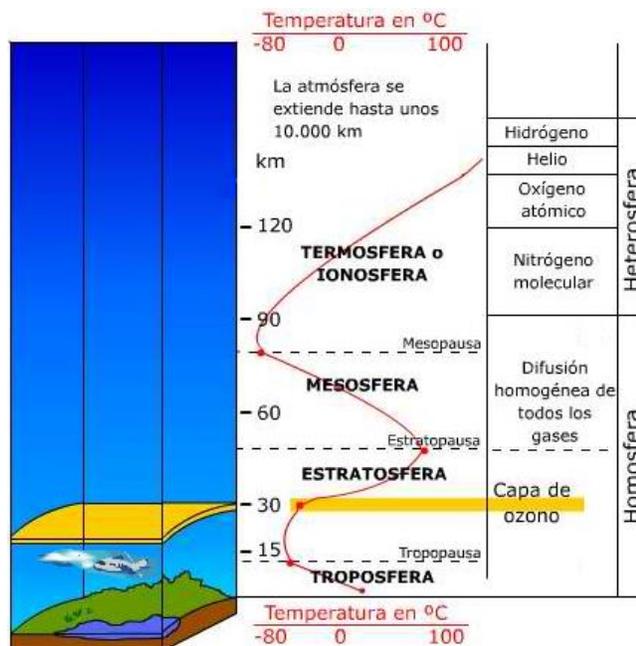
Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81rea_metropolitana_del_Valle_de_Aburr%C3%A1 y Google Maps (2019)
Figura 2. a) Ubicación y división administrativa del Valle de Aburrá. b) Vista frontal del relieve del Valle de Aburrá

La ubicación geográfica del Valle de Aburrá es una condición geográfica adversa, que no facilita la dispersión de contaminantes, por el contrario contribuye a la acumulación de estos en la atmósfera, dificulta su remoción y favorece la mezcla y transformación de ellos produciendo bruma fotoquímica o smog. Estas condiciones geográficas hacen que sin importar en qué municipio se emitan los contaminantes, estos viajen por el territorio y afecten a toda la población. (38)(39)

Condiciones atmosféricas de estabilidad e inestabilidad: Para entender los fenómenos atmosféricos que se presentan en el Valle de Aburrá es importante conocer las propiedades de la atmósfera y el concepto de Capa Límite Atmosférica (CLA).

La atmósfera presenta una estructura vertical cuyas características varían según la altitud, lo que permite diferenciar diversas regiones a las que se designan con el nombre de capas y a sus límites superiores con el de pausas. La variación de la temperatura con la altura permite definir distintas regiones térmicas de acuerdo con las condiciones globales, promediadas en el espacio y el tiempo.(32)

De manera que, la atmósfera está compuesta por las siguientes cinco capas o regiones: tropósfera, estratósfera, mesósfera, termósfera y exósfera, como se muestra en la figura 3, éstas capas tienen a su vez subcapas que varían con la estación y otras variables como la temperatura, la humedad relativa, el régimen de vientos y la concentración de contaminantes.(9)(40)



Fuente: <http://www.rinconsolidario.org/aire/Webs/atmosfera.htm>

Figura 3. Representación gráfica de las capas de la atmósfera en función de la temperatura.

La *tropósfera*, es la capa de la atmósfera en contacto con la superficie terrestre, tiene una altura entre 9 a 15 km con una media de 12 km. Es la capa más dinámica, allí ocurren todos los procesos de formación de nubes, lluvias y tormentas y donde llegan directamente los contaminantes. Se caracteriza por la disminución de la temperatura con la altura y contiene cerca del 75% de la masa total de la atmósfera. La tropósfera tiene un gradiente de temperatura negativo que le da una inestabilidad y una gran turbulencia vertical facilitando la mezcla de contaminantes.(32)(40)

La *estratósfera*, es la capa que se extiende por encima de la tropopausa hasta una altitud cercana a 50 km. Se caracteriza por una ausencia de corrientes verticales y escasa concentración de vapor de agua, por lo que no es una capa homogénea y los gases que la componen se encuentran estratificados de acuerdo a su densidad, de ahí el nombre de estratósfera. Es donde se encuentra la mayor parte del ozono, entre los 25 y 30 km de altitud en la llamada capa de ozono, cuya función más importante es absorber la radiación ultravioleta procedente del espacio exterior, permitiendo así la existencia de la vida en la tierra. Los fenómenos meteorológicos observados en la estratósfera son muy distintos de los de la tropósfera, se encuentra prácticamente libre de nubes, la temperatura aumenta con la altitud y puede ascender hasta 0°C.(32)(40)

El 99% de la masa total de la atmósfera se encuentra en estas dos capas, es decir, tropósfera y estratósfera, dentro de los 50 km encima de la superficie terrestre, ambas regiones son de particular importancia para entender el sistema climático. (32)

La *mesósfera*, se extiende desde 50 a 85 km y tiene un espesor de 35 km aproximadamente. En ella la temperatura vuelve a descender, disminuyendo regularmente desde su límite inferior situado en la estratopausa, hasta aproximadamente -95°C en su límite superior, llamado mesopausa, donde la atmósfera es más fría que en cualquier otro nivel superior. En la mesósfera se pueden ver las estrellas fugaces.(32)

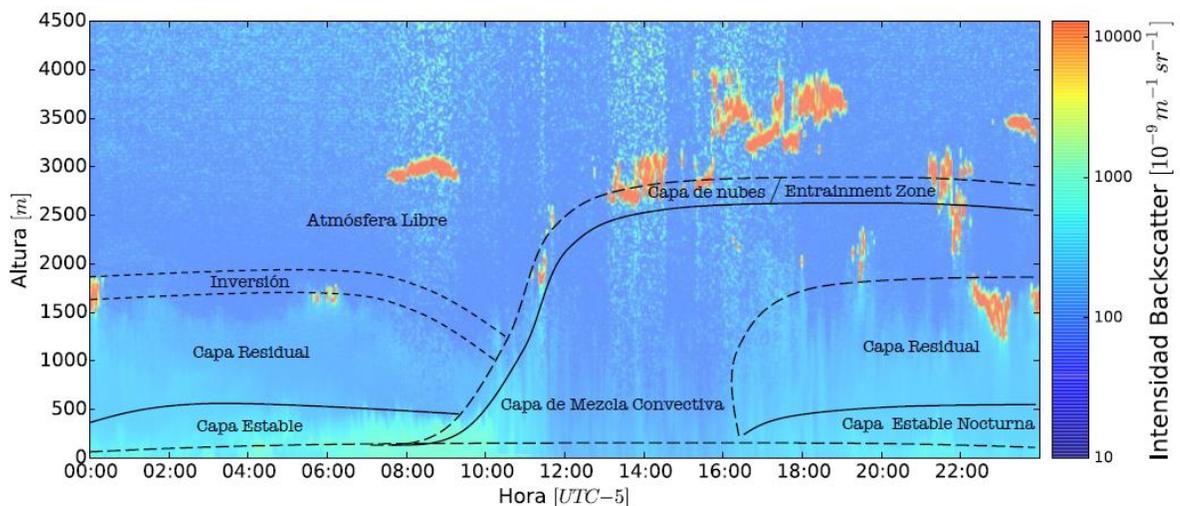
La *termósfera*, se extiende desde 85 km hasta un límite superior indefinido. Es la capa que se encuentra por encima de la mesopausa; se caracteriza por un aumento progresivo de la temperatura con la altitud pudiendo alcanzar los 1600°C, aumento que es debido a la absorción de la radiación solar más energética, es decir, rayos X, radiación gamma y ultravioleta de vacío y a la baja densidad de la atmósfera a elevadas altitudes. Esta capa también recibe el nombre de *Ionósfera* debido a la formación de capas ionizadas, que tienen la capacidad de reflejar las ondas radioeléctricas. Tanto los iones como los electrones pueden permanecer separados durante un periodo de tiempo relativamente largo, mientras que en la mesosfera se produce solamente durante el día.(32)(40)

Finalmente se encuentra la *exósfera*, se extiende desde 600 a 1.000 km siendo la capa más alta de la atmósfera. En ella abunda el hidrógeno ionizado y hay pérdida

de protones y electrones que escapan al espacio exterior, pérdida que se ve compensada por el aporte de partículas en forma de viento solar. La termósfera y la exósfera forman la atmósfera superior, no obstante, es común encontrar en la literatura como última capa en la división de la atmósfera a la termósfera.(32)

La Capa Limite Atmosférica (CLA), es un concepto importante para comprender a profundidad los fenómenos de estabilidad e inestabilidad atmosférica, en palabras de Garrat la CLA es “la capa de aire asentada sobre la superficie de la Tierra donde los efectos de superficie se sienten directamente en escalas de tiempo menores a un día, y donde los flujos de momentum, calor o materia son transportados por movimientos turbulentos en una escala del orden de la profundidad de la capa o menos”(41), del mismo modo Stull la define como “la parte de la tropósfera que está directamente influenciada por la presencia de la superficie terrestre, y responde a los forzamientos en una escala temporal de 30 minutos o menos”. Dichos forzamientos incluyen arrastre por fricción, turbulencia, evaporación y transpiración, emisión de contaminantes, intercambio de energía y momentum, entre otras.(9)(41)

La altura de la CLA puede variar entre los 100 m y 3000 m dependiendo del tipo de terreno y sus alrededores, si existen estaciones y la hora del día, (41) por ejemplo, sobre terrenos planos y bajo condiciones de cielo despejado la evolución diurna de la CLA se puede entender bajo un esquema propuesto por Garratt en 1992 donde los tres componentes principales de esta estructura son la Capa de Mezcla (CM), la Capa Residual (CR) y la Capa Estable (CE), como se presenta en la figura 4.(9)



Fuente: Caracterización de la capa límite atmosférica en el Valle Aburrá a partir de la información de sensores remotos y radiosondeos. Herrera L.2015

Figura 4. Sección transversal vertical de la evolución diurna ideal de la CLA sobre la superficie terrestre bajo condiciones de cielo despejado¹

¹ En el fondo de la imagen la Intensidad retrodispersión obtenida del ceilómetro ubicado en la zona occidental de la ciudad de Medellín para el 9 de enero de 2015.

Bajo este esquema, se observa a lo largo del día la presencia de una capa superficial en la parte más baja de la CLA adyacente a la superficie, donde los flujos de calor, momento y humedad son casi constantes; su altura es aproximadamente un 10% del total de la CLA. En la mañana poco después del amanecer una capa convectiva comienza a desarrollarse; a medida que la radiación incidente aumenta, el calentamiento del suelo ocasiona inestabilidad térmica y convección cerca de la superficie, favoreciendo los procesos de mezcla. Sobre esta capa convectiva superficial se comienza a formar la Capa de Mezcla, dominada por movimientos convectivos y turbulencia, y en la cual los intercambios con la atmósfera libre alcanzan su punto máximo.(9)

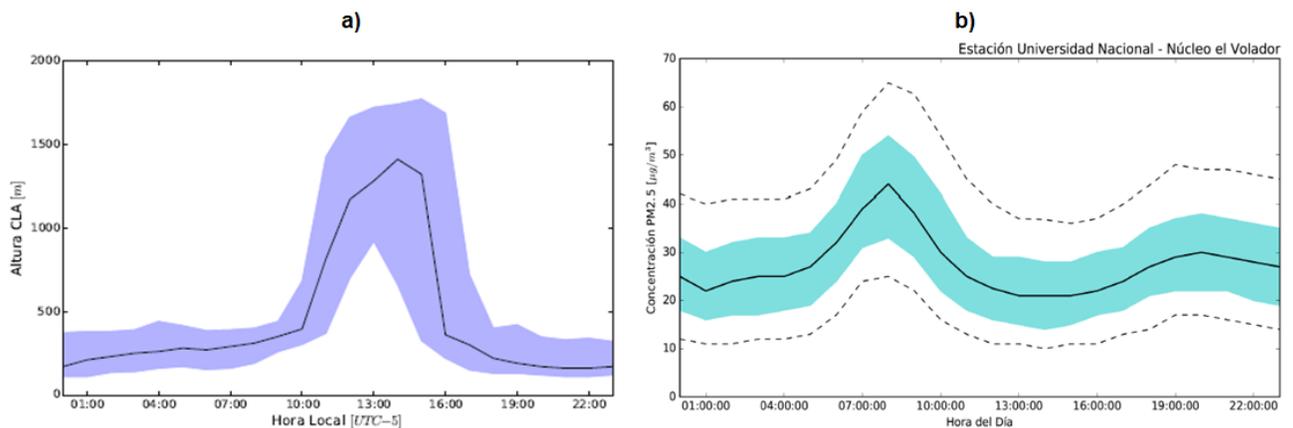
En el atardecer, a medida que la radiación incidente va disminuyendo, la turbulencia y los flujos de calor sensible se debilitan y la capa convectiva se transforma gradualmente en una Capa Estable conocida como la Capa Límite Nocturna. Debido a las características estables de la capa, se reducen significativamente los procesos de intercambio con la atmósfera; la turbulencia dentro de esta capa deja de ser térmica y se presenta con episodios de ráfagas cortas e intensas generadas mecánicamente por las cortantes de viento; los flujos en la superficie usualmente se desacoplan y se produce una estratificación dentro de la capa. Justo sobre esta capa estable donde la turbulencia ha disminuido, los aerosoles, humedad y calor que fueron mezclados durante el desarrollo de la capa convectiva permanecen suspendidos en una capa remanente llamada Capa Residual.(9)

Por consiguiente, la radiación solar afecta de manera distinta la interacción suelo-atmósfera según se trate de un terreno plano o montañoso, urbano o rural. Por ejemplo, los eventos de estabilidad atmosférica tan frecuentes en el aire mañanero de los valles, se rompen apenas el sol comienza a incidir sobre la superficie.(10)

Particularmente, la variación de la altura (h) de la CLA a lo largo del día, es un parámetro fundamental para los estudios ambientales relacionados con la calidad del aire, debido a que es esta quien delimita la escala vertical disponible para la mezcla e interacción de los contaminantes emitidos desde la superficie, determinando de manera implícita su concentración en el tiempo y en el espacio.(9)

A diferencia del esquema propuesto por Garrat (figura 4), la evolución diurna de la CLA en el Valle de Aburrá que, de hecho, ha sido ampliamente estudiada por varios autores (9)(10)(39)(41), se ha encontrado que el ciclo diurno de la altura de la CLA es un ciclo unimodal que presenta su pico máximo entre la 1:00 p.m. y las 4:00 p.m. (figura 5-a), coincidiendo con los valores máximos de temperatura en superficie.(9)

En la figura 5-a se muestra el ciclo diurno de la altura de la CLA y en la figura 5-b el ciclo diurno del $PM_{2.5}$. La estructura de estos ciclos evidencia la aparición de mayores concentraciones de contaminantes en las horas en las cuales la altura de la CLA es menor.



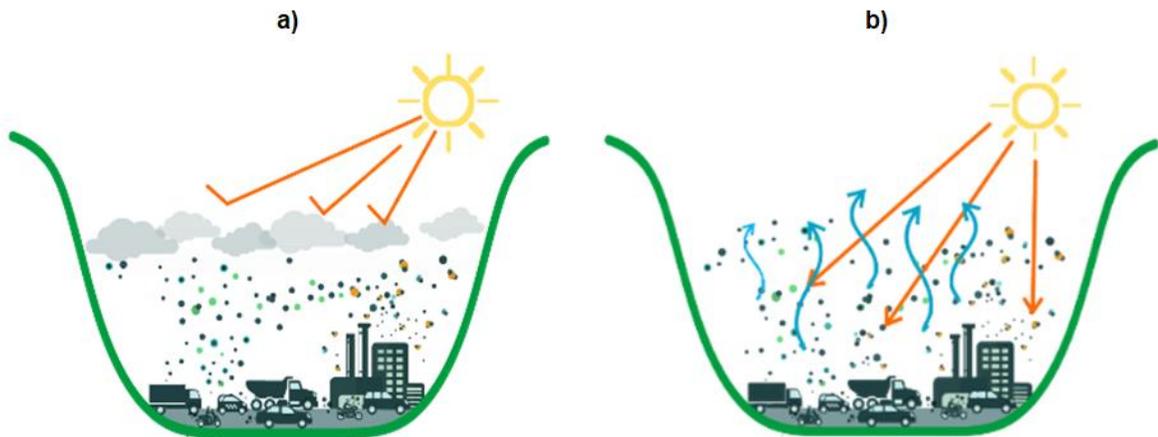
Fuente: Caracterización de la capa límite atmosférica en el Valle Aburrá a partir de la información n de sensores remotos y radiosondeos. Herrera L.2015 y Área Metropolitana del Valle de Aburrá 2017.

Figura 5. a) Ciclo diario de la altura de la CLA. b) Ciclo diario del PM_{2.5} registrado en la estación #25 Universidad Nacional, sede El Volador (MED-UNNV).

El debilitamiento de los vientos alisios, las pocas precipitaciones y la nubosidad de baja altura genera el fenómeno conocido como estabilidad atmosférica (figura 6-a). En este, el movimiento vertical del aire se inhibe, de manera tal que el aire frío cercano a la superficie queda atrapado por una capa de aire cálido sobre éste. Esta condición, denominada inversión térmica, impide la circulación vertical del aire, favoreciendo que el aire contaminado muy denso y pesado permanezca cerca del suelo.(38)

Por su parte, cuando se tienen condiciones normales los rayos del sol calientan la superficie del suelo y este a su vez calienta la capa de aire que está en contacto con la superficie, de manera que esta se expande, pierde densidad y se eleva, creándose el fenómeno de inestabilidad atmosférica (figura 6-b), bajo las cuales asciende el aire arrastrando consigo los contaminantes a capas más altas de la atmósfera, por encima de las cadenas montañosas, en donde estas capas son barridas por vientos como los alisios.(38)

En resumen, cuando se presentan condiciones estables en la atmósfera, se favorece la concentración de contaminantes en el aire, en cambio, cuando se presentan condiciones de inestabilidad atmosférica se favorece la dispersión de los mismos.



Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Figura 6. a) Representación gráfica de estabilidad atmosférica en el Valle de Aburrá. b) Representación gráfica de inestabilidad atmosférica en el Valle de Aburrá

Existen diferentes metodologías para determinar la estabilidad atmosférica dependiendo de la disponibilidad de variables meteorológicas y los procesos que se generan en la parte inferior de la CLA(42), entre los cuales se encuentran:

- La Clasificación de estabilidades de Pasquill-Gifford-Turner (PGT)
- Velocidad del viento a 10 m (U_{10}), radiación solar/nubosidad.
- Método de gradiente de temperatura (dT/dZ)
- Richardson Number (Ri) Method
- Bulk Richardson number (Ri_2) Method
- Método de longitud Monin-Obukhov (M-O)
- Método de relación de velocidad del viento (UR)

Estas metodologías se han usado principalmente para evaluar la estabilidad atmosférica en la CLA y entre sus subcapas, e incluso, para valorar el potencial eólico en alguna zona dada, pero también se han utilizado para evaluar el comportamiento y transporte de los contaminantes atmosféricos y la relación entre variables, como la relación entre la radiación solar y la velocidad del viento o la relación entre la nubosidad y la velocidad del viento.(32)(42)

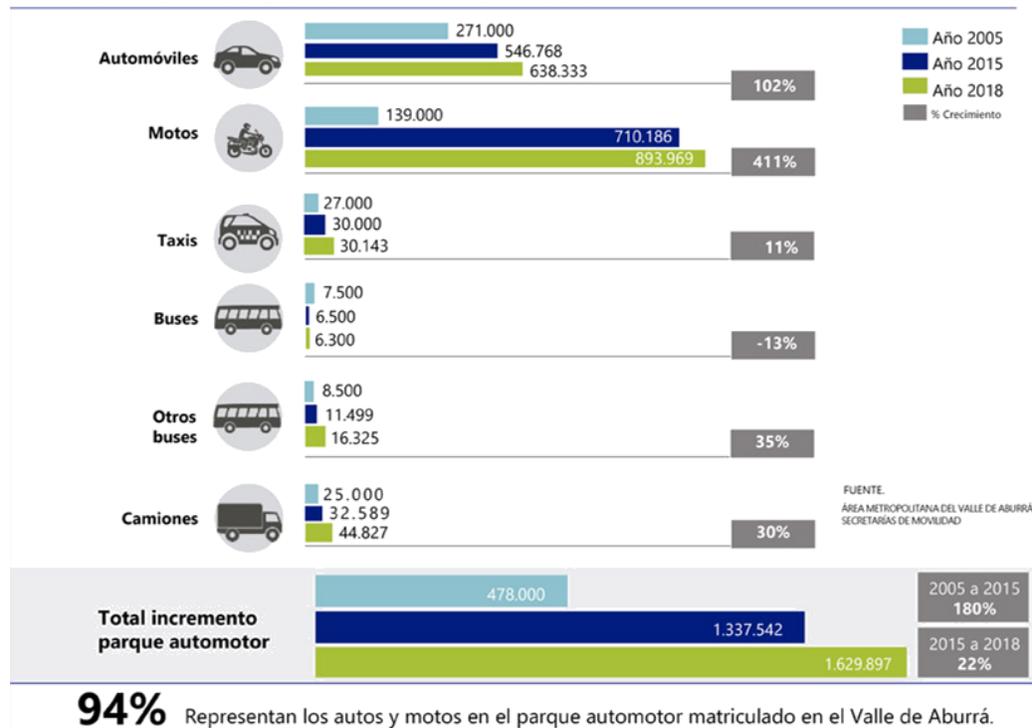
A pesar de que la aplicación de estas metodologías y esquemas de estabilidad responden a diferentes objetivos, realizar una buena caracterización de la misma permite entender cómo se dan los diferentes procesos que ocurren en la CLA de un determinado lugar(42) como en el caso de los valles.

Condiciones demográficas: En los 10 municipios del Valle de Aburrá habitan aproximadamente 4.256.997 habitantes(43). Según el Área Metropolitana del Valle de Aburrá 6 de cada 10 personas que viven en Antioquia, lo hacen en el Valle de

Aburrá, lo que significa que el 58.5% de la población de Antioquia está ubicada en el 1,8% del territorio del departamento. Así mismo el 95% de su población vive en suelo urbano.(7)

Lo anterior evidencia el acelerado crecimiento poblacional que se da en este Valle y que viene acompañado de un aumento en el consumo, el parque automotor y por tanto de la contaminación del aire atribuida a las emisiones principalmente de fuentes móviles. (44)

Incremento del parque automotor, con el aumento de la población también se evidencia el incremento en la tenencia de vehículos, principalmente en automóviles y motos, como se observa en la figura 7 donde se aprecia que entre 2005 a 2018 el mayor incremento fue en las motos y los automóviles. (7)



Fuente: Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Figura 7. Incremento del parque automotor entre 2005 a 2018 en el Valle de Aburrá.

La combinación de todas estas condiciones del Valle de Aburrá generan periodos anuales y diarios con mayores concentraciones de contaminantes en el aire, por ejemplo en el día se puede evidenciar dos momentos donde se registran altas concentraciones, el primero correspondiente a la hora pico de la mañana, cuando el tránsito de buses, busetas y vehículos livianos es mayor, y el segundo se registra en la noche, cuando disminuye el tráfico de vehículos livianos, pero aumenta la circulación de vehículos pesados(45), es decir, existe mayor exposición de las personas a los contaminantes del aire en horas específicas del día.

3.1.2 Efectos en la salud.

Los efectos en la salud producto de la exposición de corto plazo (horas o días) y de largo plazo (meses o años) están vinculados principalmente a los sistemas cardiovascular y respiratorio, e incluye el empeoramiento clínico de enfermedades ya existentes en las personas.(46)

Los principales efectos de tipo clínico en el sistema cardiovascular incluye síntomas como opresión y dolor en el pecho, palpitaciones, falta de aire, fatiga inusual, entre otras; y en el sistema respiratorio los principales síntomas son tos, flema, respiración sibilante, opresión en el pecho y falta de aire.(47)

Se han establecido impactos sobre la salud en relación con diferentes niveles de contaminación y con eventos de mortalidad, morbilidad y atención de los servicios de salud. Una reciente revisión de literatura a nivel mundial de estudios epidemiológicos relacionados con la contaminación del aire y eventos en salud en el periodo 2008-2016, encontró que entre los eventos de morbilidad, las enfermedades respiratorias se estudiaron con mayor frecuencia, seguidas de las enfermedades cardiovasculares, los eventos cerebrovasculares y distintos tipos cáncer. Otros eventos, como los ginecobstétricos, de salud mental, las alteraciones neurológicas no vasculares, las enfermedades metabólicas, las alergias, los eventos inflamatorios y los problemas oftalmológicos, fueron estudiados con menor frecuencia.(35)

En cuanto a la mortalidad, se reportó que la mayor proporción de los estudios indagaron la mortalidad en general (el conjunto de defunciones por causas no accidentales), seguido de mortalidad por causas específicas como el cáncer, los accidentes cerebrovasculares, las enfermedades respiratorias, cardio-respiratorias y cardiovasculares. Mientras que en las investigaciones relacionadas con la atención de los servicios de salud, la hospitalización fue el evento más estudiado, seguido por las consultas a los servicios de urgencias y la consulta ambulatoria. Los efectos en la salud se establecieron en la población en general, seguido de población pediátrica y en menor medida, se evaluaron los efectos en adultos mayores.(35)

Los contaminantes que más se han asociado a efectos nocivos en la salud son el material particulado (PM), el ozono (O₃) y el dióxido de nitrógeno (NO₂). La tabla 3 describe algunos efectos en la salud causados por exposición a corto y largo plazo a estos contaminantes.(28)

Tabla 3. Efectos en la salud causados por exposición a PM₁₀, PM_{2.5}, O₃ y NO₂.

Contaminante	Efectos asociados a exposición de corto plazo	Efectos asociados a exposición de largo plazo
Material Particulado	Reacciones inflamatorias en el pulmón	Incremento de síntomas en vías aéreas respiratorias inferiores

Contaminante	Efectos asociados a exposición de corto plazo	Efectos asociados a exposición de largo plazo
PM₁₀, PM_{2.5}	Síntomas respiratorios	Reducción de la capacidad pulmonar en niños
	Efectos adversos en sistema cardiovascular	Incremento en obstrucción pulmonar
	Incremento en admisiones hospitalarias	Disminución de la capacidad pulmonar en adultos
	Crecimiento en mortalidad	Mortalidad cardiopulmonar y probablemente cáncer de pulmonar
Ozono (O₃)	Efectos adversos en capacidad pulmonar	Menor desarrollo de la capacidad del pulmón
	Reacciones inflamatorias en pulmón	
	Efectos adversos en sistema respiratorio	
	Aumento en admisiones hospitalarias	
	Mayor mortalidad	
Dióxido de Nitrógeno NO₂	Efectos en la función pulmonar, especialmente en asmáticos	Reducción de la capacidad pulmonar
	Elevación en reacciones alérgicas inflamatorias en vías respiratorias	Aumento de probabilidad de síntomas respiratorios
	Crecimiento en admisiones hospitalarias	
	Acrecentamiento de mortalidad	

Fuente: Introducción a la Contaminación Atmosférica. Jorquera H.2018

Así mismo, algunos grupos poblacionales son más susceptibles a los efectos sobre la salud por contaminación atmosférica, especialmente las personas con enfermedades respiratorias y/o cardíacas, las mujeres embarazadas, los niños y adolescentes y los adultos mayores; población a la que se le recomienda limitar las actividades prolongadas al aire libre cuando se declaran episodios críticos de contaminación del aire en el Valle de Aburrá.(48)

3.1.3 Actividad física, ejercicio físico y deporte

Es necesario presentar los dos panoramas respecto a la práctica de actividades físicas o deportivas, es decir, por un lado abordar los beneficios a la salud atribuidos a la práctica regular de actividades físicas o deportivas y por el otro, los efectos perjudiciales en la salud de las personas que realizan este tipo de actividades en un entorno urbano contaminado.

Respecto al primer panorama es importante aclarar los conceptos de actividad física, ejercicio físico y deporte. La actividad física (AF) se refiere a todo movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos que exija un gasto de energía superior al del estado de reposo.(49) Y se habla de deporte cuando la actividad

física se ejerce como juego, competición e incluso una forma de trabajo, cuya práctica está sujeta a unas normas reglamentarias. Por otra parte, la actividad física planificada, estructurada, repetitiva e intencionada con el objetivo de mejorar o mantener uno o más de los componentes de la condición física es lo que se entiende como ejercicio físico.(50)(51) Ahora, la condición física (CF) se define como la capacidad que tiene una persona para realizar actividad física y/o ejercicio, y constituye una medida integrada de todas las funciones y estructuras que intervienen en la realización de actividad física o ejercicio. De manera tal, que la actividad física mejora la condición física, principalmente mediante el ejercicio físico.(50)

La OMS indica que está demostrado que la actividad física practicada con regularidad reduce el riesgo de cardiopatías coronarias y accidentes cerebrovasculares, diabetes de tipo II, hipertensión, cáncer de colon, cáncer de mama y depresión. Además, la actividad física constituye un factor determinante en el consumo de energía, por lo que es fundamental para conseguir el equilibrio energético y el control del peso.(52)

Dentro de las recomendaciones fijadas para los adultos entre 18 y 64 años y con el fin de mejorar las funciones cardiorrespiratorias y musculares, la salud ósea, reducir el riesgo de enfermedades no transmisibles (ENT) y depresión, la OMS recomienda:

- Realizar como mínimo 150 minutos semanales de actividad física aeróbica moderada, o bien 75 minutos de actividad física aeróbica vigorosa cada semana, o bien una combinación equivalente de actividades moderadas y vigorosas.
- La actividad aeróbica se debería practicar en sesiones de 10 minutos de duración, como mínimo.
- Con el objetivo de obtener aún mayores beneficios para la salud, los adultos de este grupo de edades deberían aumentar hasta 300 minutos por semana la práctica de actividad física moderada aeróbica, o bien hasta 150 minutos semanales de actividad física intensa aeróbica, o una combinación equivalente de actividad moderada y vigorosa.
- Se debería realizar dos veces o más por semana, actividades de fortalecimiento de los grandes grupos musculares.(52)

En Medellín un estudio demostró con datos tomados durante 2010 y 2011 que los programas de estilos de vida saludable que se realizaban en la ciudad tuvieron efectos positivos sobre indicadores tales como: grasa corporal, grasas sanguíneas y capacidad física de personas mayores de 18 años de edad, hallazgos que para los investigadores resultaron prometedores en términos de salud pública, dado que los estudios poblacionales sobre intervenciones médicas, quirúrgicas y farmacológicas no han logrado un efectivo control en la reducción de la carga de enfermedades crónicas.(53)

En el ámbito internacional, se encontró evidencia de que el ejercicio físico habitual realizado en un entorno de baja contaminación mejoró la aptitud cardiopulmonar con respecto al consumo máximo de oxígeno, pero ese efecto beneficioso no fue posible en entornos de alta contaminación.(54)

Aun cuando el impacto adverso sobre la salud de la contaminación del aire es bien conocido, la evidencia actual de estudios epidemiológicos y ecológicos sugiere que practicar actividades físicas en un ambiente contaminado no puede disminuir los efectos positivos del ejercicio y no debe evitarse por completo en tales entornos. Los niveles moderados de actividad física, como caminar o andar en bicicleta habitualmente pueden ser beneficiosos para las personas sanas si se realizan en lugares donde la concentración de contaminantes en el aire es baja. No obstante, faltan pruebas sobre el equilibrio entre los riesgos y beneficios para la salud a diferentes niveles de contaminación y en poblaciones diversas (Por ejemplo, individuos sanos vs aquellos que son susceptibles a ciertas enfermedades).(54)

En relación con el segundo panorama, hay que entender que la práctica de actividades físicas requiere consumo de oxígeno, y la demanda de oxígeno aumenta a medida que aumenta la intensidad del ejercicio y a veces se suele respirar por la boca, que se vuelve más común con el esfuerzo y pasa por alto los mecanismos de filtración nasal aumentando la cantidad de contaminantes inhalados y el grado en que viajan al sistema respiratorio.(54)

Por lo tanto, ejercitarse en un ambiente contaminado expone a las personas a contaminantes del aire y tal exposición puede inflamar las vías respiratorias, empeorar las respuestas asmáticas y desencadenar problemas de salud o exacerbar los existentes. Aunque se sabe que el ejercicio es altamente beneficioso para la salud, participar en un ambiente contaminado puede aumentar los riesgos para la salud de toda la población y en algunos casos, los riesgos pueden ser mayores que los beneficios debido a la posibilidad de que se presenten efectos nocivos a largo plazo.(54)

La población sana que realiza ejercicio, incluyendo al atleta competitivo que se expone a material particulado, puede ser susceptible a la inflamación pulmonar, disminución de la función pulmonar (tanto aguda como crónica), mayor riesgo de asma, disfunción endotelial vascular, elevaciones leves en la presión de la arteria pulmonar y disminución del rendimiento en el ejercicio(55). Dicha exposición se asocia generalmente con el tráfico vehicular, pero existen otras fuentes que contribuyen, además, los efectos fisiológicos del material particulado dependen de la fuente que lo produce y de varios factores ambientales, así como de atributos físicos del individuo y la naturaleza del ejercicio.(55)

Durante el ejercicio los cambios en la entrada neural a los pulmones permiten que el músculo liso que controla el diámetro de las vías respiratorias se relaje, reduciendo de manera efectiva la resistencia a lo largo de las vías respiratorias, y

esto se refleja en aumentos en las mediciones de la función pulmonar. Se ha demostrado que respirar aire contaminado activa los nervios sensoriales de las vías respiratorias que hacen que se contraiga el músculo liso, lo que aumenta la resistencia de las vías respiratorias y por ende conducir a la reducción de las mediciones de la función pulmonar, que también se observa en muchas personas que padecen enfermedades obstructivas de las vías respiratorias como asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y bronquitis crónica.(24)

En definitiva, los hallazgos de estudios epidemiológicos sobre la relación entre la contaminación del aire y la actividad física son mixtos. La cuestión clave respecto a esto es el punto desconocido entre el nivel en que la actividad física puede atenuar los riesgos para la salud derivados de la exposición a la contaminación y el nivel de contaminación en que la actividad física aumenta los resultados negativos en la salud de las personas.(54)

3.2 Marco institucional

La Universidad de Antioquia es una institución de educación superior fundada en 1803 cuyos ejes misionales son la docencia, la investigación y la extensión.(56)

Su sede principal conocida como ciudadela o campus universitario (figura 8), fue construida en 1968 y declarada bien de interés cultural de la nación el 26 de julio de 2013, convirtiéndola en la única sede universitaria del país con esta categoría patrimonial (57). La ciudadela universitaria está ubicada en la ciudad de Medellín, específicamente en la comuna 4 (Aranjuez) entre la calle 67 (Barranquilla), la carrera 55 (Avenida del Ferrocarril) y la autopista Medellín-Bogotá dirección sur-norte, vías de constante flujo vehicular.

El campus universitario cuenta con una superficie de aproximadamente 287.467 m² y unos 133.942 m² de área construida, con zonas peatonales, áreas verdes y un amplio complejo deportivo adecuado tanto en espacios cerrados como por ejemplo, el coliseo universitario donde se practican las artes marciales aikido, judo, karate do y taekwondo; levantamiento de pesas, yoga, gimnasia, porrismo, tenis de mesa, ajedrez, voleibol, futbol-sala, balón mano y baloncesto, además alberga un gimnasio multifuncional, ludoteca, sala de danzas y espacios abiertos como una cancha de futbol sintética, el estadio universitario, canchas de tenis de campo, placas polideportivas, pista de atletismo, piscina universitaria y gimnasio al aire libre; escenarios donde se practican disciplinas deportivas como fútbol, rugby, softbol, street workout, ultimate, atletismo, triatlón, natación, apnea, buceo pulmón libre, clavados, polo acuático, rugby subacuático, entre otros.(57)(58)(59).



Fuente: Google Maps

Figura 8. Imagen satelital de la Ciudadela Universitaria-Universidad de Antioquia

La dirección de Bienestar Universitario de la Universidad de Antioquia es la encargada a través de su departamento de deportes de ofrecer el servicio formativo para el aprendizaje y mejoramiento técnico en deportes, el recreativo para el aprovechamiento del tiempo libre y el representativo, el nivel más avanzado donde los deportistas participan en eventos competitivos a nivel local, nacional e internacional.(59)

Para el segundo semestre de 2018 el departamento de deportes reportó la oferta de 27 disciplinas deportivas, 9 deportes de conjunto y 18 deportes individuales y un total de 879 deportistas de representación para las diferentes competencias del año.(60)

Estadísticas presentadas por la Universidad de Antioquia para el semestre 2018/1 indicaron que 30.201 estudiantes se matricularon en programas de pregrado en la ciudad de Medellín.(61). Estos programas de pregrado tienen una intensidad horaria semanal de aproximadamente 24 horas, lo que significa que los estudiantes deben permanecer mínimo este tiempo dentro de la Universidad. Para el aprovechamiento del tiempo libre y el fomento de hábitos y estilos de vida saludables, Bienestar Universitario ofrece una amplia variedad de programas y servicios que se planean desde sus tres departamentos: desarrollo humano, promoción de la salud y prevención de la enfermedad y deportes.

Específicamente el departamento de deportes es el encargado de administrar los espacios deportivos dentro de la Universidad y de promover el deporte y la actividad física tanto para los estudiantes como para los empleados y docentes de la Universidad.(62)

Según el informe de gestión y resultados sociales del año 2017 para la Universidad de Antioquia, las dinámicas permanentes de actividad física y deporte contaron con una amplia participación de la comunidad universitaria, por ejemplo 4.733 estudiantes participaron en programas y actividades internas de formación deportiva y 4.370 en actividades recreativas y de uso del tiempo libre desde deportes.(63)

3.3 Marco legal

La tabla 4 presenta la legislación más significativa respecto a la calidad del aire y la tabla 5 la legislación relacionada con el deporte y la promoción de hábitos saludables, en el ámbito nacional (Colombia), local (Medellín y Área Metropolitana) e institucional (Universidad de Antioquia) en orden cronológico.

Tabla 4. Legislación Calidad del Aire

Norma/Requisito Legal	Objeto/Argumento
ÁMBITO NACIONAL	
Constitución Política de Colombia (1991) Corte constitucional(64)	Art 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. Art 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.
Ley 23 de 1973 <i>“Expedir el Código de Recursos Naturales y protección al medio ambiente y se dictan otras disposiciones”</i> Congreso de la República de Colombia(65)	Art 1. Es objeto de la presente ley prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del Territorio Nacional. Art 2, 3, 4, 5, 6 y 7.
Decreto-Ley 2811 de 1974 <i>“Se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”</i> Congreso de la República de Colombia(66)	Art 8. Se consideran factores que deterioran el ambiente, entre otros: a.- La contaminación del aire, de las aguas, del suelo y de los demás recursos naturales renovables. Define contaminación y contaminante Art 75.
Ley 9 de 1979 Código Sanitario Nacional <i>“Por la cual se dictan Medidas Sanitarias”</i> Congreso de la República de Colombia(67)	De las emisiones atmosféricas. Art 41-49 Normas sobre calidad del aire Se prohíbe descargar en el aire contaminantes en concentraciones y cantidades superiores a las establecidas en las normas que se establezcan al respecto.
Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia CONPES 2005	Presenta a consideración del Consejo Nacional de Política Económica y Social, CONPES, los lineamientos para la formulación de políticas y estrategias intersectoriales para la prevención y el

Norma/Requisito Legal	Objeto/Argumento
<i>Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire</i> (68)	control de la contaminación del aire en las ciudades y zonas industriales de Colombia
Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire (2010) Ministerio de Medio Ambiente(69)	Antecedentes, diagnóstico, justificación, alcance, objetivos, plan de acción, seguimiento y financiación de la política.
Resolución 650 de 2010 <i>“Se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire”</i> Ministerio de Medio Ambiente(70)	Art 1. Adopta a nivel nacional el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Art 2. Contenido del protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire.
Resolución 2254 de 2017 <i>“Se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones”</i> Ministerio de Medio Ambiente(33)	Art 1. Objeto y ámbito de aplicación. Establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión y adopta disposiciones para la gestión del recurso aire en el territorio nacional, con el objeto de garantizar un ambiente sano y minimizar el riesgo sobre la salud humana que pueda ser causado por la exposición a los contaminantes en la atmósfera. Art 26. Vigencia y Derogatorias. Rige a partir del 1 de enero de 2018, deroga a partir de esa fecha las resoluciones 601 de 2006, 610 de 2010 y otros contemplados en la Resolución 650 de 2010 ajustada por la resolución 2154 de 2010.
ÁMBITO LOCAL	
Acuerdo metropolitano N° 8 de 2011 <i>“Modifica el Acuerdo Metropolitano No. 25 de 2007, se aprueba y se adopta el Plan de Descontaminación del Aire en la Región Metropolitana del Valle de Aburrá.”</i> (71)	Art 1. Clasifica La Cuenca del Valle de Aburrá como área fuente de contaminación por material particulado PM ₁₀ , y en consecuencia implementar medidas y programas regionales de reducción de la contaminación. Art 2. Aprueba y adopta el Plan de Descontaminación del Aire para la Región Metropolitana del Valle de Aburrá.
Resolución Metropolitana 2381 de 2015 <i>“Se adoptan medidas que contribuyan al desarrollo de una gestión integral de la calidad del aire en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá”</i> (72)	Art 1. Objeto. Adopta las medidas que contribuyen al desarrollo de una gestión integral de la calidad del aire en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, encaminadas a la medición, prevención, reducción y control de las emisiones de contaminantes atmosféricos generadas en diversas instalaciones, así como al desarrollo de planes de movilidad sostenible y al establecimiento de las medidas que se deben acatar cuando se presenten episodios críticos de contaminación atmosférica en dicha jurisdicción.
Programa de Protección de Calidad del Aire en 1998(73) Pacto por el Aire 2007(74)	La meta del Pacto por la calidad del aire en el año 2007 era reducir el 10%, los contaminantes atmosféricos en la región metropolitana, en un periodo de 5 años.
Acuerdo Metropolitano N° 16 de 2017	La reafirmación del Pacto, es el compromiso decidido de los diferentes actores sociales, en lograr los

Norma/Requisito Legal	Objeto/Argumento
<p><i>“Adopta el Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá - PIGECA y se toman otras determinaciones.”</i> (75)</p>	<p>objetivos y metas planteados en el Plan Integral de Gestión de la Calidad del aire del Valle de Aburrá - PIGECA.</p> <p>Art 1. Adopta el Plan Integral de Gestión de la Calidad del Aire -PIGECA 2017- 2030, como plan estratégico para la disminución a corto, mediano y largo plazo de la contaminación atmosférica.</p>
<p>Acuerdo Metropolitano N° 4 de 2018 <i>“Deroga el Acuerdo Metropolitano N° 15 de 2016 y se adopta el nuevo Protocolo del Plan Operacional para enfrentar episodios críticos de contaminación atmosférica en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá”</i> (76)</p>	<p>Art 1. Aprueba y adopta el protocolo vigente como mecanismo de implementación del Protocolo del Plan Operacional para enfrentar episodios críticos de contaminación atmosférica –POECA- en la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y establece los roles y actividades de los actores involucrados en su ejecución, para prevenir los efectos adversos a la salud de la población por la exposición a altos índices de contaminación. Incluyendo dentro de sus normas bases la Resolución 2254 de 2017.</p>

ÁMBITO INSTITUCIONAL

<p>S.O.S por el aire 2016</p>	<p>El rol de la Universidad se traduce en promover actividades con la comunidad universitaria y espacios de opinión pública, que motiven la puesta en marcha de acciones ciudadanas y políticas que garanticen un respirar más sano en el Valle de Aburrá.(77)</p> <p>La Universidad de Antioquia acoge las medidas decretadas por el Área Metropolitana para mitigar los impactos en la salud por contaminación.</p> <p>Acoge el pico y placa ambiental en todas las sedes de la Universidad de Antioquia en el Valle de Aburrá. Cancela durante la contingencia todas las actividades al aire libre programadas por la Dirección de Bienestar Universitario y Extensión.</p> <p>Suspende el préstamo de los escenarios deportivos abiertos a la comunidad universitaria.(78)</p>
--------------------------------------	--

Tabla 5. Legislación Deporte.

Norma/Requisito Legal	Objeto/Argumento
ÁMBITO NACIONAL	
<p>Constitución Política de Colombia (1991) Corte constitucional (64)</p>	<p>Art 52. El ejercicio del deporte, sus manifestaciones recreativas, competitivas y autóctonas tienen como función la formación integral de las personas, preservar y desarrollar una mejor salud en el ser humano. El deporte y la recreación, forman parte de la educación y constituyen gasto público social. Se reconoce el derecho de todas las personas a la recreación, a la práctica del deporte y al aprovechamiento del tiempo libre.</p>

<p>Ley 30 de Diciembre 28 de 1992 <i>“Organiza el servicio público de la Educación Superior.”</i> Congreso de la República de Colombia (79)</p>	<p>CAPITULO III Del bienestar universitario Art 117. Las instituciones de Educación Superior deben adelantar programas de bienestar entendidos como el conjunto de actividades que se orientan al desarrollo físico, psico-afectivo, espiritual y social de los estudiantes, docentes y personal administrativo. Art 118. Cada institución de Educación Superior destinará por lo menos el dos por ciento (2%) de su presupuesto de funcionamiento para atender adecuadamente su propio bienestar universitario. Artículo 119. Las instituciones de Educación Superior garantizarán campos y escenarios deportivos, con el propósito de facilitar el desarrollo de estas actividades en forma permanente.</p>
<p>Ley 181 de 1995 <i>“Fomento del deporte, la recreación, el aprovechamiento del tiempo libre y la Educación Física y se crea el Sistema Nacional del Deporte”</i> Congreso de la República de Colombia(80)</p>	<p>Art 2. El objetivo especial de la presente Ley, es la creación del Sistema Nacional del Deporte, la recreación, el aprovechamiento del tiempo libre, la educación extraescolar y la educación física. Art 4. El deporte, la recreación y el aprovechamiento del tiempo libre, son elementos fundamentales de la educación y factor básico en la formación integral de la persona. Su fomento, desarrollo y práctica son parte integrante del servicio público educativo y constituyen gasto público social.</p>
ÁMBITO LOCAL	
<p>Decreto 270 de 1993 <i>“Se crea el establecimiento público denominado Instituto de Deportes y Recreación –INDER- y se dictan otras disposiciones”</i> Alcaldía de Medellín(81)</p>	<p>Art 4. Objetivo. Planear, programar, ejecutar y controlar las actividades deportivas y recreativas conforme a las necesidades de la comunidad, fomentar su difusión, coordinar el desarrollo de proyectos y programas con los diferentes organismos deportivos y garantizar una adecuada administración y conservación de los escenarios deportivos y recreativos a su cargo.</p>
ÁMBITO INSTITUCIONAL	
<p>Acuerdo Superior 173 del 2000 <i>“Expide el Sistema de Bienestar Universitario de la Universidad de Antioquia.”(82)</i></p>	<p>Art 6. Objetivos específicos g. Estructurar un plan de acción con la finalidad de desarrollar los programas de bienestar, mediante un trabajo conjunto con las diferentes dependencias de la Institución, en el campo del deporte, la salud, la cultura y el crecimiento humano.</p>

4. Metodología

4.1 Tipo de estudio

Se trató de un estudio exploratorio con un diseño cusi-experimental antes/después donde existió una exposición (contaminante del aire PM_{2.5}), una respuesta (función pulmonar) y una hipótesis (las condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica influyen en los parámetros de función pulmonar en deportistas) para contrastar.(83)

La investigación consideró cuatro días correspondientes a los jueves 8, 15, 22 y 29 del mes de noviembre del año 2018; en ese orden se nombraron días de estudio 1, 2, 3 y 4 respectivamente Para cada día se indagó la calidad del aire y condiciones meteorológicas presentadas y se estudiaron tres horarios de la realización del ejercicio físico, también denominados escenarios atmosféricos, así:

- Escenario atmosférico A: 7:00 a.m.-10:00 a.m.
- Escenario atmosférico B: 12:00 m.-3:00 p.m.
- Escenario atmosférico C: 6:00 p.m.-9:00 p.m.

4.2 Recolección de datos ambientales

4.2.1 Estaciones de monitoreo de calidad del aire

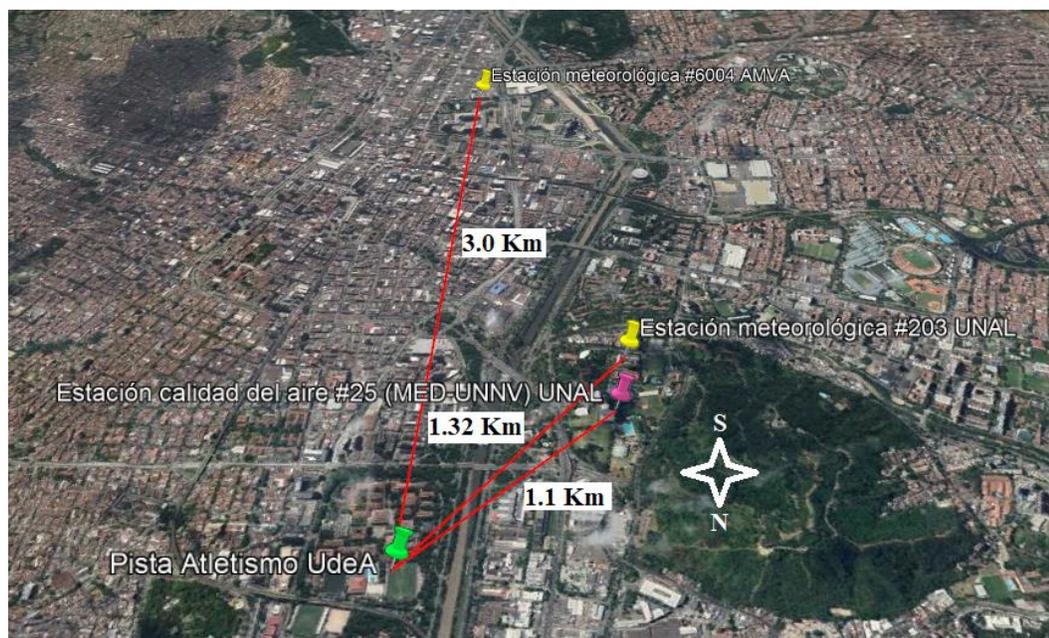
La red de calidad del aire del Valle de Aburrá operada por el Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA), cuenta con 45 puntos de monitoreo entre automáticos y manuales distribuidos en los 10 municipios del Área Metropolitana.(84) Utiliza la información de ceilómetros, radiómetros, radar de vientos y las estaciones meteorológicas.(85)

De las estaciones de monitoreo de calidad del aire del Plan Operacional para Enfrentar Episodios de Contaminación Atmosférica (POECA), se descargaron los datos de PM_{2.5} registrados en los cuatro días de estudio (8, 15, 22 y 29 de noviembre de 2018) de la estación con código 25 situada en las instalaciones de la Universidad Nacional-Sede el Volador ubicada en la Carrera. 65 #59A-110, exactamente latitud 6.2633696° y longitud -75.5770035°, en el barrio la Iguana, centro occidente de Medellín, como se muestra en la figura 9. Dicha estación es de representatividad poblacional, es decir, representa una condición de calidad del aire general de la zona y no son reflejo de situaciones particulares y aisladas que incidan en las mediciones(48) y se eligió por ser la estación más cercana al sitio de realización del estudio (figura 10) con disponibilidad de datos de mejor calidad.



Fuente: Google Earth y Geoportal SIATA

Figura 9. Estación de monitoreo de calidad del aire #25 Universidad Nacional, sede El Volador (MED-UNNV)



Fuente: Google Earth

Figura 10. Imagen satelital de ubicación y distancia entre estaciones de monitoreo elegidas y sitio del estudio.

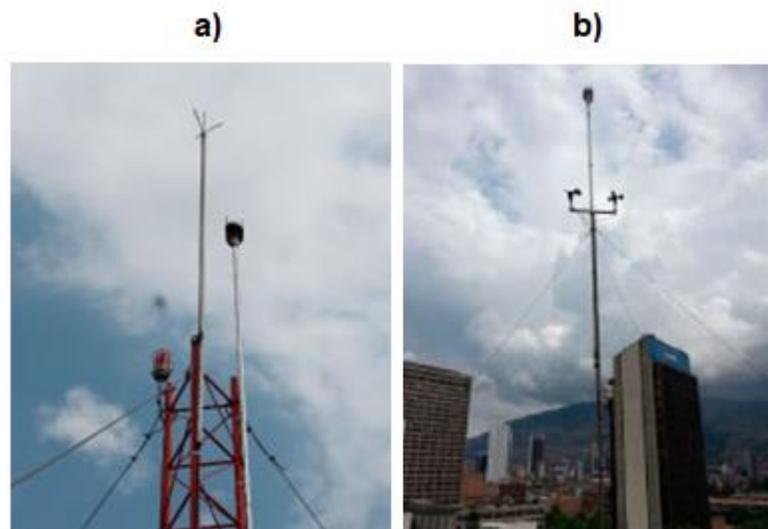
4.2.2 Estaciones de variables meteorológicas

Por su parte, los datos de las variables meteorológicas temperatura, humedad, precipitación y velocidad del viento, presentadas en los días de estudio, se descargaron de la estación meteorología THIES código 203 (figura 11-a), compuesta por sensores multiparamétricos, que proporcionan información minuto a minuto. Esta estación también se encuentra ubicada en la Universidad Nacional-Sede el Volador, exactamente latitud 6.260750° y longitud -75.577800°. Se eligió por

ser la estación meteorológica con la mejor calidad de datos y más cercana al sitio de realización del estudio (figura 10)

Debido a que la estación meteorológica 203 no contenía datos de la variable radiación para los días de estudio, se eligió la estación más cercana con disponibilidad de datos para esta variable, en este caso, la estación meteorológica código 6004 (figura 11-b), con características similares a la estación meteorológica 203, ubicada en las instalaciones de la sede central del AMVA, en la Carrera. 53 #40A- 31, exactamente latitud 6.242150° y longitud -75.574290° en el centro de Medellín.

Los datos de las variables meteorológicas minuto a minuto, se promediaron a datos horarios para cada día de estudio y los datos perdidos en un día de estudio se promediaron con los datos de los otros tres días en las mismas horas.



Fuente: Geoportal SIATA

Figura 11. a) Estación meteorológica #203 UNAL. b) Estación meteorológica #6004 AMVA.

4.3 Clasificación de la condición de estabilidad en los escenarios atmosféricos

La estabilidad atmosférica se utiliza para diagnosticar la calidad del aire, en otras palabras, permite conocer la capacidad de dispersión que tiene la atmósfera. Una atmósfera estable se caracteriza por no exhibir mucha capacidad de mezcla o movimiento vertical, por lo tanto, los contaminantes emitidos cerca de la superficie tienden a permanecer allí. Contrario a lo que sucede con una atmósfera inestable. La estabilidad atmosférica depende del gradiente vertical de temperatura y de la velocidad y dirección del viento, lo cual produce mezcla por medio de los efectos térmicos.(32)

Para clasificar la estabilidad atmosférica se pueden utilizar diferentes esquemas o metodologías, como se mencionó anteriormente (3.1.1.1). Para este estudio se usó la clasificación de estabildades de Pasquill-Gifford-Turner (PGT), una metodología inicialmente planteada por Pasquill (1961) y que posteriormente se complementó con aportes de los autores Gifford (1961) y Turner (1970).(10)(86).

El esquema se basa en un modelo gaussiano donde se realiza el ajuste de un conjunto de experimentos de dispersión hechos con emisiones controladas, y trata de tomar en consideración tanto la turbulencia mecánica (mediante la velocidad del viento) como la térmica, mediante la irradiancia durante el día y la nubosidad por la noche.(28)(86)

Según los valores de estas variables se clasifica la condición de estabilidad como se muestra en la tabla 6, donde A corresponde a una atmósfera muy inestable o convectiva, B moderadamente inestable, C ligeramente inestable, D neutral, E ligeramente estable, F moderadamente estable, y G con condiciones estables durante la noche de poco viento.(87)(88)

Tabla 6. Clases de estabilidad según Pasquill-Gifford-Turner

Velocidad del viento (m/s)	Día				1 hora antes del atardecer o después del amanecer	Noche		
	Radiación solar (W/m ²)					Nubosidad (Octas)*		
	Fuerte (>700)	Moderada (350-700)	Ligera (<350)	Cielo cubierto		≤3/8	4/8≤7/8	8/8
≤ 2.0	A	A-B	B	C	D	F o G	F	D
2.0 - 3.0	A-B	B	C	C	D	F	E	D
3.0 - 5.0	B	B-C	C	C	D	E	D	D
5.0 - 6.0	C	C-D	D	D	D	D	D	D
> 6.0	C	D	D	D	D	D	D	D

Fuente: Adaptada de Contaminación Atmosférica. Echeverri, 2019 y Analysis of various schemes for the estimation of atmospheric stability classification, Mohan, M.; Siddiqui, T. A., 1998.

*La nubosidad se mide en octavos, lo cual significa lo siguiente:

0/8: Cielo despejado

4/8: La mitad del cielo cubierto

8/8: Cielo totalmente cubierto.

Se decidió utilizar esta metodología teniendo en cuenta el alcance del estudio y la disponibilidad de los datos de las variables meteorológicas para el Valle de Aburrá, por lo que la clasificación se realizó con los datos (promedios horarios) de las variables radiación y velocidad del viento, ya que para la variable nubosidad no se tenían datos disponibles en el territorio.

4.4 Población objeto

Todos los deportistas de representación de la Universidad de Antioquia que practicaran su disciplina deportiva al aire libre fueron población objeto de este estudio.

4.5 Criterios de inclusión y exclusión

4.5.1 Criterios de inclusión

- Estudiantes de pregrado de 18 a 29 años
- No fumadores crónicos
- No tener enfermedades crónicas (Cardiovasculares y/o respiratorias)
- No tener cirugías o intervenciones quirúrgicas en los últimos 3 meses
- No estar en embarazo
- Aceptar y firmar el consentimiento informado

4.5.2 Criterios de exclusión

De los deportistas

- No asistir a 2 de los 4 días de estudio
- Consumir alcohol, vitaminas, medicamentos o sustancias psicoactivas 24 horas antes de las pruebas.
- No concluir satisfactoriamente la prueba física o la de función pulmonar.

De las condiciones climáticas en los días de estudio.

- Lluvia intensa durante los horarios estudiados.

4.6 Muestreo y tamaño de muestra

El muestreo fue por conveniencia, es decir, no aleatorizado, los deportistas que manifestaron su deseo de participar voluntariamente y cumplieron los criterios de inclusión fueron tenidos en cuenta en este estudio. Sin embargo, considerando la disponibilidad de un solo equipo de espirometría y la realización de estas pruebas en tres horarios comprendidos en un rango de tres horas para cada uno de los días estudiados, se estableció un límite máximo de 30 deportistas

4.7 Instrumentos y equipos de recolección de información

Para la recolección de la información se diseñaron y usaron varios instrumentos, como cuestionario de inicio, de registro y seguimiento pre/post ejercicio y planilla del test de Léger, a partir de los cuales se crearon bases de datos con la información

generada. Además, se usó un equipo de espirometría marca Vitalograph® y se consultó la información de variables ambientales de las estaciones de monitoreo de calidad del aire y meteorológicas con códigos 25, 203 y 6004 respectivamente, operadas por el SIATA.

4.7.1 Cuestionarios

- *De inicio:* Este cuestionario de ingreso, se aplicó una sola vez a los participantes voluntarios que aceptaron y firmaron el consentimiento informado. El objetivo del cuestionario fue determinar si los participantes cumplían o no los criterios de inclusión del estudio. (anexo 1). El cuestionario se dividió en tres partes: i) datos generales del participante, ii) criterios de inclusión y iii) autorización del uso de los datos y registro fotográfico.
- *Pre/Post ejercicio:* Este cuestionario se diligenció una vez en cada día de estudio. (anexo 2). El objetivo del cuestionario fue registrar todas las variables analizadas y resultados alcanzados por cada participante en las pruebas que realizaba (espirometrías y test de Léger) para garantizar el seguimiento a los mismos.

4.7.2 Planilla del test de Léger

La planilla del test de Léger se aplicó una vez por escenario atmosférico estudiado a cada participante que realizó la prueba física y contenía la información personal del participante, la etapa alcanzada en el test y por tanto, el consumo máximo de oxígeno $VO_{2m\acute{a}x}$ obtenido (anexo 3).

4.7.3 Espirómetro Vitalograph® Pneumotrac 6800

Las espirometrías se realizaron con el espirómetro *Pneumotrac USB Vitalograph*, como se observa en la figura 12; un paquete compuesto por hardware (espirómetro marca Vitalograph® modelo Pneumotrac 6800) y el software (Spirotrac versión V). (89).



Fuente: https://vitalograph.de/products/vitalograph_pneumotrac_maintenance_support.php

Figura 12. Espirómetro Vitalograph® Pneumotrac 6800.

El Vitalograph® Pneumotrak es un espirómetro que se conecta directamente al computador portátil o PC, donde se instala el software Spirotrac V, este es un sistema de espirometría computarizado basado en Microsoft Windows que está diseñado para ser usado en pruebas respiratorias y de función pulmonar.(90)

Entre las especificaciones técnicas del espirómetro Vitalograph® pneumotrak 6800, se destaca su tamaño pequeño y liviano, entre otras que se puede consultar en el anexo 4, además de su software de diagnóstico inteligente Spirotrac versión 5 que ofrece distintas y novedosas funciones como las que se encuentran en el anexo 5. Las directrices internacionales de la Sociedad Torácica Americana (ATS) y la Sociedad Respiratoria Europea (ERS) recomiendan que las verificaciones de calibración se realicen al comienzo de cada día o antes de realizar las espirometrías.

Los espirómetros Vitalograph® y el software asociado están diseñados para que los usuarios puedan realizar fácilmente estas comprobaciones usando una jeringa de precisión Vitalograph® de 3 litros como se observa en la figura 13. Estas jeringas proporcionan verificaciones de precisión rápidas y fáciles con confiabilidad, poseen una precisión certificada mejor que 0.5%, son trazables a estándares internacionales y poseen número de serie único y archivo de historial para cada jeringa, además todos los informes de revisión de exactitud y calibración del espirómetro se guardan automáticamente en el software Spirotrac V con posibilidad de consultar e imprimir en formato PDF. Está jeringa es para todos los espirómetros según lo exige la norma ISO 26782: 2009.(91)



Fuente: <https://vitalograph.com/product/162447/precision-syringes>

Figura 13. Jeringa de precisión Vitalograph® de 3 litros.

4.8 Ruta de trabajo de campo

4.8.1 Encuentros institucionales y con la población objeto

La propuesta de investigación fue presentada al jefe del departamento de deportes de Bienestar Universitario de la Universidad de Antioquia y posteriormente al equipo de deportes (entrenadores, empleados administrativos, entre otros). Se gestionó

con cada entrenador una programación, en la cual se visitaron los lugares de entrenamiento de diferentes disciplinas deportivas que se practican al aire libre, con el objetivo de divulgar la propuesta de investigación y promover la participación de los deportistas de representación en el estudio. De cada encuentro se registraron planillas de asistencia.

4.8.2 Prueba piloto

El 23 de agosto de 2018 se realizó entre las 10:00 a.m. y 12:00 m la prueba piloto con 3 deportistas (1 hombre y 2 mujeres), en la cual se aplicaron los instrumentos de recolección de información con previa aceptación y firma del consentimiento informado. Tuvo como objetivo afinar los instrumentos de información, explorar las funciones del espirómetro, ejecutar los procedimientos para realizar las maniobras de espirometrías, verificar el audio y los procedimientos para la realización del test de Léger y determinar los tiempos para la realización de las pruebas.

4.8.3 Reunión colectiva con la muestra seleccionada

Con los datos de los deportistas interesados en participar en el estudio se procedió a confirmar la participación de cada uno de ellos, y con aquellos que confirmaron se llevó a cabo una reunión colectiva el 1 de noviembre de 2018, donde se realizaron las siguientes actividades:

- Presentación del equipo investigativo que estaría a cargo del proyecto: investigadora principal, asesor, coordinadores del test de Léger y personal de apoyo.
- Lectura colectiva de consentimiento informado (anexo 9) a los participantes.
- Firma individual del consentimiento informado por cada participante.
- Aplicación del cuestionario de inicio (anexo 1)
- Explicación de las pruebas (maniobras para las espirometrías y test de Léger): Se realizaron 5 espirometrías con 5 participantes diferentes, con el objetivo de explicar y mostrar la técnica correcta que debían usar para su realización, las consideraciones a tener en cuenta antes de realizar la espirometría y los parámetros a medir con la misma, como se muestra en la figuras 14 y 15, adicionalmente se proyectó un video como ejemplo para la realización del test de Léger.
- Presentación de los días de estudio y formación de los grupos (1, 2 y 3), para la realización de las pruebas en los escenarios atmosféricos establecidos como se indica en la tabla 7.
- Presentación de los instrumentos de recolección de información que se utilizarían en cada día de estudio (cuestionario pre/post ejercicio y planilla del test de Léger) y explicación del correcto diligenciamiento de cada sesión de los instrumentos.

- Entrega de copia de consentimiento informado más información respecto a los horarios de llegada para cada día de estudio, recomendaciones para la espirometría (anexo 6), para el test de Léger (anexo 7) y esquema del trabajo de campo (anexo 8).



Figura 14. Explicación para la realización de espirometrías. 1 de noviembre de 2018. Salón de reuniones del coliseo universitario de la UdeA.



Figura 15. Participantes del estudio realizando espirometría. 1 de noviembre de 2018. Salón de reuniones coliseo universitario de la UdeA.

Tabla 7. Formación de grupos y programación de pruebas por día y escenarios atmosféricos

Días de estudio (Jueves) 2018	Escenarios atmosféricos											
	A 7:00 a.m.-10:00 a.m.				B 12:00 m-3:00 p.m.				C 6:00 p.m.-9:00 p.m.			
Día 1 8 de noviembre	Grupo 1	E1*	TL**	E2*	Grupo 2	E1	TL	E2	Grupo 3	E1	TL	E2
Día 2 15 de noviembre	Grupo 2	E1	TL	E2	Grupo 3	E1	TL	E2	Grupo 1	E1	TL	E2
Día 3 22 de noviembre	Grupo 3	E1	TL	E2	Grupo 1	E1	TL	E2	Grupo 2	E1	TL	E2
Día 4 29 de noviembre	Reposición#				Reposición				Reposición			

*E1: Espirometría Pre (antes del ejercicio físico)

*E2: Espirometría Post (después del ejercicio físico)

**TL: Test de Léger (prueba de ejercicio físico)

Reposición: Día para reponer un escenario faltante de los días 1, 2 y 3 de estudio.

4.8.4 Realización de espirometría

La espirometría es la principal prueba de función pulmonar, y resulta imprescindible para la evaluación y el seguimiento de las enfermedades respiratorias.(92)

Es una prueba médica de tamizaje rápida e indolora que mide varios aspectos de la función respiratoria y del pulmón. Se lleva a cabo utilizando un espirómetro(93) y permite conocer bajo circunstancias controladas los volúmenes pulmonares y la rapidez con que estos pueden ser movilizados (flujos aéreos). Cuantifica el volumen de aire que el aparato respiratorio de un individuo puede movilizar en función del tiempo. Dependiendo de la forma en que se realicen las espirometrías pueden ser simples o forzadas, en este caso se hicieron espirometrías forzadas donde los participantes, tras una inspiración máxima, ejecutaron una espiración de todo el aire, en el menor tiempo posible. A este esfuerzo se le denomina maniobra espiratoria forzada.(93)

Para la realización de las espirometrías se siguieron las guías de procedimientos sugeridos por la ATS y ERS, las cuales sugieren tener en cuenta los siguientes aspectos:

Personal: La técnica fue explicada y ejecutada por profesionales de la salud, quienes debían estar capacitados y/o certificados en la técnica, tener formación suficiente para comprender los fundamentos técnicos y fisiológicos de las pruebas, así como los signos comunes de las enfermedades respiratorias y tener la capacidad para interpretar los trazos y resultados arrojados por el espirómetro.(92)

Recomendaciones previas a la espirometría: Las siguientes recomendaciones fueron enviadas a través de los datos de contacto de cada participante al inicio del

estudio (anexo 6) y se enviaron recordatorios un día antes de la realización de la prueba.

- Acudir con ropa cómoda, no muy ajustada, para evitar que impidiera la movilidad.
- Evitar el exceso de comida y bebidas gaseosas o con cafeína en las 2 horas previas a la espirometría.
- Evitar el tabaco y alcohol en las horas previas (24 horas) a la espirometría.
- Evitar consumir vitaminas y/o medicamentos en las horas previas (24 horas) a la espirometría, excepto si hacía parte de un tratamiento médico, en caso tal, el participante debía informarlo a la investigadora principal o al médico.

Espacio físico: Fue necesario un espacio suficiente para poder recibir a los participantes, teniendo en cuenta los grupos conformados en la reunión colectiva con la muestra seleccionada. El espacio mínimo recomendable es de 2,5x 3 m.(94) En este caso, se usó el salón de reuniones del coliseo universitario de la Universidad de Antioquia con espacio suficiente, el cual se adecuó con tallímetro, pesa, tensiómetro, fonendoscopio y demás elementos requeridos para la ejecución de la espirometría.

El espirómetro se colocó en una mesa permitiendo al técnico trabajar en diversas posiciones con respecto al participante que realizaba la prueba. Además se aseguró que no se presentarán al momento de la ejecución de las maniobras espirométricas, ruidos o elementos de distracción que pudieran desconcentrar al participante y al técnico responsable de la espirometría.

Verificación de viabilidad de la maniobra: Antes de realizar la maniobra de espirometría, se verificó si los participantes podían realizarla, pues existen ciertas condiciones que pueden afectar los resultados.

Las guías plantean algunas preguntas que se pueden utilizar para decidir si una espirometría se puede o no hacer, como:

- *¿Cómo se siente hoy?* Esta pregunta permite conocer si la persona presenta alguna enfermedad aguda que pueda afectar su capacidad para tomar una respiración profunda o soplar de manera forzada.
- *¿Ha fumado cigarrillo, pipa o puro en la última hora?* Si la respuesta es positiva, se deberá posponer la espirometría al menos una hora. El fumar puede tener un efecto a corto plazo en las vías aéreas pequeñas.
- *¿Qué ha comido en la última hora?* una comida copiosa puede tener un efecto a corto plazo sobre la capacidad de la persona para tomar aire lo más intensamente posible. Después de averiguar qué es lo que la persona ha comido, se puede decidir si la cantidad de alimento es suficiente como para influenciar los resultados.

- *¿Ha tenido alguna infección respiratoria, como gripe, neumonía, resfriado severo o bronquitis, en las últimas tres semanas?* Si éste es el caso, se debe considerar posponer la prueba por lo menos hasta que hayan pasado tres semanas, o aún más si persiste la tos. Estas enfermedades pueden tener un ligero efecto a corto plazo en las vías aéreas.
- *¿Ha tenido usted cirugías recientes?* si la persona ha tenido cualquier cirugía mayor, tales como cirugía oral, cirugía del tronco, o cirugía del ojo se deberá posponer la espirometría. La capacidad del sujeto de tomar tanto aire como le sea posible, o en el caso de cirugía oral, de lograr que la boca embone perfectamente con la boquilla, pueden estar temporalmente afectadas.(93)

Estas preguntas se abordaron en primer lugar, en los cuestionarios de inicio y pre/post ejercicio, este último fue diligenciado por el participante una vez llegaba al salón de reuniones como se muestra en la figura 16.



Figura 16. Participantes diligenciando cuestionario pre/post ejercicio.

En segundo lugar y después de que se verificaba si el participante podía hacer la espirometría, un médico indagaba sus antecedentes de enfermedades familiares relacionadas con el sistema cardiovascular y respiratorio, tomaba su pulso, frecuencia respiratoria y presión arterial como se muestra en la figura 17.



Figura 17. Toma de pulso, frecuencia respiratoria y presión arterial a los participantes.

Registro de características antropométricas: Todos los participantes fueron medidos y pesados descalzos, con ropa ligera y con la espalda apoyada en el tallímetro como se observa en la figura 18.



Figura 18. Toma de peso y estatura a los participantes.

Posteriormente, en el software Spirotrac de vitalograph® se registraron los datos de identificación de los participantes (nombre y apellidos completos, disciplina deportiva, peso, estatura, fecha de nacimiento y etnia) el software calculaba automáticamente el índice de masa corporal (IMC) y los valores de referencia o predichos para cada parámetro de función pulmonar estudiado (valores previstos). Cabe aclarar que este registro se hizo en el día 1 de participación para cada deportista, puesto que el software guardaba los datos de cada sujeto y así, durante los días 2, 3 y 4 de estudio únicamente se hizo medición del peso para verificar si se presentaban variaciones, cuando esto sucedía se procedía a modificar el dato en el software antes de realizar la maniobra de espirometría.

Equipo espirométrico: Actualmente existen dos tipos de espirómetros: de volumen y de flujo. Los espirómetros de flujo (neumotacómetros) son los más utilizados. Miden el flujo a partir de una resistencia conocida que produce una diferencia de presión entre uno y otro lado del paso del aire (neumotacómetro tipo Fleish) como el que se usó para este estudio y cuyas características se pueden consultar en el anexo 4. De igual forma, los espirómetros deben cumplir una serie de requisitos mínimos que han sido establecidos internacionalmente, como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Requerimientos mínimos de los espirómetros

Requerimientos	Valores o procedimientos aceptables
Margen de volumen	0,5 a 8 L
Exactitud	5% ó 100 ml
Precisión	3% ó 50 ml
Linealidad	3%
Resolución	25 – 50 ml
Resistencia	<1,5 cm H ₂ O /L /s (entre 0 a 14 L)

Requerimientos	Valores o procedimientos aceptables
Volumen mínimo detectable	30 ml
Tiempo cero	Extrapolación retrógrada
Tiempo de lectura	15 s
Señal de prueba	Jeringa de 3 L

Fuente: Espirometría: Manual de procedimientos. Sociedad Chilena de Enfermedades Respiratorias, 2006

Adicionalmente, durante los cuatro días de estudio y antes de iniciar cada sesión de espirometrías en los tres horarios definidos, se revisó la exactitud (*in situ*) del espirómetro y en los casos donde se requirió, se hizo calibración con la jeringa de precisión Vitalograph® de 3 litros modelo 2040 como se observa en la figura 19.



Figura 19. Revisión de exactitud del espirómetro con jeringa Vitalograph® de 3 litros modelo 2040.

Técnica espirométrica (maniobra): Antes de realizar la maniobra, se verificó que todas las funciones del software y hardware del espirómetro estuvieran habilitadas y funcionando correctamente, también se verificó el abastecimiento de suministros como boquillas, filtros, pinzas nasales, así como otros materiales usados para realizar y registrar las pruebas.

Después se dieron instrucciones precisas, claras y concisas a cada participante para la realización de la maniobra. Se hizo énfasis en que el procedimiento no producía dolor y que para lograr resultados válidos y de utilidad, debían respirar tan fuerte y tan rápido como les fuera posible y cuando se le indicará, y que el procedimiento debía repetirse varias veces para obtener toda la información necesaria. En algunos casos, se hicieron demostraciones y pruebas de ensayo hasta que los participantes se sintieran cómodos y preparados para la ejecución de la maniobra.

Las maniobras se realizaron de pie, con la espalda recta, mentón elevado y cuello extendido. La persona encargada vigiló que los participantes no se inclinaran hacia delante durante su realización y tuvo a disposición una silla por si el participante deseaba sentarse entre una y otra maniobra. En el informe de espirometría o también llamado de función pulmonar, se registró la posición en que se realizó la prueba. Como la espirometría se realizó en días subsecuentes, los participantes efectuaron las pruebas en la misma posición que se usó la primera vez.

Luego, los participantes procedieron a realizar la maniobra: tras colocar la boquilla en la boca y comprobar que no se presentaran fugas y no obstruyeran o deformaran la boquilla, el participante a) inspiraba todo el aire que podía, b) soplabla dentro de la boquilla rápido y fuerte, y c) prolongaba su espiración seguida y sin parar hasta que se le indicara, como se muestra en la figura 20.



Figura 20. Participantes realizando maniobras espirométricas.

Un factor importante durante la ejecución de la maniobra fue la motivación a los participantes de manera activa y enérgica. Diversos estudios han demostrado que el estímulo y motivación activos tanto durante la inspiración como la espiración, ayudan al sujeto a dar su máximo esfuerzo.(93) Igualmente después de cada maniobra se le permitió a los participantes descansar por algunos minutos.

Durante toda la realización de la maniobra, la persona encargada controló a los participantes y visualizó los defectos que podían alterarla, algunos de ellos detectados por el software del equipo y otros por el comportamiento y la técnica usada por cada participante.

Los participantes realizaron las maniobras espirométricas por escenario estudiado (horario), antes y después de realizar la prueba física o test de Léger (tabla 7).

Parámetros espirométricos: Los parámetros de función pulmonar que se estudiaron fueron: la capacidad vital forzada (CVF), el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF_1) y el cociente del VEF_1 entre la CVF (VEF_1/CVF).

- *La capacidad vital forzada (CVF)*, es la máxima cantidad de aire que puede ser exhalada de manera forzada después de una inspiración máxima, o la máxima cantidad de aire que la persona puede expulsar, después de haber tomado la mayor cantidad de aire posible. La CVF resulta útil para detectar enfermedades restrictivas, ya que si se obtienen resultados menores que los esperados, pudiera traducir que el pulmón no se puede expandir de manera

normal. La CVF puede también estar reducida en las enfermedades obstructivas graves.(93)(95)

- *El volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF₁)*, es el volumen de aire que expulsa la persona en el primer segundo. Es una parte de la capacidad vital y depende de los mismos factores, pero está limitado por la resistencia de las vías aéreas que se oponen a la salida rápida del aire.(95) El VEF₁ es de utilidad para detectar enfermedades obstructivas, ya que una persona con obstrucción de las vías aéreas no será capaz de exhalar tanto aire durante el primer segundo, como lo haría una persona con pulmones normales. El VEF₁ puede también estar disminuido si la persona tiene una enfermedad restrictiva severa.(93)
- *Relación VEF₁/CVF*, es la relación entre ambos parámetros e indica el porcentaje del volumen total espirado en el primer segundo(96). Cuando hay obstrucción a la salida del aire disminuye el VEF₁ y la relación VEF₁/CVF. En general, una persona normal expulsa en el primer segundo más del 70 a 80% de la capacidad vital (VEF₁/CVF mayor de 70). En general cuando es menor del 70%, o menor del límite inferior normal calculado para la persona (intervalo de confianza del 95%) se dice que hay obstrucción al flujo espiratorio (espirometría obstructiva).(95)
- *Valores de referencia o previstos*: La CVF, el VEF₁ y la relación VEF₁/CVF de una persona depende principalmente del género, la edad y la talla, pero también se afecta por otros factores como la raza, el peso, altitud de nacimiento y residencia, etc. Para el caso del estudio se siguieron las recomendaciones del Ministerio de Salud y Protección Social usando la ecuación de Hankinson para México americanos (95) la cual se configuro en el software Spirotrac V para todos los participantes.

Para los análisis de este estudio se tuvieron en cuenta los cambios en estos parámetros evaluados antes y después del ejercicio físico en cada horario estudiado, denominados cambios pre/post ejercicio

Criterios de aceptabilidad, reproducibilidad y calidad de la maniobra: Para cada espirometría se tomó un mínimo de tres maniobras satisfactorias de espiración forzada para conseguir los criterios de aceptabilidad y reproducibilidad y un máximo de ocho cuando no fueron adecuadas.

Una espirometría aceptable se definió como aquella maniobra (trazo o gráfica) libre de errores y reproducible como aquella sin una variabilidad excesiva.(93)

La decisión sobre la *aceptabilidad* de una maniobra de espirometría forzada consideró su inicio, su transcurso y su finalización, así:

- Inicio rápido y sin vacilaciones. La maniobra debía reflejar un esfuerzo adecuado y continuo. El volumen de extrapolación retrógrada debió ser menor a 150 ml o 5% de la CVF.
- Transcurso continuo, sin evidencias en sus trazos de artefactos tales como cierre de glotis, tos, esfuerzo espiratorio variable, evidencias de fuga de aire alrededor de la boquilla.
- Finalización sin interrupciones tempranas ni de manera abrupta de la espiración. Los cambios de volumen debían ser inferiores a 0,025 L durante ≥ 1 segundo. La maniobra debía tener una duración no inferior a 6 segundos. (92)(94)

Cuando se producía algún error durante la maniobra, el equipo lo indicaba como se muestra en la figura 21.

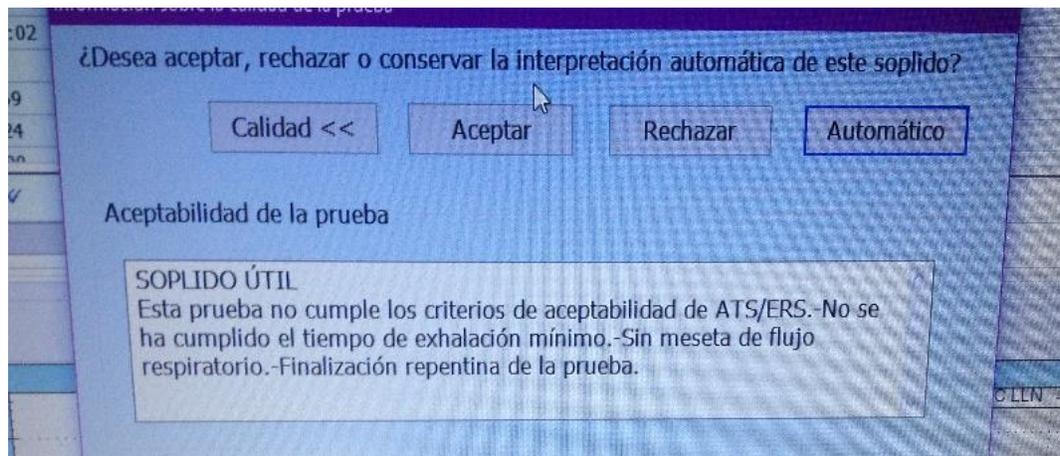


Figura 21. Ejemplo en Spirotrac V de maniobra que no cumplió criterios de aceptabilidad.

Por su parte, la decisión sobre la *repetibilidad* consideró lo siguiente:

- Los dos mejores valores de CVF no debían diferir entre sí más de 0,150 L y los dos mejores valores de VEF₁ no debían diferir entre sí más de 0,150 L.
- Cuando la CVF fue igual o menor de 1 L, estas diferencias no debían ser menores de 0,100 L.(94)(97)

Ahora bien, se utilizó el sistema de graduación para valorar la *calidad* de la espirometría en función del número de maniobras aceptables y la repetibilidad del VEF₁ y la CVF incorporado en el software Spirotrac V de Vitalograph®, como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Grados de calidad de las sesiones de espirometría.

Grado de calidad	Criterios
A	Tres maniobras aceptables (sin errores) y entre las 2 mejores CVF y VEF ₁ una diferencia igual o inferior a 0,15 l (150ml)
B	Al menos tres maniobras utilizables (sin errores) y entre las 2 mejores y VEF ₁ una diferencia igual o inferior a 0,15 l (150ml)
C	Al menos dos maniobras utilizable
D	Solo una maniobra utilizable
F	Ninguna maniobra utilizable

Fuente: Manual de entrenamiento del Usuario para Spirotrac de Vitalograph®

Se consideraron espirometrías de buena calidad las de los grados A y B, de calidad suficiente las C. Las espirometrías de los grados D y superiores no son válidas para interpretación clínica. Sin embargo, en este estudio se tuvieron en cuenta la totalidad de las espirometrías para los análisis de resultados.

Esta clasificación de la calidad se ha mostrado útil tanto en estudios epidemiológicos como en la práctica clínica, habiéndose implementado de forma automática en algunos espirómetros y referenciada en muchas publicaciones. No obstante, se debe tener en cuenta que en torno al 10-20% de los casos no es posible conseguir maniobras con buena calidad a pesar del esfuerzo del técnico y la buena colaboración del paciente.(92)

Informe de espirometría o de función pulmonar: Los informes de función pulmonar o espirogramas son trazos o registros de la información obtenida con la espirometría. El software Spirotrac V generó de manera inmediata (en tiempo real) los informes de función pulmonar para cada participante.

Para facilitar la identificación de las espirometrías en cada escenario atmosférico y en cada día de estudio se crearon códigos alfabéticos y numéricos como se muestra en la tabla 10 que fueron diligenciados en la sesión de ID alternativo dentro del informe.

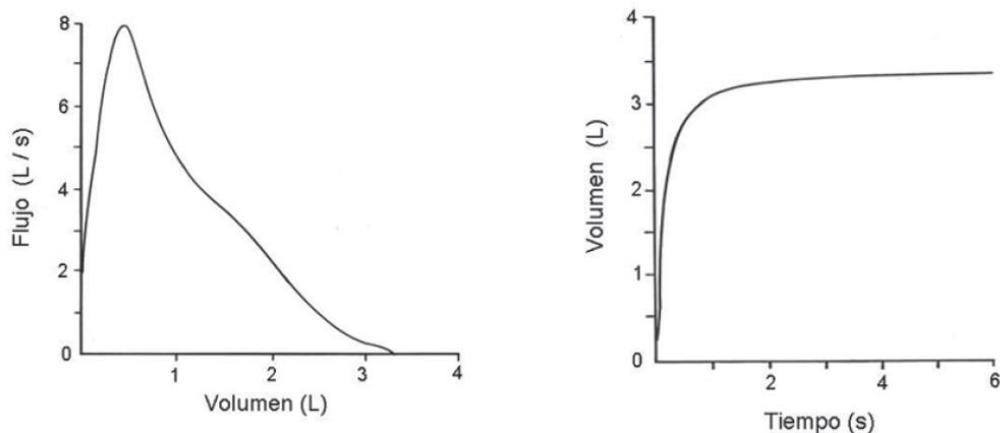
Tabla 10. Codificación usada para los informes de función pulmonar arrojados por el software Spirotrac de Vitalograph®

Código	Descripción
E	Escenario
A	7:00 a.m.-10:00 a.m.
B	12:00 m-3:00 p.m.
C	6:00 p.m.-9:00 p.m.
DIA 1	8 de noviembre de 2018
DIA 2	15 de noviembre de 2018
DIA 3	22 de noviembre de 2018
DIA 4	29 de noviembre de 2018
PRE	Espirometría antes de la prueba física
POST	Espirometría después de la prueba física

El informe incluyó los siguientes aspectos:

- *Información del sujeto:* Nombre/s y apellidos, ID (número de identificación), grupo de población (Mejicano Americano), edad, sexo, IMC, fecha de nacimiento, altura, peso, ID alternativo (códigos de la tabla 10) y notas (nombre de la disciplina deportiva y número de identificación del participante en el estudio).
- *Información de la sesión de pruebas:* Fecha de la prueba, número de pruebas, valores predicción (NHANES M), factor de predicción (100%), postura (de pie), dispositivo (Pneumotrac), número de serie (23300), usuario (administrador), fecha de la revisión de la exactitud, pinza nasal usada (Si/No).
- *Gráficos:* Curvas flujo-volumen y volumen-tiempo de las tres mejores maniobras. El trazo de una curva normal de *flujo volumen* mide el flujo en relación al volumen. El eje “y” (vertical) o abscisa representa la velocidad del flujo de aire en litros por segundo, y el eje “x” (horizontal) representa el volumen en litros. Por su parte, el trazo de una curva normal de *volumen-tiempo* registra el volumen con relación al tiempo. El eje “y” (vertical) representa el volumen en litros y el eje “x” (horizontal) representa el tiempo en segundos.

La figura 22 es un ejemplo de una espirometría aceptable donde la curva de la derecha muestra una maniobra de espiración forzada en función del tiempo y la curva de la izquierda la de flujo-volumen de la misma maniobra.(94)



Fuente: *Espirometría: Manual de procedimientos. Sociedad Chilena de Enfermedades Respiratorias, 2006*

Figura 22. Ejemplo de curvas flujo-volumen y volumen-tiempo de una misma maniobra espirométrica

- *Resultados:* Se presentaron en una tabla como se muestra en la figura 23, se detallaron los parámetros analizados en la espirometría y los valores de las tres mejores maniobras para cada parámetro. El software Spirotrac V tomó de manera automática la mejor prueba entre las tres seleccionadas y comparó sus

valores con los de referencia (previstos) para cada participante. Además permitió visualizar la aceptabilidad de cada maniobra.

Resultados						
Parámetro	Mejor ATS/ERS	Prev.	Porcentaje prev.	Mejor 1(Prueba 2)	Mejor 2(Prueba 3)	Mejor 3(Prueba 1)
Hora (hh:mm:ss)				18:47:56	18:49:21	18:47:16
FVC (L)	5,66	5,18	109	5,66	5,51	5,36
FEV1 (L)	4,64	4,43	105	4,64	4,54	4,52
Relación de FEV1	0,82	0,85	96	0,82	0,82	0,84
FEV1/FVC	0,82	0,84	98	0,82	0,82	0,84
PEF (L/Min)	647	587	110	599	577	647
FEF25-75 (L/s)	4,78	4,93	97	4,78	4,76	4,89
Aceptabilidad del usuario				Sí	Sí	Sí

*Por debajo del límite inferior de normalidad (LIN)

Fuente: Spirotrac V de Vitalograph®

Figura 23. Ejemplo de presentación de resultados en el informe de función pulmonar del software Spirotrac V

- *Información de calidad y repetibilidad de la sesión:* Se presentó el grado de calidad de la sesión (tabla 9), los valores de repetibilidad para la CVF y el VEF₁ y el número de soplos que no cumplieron con los criterios de inicio y final de la maniobra .y/o mostraron un artefacto de tos. Como se muestra en la figura 24.

Información de calidad y repetibilidad de la sesión					
Grado de la sesión	Rep. de FVC:	Rep. de FEV1:	Inicio lento de la prueba	No se han cumplido los criterios de finalización de prueba	Tos detectada en 1er segundo
A	0,15 L	0,10 L	0 soplo(s)	0 soplo(s)	0 soplo(s)

Fuente: Spirotrac V de Vitalograph®

Figura 24. Ejemplo de presentación de información de calidad y repetibilidad en el informe de función pulmonar del software Spirotrac V

- *Interpretación sugerida por el equipo:* El software Spirotrac V generó en cada informe de función pulmonar una interpretación basada en los resultados obtenidos en cada sesión y por cada participante. No obstante, dejó claro la siguiente leyenda: “No se puede confiar en las interpretaciones del ordenador para realizar diagnósticos”.

Interpretación de los resultados de la espirometría: La interpretación de los resultados presentados se hizo utilizando la guía NIOSH sobre entrenamiento en espirometría y la guía general para la interpretación de la espirometría del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia resumidos en la tabla 11, donde se pueden identificar cuatro patrones o alteraciones funcionales: Espirometría normal, obstructiva, restrictiva o espirometría con defecto ventilatorio mixto, obstructivo y restrictivo.

Tabla 11. Guía general para la interpretación de la espirometría

Maniobra espiratoria adecuada (curvas)	Interpretación	CVF	VEF ₁	VEF ₁ /CVF %	Criterios
Inicio adecuado, Inicio desde cero, vertical, continuo. Línea continua, sin variaciones ni irregularidades en el trazo. No interrupción súbita del flujo. Final horizontal en la espirometría (Volumen estable) más de 1 seg. Tiempo espiratorio >6 seg.	Espirometría normal	Normal	Normal	Normal	VEF ₁ , CVF, VEF ₁ /CVF normales Mayores del límite inferior normal (> IC 95%)
	Obstrucción de vías aéreas	Baja o normal	Bajo	Bajo	VEF ₁ /CVF bajo (IC 95% o < 70) GRAVEDAD: se mide con el VEF ₁
	Restricción pulmonar	Baja	Bajo	Normal	SOSPECHA: VEF ₁ /CVF Normal o > 85% del predicho,+ CVF baja CONFIRMACIÓN: CPT* baja (< IC 95%) GRAVEDAD: CPT, en su defecto CVF
	Combinación de obstrucción y restricción	Baja	Bajo	Bajo	VEF ₁ /CVF bajo (< IC 95% o < 70) + CVF baja (< IC 95%) CONFIRMACIÓN: VEF ₁ /CVF bajo + CPT BAJA (< IC 95%)

*Capacidad Pulmonar Total (CPT)

Fuente: Guía de NIOSH sobre entrenamiento en espirometría, 2007 y Uso e interpretación de la espirometría, 2016

4.8.5 Realización del test de Léger

El test de Léger fue la prueba física elegida para constituir el medio de exposición. Se tuvo en cuenta que la realización de la prueba se hiciera bajo las mismas condiciones para todos los deportistas

Este test inicialmente fue ideado por el Dr Luc Léger y R. Boucher de la Universidad de Montreal en Canadá en 1980.(98) El profesor Luc Léger a través de una experiencia de diez años, se especializó en el estudio de la condición física y del rendimiento, lo que le permitió generar aportes importantes en el sector de los test al aire libre.(99). En 1982, Léger junto a J. Lambert diseñan un test de campo para un espacio reducido, teniendo como referencia su test inicial denominado *Universite Montreal Track Test* (UMTT), una variante muy similar aplicable en un espacio de 20 metros, al cual se le llamó Test Course Navette de 20 metros (CN-20m) en francés o más conocido con su nombre en inglés 20m shuttle run test (20m-SRT) o en su traducción al español test de ida y vuelta en 20 metros.(98)(100).

El objetivo de este test es valorar la potencia aeróbica máxima y determinar de forma indirecta el consumo máximo de oxígeno (VO_{2máx}) de un sujeto. Básicamente el VO_{2máx} definido en palabras de Hill, “es la tasa más alta a la cual el organismo es capaz de consumir oxígeno durante el ejercicio intenso”. De manera semejante, otros autores han definido al VO_{2máx} como “la máxima cantidad de oxígeno que el organismo es capaz de absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo”.(98)

Este test es utilizado generalmente para determinar la capacidad aeróbica de sujetos jóvenes con un nivel de entrenamiento medio o bajo, quedando progresivamente desestimada para atletas con un alto rendimiento. Según Léger (1998) no se puede medir la aptitud física de una manera general y añade que la prueba tiene un elemento motivador en sí, que no poseen la mayoría de las pruebas, teniendo en cuenta, por otra parte, que al aplicarse la misma prueba a todas las edades, se pueden comprobar los resultados, de un mismo individuo, con los años, es decir, es posible predecir el consumo máximo de oxígeno en todos los límites de edad.(101)

La *validez*, *fiabilidad* y *sensibilidad* son tres características fundamentales que debe cumplir un test de campo y que este test de Léger cumple. El término *validez* se refiere al grado en el que un instrumento realmente mide o estima la variable para la cual fue diseñado. La *fiabilidad* hace referencia al grado de consistencia o estabilidad de las mediciones cuando un instrumento es aplicado por los mismos evaluadores varias veces a los mismos sujetos y bajo condiciones similares, el término está asociado a la repetibilidad y la sensibilidad hace referencia a la capacidad para monitorizar los cambios producidos post-entrenamiento.(98)

Al igual que para la espirometría, se entregó a cada participante la programación para la realización del test de Léger incluyendo las recomendaciones que debían considerar para su realización (anexo 7), las cuales fueron recordadas un día antes de cada prueba a través de los datos de contacto suministrados por los participantes.

Las recomendaciones para el test de Léger fueron:

- Acudir con ropa y calzado cómodo, preferiblemente deportivo, no muy ajustado, para evitar que impidiera la movilidad.
- Llegar a la prueba bien alimentado e hidratado, pero evitando el exceso de comida y bebidas gaseosas o con cafeína 1 hora antes de la prueba.
- Evitar el tabaco y alcohol en las horas previas (24 horas) a la prueba.
- Evitar consumir vitaminas y/o medicamentos en las horas previas (24 horas) a la prueba, excepto si hacía parte de un tratamiento médico, en caso tal, el deportista debía informarlo a la investigadora principal o al coordinador de la prueba.

Para la realización del test en este estudio se dispuso lo siguiente:

- Superficie llana de 20 metros, se delimitaron tres secciones de esta longitud en el costado oriental de la pista de atletismo de la Universidad de Antioquia como se muestra en la figura 25, con el fin de que cada día de estudio los 3 grupos conformados realizaran la prueba física en una de las tres secciones, evitando el desgaste del terrero por las pisadas.
- Una cinta métrica para medir los 20 metros en la pista.

- Cinta reflectiva y conos deportivos para delimitar la salida y llegada en los 20 metros de la pista.
- Cronometro para controlar el tiempo que recorría cada deportista.
- Planilla del test de Léger para registrar la etapa alcanzada y el $VO_{2m\acute{a}x}$ de cada deportista (anexo 3)
- Un reproductor de sonido (Mp3+Parlante) para indicar la señal de cada etapa o cambio de aceleración.



Figura 25. Pista de Atletismo de la UdeA donde se realizó el test de Léger

El test tiene las siguientes características:

- Audible.
- Incremental, continuo (sin pausas)
- Máximo hasta la fatiga,
- De aceleración y desaceleración (ir y volver).
- Se corre el mayor tiempo posible entre 2 líneas separadas por 20 metros en doble sentido, ida y vuelta.(98)

Después de que los participantes realizaban la espirometría pre-ejercicio, se desplazaba a la pista de atletismo donde los recibía uno de los dos coordinadores de la prueba con los que conto este estudio. Ambos, licenciados en educación física, quienes fueron los encargados de explicar el protocolo del test a los participantes, llevar los registros de la etapa alcanzada por cada uno de ellos en la planilla respectiva como se observa en la figura 26 y dirigir el pre-calentamiento que debían hacer los participantes antes de realizar el test, como se muestra en la figura 27.



Figura 26. Coordinadores del test de Léger



Figura 27. Coordinadores del test de Léger dirigiendo calentamiento a los participantes antes de la realización de la prueba

A cada participante se le explico el protocolo de la prueba, de forma que:

1. A la primera señal sonora, el participante debía desplazarse (correr) a la mayor velocidad posible, hacia la línea situada a 20 metros, sobrepasándola.
2. Una vez allí, estaría en posición de salida, hasta escuchar la próxima señal sonora.
3. Repetiría este ciclo tantas veces pudiera, intentando seguir el ritmo entre señales, llegando a cada línea antes o justo en el momento en que escuchaba la siguiente señal.
4. La prueba concluía cuando el participante se detenía por la fatiga, es decir, cuando ya no podía seguir el ritmo de las señales o cuando por dos veces consecutivas llegaba a pisar la línea demarcada después de la señal sonora.

En el lugar se colocó un reproductor de sonido que emitía el audio del test grabado en una memoria USB, el audio emitía las señales sonoras que escuchaban los participantes durante la prueba indicando el inicio de la misma y los cambios de etapa, estos debían colocarse de pie detrás de la línea demarcada con cinta reflectiva y en sentido de movimiento hacia la otra línea separada a 20 metros que también estaba demarcada.

El test comenzó a un ritmo de 8,5km/h, por lo cual era sencillo para los participantes llegar de una línea a otra, los participantes no debían ir a la siguiente línea hasta tanto no escucharan la señal sonora, puesto que la velocidad iba incrementando a 0,5km/h por minuto, a esto se le denominó periodo o etapa. La velocidad obtenida en la última etapa completa era la considerada como la velocidad final alcanzada (VFA) utilizada para estimar el $VO_{2m\acute{a}x}$ de cada participante en cada horario evaluado. El valor del $VO_{2m\acute{a}x}$ se tomó de los resultados de un experimento realizado por el mismo Luc A Léger al cual se le valoró la validez y confiabilidad.(102)

Inmediatamente después del pre-calentamiento, los participantes procedían a realizar el test como se observa en la figura 28, teniendo en cuenta la explicación dada por los coordinadores de la prueba.



Figura 28. Participantes realizando el test de Léger en la pista de atletismo de la UdeA.

4.8.6 Percepción de síntomas

Cada vez que los participantes llegaban a la pista de atletismo para realizar el test de Léger debían diligenciar la sección IV del cuestionario Pre/Post ejercicio (anexo 2), que contenía la notificación de síntomas experimentados antes de iniciar y después de finalizar el test de Léger, como se muestra en la figura 29.

Los deportistas debían marcar con una “x” si la respuesta era afirmativa (Si) o negativa (No) a las siguientes preguntas:

- ¿Experimentó irritación de la nariz?
- ¿Experimentó irritación de la garganta?

- ¿Experimentó tos?
- ¿Experimentó producción de flema?
- ¿Experimentó opresión/dolor en el pecho?
- ¿Experimentó sibilancias (ruidos) en el pecho?
- ¿Tuviste dolor de cabeza?
- ¿Notaste nubes de partículas, polvo u hollín?
- ¿Experimentó irritación de los ojos?



Figura 29. Participantes diligenciando la sección IV del cuestionario Pre/Post ejercicio sobre la percepción de síntomas presentados antes y después de realizar el test de Léger

Esta indagación se hizo de manera netamente exploratoria, por lo que no se incluyó en los objetivos del estudio.

Al finalizar el trabajo de campo, se envió a los correos electrónicos de los participantes los informes de función pulmonar generados por el software Spirotrac V y los archivos en Excel con los resultados del consumo máximo de oxígeno ($VO_{2máx}$) y etapas alcanzadas en el test de Léger en cada día de estudio para cada participante.

4.9 Análisis de información

La información de las variables ambientales presentadas en los días estudiados, se consultaron en enero de 2019 en el geoportal del SIATA, de donde se descargaron los datos de la estación de monitoreo de calidad del aire con código 25 y las estaciones meteorológicas con códigos, 203 y 6004; y los datos de los participantes registrados en los cuestionarios de inicio y pre/post ejercicio y planilla del test de Léger fueron vaciados en un libro de Microsoft Excel, conformando la base de datos principal del estudio, cuyo objetivo fue realizar control, evaluación y seguimiento de los datos y posteriormente generar la exportación de ellos al software estadístico SPSS versión 25 para generar los análisis de las variables.

Para el procesamiento de la información de las variables ambientales se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Se descargaron los datos de las concentraciones de PM_{2.5} registradas para todo el mes de noviembre del 2018; luego se filtró la información por los días de estudio (8, 15, 22 y 29 de noviembre) se seleccionaron los valores de PM_{2.5} de las horas que conformaron cada escenario atmosférico, para cada día de estudio.
- Se descargaron los datos de las variables temperatura, humedad, radiación, precipitación y velocidad del viento para todo el mes de noviembre de 2018. Luego, se filtraron por los días de estudio (8, 15, 22 y 29 de noviembre) y los datos minuto a minuto se promediaron a datos horarios. Posteriormente se seleccionaron los datos de cada hora que conformaba un escenario atmosférico.
- Los datos promediados de cada variable se organizaron en una base de datos por día y escenario estudiado, posteriormente se estableció la condición de estabilidad e inestabilidad atmosférica de cada escenario teniendo en cuenta los valores de las variables radiación y velocidad del viento y la metodología de clasificación de estabildades de Pasquill-Gifford-Turner (PGT) (tabla 6)
- Para las correlaciones se usaron los datos de PM_{2.5} correspondientes al día y la hora en que cada deportista realizó el test de Léger.

Para el procesamiento de los resultados de los parámetros de función pulmonar y el consumo máximo de oxígeno, se realizaron las siguientes actividades:

- Se verificaron los datos registrados en el cuestionario pre/post ejercicio con los datos de los informes de función pulmonar generados por el software Spirotrac V.
- Se crearon hojas de cálculo en Microsoft Office Excel 2013 donde se organizaron los valores de los parámetros de función pulmonar para cada participante, obtenidos en cada escenario atmosférico, de manera similar se organizaron los datos del consumo máximo de oxígeno basados en los registros de las planillas del test de Léger.
- Se exportó la información registrada a la base de datos en SPSS.
- Se calculó el cambio de cada parámetro de función pulmonar entre los valores obtenidos por cada participante antes y después de realizar el test de Léger en cada escenario atmosférico.

Para los análisis se usaron estadísticos descriptivos y distribución de frecuencias. La normalidad de los datos se evaluó mediante la prueba de Shapiro-Wilk, sin embargo, se asumió una distribución no paramétrica puesto que no todas las variables cumplieron el supuesto de una distribución normal y el tamaño de muestra no superó los 50 participantes; posteriormente, se usó la prueba de Wilcoxon para dos muestras relacionadas para comparar las medianas de cada parámetro de función pulmonar (cambios pre/post ejercicio) entre escenarios atmosféricos (A vs C, B vs C, A vs B) y determinar si existían diferencias entre ellas y para las

correlaciones entre las concentraciones horarias de PM_{2.5} y los cambios pre/post ejercicio calculados para cada parámetro de función pulmonar se aplicó el coeficiente de Spearman.

Para todos los análisis se estableció la significancia estadística con un valor $p < 0,05$ (IC del 95%). Las gráficas se elaboraron utilizando la herramienta de Microsoft Office Excel 2013 y los análisis estadísticos se realizaron con el software SPSS versión 25.

4.10 Consideraciones éticas

Esta investigación se desarrolló conforme a los criterios de respeto a la dignidad y protección de los derechos de los participantes así como la de su bienestar, para ello se aplicó un consentimiento informado por escrito el cual se puede consultar en el anexo 9, en este se explicó de manera clara y detallada el objetivo y los fines de la investigación, las actividades que los participantes debían realizar, los riesgos y garantías de seguridad, los datos e información del equipo a cargo de la investigación, los compromisos adquiridos por los participantes y por el equipo investigativo que incluyó la devolución de los resultados de función pulmonar y consumo máximo de oxígeno a los participantes y la divulgación de los resultados generales de la investigación, entre otros.

Durante toda la investigación se garantizó la anonimidad y confiabilidad de la información suministrada y durante el trabajo de campo se veló por la integridad física de los participantes.

En cuanto a la manipulación de la información suministrada por los participantes en los cuestionarios y sus resultados en los informes de función pulmonar, esta se dispuso en dos bases de datos, una que generó automáticamente el Software Spirotrac V y otra que se guardó como un archivo de Microsoft Excel, administrada únicamente por la investigadora principal. De igual manera el material físico (listas de asistencia, cartas de intención, permisos y solicitudes, consentimientos informados, cuestionarios, recomendaciones, etc.) fueron archivados en un folder el cual se tendrá por un periodo de 5 años y la información virtual (bases de datos, documentos escaneados, informes de función pulmonar, informes estadísticos, etc.) fueron guardados en un CD-ROM el cual se tendrá por 10 años bajo la custodia del Grupo de Investigación Salud y Ambiente. Una copia de toda la información se guardó de manera virtual en un disco duro externo propiedad de la investigadora principal.

El comité de ética de la investigación del centro de investigación de la Facultad Nacional de Salud Pública de la Universidad de Antioquia en la sesión 194 del 17 de agosto de 2018, avaló esta investigación catalogándola como un proyecto de riesgo mínimo según la Resolución 8430 por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud en Colombia.

5. Resultados

5.1 Clasificación de estabilidad atmosférica, PM_{2.5} y variables meteorológicas

Usando la metodología de clasificación de estabildades de Pasquill-Gifford-Turner (PGT) (tabla 6) se clasificó la condición de estabilidad presentada en los horarios que conformaban cada escenario atmosférico estudiado. Los escenarios A (7:00 a.m.-10:00 a.m.) y B (12:00 m- 3:00 p.m.) presentaron condiciones de inestabilidad atmosférica y el escenario C (6:00 p.m.-9:00 p.m.) condiciones de estabilidad, como se muestra en la tabla 12.

Las concentraciones horarias de PM_{2.5} fueron diferentes para cada uno de los horarios durante los 4 días estudiados. Durante el día 1 se presentaron concentraciones entre los 12 y 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el día 2 entre los 6 y 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el día 3 entre los 11 y 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ similar al día 4 que estuvo entre los 11 y 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los promedios para cada día fueron 18.29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el día 1, 19.33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el día 2, 25.67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el día 3 y 20.38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el día 4.

En relación con los horarios, se observó que en tres de los cuatro días de estudio (días 2, 3 y 4), el escenario A (7:00 a.m.-10:00 a.m.) tuvo el promedio más alto en las concentraciones de PM_{2.5}, mientras que el escenario B (12:00 m-3:00 p.m.) tuvo los promedios de PM_{2.5} más bajos los días 3 y 4 y el escenario C (6:00 p.m.-9:00 p.m.) los días 1 y 2 de estudio. En la figura 30 se muestran las concentraciones horarias del PM_{2.5} registradas para cada uno de los 4 jueves considerados, haciendo énfasis (recuadros) en los tres momentos del día que se estudiaron.

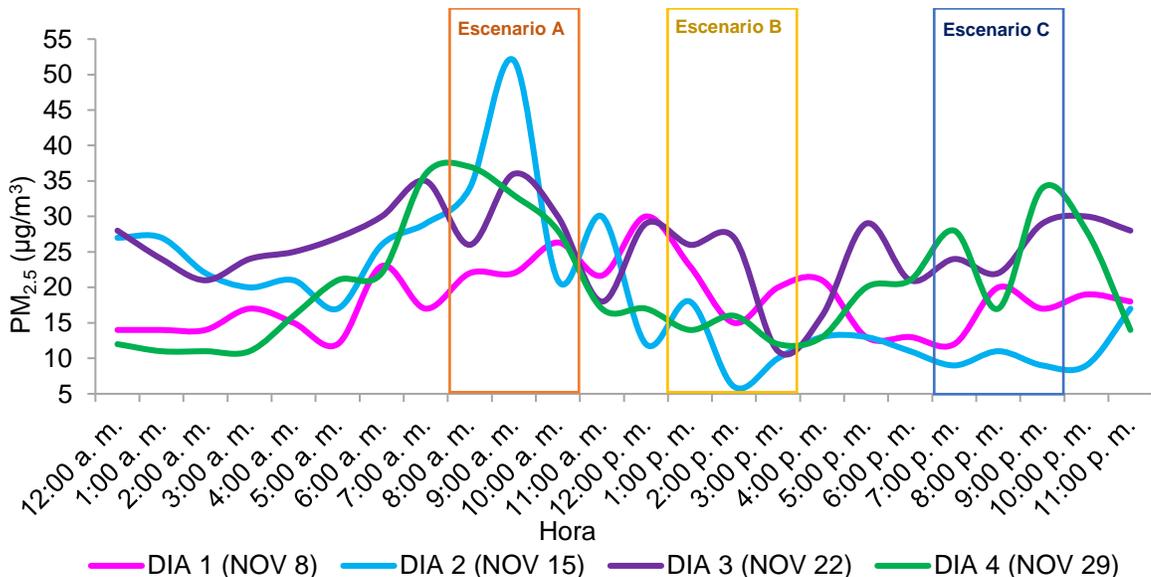


Figura 30. Ciclos diarios de PM_{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en los días de estudio (8, 15, 22 y 29 de noviembre de 2018)

Tabla 12. Clasificación de estabilidad de los escenarios atmosféricos según metodología de Pasquill-Gifford-Turner

Día de estudio	Escenarios atmosféricos Variables ambientales	A (7:00 a.m.-10:00 a.m.)				Clasificación de estabilidad de PGT	B (12:00 m-3:00 p.m.)				Clasificación de estabilidad de PGT	C (6:00 p.m.-9:00 p.m.)				Clasificación de estabilidad de PGT
		Mín.	Máx.	\bar{x}	SD		Mín.	Máx.	\bar{x}	SD		Mín.	Máx.	\bar{x}	SD	
1 8 de noviembre 2018	PM _{2.5} (µg/m ³)	17,0	26,0	21,8	3,69	B Moderadamente inestable	15	30	22,0	6,27	A-B De moderadamente inestable a muy inestable	12	20	15,5	3,70	F Moderadamente estable
	T (°C)	20,3	22,5	21,5	0,91		23,7	26,3	25,3	1,16		21,0	22,5	21,7	0,65	
	H (%)	66,6	76,7	71,6	4,15		46,0	58,8	50,5	5,92		68,1	77,3	73,9	4,21	
	P (mm)	0,0	0,0	0,0	0,00		0,0	0,0	0,0	0,00		0,0	0,0	0,0	0,00	
	R (W/m ²)	130,4	287,3	236,3	72,54		361,8	656,1	486,2	123,18		0,0	0,0	0,0	0,00	
	V v (m/s)	0,7	1,8	1,3	0,51		0,9	1,9	1,3	0,43		1,2	3,7	2,7	1,05	
2 15 de noviembre 2018	PM _{2.5} (µg/m ³)	21,0	52,0	34,0	13,14	A-B De moderadamente inestable a muy inestable	6	18	11,5	5,00	B-C De ligera a moderadamente inestable	9	11	10,0	1,15	E Ligeramente estable
	T (°C)	19,9	23,6	22,0	1,59		25,5	26,6	26,0	0,58		21,2	22,4	21,7	0,51	
	H (%)	56,8	75,9	64,8	8,80		42,7	52,0	46,2	4,13		67,9	75,1	71,6	3,14	
	P (mm)	0,0	0,0	0,0	0,00		0,0	0,0	0,0	0,00		0,0	0,0	0,0	0,00	
	R (W/m ²)	128,1	915,9	508,5	374,04		253,6	804,8	515,2	243,79		0,0	0,0	0,0	0,00	
	V v (m/s)	0,7	1,3	1,0	0,30		2,6	3,8	3,1	0,50		2,5	3,5	3,1	0,48	
3 22 de noviembre 2018	PM _{2.5} (µg/m ³)	26,0	36,0	31,8	4,65	A-B De moderadamente inestable a muy inestable	11	29	23,3	8,26	B-C De ligera a moderadamente inestable	21	29	24,0	3,56	F Moderadamente estable
	T (°C)	19,9	24,4	22,0	1,92		25,7	27,0	26,6	0,62		18,9	19,4	19,1	0,22	
	H (%)	52,0	73,5	62,8	9,30		42,1	54,1	46,1	5,43		83,8	85,5	84,9	0,79	
	P (mm)	0,0	0,0	0,0	0,00		0,0	0,0	0,0	0,00		0,0	0,0	0,0	0,00	
	R (W/m ²)	67,7	662,8	364,9	288,89		157,7	593,9	411,3	208,07		0,0	0,0	0,0	0,00	
	V v (m/s)	0,8	1,5	1,1	0,31		1,5	5,1	3,6	1,54		0,7	1,0	0,9	0,13	
4 29 de noviembre 2018	PM _{2.5} (µg/m ³)	28	37	33,5	4,04	A-B De moderadamente inestable a muy inestable	12	17	14,8	2,22	B Moderadamente inestable	17	34	25,0	7,53	F Moderadamente estable
	T (°C)	21,3	25,5	23,2	1,81		24,0	28,0	26,6	1,75		19,2	20,0	19,6	0,33	
	H (%)	46,5	66,4	57,7	8,76		40,3	59,0	48,8	7,90		82,4	86,2	84,5	1,80	
	P (mm)	0,0	0,0	0,0	0,00		0,0	0,0	0,0	0,00		0,0	0,1	0,0	0,05	
	R (W/m ²)	157,8	894,7	447,2	343,60		255,2	915,1	698,7	310,34		0,0	0,0	0,0	0,00	
	V v (m/s)	1,0	1,3	1,1	0,14		1,3	3,7	2,5	1,20		0,8	2,2	1,2	0,67	

PM_{2.5} (µg/m³): Material Particulado 2.5µm
T (°C): Temperatura
H (%): Humedad
P (mm): Precipitación
R (W/m²): Radiación
V v (m/s): Velocidad del viento

Las máximas temperaturas se presentaron en el horario de 12:00 m a 3:00 p.m. y las mínimas en el horario de 6:00 p.m. a 9:00 p.m. (figura 31). Por su parte la humedad relativa fue inversa a la temperatura (figura 32).

Únicamente en el horario de 6:00 p.m. a 9:00 p.m. se presentaron lluvias durante el día 4 de estudio (figura 33). Entre tanto, de los horarios de 7:00 a.m. a 10:00 a.m. y 12:00 m a 3:00 p.m. los máximos registros de radicación se presentaron en este último (figura 34) y finalmente la velocidad del viento fue mayor entre las 12:00 m y las 3:00 p.m. y menor entre las 7:00 a.m. y las 10:00 a.m. durante 3 de los 4 días de estudio (figura 35).

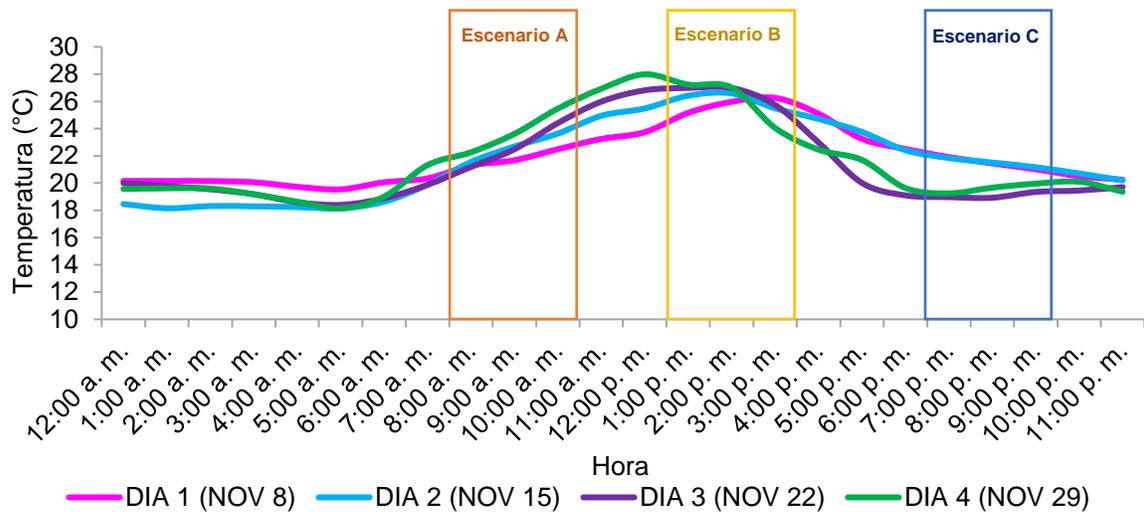


Figura 31. Temperatura (°C) registrada durante los días de estudio (8, 15, 22 y 29 de noviembre de 2018)

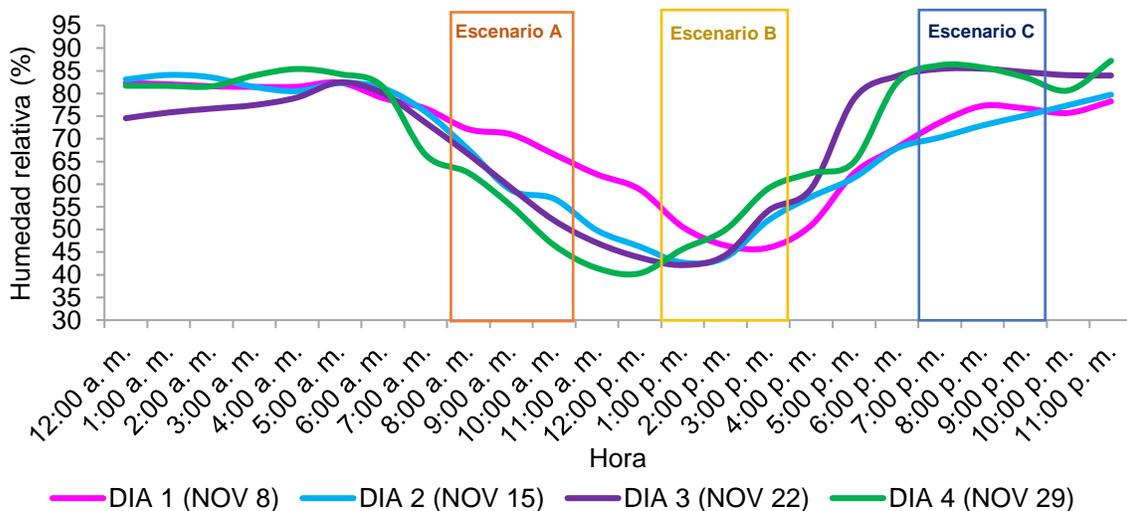


Figura 32. Humedad relativa (%) registrada durante los días de estudio (8, 15, 22 y 29 de noviembre de 2018)

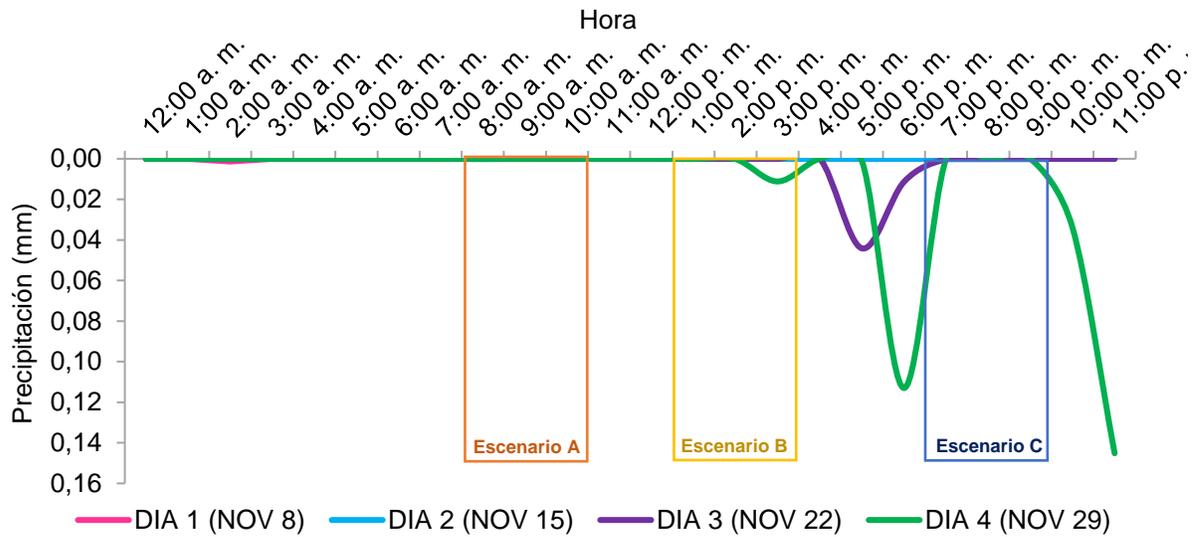


Figura 33. Precipitación (mm) registrada durante los días de estudio (8, 15 ,22 y 29 de noviembre de 2018)

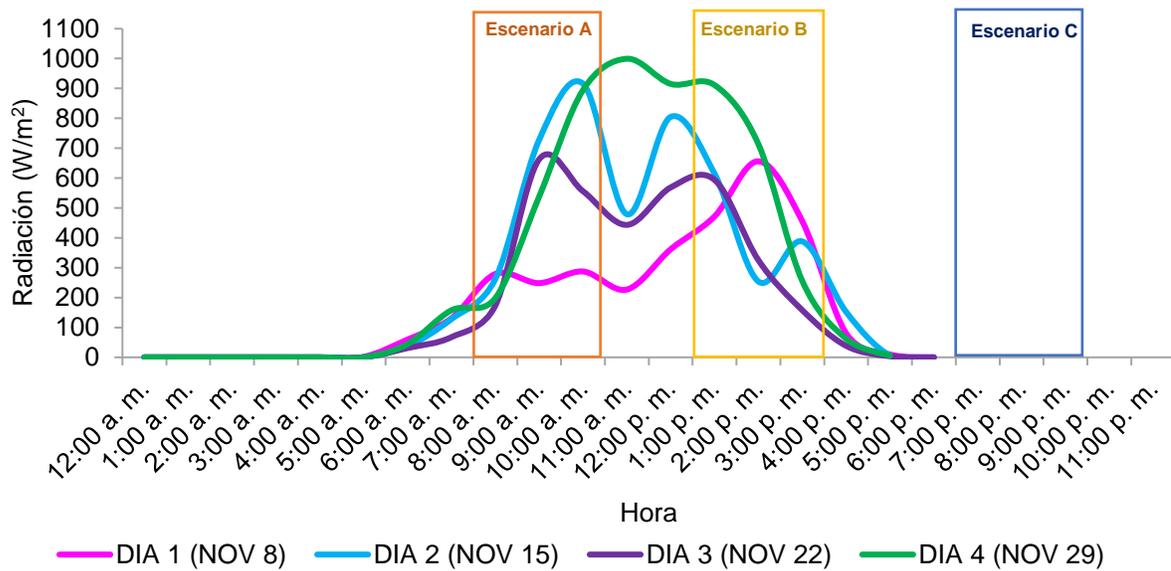


Figura 34. Radiación (W/m^2) registrada durante los días de estudio (8, 15 ,22 y 29 de noviembre de 2018)

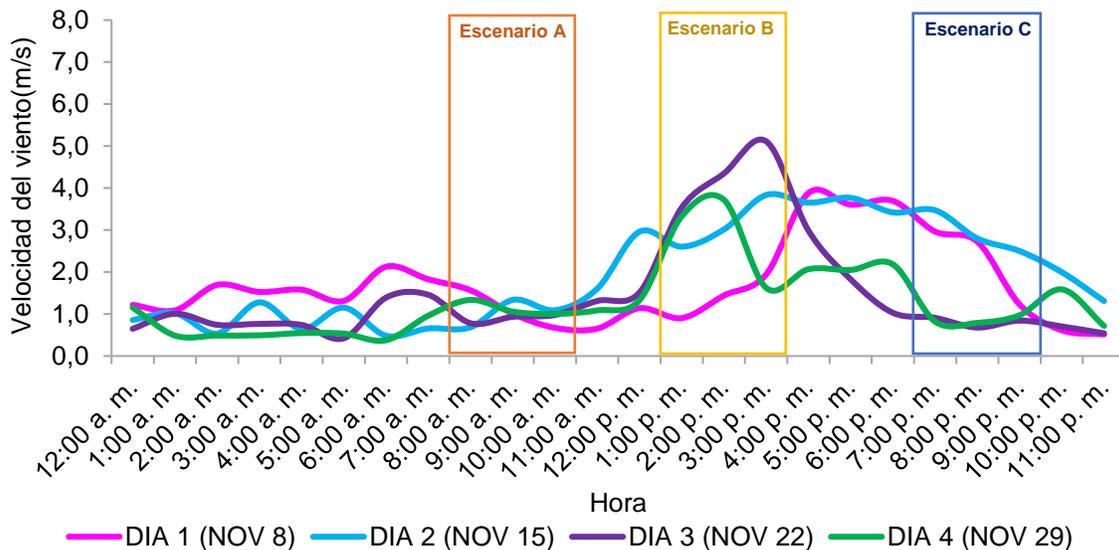


Figura 35. Velocidad del viento (m/s) registrada durante los días de estudio (8, 15, 22 y 29 de noviembre de 2018)

En resumen, los promedios de las variables ambientales presentadas en los tres horarios (durante los 4 días de estudio) se observan en la tabla 13.

Tabla 13. Promedios de las variables ambientales en los escenarios atmosféricos.

Escenarios atmosféricos	A (7:00 a.m.-10:00 a.m.)	B (12:00 m-3:00 p.m.)	C (6:00 p.m.-9:00 p.m.)
PM _{2.5} (µg/m ³)	30,27	17,88	18,63
Temperatura (°C)	22,14	26,12	20,54
Humedad (%)	64,20	47,87	78,69
Precipitación (mm)	0,00	0,00	0,01
Radiación (W/m ²)	389,20	527,82	0,00
V viento (m/s)	1,08	2,65	1,94

5.2 Descripción de la muestra

Un total de 28 deportistas cumplieron los criterios de inclusión, se encontró que el 54% de ellos fueron hombres y el restante mujeres, sus edades oscilaron entre los 18 a los 28 años con un promedio de 22 años. El 54% estaban cursando, al momento del estudio, programas académicos de ingeniería y los restantes otros programas. Los participantes llevaban entre una semana a 5 años como deportistas de representación en la Universidad de Antioquia, pero el 54% de ellos llevaban más de un año y medio representado a la Universidad.

Las disciplinas deportivas que practicaban los participantes fueron futbol, triatlón, atletismo, natación, softbol y tenis de campo; dependiendo de la disciplina deportiva,

los participantes dedicaban a su práctica entre 6 a 28 horas semanales, con un promedio de 12 horas por semana.

La realización de las pruebas (espirometrías y test de Léger) tuvo diferentes tamaños de muestra en cada escenario estudiado, como se muestra en la figura 36 donde las letras A, B y C representan el escenario atmosférico (horario), el valor de “n” equivale al número de deportistas que realizaron las pruebas en cada uno de estos escenarios y los valores entre los conjuntos representa el número de deportistas que realizaron las pruebas en más de un escenario atmosférico.

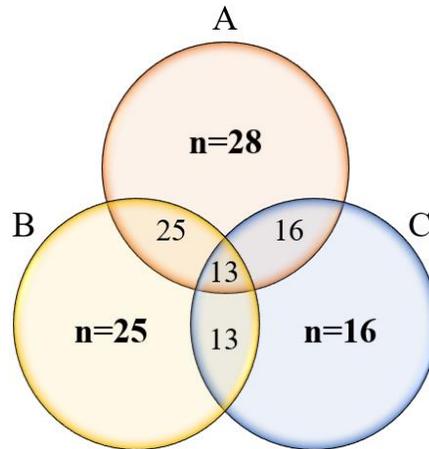


Figura 36. Tamaños de muestra en y entre escenarios atmosféricos.

5.3 Calidad de las sesiones de espirometría

En total se realizaron 138 espirometrías distribuidas así: 56 en el escenario A (7:00 a.m.-10:00 a.m.), 50 en el B (12:00 m-3:00 p.m.) y 32 en el C (6:00 p.m.-9:00 p.m.), las cuales presentaron diferentes grados de calidad (tabla 9) antes y después del ejercicio físico como se muestra en las figuras 37a y 37b.

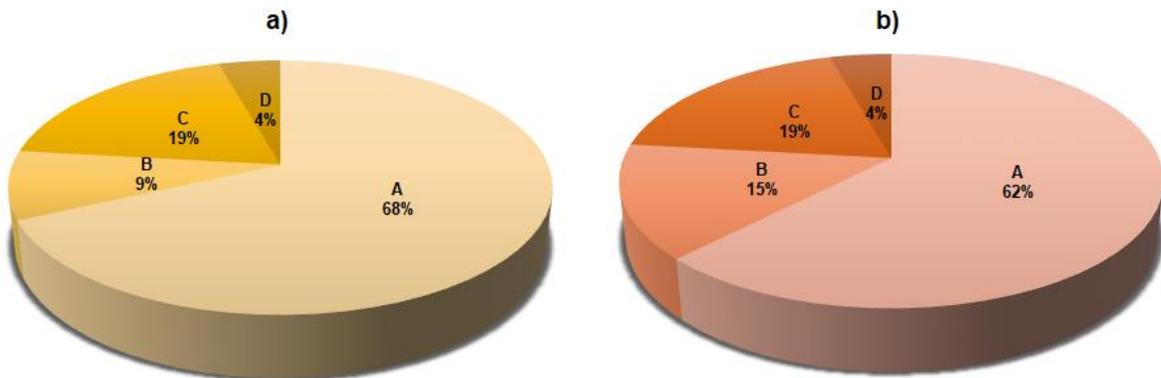


Figura 37. a) Proporción según la calidad de las espirometrías realizadas antes del ejercicio (Pre). b) Proporción según la calidad de las espirometrías realizadas después el ejercicio (Post)

5.4 Interpretación de los resultados de espirometrías

De las 138 espirometrías realizadas, 9 presentaron restricción leve: 3 en el escenario atmosférico A (1 pre ejercicio y 2 post ejercicio) y 6 en el escenario atmosférico B (2 pre ejercicio y 4 post ejercicio), las restantes fueron espirometrías con función ventilatoria normal.

El 85,5% de las espirometrías tuvieron una relación VEF₁/CVF mayor del 80% y el 32,6% igualaron o superaron la relación VEF₁/CVF prevista para los participantes.

5.5 Normalidad de los datos

La hipótesis de normalidad de las muestras para las variables de resultado del estudio se cumplió parcialmente como se muestra en la tabla 14, dada esta condición y el tamaño pequeño de muestra que se obtuvo en el escenario C (n=16), se asumió una distribución no normal de los datos y se optó por realizar pruebas de análisis no paramétrico.

Tabla 14. Normalidad de los datos con estadístico de Shapiro Wilk

Escenarios atmosféricos	A (7:00 a.m.-10:00 a.m.) n=28	B (12:00 m.-3:00 p.m.) n=25	C (6:00 p.m.-9:00 p.m.) n=16	
Variables	Valor P			
CVF	Pre	0,65	0,05	0,70
	Post	0,87	0,18	0,53
VEF ₁	Pre	0,81	0,02	0,64
	Post	0,73	0,05	0,55
VEF ₁ /CVF	Pre	0,49	0,6	0,04
	Post	0,83	0,01	0,07
PM _{2,5}	0,00	0,01	0,00	

Valor $P > 0,05$ presenta distribución normal

5.6 Parámetros de función pulmonar

5.6.1 Descripción univariada de los parámetros de función pulmonar en cada escenario atmosférico

En general, los participantes presentaron mejores parámetros de función pulmonar después de realizar el test de Léger (excepto en la CVF en el escenario atmosférico A y la relación VEF₁/CVF en el escenario atmosférico B) como se puede observar en la tabla 15.

Tabla 15. Estadísticos descriptivos de los parámetros de función pulmonar en los escenarios atmosféricos.

Escenarios atmosféricos	A (7:00 a.m.-10:00 a.m.) Inestable n=28						B (12:00 m.-3:00 p.m.) Inestable n=25						C (6:00 p.m.-9:00 p.m.) Estable n=16					
	Parámetros de función pulmonar	Med	Δ	Quartiles		RIQ	Med	Δ	Quartiles		RIQ	Med	Δ	Quartiles		RIQ		
				1	3				1	3				1	3			
CVF (L)	Pre	4,38	-0,06	3,63	5,18	1,55	4,84	0,18	3,28	5,39	2,11	5,56	0,15	4,25	7,58	3,33		
	Post	4,32		3,74	5,19	1,45	5,02		3,43	5,75	2,32	5,70		4,28	7,85	3,57		
VEF ₁ (L)	Pre	3,62	0,02	3,13	4,29	1,16	4,03	0,25	2,73	4,66	1,93	4,83	0,25	3,59	6,30	2,71		
	Post	3,64		3,17	4,44	1,27	4,28		2,93	4,89	1,96	5,08		3,65	6,32	2,67		
VEF ₁ /CVF (%)	Pre	0,83	0,01	0,80	0,89	0,09	0,84	-0,02	0,80	0,87	0,07	0,83	0,01	0,81	0,87	0,06		
	Post	0,84		0,80	0,89	0,09	0,82		0,80	0,90	0,10	0,84		0,82	0,91	0,09		

Med: Mediana de los datos

Δ : Cambios entre el pre y post ejercicio

5.6.2 Cambios de los parámetros de función pulmonar entre escenarios atmosféricos

Los cambios en los parámetros de función pulmonar evaluados entre el antes y el después del ejercicio físico comparadas entre escenarios atmosféricos (A vs C, B vs C y A vs B), solo fueron significativas para los parámetros CVF y VEF₁ en las de los escenarios A vs C como se puede observar en la tabla 16.

Tabla 16. Diferencia de medianas de los parámetros de función pulmonar entre escenarios atmosféricos.

Parámetros de función pulmonar	Escenarios atmosféricos					
	Inestable vs Estable A vs C n=16		Inestable vs Estable B vs C n=13		Inestables A vs B n=25	
	Valor Z	Valor P	Valor Z	Valor P	Valor Z	Valor P
Δ CVF	-2,33 ^b	0,02*	-1,02 ^b	0,31	-0,97 ^b	0,33
Δ VEF ₁	-2,48 ^b	0,01*	-1,78 ^b	0,07	-0,47 ^b	0,64
Δ VEF ₁ /CVF (%)	-1,34 ^b	0,18	-0,55 ^b	0,58	-0,36 ^c	0,72

Δ : Cambios entre el pre y post ejercicio ^b Se basa en rangos negativos ^c Se basa en rangos positivos

n= Número de deportistas que realizaron las pruebas en los escenarios comparados.

Valor Z: Estadístico de Wilcoxon

*Valor P < 0,05 Significancia estadística

5.7 Correlaciones

Se encontró relación inversa significativa entre las concentraciones horarias de PM_{2.5} en el escenario con condiciones atmosféricas estables (C) y los cambios de la CVF como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17. Correlaciones entre las concentraciones de PM_{2.5} y cambios pre/post ejercicio de los parámetros de función pulmonar en cada escenario atmosférico.

Escenarios atmosféricos		A (7:00 a.m.-10:00 a.m.) Inestable n=28	B (12:00 m.-3:00 p.m.) Inestable n=25	C (6:00 p.m.-9:00 p.m.) Estable n=16	
		PM _{2.5} (µg/m ³)			
Rho de Spearman	Δ CVF	Coefficiente de correlación	0,14	-0,24	-0,83*
		Valor P	0,49	0,24	0,00
	Δ VEF ₁	Coefficiente de correlación	0,04	-0,29	-0,44
		Valor P	0,86	0,15	0,08
	Δ VEF ₁ /CVF	Coefficiente de correlación	-0,14	-0,19	0,21
		Valor P	0,48	0,36	0,43

Δ: Cambios entre el pre y post ejercicio

*Valor P <0,05 Significancia estadística

5.8 Otros resultados

A pesar de que el consumo máximo de oxígeno (VO_{2máx}) determinado en el test de Léger y la percepción de síntomas notificada por los deportistas no se consideraron dentro de los objetivos de este estudio, se muestran como resultados adicionales producto de la metodología usada en el mismo.

5.8.1 Test de Léger y consumo máximo de oxígeno (VO_{2máx})

El VO_{2máx} obtenido en cada horario se estimó dependiendo de la etapa alcanzada por los deportistas que fue registrada por los coordinadores de la prueba en la planilla del test (anexo 3).

Se encontró un comportamiento similar en VO_{2máx} de los deportistas en los tres horarios (tabla 18), donde la etapa que más alcanzaron fue la numero 9 equivalente a un VO_{2máx} de 47,6 ml/kg⁻¹/min⁻¹

Las mujeres alcanzaron VO_{2máx} entre 32,6 ml/kg⁻¹/min⁻¹ (etapa 4) y 47,6 ml/kg⁻¹/min⁻¹ (etapa 9) y los hombres entre 41,6 ml/kg⁻¹/min⁻¹ (etapa 7) y 53,6 ml/kg⁻¹/min⁻¹ (etapa 11).

Tabla 18. Distribución de frecuencias del VO_{2máx} obtenido por los deportistas en cada escenario atmosférico

Horarios de los escenarios atmosféricos		A (7:00 a.m.-10:00 a.m.) n=28	B (12:00 m-3:00 p.m.) n=25	C (6:00 p.m.-9:00 p.m.) n=16
Promedio VO _{2máx} (ml/kg-1/min-1)		44,2	44,4	44,4
Etapa alcanzada	VO _{2máx}	Número de deportistas (%)		
4	32,6	1 (3,6%)	1 (3,6%)	0
5	35,6	1 (3,6%)	1 (3,6%)	1 (3,6%)
6	38,6	4 (14,3%)	4 (14,3%)	3 (10,7%)
7	41,6	7 (25%)	4 (14,3%)	2 (7,1%)
8	44,6	4 (14,3%)	4 (14,3%)	3 (10,7%)
9	47,6	6 (21,4%)	6 (21,4%)	5 (17,9%)
10	50,6	3 (10,7%)	5 (17,9%)	1 (3,6%)
11	53,6	2 (7,1%)	0	1 (3,6%)

Comparando los resultados entre los horarios de los escenarios atmosféricos, se encontró que el 57.1% de los deportistas alcanzaron la misma etapa del test de Léger en por lo menos dos de los horarios, obteniendo el mismo VO_{2máx}. Por lo que no se encontraron diferencias significativas entre los horarios evaluados. Sin embargo, al comparar los resultados entre los horarios de los escenarios atmosféricos inestables (A y B) respecto al escenario estable (C), aun con diferentes tamaños de muestra, se pudo evidenciar la misma proporción entre el número de deportistas que superaron 1 etapa entre uno y otro horario, es decir, aumentaron o disminuyeron su VO_{2máx} en 3 ml/kg⁻¹/min⁻¹ como se puede observar en la tabla 19.

Tabla 19. Descripción de etapas alcanzadas por los deportistas entre los diferentes escenarios atmosféricos.

A (7:00 a.m.-10:00 a.m.) vs B (12:00 m-3:00 p.m.) n=25		
Descripción	Número de deportistas	%
Alcanzaron la misma etapa en los dos escenarios	10	40
Superaron 1 etapa en el escenario B	6	24
Superaron 2 etapas en el escenario B	1	4
Superaron 1 etapa en el escenario A	7	28
Superaron 2 etapas en el escenario A	1	4
A (7:00 a.m.-10:00 a.m.) vs C (6:00 p.m.-9:00 p.m.) n=16		
Alcanzaron la misma etapa en los dos escenarios	8	50
Superaron 1 etapa en el escenario C	4	25
Superaron 1 etapa en el escenario A	4	25
B (12:00 m-3:00 p.m.) vs C (6:00 p.m.-9:00 p.m.) n=13		
Alcanzaron la misma etapa en los dos escenarios	6	46

Superaron 1 etapa en el escenario C	3	23
Superaron 1 etapa en el escenario B	3	23
Superaron 2 etapas en el escenario B	1	8

5.8.2 Percepción se síntomas

Se indagó la percepción de síntomas antes y después de que los participantes realizaran el test de Léger. De esto se evidenció que en términos generales después del ejercicio físico se incrementó la notificación de síntomas (tabla 20), con mayor frecuencia en irritación de la garganta, tos, flema y dolor en el pecho.

De manera particular la percepción de irritación de la nariz y dolor de cabeza no se notificó en el horario del escenario atmosférico C (6:00 p.m.-9:00 p.m.).

Tabla 20. Frecuencia de notificación de síntomas en los escenarios atmosféricos

Horarios de los escenarios atmosféricos	A (7:00 a.m.-10:00 a.m.) Inestable n=28		B (12:00 m.-3:00 p.m.) Inestable n=25		C (6:00 p.m.-9:00 p.m.) Estable n=16	
	Número de deportistas					
Síntomas	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
Irritación de los ojos	3	1	0	2	0	2
Irritación de la nariz	1	3	1	0	0	0
Irritación de la garganta	6	14	5	13	2	5
Tos	7	4	3	3	4	3
Flema	6	6	1	5	0	1
Dolor en el pecho	0	6	3	9	2	2
Ruidos en el pecho	0	2	0	1	0	1
Dolor de Cabeza	3	3	0	3	0	0
Nubes de partículas	11	10	5	5	2	1
Total notificaciones	37	49	18	41	10	15

6. Discusión

Este estudio contiene los primeros resultados que relacionan la función pulmonar de deportistas universitarios con las concentraciones horarias de $PM_{2.5}$ en condiciones atmosféricas propias del Valle de Aburrá. Y a pesar de que existe una creciente evidencia sobre los efectos negativos de la contaminación del aire en la salud humana, este tema continua poco estudiado y sigue representando un desafío tanto para la ciudad como para los tomadores de decisiones, incluyendo a los profesionales de la salud.

Varios estudios en el mundo han examinado la función pulmonar con la exposición a contaminantes en el aire, la mayoría de ellos enfocados en población infantil, específicamente niños escolarizados (103)(104)(105)(106), otros se han centrado en el análisis de las variaciones de estos parámetros fisiológicos en entornos con diferentes niveles de contaminación (bajo vs alto)(11) o relacionadas con el tráfico (21)(24)(107)(108) e incluso una combinación de estos aspectos.

La alteración o cambios fisiológicos en relación a la contaminación del aire teniendo en cuenta la hora del día, ha sido menos explorado, sin embargo, estudios como los de Boussetta, Kargarfard y Cortes han usado elementos de la metodología aplicada en este estudio.

Boussetta y colaboradores investigaron el efecto de la contaminación del aire y la hora del día sobre el rendimiento, la función cardiovascular, los parámetros hematológicos y el equilibrio ácido-base en 11 jugadores de fútbol entre 21 y 51 años, quienes realizaron el test de YoYo que tiene características similares al test de Léger, en dos horarios, de 7:00 a.m. a 9:00 a.m. y de 5:00 p.m. a 7:00 p.m. en dos áreas experimentales de la ciudad de Túnez, una con altas y otra con bajas concentraciones de contaminantes en el aire. Encontraron que estos parámetros estudiados se vieron afectados al realizar ejercicio en el área con mayores concentraciones de contaminantes en los dos momentos del día y que la magnitud de esta alteración se agravó más en la noche para algunos parámetros.(109)

Kargarfard y colaboradores, con un diseño cuasi-experimental, evaluaron parámetros cardiovasculares y hematológicos incluido el $VO_{2máx}$ de 19 deportistas entre 21 a 27 años agrupados en entrenados y no entrenados después de que estos realizaran el test de Léger, en condiciones de aire limpio versus aire contaminado de dos ciudades de Irán. Encontraron que los parámetros fisiológicos y sanguíneos tanto en los deportistas entrenados como no entrenados se vieron afectados al realizar el ejercicio en aire contaminado.(110)

Por su parte, Cortes determinó la correlación entre los niveles de material particulado en el aire ambiente con los hallazgos en la función pulmonar de 110 sujetos hombres entre 19 a 57 años que se desplazaban en bicicleta por la cicloruta de la localidad de Kennedy en Bogotá, encontrando que este grupo de ciclistas está altamente expuesto a la contaminación del aire y en el análisis del comportamiento

del PM_{2.5} y PM₁₀ permitió establecer que la franja horaria en la que se desplazaban los ciclistas del estudio correspondía a la de mayor contaminación, superando los límites establecidos por la OMS; incluso evidenció que los valores promedio por hora de concentración del material particulado durante la investigación superaron los límites permitidos por esta organización.(111)

El Valle de Aburrá a pesar de presentar condiciones especiales que favorecen la acumulación de contaminantes en el aire, tiene la ventaja de disponer de una red de calidad del aire única en Colombia, que permite monitorear en tiempo real variables ambientales en el territorio y generar la información en las diferentes plataformas virtuales que pueden ser consultadas en cualquier momento por la ciudadanía, de manera que, esta gestión permite fortalecer la toma de decisiones no solamente a nivel Metropolitano, sino también a nivel individual.

A partir de la información ambiental y meteorológica consultada para este estudio, específicamente de las variables meteorológicas radiación y velocidad del viento, se pudo aplicar la clasificación de estabilidad de PGT. Sin embargo, dos limitaciones importantes a considerar en esta clasificación fue la ausencia de información para la variable nubosidad en el territorio, que también es fundamental para determinar las condiciones de estabilidad atmosférica y el uso de los datos de radiación de una estación meteorológica ubicada a aproximadamente 3 km del sitio de estudio. Lógicamente la obtención de la información de estas variables meteorológicas tomadas *in situ*, permite hacer evaluaciones más precisas de la condición atmosférica presentada en el lugar que se desee estudiar

La clasificación de Pasquill goza de gran reputación por ser la primera clasificación racional de clases de estabilidad, sus resultados están avalados por mediciones y las desviaciones estándar del modelo Gaussiano se calcularon en función de sus seis clases(112). Por su parte, la clasificación de Turner tiene la ventaja de adaptarse fácilmente al uso sistemático de la información meteorológica tal cual se la codifica. Esto último presenta una ventaja adicional ya que hace uso en extenso de un gran número de datos meteorológicos.(112)

Esta clasificación sigue utilizándose abundantemente dado que hay un gran número de correlaciones de parámetros atmosféricos basados en ellas, y son una solución de compromiso cuando no se dispone de sistemas de medida que proporcionen información más concreta sobre estos parámetros. No obstante, presenta las desventajas de cualquier tratamiento discontinuo de un fenómeno natural.(113)

La variable determinante en esta clasificación fue la radiación, explicando coherentemente porqué el escenario atmosférico C comprendido entre las 6:00 p.m. y 9:00 p.m. presento condiciones de estabilidad y los escenarios A y B condiciones de inestabilidad. Al no presentarse incidencia solar en la superficie la temperatura disminuye considerablemente y proporcionalmente la humedad aumenta, lo que explica que los registros de temperatura hayan sido mayores en el escenario B y los de humedad en el escenario C.

Ahora bien, hay que tener en cuenta que las concentraciones de $PM_{2.5}$ en la atmósfera no dependen exclusivamente de la condición de estabilidad que se dé durante el día, si bien es cierto que la altura de la CLA determina el espacio para el transporte, concentración o dispersión de estos, también es cierto que factores como la topografía propia del valle, el flujo vehicular y la saturación vial que se presentan con mayor frecuencia en horas determinadas del día, así como las variaciones en el clima, la naturaleza de los contaminantes que se emiten, e incluso la velocidad y la altura a la que se emiten y las reacciones químicas que se generan entre los contaminantes primarios(114), influyen directamente sobre los niveles de concentración.

De manera consecuente a lo que describen Herrera(9) y Jiménez(10) en sus estudios sobre la CLA en el Valle de Aburrá, este estudio comprobó comportamientos similares reflejado en los ciclos diurnos del $PM_{2.5}$ durante los días de estudio, donde se exhibieron mayores concentraciones entre las 7:00 a.m. y 10:00: a.m. y menores entre las 12:00 m y 3:00 p.m., posiblemente con una fuerte influencia de las emisiones de fuentes móviles que responden a las dinámicas de movilidad que se presentan en la ciudad.

A pesar de que los escenarios atmosféricos A y B presentaron condiciones de inestabilidad atmosférica, se evidenció que en el escenario B la radiación y la velocidad del viento fueron mayores respecto a las presentadas en el escenario A, variables que favorecen la dispersión de los contaminantes en el aire.

En los tres escenarios atmosféricos se observó una mejora en los parámetros de función pulmonar después de realizar el test de Léger derivado de la respuesta normal fisiológica aguda (ventilación pulmonar) al ejercicio físico, teniendo en cuenta que la ventilación se modifica antes, durante y después del ejercicio.(115)

En condiciones de reposo la frecuencia respiratoria (FR) alcanza unos valores medios de 12 respiraciones por minuto, mientras que la cantidad de aire que entra a los pulmones y sale de estos durante la respiración regular, es decir, el volumen corriente (VC) suele ser de 0,5 litros de aire por cada respiración. Por lo que la ventilación por minuto es de 6 litros. Ahora, la respuesta general al ejercicio es un aumento en la frecuencia respiratoria, la profundidad de las mismas e incluso ambas, así como el volumen corriente; en hombres jóvenes y sanos las respiraciones por minuto suelen estar entre 35 y 45, por lo que la ventilación minuto puede alcanzar y superar los 100 litros por minuto, es decir, 17 veces más que los valores normales en reposo. Sin embargo, el volumen corriente no suele exceder el 55-65% de la capacidad vital en los seres humanos, ya sean éstos sujetos sedentarios o deportistas bien entrenados.(115)

En la ventilación de tipo estable se distinguen tres fases; la fase I donde la ventilación aumenta bruscamente y dura entre 30 a 50 segundos, posteriormente la ventilación aumenta gradualmente en la fase II y finalmente en la fase III la ventilación se estabiliza a los 3 o 4 minutos de iniciarse el ejercicio físico dependiendo de la intensidad del mismo y del estado de entrenamiento de la

persona. No obstante, durante un ejercicio de intensidad progresivamente (incremental) como el test de Léger, por concepto no existe la fase II, ocurriendo una intensidad creciente de ejercicio o del consumo de oxígeno (VO_2) hasta aproximadamente el 50-70% $VO_{2m\acute{a}x}$.(115). Adicionalmente la recuperación respiratoria posterior al ejercicio requiere varios minutos, donde la ventilación pulmonar se normaliza lentamente. En este caso los participantes realizaron las espirometrías post ejercicio a los 10-15 minutos de finalizar el test de Léger.

Los cambios pre/post ejercicio presentados en los parámetros de función pulmonar CVF, VEF_1 y VEF_1/CVF en los tres horarios estudiados, desde el punto de vista fisiológico, fueron normales, no obstante, se evidenció que la capacidad pulmonar fue mejor en la noche. En este punto es probable que otras variables estén explicando este hallazgo, por ejemplo, la variable sexo es determinante en los resultados de función pulmonar ya que las mujeres, en promedio tienen pulmones que son alrededor de un 20% más pequeños que los de hombres de la misma talla y edad (93). También es posible que variables ambientales estén relacionadas con la función pulmonar, un estudio reciente investigó las asociaciones de temperatura con medidas repetidas de la función pulmonar entre 5896 participantes de la cohorte Framingham Heart Study Offspring y Third Generation que residen en el noreste de los EE. UU, encontrando que un aumento en la temperatura de 5°C la semana anterior a la evaluación pulmonar se asoció con una disminución de 20 ml en el VEF_1 (116).

Así mismo es posible que la presencia de otros contaminantes estén relacionados con los resultados de los parámetros de función pulmonar. Existe evidencia de que contaminantes como el monóxido de carbono (CO), el ozono (O_3) y los óxidos de azufre (SO_x), tienen influencia sobre ellos. Por ejemplo, se ha encontrado que el $VO_{2m\acute{a}x}$ se reduce linealmente con el incremento en los niveles sanguíneos de CO que son directamente proporcionales al del aire inspirado, también disminuye en forma significativa después de 2 horas de ejercicio intermitente cuando un individuo se expone a 0,75 partes por millón (ppm) de O_3 y las concentraciones atmosféricas superiores a 1 ppm de SO_2 puede causar molestias significativas y disminución del rendimiento durante el ejercicio aeróbico, ya que provoca irritación de las vías aéreas superiores y los bronquios.(117)

En resumen, es bien conocido que los parámetros de función pulmonar están influenciados por la raza, edad, sexo, altura, peso, patrones de actividad física y otras.(93) Por lo que este hallazgo podría estudiarse en futuras investigaciones para determinar cuáles de las variables propias del individuo o ambientales podrían estar relacionadas con aumentos en los volúmenes pulmonares en esta hora del día.

Por otra parte, la correlación encontrada en este estudio en el escenario estable C (6:00 p.m.-9:00 p.m.) respecto a las concentraciones horarias de $PM_{2.5}$ a las que estuvieron expuestos los participantes del estudio cuando realizaron el test de Léger y los cambios pre/post ejercicio de la CVF, sugiere que a medida que aumentan las concentraciones de $PM_{2.5}$ en este momento del día, el cambio en la capacidad vital pulmonar entre antes y después del ejercicio físico disminuye. Es probable que está

relación inversa éste asociada con las variables meteorológicas que se presentan en condiciones de estabilidad atmosférica, es decir, bajas temperaturas, alta humedad y pocos intercambios entre la superficie y la parte baja de la tropósfera.(84)

En este estudio se estimó el $VO_{2m\acute{a}x}$ con la aplicabilidad del test Léger, un test de ejercicio físico incremental que es bien aceptado por entrenadores, investigadores y profesores de educación física. En la actualidad es el test más aplicado en niños y adolescentes, inclusive en los deportes de conjunto como el rugby, fútbol, hockey, básquet, balonmano, entre otros, considerados deportes acíclicos o intermitentes, donde se recorren grandes distancias durante el partido. Es el más utilizado por los entrenadores debido a que el test contempla ciertas acciones motrices propias de estos deportes (frenar, cambiar de dirección, acelerar y desacelerar).(98) Además, es el más utilizado para estudiar el componente cardiorrespiratorio, en ambos sexos y en un amplio rango de edades(98), sin embargo, una limitación fue que la estimación del $VO_{2m\acute{a}x}$ se realizó a partir de los datos generados en un experimento de campo y no con los datos de las medidas reales de cada deportista, como por ejemplo, edad, peso, entre otras.

A pesar de esto, se ha relacionado el uso del test Léger con exposición a contaminación de aire, como lo demuestra un estudio realizado en Bogotá donde se comparó el acondicionamiento cardiorrespiratorio medido como $VO_{2m\acute{a}x}$ en niños entre 7 y 12 años escolarizados expuestos a diferentes niveles de PM_{10} , donde se aplicó el test de Léger dando como media global de $VO_{2m\acute{a}x}$ $46,5 \text{ ml/kg}^{-1}/\text{min}^{-1}$ (118) muy similar a la media de este estudio que fue de $44,3 \text{ ml/kg}^{-1}/\text{min}^{-1}$, a pesar de que los rangos de edades fueron diferentes.

Entre las limitaciones de este estudio se encuentra el tamaño pequeño de muestra, la cual se tuvo que seleccionar de manera conveniente puesto que el alcance del estudio en la evaluación de la función pulmonar de los participantes debía hacerse con límites de tiempo y en rangos de tres horas correspondientes a los escenarios atmosféricos que se querían estudiar. Por tanto la muestra de este estudio en relación con la población objeto, no fue estadísticamente representativa. De manera similar, los resultados de este estudio y las variables analizadas en noviembre no son representativas para los otros meses del año.

Un aspecto que condicionó la obtención de resultados en este estudio, fueron las manifestaciones públicas presentadas después de las 3:00 p.m. dentro del campus universitario de la Universidad de Antioquia los días 15 y 22 de noviembre de 2018, producto del paro nacional de estudiantes, donde el uso de los gases lacrimógenos obligó a suspender la realización de las pruebas en el horario del escenario atmosférico C (6:00 p.m.-9:00 p.m.) durante estos dos días, generando que las muestras para cada escenario atmosférico no fueran equivalentes.

Otras limitaciones encontradas fue la evaluación de la exposición solamente a un contaminante ($PM_{2.5}$) puesto que no fue posible analizar si existió influencia en los resultados obtenidos de otros contaminantes. De manera similar, tampoco fue

posible analizar la exposición individual por lo que se requirió el uso de datos de las estaciones de monitoreo. Por otra parte, se pudieron generar posibles sesgos de información ya que no se establecieron criterios de exclusión para las espirometrías. Sin embargo, para la realización de las maniobras espirométricas se siguieron las recomendaciones de la ATS y ERS. Además el fin de las espirometrías era obtener los cambios en los parámetros de función pulmonar evaluados antes y después del ejercicio en los tres momentos del día y no el diagnóstico de condiciones restrictivas u obstructivas.

Hay que mencionar también que el diseño de este estudio presenta una gran diferencia con los estudios experimentales respecto a que no hay aleatorización en la distribución de los sujetos en el o los grupos estudiados.(83) al mismo tiempo, presenta como desventaja la alta susceptibilidad a los sesgos, en especial los de selección y confusión.(83)(119) aunque tiene como ventaja que son más sencillos y económicos de realizar que un ensayo clínico o estudio experimental. Además, es la única forma de realizar el estudio cuando no es posible llevar a cabo una asignación aleatoria, o cuando es preciso realizarlo en condiciones naturales.

Y aunque la función pulmonar evaluada a largo plazo genera resultados más contundentes que cuando se evalúa como en este caso, a una exposición "ultra corta", este estudio aporta resultados que pueden ayudar a comprender la complejidad entre el comportamiento diario de la contaminación del aire, los itinerarios de grupos poblacionales más vulnerables (más expuestos) y sus efectos en la salud en el contexto de las instituciones de la ciudad, lo cual es un campo poco explorado en los estudios sobre calidad del aire y salud y que ha sido complejo a la hora de diseñar recomendaciones de prevención individual y colectivas en salud ambiental.

Algunas conclusiones de investigaciones apuntan a que los deportistas planifiquen las rutas o elijan selectivamente los lugares donde practican el ejercicio físico con el fin de reducir su exposición a los contaminantes del aire, incluso sugieren hacer el ejercicio físico fuera de las ciudades tanto como sea posible. Al mismo tiempo que recomiendan hacer más investigaciones sobre diseños de entornos construidos para ayudar a los planificadores urbanos a reducir las posibles preocupaciones de salud de la exposición de los deportistas a la contaminación del aire.(11)(24)(20)(109)(110)

A partir de un estudio en Bogotá con niños de escuelas, Ramírez recomienda que la actividad física se realice cuando las concentraciones diurnas de contaminantes en el aire sean más bajas o en entornos rurales y cuando la actividad física se esté realizando en lugares cerca de carreteras o durante "horas pico" hacerlo en interiores. También menciona que las concentraciones más bajas de los contaminantes en el aire se producen entre las 10:30 a.m. y el mediodía, por lo que debería ser el momento recomendado para las clases de educación física. De hecho, se refiere a la inversión térmica o estabilidad atmosférica, que aumenta significativamente la concentración de PM antes de las 9:00 a.m. y, por lo tanto, la exposición; por lo que los estudiantes preferiblemente no deberían participar en

actividades físicas (especialmente fuera y cerca de las principales autopistas) en ese momento (118)

Dado que con los resultados de este estudio no fue posible realizar un análisis de relación causal, es aconsejable estudios futuros que implementen diferentes diseños y permitan evaluar los efectos y relaciones de la contaminación del aire con el ejercicio físico tanto en Colombia como en el contexto local, tal y como lo sugiere una revisión sistemática reciente donde se evaluó el impacto de la contaminación del aire ambiente en la actividad física entre niños y adultos, encontrando que todos los estudios revisados asocian negativamente el nivel de contaminación del aire con la actividad física y positivamente con la inactividad física en el tiempo libre, además la literatura revisada adoptó predominantemente un diseño transversal y se centró en los Estados Unidos, por lo que justifica que los estudios futuros implementen un diseño de estudio longitudinal y evalúen el impacto de la contaminación del aire en la actividad física en países en desarrollo y aquellos que se catalogan como muy contaminados.(120)

Finalmente, este estudio genera interrogantes que pueden ser abordados en estudios futuros, por ejemplo, a partir del análisis de las concentraciones de PM_{2.5} que se registraron en el rango de 3 horas de cada escenario atmosférico estudiado, se evidenció que las concentraciones más altas durante el día se presentaron entre las 7:00 a.m. y 10:00 a.m. por lo que se podría pensar en determinar los niveles máximos permisibles de los contaminantes por un tiempo de exposición de una hora. También se podría investigar con un enfoque integral y multivariable, aquellos aspectos sociales y conductas individuales que influyen a que durante el día existan picos de concentración de contaminantes.

Conclusiones

1. Los resultados de este estudio sugieren que existe una influencia de la hora en la que se realiza ejercicio físico al aire libre frente a la respuesta espirométrica de los deportistas universitarios, y que entre las 7:00 a.m. y las 10:00 a.m. la adaptación fisiológica aguda del sistema respiratorio de los deportistas fue menor respecto a los demás horarios estudiados, por lo que no se aconseja la realización de ejercicio físico y/o actividades deportivas en las primeras horas de la mañana.
2. Las concentraciones horarias de $PM_{2.5}$ en condiciones de estabilidad atmosférica se relacionaron con una disminución en los cambios de la capacidad vital forzada evaluada antes y después de que este grupo de deportistas realizaran ejercicio físico hasta la fatiga. De ahí que, tener en cuenta las condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica es fundamental para comprender el fenómeno de contaminación del aire que se da en nuestro territorio, pues son estas condiciones las que determinan en mayor medida los procesos de dispersión y acumulación de los contaminantes en el aire.(84)
3. Se espera que con los resultados de este estudio la Universidad de Antioquia pueda planificar los horarios en los que se realizan las actividades físicas y deportivas propendiendo por reducir la exposición a la contaminación del aire de los grupos que tiene a cargo y que participan en los diferentes programas y servicios que ofrece Bienestar Universitario.
4. Se desea que a partir de esta experiencia la sociedad académica e investigativa se motive a generar aproximaciones que permitan recabar evidencia sobre el fenómeno y sus efectos sobre la salud pulmonar y cardiovascular de los deportistas e incluso de otros grupos poblacionales, con la evaluación de otros indicadores y a largo plazo que permitan a las instancias gubernamentales implementar estrategias de ciudad para disminuir los riesgos de la población a la contaminación del aire.

Referencias

1. OMS | Contaminación del aire [Internet]. WHO. World Health Organization; 2017 [citado 2 de abril de 2018]. Disponible en: http://www.who.int/topics/air_pollution/es/
2. OPS OMS | Contaminación del Aire Ambiental [Internet]. [citado 2 de abril de 2018]. Disponible en: http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918%3A2017-ambient-air-pollution&catid=2619%3Aenvironmental-health&Itemid=42246&lang=es
3. Martínez López E, Bedoya Velásquez J, Correa M, Quiroz CM, Paz JJ, Muñoz M, et al. Contaminación Atmosférica y Efectos en la Salud de la población en el Valle de Aburrá [Internet]. 2007 [citado 2 de abril de 2018]. Disponible en: <http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/lsdocSaludPublica/aireitagui.pdf>
4. OMS | 7 millones de muertes cada año debidas a la contaminación atmosférica [Internet]. WHO. World Health Organization; 2014 [citado 2 de abril de 2018]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/es/>
5. Altamar A. Estudio de la Contaminación Atmosférica generada por Óxidos de Azufre, Óxidos de Nitrógeno y Material Particulado en un sector de la ciudad de Bogotá. Primera Parte. Av Investig en Ing [Internet]. 2006 [citado 2 de abril de 2018];(5):32-6. Disponible en: http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances-5/r5_art3.pdf
6. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Cómo se contamina el aire [Internet]. [citado 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/ambientales/calidad-del-aire/generalidades/cómo-se-contamina-el-aire>
7. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Condiciones especiales del valle de aburrá [Internet]. [citado 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/ambientales/calidad-del-aire/generalidades/condiciones-especiales>
8. Jiménez JF, Ochoa A, Henao A. Acoplamiento de la salida del sol y el ciclo de los contaminantes atmosféricos en el Valle de Aburrá, Colombia. IX Congr Colomb Meteorol. 2011;(March 2011).
9. Herrera Mejía L. Caracterización de la Capa Límite Atmosférica en el valle de Aburrá a partir de la información de sensores remotos y radiosondeos. 2015.
10. Jiménez JF. Altura de la Capa de Mezcla en un área urbana, montañosa y tropical. 2016.
11. Das P, Chatterjee P. Association of ambient air quality with pulmonary function of youngster footballers. Asian J Sports Med [Internet]. 2014;5(1):39-46. Disponible en: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=4009086&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>
12. Milanzi EB, Gehring U. Detrimental effects of air pollution on adult lung function. Eur Respir J [Internet]. 2019;54(1):1901122. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1183/13993003.011122-2019>

13. Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, Ross Anderson H, Frostad J, Estep K, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *www.thelancet.com* [Internet]. 2017 [citado 28 de julio de 2019];389. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/>
14. Gakidou E, Afshin A, Abajobir AA, et al. Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016. *Glob Heal Metrics* [Internet]. 2017 [citado 5 de octubre de 2019];390(10100):1345-422. Disponible en: <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S0140-6736%2817%2932366-8>
15. Clean Air Institute. La Calidad del Aire en América Latina: Una Visión Panorámica [Internet]. Washington; 2013 [citado 16 de septiembre de 2019]. Disponible en: https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/contaminacion_atmosferica/La_Calidad_del_Aire_en_América_Latina.pdf
16. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Diagnóstico Nacional de Salud Ambiental [Internet]. 2012 [citado 16 de septiembre de 2019]. Disponible en: [https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico de salud Ambiental compilado.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico%20de%20salud%20Ambiental%20compilado.pdf)
17. Instituto Nacional de Salud. Carga de Enfermedad Ambiental en Colombia [Internet]. Bogotá; 2019 [citado 4 de octubre de 2019]. Disponible en: [https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/Informes/10 Carga de enfermedad ambiental en Colombia.pdf](https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/Informes/10%20Carga%20de%20enfermedad%20ambiental%20en%20Colombia.pdf)
18. Piñeros JG, Grisales H, Nieto ES, Montealegre NA, Villa FA, Agudelo RM, et al. Calidad del aire y sus efectos en la salud de la población de los diez municipios del Valle de Aburrá 2008-2015. 2018.
19. Instituto de Hidrología M y EA. Calidad del Aire [Internet]. [citado 16 de septiembre de 2019]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/contaminacion-y-calidad-ambiental/calidad-del-aire>
20. Aydin S, Cingi C, San T, Ulusoy S, Orhan I. The effects of air pollutants on nasal functions of outdoor runners. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology*. 2014;271(4):713-7.
21. Matt F, Cole-hunter T, Donaire-gonzalez D, Kubesch N. Acute respiratory response to traffic-related air pollution during physical activity performance. *Environ Int* [Internet]. 2016;97:45-55. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2016.10.011>
22. Edginton S, O'Sullivan DE, King W, Lougheed MD. Effect of outdoor particulate air pollution on FEV1 in healthy adults: A systematic review and meta-analysis. *Occup Environ Med*. 2019;583-91.
23. Zebrowska A, Mankowski R. Effects Of Long-Term Exposure to Air Pollution on Respiratory Function and Physical Efficiency of Pre-Adolescent Children. *Eur J Med Res*. 2010;15:224-8.

24. Park HY, Gilbreath S, Barakatt E. Respiratory outcomes of ultrafine particulate matter (UFPM) as a surrogate measure of near-roadway exposures among bicyclists. *Environ Heal A Glob Access Sci Source* [Internet]. 2017;16(1):1-7. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/s12940-017-0212-x>
25. Toro Gómez MV, Molina Vásquez E, Quiceno Rendón DM. Protocolo del Plan Operacional para Enfrentar Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica en el Valle de Aburrá [Internet]. Área Metropolitana del Valle de Aburrá; 2015 [citado 2 de abril de 2018]. Disponible en: http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/isdocConvenio243/Protocolo_Plan_Operacional_dic2015.pdf
26. Ochoa A, Jiménez JF. Ciclo diurno de PM10 en el Valle de Aburrá. *IX Congr Colomb Meteorol.* 2011;(2008):1-7.
27. Descriptores en Ciencias de la Salud/Contaminación del Aire [Internet]. Biblioteca Virtual en Salud. [citado 22 de abril de 2018]. Disponible en: <http://decs.bvs.br/cgi-bin/wxis1660.exe/decssserver/>
28. Jorquera González H. Introducción a la Contaminación Atmosférica. Ediciones Universidad Católica de Chile, editor. Bogotá D.C; 2018.
29. Diaz Veliz R. Contaminación del Aire [Internet]. [citado 22 de abril de 2018]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsci/e/fulltext/cuadref/cuadref.pdf>
30. Organización Mundial de la Salud. Calidad del aire ambiente (exterior) y salud [Internet]. [citado 25 de marzo de 2019]. Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
31. Albert LA. Contaminación Ambiental. Origen, clases, fuentes y efectos [Internet]. 1997 [citado 22 de abril de 2018]. p. 37-52. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-01a4.pdf>
32. Echeverri CA. Contaminación Atmosférica. Ediciones de la U, editor. Bogotá D.C; 2019. 593 p.
33. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 2254 de 2017 [Internet]. Bogotá D.C; 2017 [citado 6 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/96-res-2254-de-2017.pdf>
34. Organización Mundial de la Salud. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre [Internet]. 2005 [citado 2 de septiembre de 2019]. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OE_H_06.02_spa.pdf;jsessionid=615AAAD70E4809F27A96EDF6D944BA6D?sequence=1
35. Duque JF. Sobre los efectos de la Contaminación Atmosférica en la Salud (Basado en el texto Clean the air for children, UNICEF, 2016) [Internet]. [citado 4 de agosto de 2019]. Disponible en: <http://www.eafit.edu.co/minisitios/calidad-aire/Documents/contaminacion-efectos-salud.pdf>
36. Correa M, Zuluaga C, Palacio C, Pérez J, Jiménez J. Acoplamiento de la atmósfera libre con el campo de vientos locales en una región tropical de topografía compleja. Caso de estudio: Valle de Aburrá, Antioquia, Colombia. *Dyna.* 2009;76(158):17-27.

37. Hermelin M. Valle de Aburrá: ¿Quo vadis? Gestión y Ambient [Internet]. 2007;10(2):7-16. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/13787/1/1408-6745-1-PB.pdf>
38. Contraloría General de Medellín. Informe Estado de los Recursos Naturales y del Ambiente del Municipio de Medellín 2015. 2016;382.
39. Pérez Arango JD, Palacio Tobón CA, Jiménez Mejía JF. Aspectos Descriptivos de la Circulación en la Capa Límite Atmosférica del Valle de Aburrá. Rev Politécnica. 2011;(13):31-41.
40. Ernesto Martínez Ataz, Díaz Y de MM. Contaminación Atmosférica. 1 ed. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, editor. Ciencia y Técnica Vol 45. Cuenca: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha; 2004. 288 p.
41. Palacio CA, Jiménez JF. Climatología Urbana y de Montañas. Dyna. 2012;79(175):61-9.
42. Grisales Vargas S. Esquemas de clasificación de la estabilidad atmosférica y sus aplicaciones. 2018.
43. DANE. Estimación y proyección de población nacional, departamental y municipal total por área 1985-2020 [Internet]. [citado 8 de septiembre de 2019]. Disponible en: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/Municipal_area_1985-2020.xls
44. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Problemática mundial [Internet]. [citado 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Generalidades/Problematica-mundial.aspx>
45. IDEAM. Informe del Estado de la Calidad de Aire en Colombia 2016 [Internet]. Bogotá D.C; 2017 [citado 6 de mayo de 2018]. Disponible en: http://www.sisaire.gov.co:8080/faces/docs/7-1-2018-3-2-31-148-1-14._Informe_del_estado_de_la_calidad_del_aire_en_colombia_2016-ilovepdf-compressed.pdf
46. IDEAM. Segundo Boletín sobre Contaminación Atmosférica. Colombia 2016 [Internet]. Bogotá D.C; 2016 [citado 6 de mayo de 2018]. Disponible en: http://www.sisaire.gov.co:8080/faces/docs/7-1-2018-0-22-33-819-1-1Segundo_boletin_contaminacion_atmosferica.pdf
47. ECODES. Calidad del Aire y Salud - Impactos sobre la salud de la contaminación atmosférica [Internet]. [citado 6 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://ecodes.org/salud-calidad-aire/201302176117/Impactos-sobre-la-salud-de-la-contaminacion-atmosferica>
48. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Acuerdo Metropolitano N°04 de 2018-POECA [Internet]. Medellín; 2018 [citado 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Documents/POECA/Acuerdo-Metropolitano-04-de-2018-POECA.pdf>
49. Organización Mundial de la Salud. Actividad física. WHO [Internet]. 2013 [citado 6 de mayo de 2018]; Disponible en: <http://www.who.int/dietphysicalactivity/pa/es/>
50. Red Española de Investigación en Ejercicio Físico y Salud, Rodríguez GV, Benito PJ, Casajús JA. Actividad física, ejercicio y deporte en la lucha contra

- la obesidad infantil y juvenil. *Nutr Hosp* [Internet]. 7 de diciembre de 2016 [citado 7 de mayo de 2018];33(9):1-21. Disponible en: <http://revista.nutricionhospitalaria.net/index.php/nh/article/view/828/430>
51. Chillón Garzón P, Delgado Fernández M, Tercedor Sánchez P, González-Gross M. Actividad Físico-Deportiva en escolares adolescentes. *Germán Vicente-Rodríguez*. 2002;(1):5.12.
 52. Organización Mundial de la Salud. Recomendaciones Mundiales sobre Actividad Física para la Salud [Internet]. 2010 [citado 6 de mayo de 2018]. Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44441/9789243599977_spa.pdf;jsessionid=F9BE88A4FF581043B4E0CFC0ED469982?sequence=1
 53. Cardona D, Martínez E. Efectividad de los programas poblacionales en Estilos de Vida Saludable. *Connota* [Internet]. 2015 [citado 6 de mayo de 2018];1:5-27. Disponible en: [http://www.inder.gov.co/sites/default/files/2017-12/1.efectividad de los programas poblacionales en estilos de vida saludable.pdf](http://www.inder.gov.co/sites/default/files/2017-12/1.efectividad%20de%20los%20programas%20poblacionales%20en%20estilos%20de%20vida%20saludable.pdf)
 54. Lü J, Liang L, Feng Y, Li R, Liu Y. Air pollution exposure and physical activity in China: Current knowledge, public health implications, and future research needs. *Int J Environ Res Public Health*. 2015;12(11):14887-97.
 55. Cutrufello PT, Smoliga JM, Rundell KW. Small things make a big difference: particulate matter and exercise. *Sports Med* [Internet]. 2012;42(12):1041-58. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23098384>
 56. Universidad de Antioquia. Naturaleza jurídica [Internet]. [citado 1 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/institucional/quienes-somos/contenido/asmenulateral/naturaleza-juridica/>
 57. Universidad de Antioquia. Sedes y seccionales/Medellín [Internet]. [citado 1 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/institucional/sedes-seccionales/contenido/asmenulateral/medellin!/ut/p/z1/vVTLUsIwFP0VXbDs5NG0tMtSqogUioC22TixTSVomyIN-Ph6g47O1BcyitkkN3PuubnnZg6glAZUsrW4ZkpUkhU6Tqh96bg-Rh6Bg2O314We7UdjiE7MslfBRRMw6h05GkA>
 58. Universidad de Antioquia/Sedes [Internet]. Wikipedia. [citado 22 de abril de 2018]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Universidad_de_Antioquia#Campus
 59. Universidad de Antioquia. Bienestar Deportivo [Internet]. [citado 1 de mayo de 2018]. Disponible en: http://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/bienestar/bienestar/contenido/asmenulateral/bienestar-deportivo!/ut/p/z1/vVRdc6lwFP0t--AjJnwluG-IVG1F6hYq8rIDcvnYhYRilLq_fsN0pOrLrvTusxkSDLnnptzkjkoQD4KSLjP05DIIIQFX68D9bs-NCXRUPDcGTsDbKhja-qKsmwtZbQ6BuA7
 60. Garcia Perez JG. Respuesta Solicitud. Medellín; 2018.
 61. Universidad de Antioquia. Matriculados [Internet]. [citado 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/institucional/data-udea/formacion/matriculados>
 62. Universidad de Antioquia. Bienestar [Internet]. [citado 1 de mayo de 2018].

63. Disponible en: <http://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/bienestar>
 Universidad de Antioquia. Gestión y resultados sociales [Internet]. [citado 6 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/institucional/resultados-gestion/gestion-resultados-sociales>
64. Corte Constitucional, Consejo Superior de la Judicatura. Constitución Política de Colombia [Internet]. 2016 [citado 6 de mayo de 2018]. Disponible en: [http://www.corteconstitucional.gov.co/inicio/Constitucion politica de Colombia.pdf](http://www.corteconstitucional.gov.co/inicio/Constitucion_politica_de_Colombia.pdf)
65. Congreso de la República de Colombia. Ley 23 de 1973 [Internet]. Bogotá D.C; 1973 [citado 6 de mayo de 2018]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/leyes/2a-ley_0023_1973.pdf
66. Congreso de la República de Colombia. Decreto-Ley 2811 de 1974 Nivel Nacional [Internet]. 1974 [citado 6 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1551>
67. Congreso de la República de Colombia. Ley 9 de 1979 Nivel Nacional [Internet]. 1979 [citado 6 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1177>
68. Documento Conpes 3344 [Internet]. Bogotá D.C; 2005 [citado 6 de mayo de 2018]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/conpes/2005/Conpes_3344_2005.pdf
69. Ministerio de Ambiente. Política de Prevención y control de la contaminación del aire [Internet]. Bogotá D.C; 2010 [citado 6 de mayo de 2018]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Politicas_de_la_Dirección/Política_de_Prevención_y_Control_de_la_Contaminación_del_Aire.pdf
70. Ministerio de Medio Ambiente. Normativa Contaminación Atmosférica [Internet]. 1995 [citado 6 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/gestion-del-aire/contaminacion-atmosferica#1-1-normativa>
71. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Acuerdo Metropolitano N° 8 de 2011 [Internet]. Medellín; 2011 [citado 6 de mayo de 2018]. p. 3. Disponible en: https://www.medellin.gov.co/normograma/docs/pdf/a_amva_0008_2011.pdf
72. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Resolución Metropolitana 2381 de 2015 [Internet]. Medellín; 2015 [citado 6 de mayo de 2018]. p. 12. Disponible en: https://www.medellin.gov.co/normograma/docs/pdf/r_amva_2381_2015.pdf
73. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Pacto para el mejoramiento de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá [Internet]. Medellín; [citado 6 de mayo de 2018]. p. 33. Disponible en: <http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/SiteAssets/Paginas/Pacto-por-la-Calidad-de/DOCUMENTO PACTO CON FIRMAS.pdf>
74. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Pacto por la Calidad del Aire [Internet]. [citado 6 de mayo de 2018]. Disponible en:

- http://www.metropol.gov.co/CalidadAire/Paginas/wz_pacto_aire.aspx
75. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Acuerdo Metropolitano N° 16 de 2017 [Internet]. Medellín; 2017 [citado 6 de mayo de 2018]. p. 85. Disponible en: https://www.medellin.gov.co/normograma/docs/pdf/a_amva_0016_2017.pdf
 76. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Acuerdo Metropolitano N° 4 de 2018 [Internet]. Medellín; 2018 [citado 6 de mayo de 2018]. p. 20. Disponible en: [http://www.metropol.gov.co:9000/institucional/Acuerdos Metropolitanos/2018/Acuerdo No 04 de 2018.pdf](http://www.metropol.gov.co:9000/institucional/AcuerdosMetropolitanos/2018/AcuerdoNo04de2018.pdf)
 77. Universidad de Antioquia. SOS por el aire [Internet]. 2016 [citado 6 de mayo de 2018]. Disponible en: http://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/campanas/sos-aire/contenido/asmenuateral/presentacion!/ut/p/z1/vVRdb5swFP0r2QOPxMZ8hO6NELool2nahQz8UhwHxPY1DjtF8_Z5UqJW2TTF1mCYHhnHPHnssBGMQAM7KtSyJrzkij9gl2Hhf3dmAgH4YuukHQWwXW2PThl2lgge9HgAfHhJ4zCW_Xq
 78. Agredo P. La UdeA también adoptó medidas ante la alerta roja por la calidad del aire. Minuto 30 [Internet]. 24 de marzo de 2017; Disponible en: http://www.udea.edu.co/wps/portal/udea/web/inicio/udea-noticias/udea-noticia!/ut/p/z0/fY2xDslwDER_pUtHK6GUAGPFglQYGBBqsyCriSAljdsmlD6fBAAbEwmL5zvd8TLKaSYcPc8FgyKGNupHivFpvillV8j0XpeCVOJSLZbGdH0-c7Zj8H4gfTDeOsmKyJRf0M7B6oCmgvSuNOUf_q67U68-eZuYomNagz_mdbkZRS
 79. Congreso de Colombia. Ley 30 de 1992 [Internet]. Bogotá D.C; 1992 [citado 7 de mayo de 2018]. Disponible en: https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-86437_Archivo_pdf.pdf
 80. Congreso de Colombia. Ley 181 de 1995 [Internet]. 1995 [citado 7 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=3424>
 81. Congreso de Colombia. Decreto 2771 de 2008 [Internet]. Espacio Virtual de Asesoría de la Función Pública. 2008 [citado 7 de mayo de 2018]. Disponible en: <http://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=31692>
 82. Consejo Superior Universitario. Acuerdo Superior 173 [Internet]. 2000 [citado 7 de mayo de 2018]. Disponible en: [http://comunicaciones.udea.edu.co/autoevaluacioncomunicaciones/images/Sitio_informe/Anexos/Acuerdos Superiores/Acuerdo Superior 173 de 2000.pdf](http://comunicaciones.udea.edu.co/autoevaluacioncomunicaciones/images/Sitio_informe/Anexos/AcuerdosSuperiores/AcuerdoSuperior173de2000.pdf)
 83. Universidad de Jaén. Estudios Cuasiexperimentales [Internet]. [citado 7 de mayo de 2018]. Disponible en: http://www.ujaen.es/investiga/tics_tfg/estu_cuasi.html
 84. Vélazquez MP, Roldán N, Jaramillo S. Informe Anual de Calidad del Aire 2018. Contrato CCT 504 de 2019. 2019.
 85. SIATA. Equipo calidad del aire [Internet]. [citado 31 de marzo de 2019]. Disponible en: https://siata.gov.co/sitio_web/index.php/calidad_aire
 86. Puigcerver Zanón M, Carrascal Triola MD. El Medio atmosférico. Meteorología y contaminación. 1.ª ed. Edicions Universitat Barcelona, editor. Barcelona; 2008. 135-136 p.
 87. Vallero D. Fundamentals of Air Pollution. 4th Editio. Elsevier Inc, editor. 2007.

- 968 p.
88. Mohan M, Siddiqui TA. Analysis of various schemes for the estimation of atmospheric stability classification. *Atmos Environ* [Internet]. 1 de noviembre de 1998 [citado 25 de marzo de 2019];32(21):3775-81. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231098001095>
 89. Vitalograph -Espirómetro para PC Pneumotrak [Internet]. [citado 7 de mayo de 2018]. Disponible en: https://vitalograph.de/products/vitalograph_pneumotrak_maintenance_support.php
 90. Vitalograph. Manual de formación del usuario. Estados Unidos; 2015. p. 1-110.
 91. Vitalograph. Jeringas de precisión [Internet]. [citado 30 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://vitalograph.com/product/162447/precision-syringes>
 92. Garcia-Rio F, Calle M, Burgos F, Casan P, del Campo F, Galdiz JB, et al. Espirometría. *Arch Bronconeumol*. 2013;49(9):388-401.
 93. Centers for Disease Control and Prevention. Guía de NIOSH sobre entrenamiento en espirometría [Internet]. 2007 [citado 25 de marzo de 2019]. Disponible en: https://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/2004-154c_sp/pdfs/2004-154c.pdf
 94. Gutiérrez Clavería M, Beroíza W. T, Borzone T. G, Caviedes S. I, Céspedes G. J, Gutiérrez N. M, et al. Espirometría: Manual de procedimientos. Sociedad Chilena de Enfermedades Respiratorias, 2006. *Rev Chil Enfermedades Respir*. 2007;23(1):31-42.
 95. Ministerio de Salud y Protección Social, Organización Panamericana de la Salud. Uso e Interpretación de la Espirometría [Internet]. Bogotá D.C; 2016 [citado 6 de mayo de 2018]. p. 21. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/ENT/anexo-educativo-uso-espirometría.pdf>
 96. Aliaga Sánchez M del C. Espirometría: pruebas funcionales respiratorias. *Man Práctico Enfermería Comunitaria* [Internet]. 1 de enero de 2014 [citado 9 de septiembre de 2019];260-8. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978849022433500042X>
 97. Bercedo Sanz A, Juliá Benito JC, Úbeda Sansano MI, Praena Crespo M. Espirometría [Internet]. Madrid; 2015 [citado 11 de mayo de 2018]. p. 12. Disponible en: <https://www.aepap.org/sites/default/files/cursoaepap2015p371-382.pdf>
 98. García GC, Secchi JD. Test course navette de 20 metros con etapas de un minuto. Una idea original que perdura hace 30 años. *Apunt Med l'Esport*. 2014;49(183):93-103.
 99. Mirella R. Las nuevas metodologías del entrenamiento de la fuerza, la resistencia, la velocidad y la flexibilidad. Paidotribo E, editor. Barcelona; 2006. 240-242 p.
 100. Andrada C. *Todo Running*. Penguin Random House Grupo Editorial Argentina, editor. Argentina; 2018. Sección 5.
 101. Emilio J. Martínez López. Pruebas de Aptitud Física. Paidotribo E, editor. 2002. 94-95 p.
 102. Léger LA, Mercier D, Gadoury C. Test de Ida y Vuelta de 20 Metros para

- Valorar en Varias Etapas la Aptitud Física Aeróbica. Rev Educ Física [Internet]. 2013 [citado 20 de agosto de 2018];29(2). Disponible en: <https://gse.com/test-de-ida-y-vuelta-de-20-metros-para-valorar-en-varias-etapas-la-aptitud-fisica-aerobica-1584-sa-357cfb27231c97>
103. Mentz G, Robins TG, Batterman S, Naidoo RN. Effect modifiers of lung function and daily air pollutant variability in a panel of schoolchildren. Thorax [Internet]. 18 de septiembre de 2019 [citado 13 de septiembre de 2019];thoraxjnl-2017-211458. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31534032>
 104. Tasmin S, Ng CFS, Stickley A, Md N, Saroar G, Yasumoto S, et al. Effects of Short-term Exposure to Ambient Particulate Matter on the Lung Function of School Children in Dhaka, Bangladesh. Epidemiology [Internet]. julio de 2019 [citado 13 de septiembre de 2019];30:S15-23. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31181002>
 105. Hashemzadeh B, Idani E, Goudarzi G, Ankali KA, Sakhvidi MJZ, Akbar Babaei A, et al. Effects of PM2.5 and NO2 on the 8-isoprostane and lung function indices of FVC and FEV1 in students of Ahvaz city, Iran. Saudi J Biol Sci [Internet]. marzo de 2019 [citado 13 de septiembre de 2019];26(3):473-80. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30899161>
 106. Liu WY, Zhang L, Xu H, Xu SS, Lyu Y, Zhang WH, et al. Short-term effects of air pollution on lung function of school-age children in Hangzhou. Zhonghua Yu Fang Yi Xue Za Zhi [Internet]. 6 de junio de 2019 [citado 13 de septiembre de 2019];53(6):614-8. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31177760>
 107. Cole-Hunter T, Jayaratne R, Stewart I, Hadaway M, Morawska L, Solomon C. Utility of an alternative bicycle commute route of lower proximity to motorised traffic in decreasing exposure to ultra-fine particles, respiratory symptoms and airway inflammation - A structured exposure experiment. Environ Heal A Glob Access Sci Source. 2013;12(1).
 108. Schultz ES, Litonjua AA, Melén E. Effects of Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution on Lung Function in Children. Curr Allergy Asthma Rep [Internet]. junio de 2017 [citado 13 de septiembre de 2019];17(6):41. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28551888>
 109. Boussetta N, Abedelmalek S, Aloui K, Souissi N. The effect of air pollution on diurnal variation of performance in anaerobic tests, cardiovascular and hematological parameters, and blood gases on soccer players following the Yo-Yo Intermittent Recovery Test Level-1. Chronobiol Int [Internet]. 2017;34(7):903-20. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/07420528.2017.1325896>
 110. Kargarfard M, Shariat A, Shaw BS, Shaw I, Lam ETC, Kheiri A, et al. Effects of Polluted Air on Cardiovascular and Hematological Parameters After Progressive Maximal Aerobic Exercise. Lung. 2015;193(2):275-81.
 111. Cortes SL. Material particulado en el aire y su correlación con la función pulmonar en personas que realizan actividad física en la cicloruta en la localidad Kennedy en Bogotá: Estudio descriptivo transversal [Internet]. Universidad Nacional de Colombia; 2018 [citado 4 de agosto de 2019]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/70218/1/Tesis Final - sergio cortes ->

- repositorio UN.pdf
112. Santa Cruz A. Difusión de Contaminantes Gaseosos en la Atmósfera [Internet]. 2000 [citado 25 de marzo de 2019]. Disponible en: [https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_anio/orientadora2/apuntes_catedra/Contaminacin Atmsfera.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/5_anio/orientadora2/apuntes_catedra/Contaminacin%20Atmosfera.pdf)
 113. Moragues JA. Clasificación de estabilidad Capas de Mezcla [Internet]. [citado 25 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.egrupos.net/cgi-bin/eGruposDMime.cgi?K9U7J9W7U7xumopxCVPPRlydnuqzmyCUVWVCvt hCnoqdy-qlhhyCVWkfb7>
 114. Blog del Centro Europeo de Postgrado. La dispersión de los contaminantes [Internet]. [citado 19 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.ceupe.com/blog/la-dispersion-de-los-contaminantes.html>
 115. López J, Fernández A. Fisiología del Ejercicio. 3 edición. Médica Panamericana, editor. Buenos Aires; 2006. 987 p.
 116. Rice MB, Li W, Wilker EH, Gold DR, Schwartz J, Zanobetti A, et al. Association of outdoor temperature with lung function in a temperate climate. *Eur Respir J* [Internet]. 1 de enero de 2019 [citado 13 de septiembre de 2019];53(1):1800612. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30578386>
 117. Larry W, Wilmore JH, Costill DL. Fisiología del Deporte y el Ejercicio. 5th editio. Médica Panamericana; Human Kinetics, editor. Buenos Aires; 2014. 621 p.
 118. Ramírez A, Sarmiento OL, Duperly J, Wong TW, Rojas N, Arango CM, et al. Should they play outside? Cardiorespiratory fitness and air pollution among schoolchildren in Bogotá. *Rev salud pública*. 2012;14(4):570-83.
 119. Manterola C, Otzen T. Estudios Experimentales 2 Parte: Estudios Cuasi-Experimentales. *Int J Morphol* [Internet]. marzo de 2015 [citado 7 de mayo de 2018];33(1):382-7. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-95022015000100060&lng=en&nrm=iso&tlng=en
 120. An R, Zhang S, Ji M, Guan C. Impact of ambient air pollution on physical activity among adults: a systematic review and meta-analysis. *Perspect Public Health*. 2018;138(2):111-21.

Anexos

Anexo 1. Cuestionario de inicio

 UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA <small>Facultad Nacional de Salud Pública Héctor Abad Gómez</small>		CUESTIONARIO DE INICIO			
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN					
“Comportamiento de la función pulmonar asociada al ejercicio físico en condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica de un grupo de deportistas de la Universidad de Antioquia, Medellín 2018”					
Estimado/a deportista.					
Agradecemos su interés en este estudio, recuerde que su participación es absolutamente voluntaria y toda la información que usted nos proporcione será de carácter estrictamente confidencial y utilizada únicamente por el equipo de investigación del estudio para fines académicos.					
El objetivo de este cuestionario es determinar si usted cumple los criterios de inclusión del estudio y en ese sentido, contar con su participación durante el mismo.					
Si tiene alguna pregunta, comentario o preocupación con respecto al cuestionario, por favor comuníquelo a la investigadora principal					
Fecha: DD MM AAAA					
I. DATOS GENERALES					
PARTICIPANTE #					
1. Nombre/s y Apellido/s del/la Deportista					
2. Número de Identificación					
3. Edad					
4. Sexo		F <input type="checkbox"/>		M <input type="checkbox"/>	
5. Etnia	Afrodescendiente <input type="checkbox"/>	Indígena <input type="checkbox"/>	Palenquero <input type="checkbox"/>	ROM <input type="checkbox"/>	Raizal <input type="checkbox"/>
6. Disciplina deportiva que práctica					
7. Intensidad horaria semanal destinada a la práctica deportiva					
8. Programa Académico al que pertenece					
9. Correo electrónico					
10. Número de Celular					
11. Tiempo (años, meses, días) como deportista de representación en la UdeA					
II. CRITERIOS DE INCLUSIÓN					
Estimado/a deportista señale con una “x” únicamente la casilla que considere correcta					
Calificación		1 = Si	2 = No	3=No sabe	4=No responde
12. ¿Fuma cigarrillos/tabaco diariamente?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. ¿Ha tenido cirugías o intervenciones quirúrgicas en los últimos 3 meses?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13.1. Si su respuesta anterior fue “Si” Diga qué tipo de cirugía(s) o intervención(es) quirúrgica(s) tuvo					
14. ¿Le han diagnosticado alguna enfermedad(es) en los últimos 3 meses?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14.1 Si su respuesta anterior fue “Si” Diga qué enfermedad(es)					
15. Si es mujer, ¿Está en embarazo o tiene sospechas de estarlo?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<i>Espacio diligenciado por la investigadora</i>					
Calificación		1 = Si		2 = No	
16. Incluido		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
III. AUTORIZACIONES					
Estimado/a deportista si usted fue incluido en el estudio, señale con una “x” únicamente la casilla que considere correcta					
Calificación		1 = Si		2 = No	
17. ¿Autoriza el uso de sus datos de contacto (correo electrónico y número celular) para recibir información relacionada con la investigación?		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
18. ¿Autoriza el registro fotográfico durante su participación en la investigación?		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
¡Bienvenido/a y gracias por su participación!					

Anexo 2 Cuestionario Pre/Post ejercicio

 UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA Facultad Nacional de Salud Pública Héctor Abad Gómez	CUESTIONARIO PRE/POST EJERCICIO Registro y Seguimiento			
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “Comportamiento de la función pulmonar asociada al ejercicio físico en condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica de un grupo de deportistas de la Universidad de Antioquia, Medellín 2018”				
Fecha de la Prueba: DD MM AAAA	Hora de Llegada:	Lugar: <i>Salón de Reuniones-Coliseo UdeA</i>		
1. INFORMACIÓN DEL DEPORTISTA				
Nombre/s y Apellido/s Completos:				
Número de Identificación:	Fecha de Nacimiento:			
Edad (años):	Sexo: F <input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/>			
Altura (cm):	Peso (kg):	IMC:		
Etnia	Afrodescendiente <input type="checkbox"/>	Indígena <input type="checkbox"/> Palenquero <input type="checkbox"/> ROM <input type="checkbox"/> Raizal <input type="checkbox"/> Ninguna <input type="checkbox"/>		
Disciplina Deportiva:				
Escenario Atmosférico				
A) 7:00 a.m.-10:00 a.m. <input type="checkbox"/>		C) 6:00 p.m.-9:00 p.m. <input type="checkbox"/>		
B) 12:00 m-3:00 p.m. <input type="checkbox"/>				
2. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN				
Estimado/a deportista responda marcando con una "x" la casilla que considere correcta:				
Durante las últimas 24 horas usted consumió				
Calificación	1 =Si	2 = No		
Bebidas alcohólicas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Medicamentos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Si su respuesta anterior fue "SI" Escriba el nombre del medicamento				
Vitaminas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Si su respuesta anterior fue "SI" Escriba el nombre de la(s) vitamina(s)				
Cigarrillos/Tabaco	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Sustancias psicoactivas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Espacio diligenciado por la investigadora				
Calificación	1 =Si	2 = No		
¿El participante puede realizar las pruebas?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
3. ESPIROMETRÍAS*				
RESULTADOS RESPIRATORIOS				
Espacio diligenciado por el médico				
Frecuencia Respiratoria:	Pulso:	Presión Arterial:		
Parámetro	Predicho	% Predicho	PRE Ejercicio	POST Ejercicio
CVF (L)				
VEF ₁ (L)				
VEF ₁ / CVF				
FEP (L/Min)				
FEF ₂₅₋₇₅ (L/s)				
Interpretación				
Calificación	1 =Si		2 = No	
¿El deportista finalizó las espirometrías? PRE	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
¿El deportista finalizó las espirometrías? POST	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Nombre de quién realizó las espirometrías:				
Observaciones:				

4. PRUEBA FÍSICA
NOTIFICACIÓN DE SÍNTOMAS**

Estimado deportista responda marcando con una "x" la casilla que considere correcta:

**I. Antes de realizar la prueba física
Durante la última hora usted:**

Calificación	1 =Si	2 = No
¿Experimentó irritación de los ojos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Experimentó irritación de la nariz?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Experimentó irritación de la garganta?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Experimentó tos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Experimentó producción de flema?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Experimentó opresión/dolor en el pecho?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Experimentó sibilancias (ruidos) en el pecho?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Tuviste dolor de cabeza?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Notaste nubes de partículas, polvo u hollín?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**II. Después de realizar la prueba física
Después de que realizó el test de Léger (Idea y Vuelta en 20metros) usted:**

Calificación	1 =Si	2 = No
¿Experimentó irritación de los ojos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Experimentó irritación de la nariz?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Experimentó irritación de la garganta?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Experimentó tos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Experimentó producción de flema?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Experimentó opresión/dolor en el pecho?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Experimentó sibilancias (ruidos) en el pecho?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Tuviste dolor de cabeza?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
¿Notaste nubes de partículas, polvo u hollín?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Calificación	1 =Si	2 = No
¿El deportista finalizó el test de Léger?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nombre de quién coordinó el test:

Observaciones:

¡Gracias por su participación!

Anexo 3. Planilla del test de Léger

 <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA Facultad Nacional de Salud Pública Héctor Abad Gómez</p>	<p>PROYECTO DE INVESTIGACIÓN <i>“Comportamiento de la función pulmonar asociada al ejercicio físico en condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica de un grupo de deportistas de la Universidad de Antioquia, Medellín 2018”</i></p>
---	---

Fecha: _____ Hora: _____
 Nombre del/a deportista: _____
 Número de identificación: _____

Escenario atmosférico		
7:00-10:00 a.m. <input type="checkbox"/>	12:00-3:00 p.m. <input type="checkbox"/>	6:00-9:00 p.m. <input type="checkbox"/>

Planilla de Medición¹
Test de Léger (ida y vuelta 20 metros)

Etapa	Velocidad (km h ⁻¹)	VO ₂ máx Para mayores de 18 años (ml/kg ⁻¹ /min ⁻¹)	Etapa alcanzada
1	8,5	23,6	<input type="checkbox"/>
2	9	26,6	<input type="checkbox"/>
3	9,5	29,6	<input type="checkbox"/>
4	10	32,6	<input type="checkbox"/>
5	10,5	35,6	<input type="checkbox"/>
6	11	38,6	<input type="checkbox"/>
7	11,5	41,6	<input type="checkbox"/>
8	12	44,6	<input type="checkbox"/>
9	12,5	47,6	<input type="checkbox"/>
10	13	50,6	<input type="checkbox"/>
11	13,5	53,6	<input type="checkbox"/>
12	14	56,6	<input type="checkbox"/>
13	14,5	59,6	<input type="checkbox"/>
14	15	62,6	<input type="checkbox"/>
15	15,5	65,6	<input type="checkbox"/>
16	16	68,6	<input type="checkbox"/>
17	16,5	71,6	<input type="checkbox"/>
18	17	74,6	<input type="checkbox"/>
19	17,5	77,6	<input type="checkbox"/>
20	18	80,6	<input type="checkbox"/>

(1) Adaptado de Léger LA, Mercier D, Gadoury C. Test de Ida y Vuelta de 20 Metros para Valorar en Varias Etapas la Aptitud Física Aeróbica. Rev Educ Física [Internet]. 2013; 29(2).

Nombre de quien coordinó la Prueba:

Anexo 4. Especificaciones técnicas del Vitalograph® Pneumotrac modelo 6800

Especificaciones técnicas del Vitalograph Pneumotrac	
Producto	Vitalograph Pneumotrac
Número de modelo	6800
Sistema operativo de PC	En red o independiente Windows 7, 8, 8.1, 10
Tamaño	103 mm x 185 mm
Peso	0,45 kg
Parámetros	Seleccionable
Rango de temperatura de funcionamiento	17 - 37 ° C Límites de diseño 10-40 ° C
Fuente de alimentación	Desde puerto USB
Principio de detección de flujo	Neumotacografo tipo fleisch
Detección de volumen	Muestreo de integración de flujo @ 100Hz
Precisión en el rango de operación	Volúmenes: Mejor que +/- 3% (Max 8L / Min 0L) Flujos: Mejor que +/- 5% (Max 16L / s / Min 0.02L / s) Linealidad: +/- 1% en el rango 0.1 L / s a 16 L / s
Duración máxima de la prueba	45 segundos
Estándares de desempeño	ATS / ERS 2005 ISO 26782: 2009 EN ISO 23747: 2009
Estándares de seguridad	IEC 60601-1: 2005
Norma de seguridad medica	Directiva de Dispositivos Médicos 93/42 / EEC
Diseñado y fabricado bajo	ISO 13485: 2003 y 2016 FDA 21 CFR 820 CMDR

Anexo 5. Características del Spirotrac versión 5 de Vitalograph®

Características del Software Spirotrac de Vitalograph®	
Interfaz fácil de usar.	24 Formas de onda ATS.
Tendencia automática de VEF ₁ en las pruebas de Espirometría.	Interfaces de usuario mejoradas.
Pruebas de CVF con una o con respiraciones múltiples con reconocimiento automático.	Funcionalidad de las pruebas mejorada.
Mejoras en la información sobre la calidad de las pruebas, incluidos los grados de las sesiones de pruebas, la repetibilidad de las pruebas y la aceptabilidad de las pruebas.	Opciones mejoradas de configuración de los informes.
Función de revisión de la exactitud de cumplimiento obligatorio.	Posibilidad de vincular documentos externos a la información de los sujetos en forma de archivos adjuntos.
Inicio de sesión de usuario individual con contraseña o escaneo de la huella digital.	Funcionalidad de copia de seguridad y restauración agregada a la herramienta de administración de bases de datos.
Datos demográficos de los sujetos configurables.	Implementación de lineamientos de la ATS/ERS 2005 sobre Control de Calidad de las Pruebas.
Nuevos diseños de los informes de espirometría.	Lista completa de parámetros habilitable.
Función de vista previa de impresión.	Pruebas de Oximetría de Pulso (SpO ₂).
Posibilidad de cambiar la aceptabilidad de las pruebas.	Variantes de idioma: alemán, francés, español, holandés, portugués, sueco, italiano.
Posibilidad de agregar comentarios a cualquier sesión de pruebas.	Aceptación manual y automática de pruebas.
Función de detección automática del puerto de comunicaciones para el dispositivo Vitalograph Pneumotrac conectado.	Medición del monitor de presión arterial.
Almacenamiento de datos en Microsoft SQL Server 2008 R2 Express Edition.	Medición de la balanza.
Posibilidad de Ver/Imprimir sesiones anteriores de sesiones de revisión/actualización de calibración.	Opción para mostrar la Mejor Prueba/Mejores 3 Pruebas/Mejores 8 Pruebas en un informe de una página.
Posibilidad de imprimir registros de auditoría y exactitud.	Opción para realizar migración de una base de datos.
Almacenamiento automático de todos los datos de las pruebas.	Opción para definir una mejor sesión de referencia de prueba para la comparación durante la prueba
Informes de espirometría configurables.	Opción para habilitar las copias de seguridad de base de datos automatizadas
Revisión de la exactitud del dispositivo Pneumotrac de Vitalograph.	Adición de un mensaje de advertencia de temperatura para los informes cuando se realice la prueba fuera de la temperatura de funcionamiento recomendada

Anexo 6. Información y recomendaciones para la espirometría

INFORMACIÓN Y RECOMENDACIONES ESPIROMETRÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

“Comportamiento de la función pulmonar asociada al ejercicio físico en condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica de un grupo de deportistas de la Universidad de Antioquia, Medellín 2018”

1. ¿EN QUÉ CONSISTE LA ESPIROMETRÍA?

Antes de realizar la prueba espirométrica, un médico o enfermera lo pesará y medirá para obtener los valores de referencia que se necesitan, además le tomará su frecuencia respiratoria y pulso. Estas medidas son sencillas, rápidas y no causan dolor.

La espirometría, es una prueba breve que no causa dolor y en la cual se utiliza un dispositivo llamado **espirómetro**. El espirómetro mide cuánto aire puede inhalar en los pulmones y cuánto puede exhalar rápidamente. En esta prueba, el médico le indicará que inhale profundo y luego que exhale todo el aire lo más rápido que pueda. Soplará dentro de una boquilla conectada al espirómetro, esta boquilla es nueva y se desecha cada vez que se realiza una prueba. Parte del procedimiento de esta prueba consiste en obtener el “mejor” resultado, por lo que la prueba puede repetirse tres veces y usted podrá descansar entre ellas.

Esta prueba es importante porque proporciona una valiosa información sobre su función pulmonar y usted podrá conocerla.

Esquema de una espirometría



Considere lo siguiente:

- ✓ Pregunte al médico si no entiende las instrucciones para realizar la prueba.
- ✓ Si tiene un resfrío o gripe u otros síntomas o signos respiratorios, infórmelo al médico o a la investigadora principal, si es posible antes del día de la prueba, tal vez sea necesario reprogramarla.
- ✓ Si tiene dificultades con los espacios cerrados (claustrofobia) infórmelo al equipo investigativo o al médico.
- ✓ En el caso de que no se sienta o se encuentre bien, comuníquelo de inmediato al médico o a la investigadora principal antes de realizar la espirometría.
- ✓ Pregunte si hay algún medicamento que debería dejar de tomar antes de realizar la prueba y, de haberlo, durante cuánto tiempo.
- ✓ Una vez le informen que ha finalizado la prueba, puede regresar a sus actividades habituales.
- ✓ Durante cada uno de los días de estudio usted recibirá un refrigerio y el último día de estudio, usted recibirá el informe de resultados de las espirometrías realizadas.
- ✓ Como el cuerpo y los pulmones de todos difieren en tamaño, los resultados normales son diferentes para cada persona.

2. ¿CÓMO DEBE PREPARARSE PARA LA ESPIROMETRÍA?

- ✓ Acudir con ropa cómoda, no muy ajustada, para evitar que impida la movilidad.
- ✓ No es necesario estar en ayunas, pero es aconsejable evitar el exceso de comida y bebidas gaseosas o con cafeína en las 2 horas previas.

- ✓ Se recomienda evitar el tabaco y alcohol en las horas previas (24 horas) a la espirometría.
- ✓ Se recomienda no consumir vitaminas, ni medicamentos en las horas previas (24 horas) a la espirometría, si los consume porque sigue algún tratamiento médico, infórmelo a la investigadora principal o al médico que realizará la espirometría.

3. DATOS DE INTERES

- ✓ **Investigadora Principal:**
Nombre: Marley Yurani Acevedo Ortiz
Correo Electrónico: marley.acevedo@udea.edu.co o yura292@hotmail.com
- ✓ **Médico**
Nombre: Juan Gabriel Piñeros Jiménez
Correo Electrónico: juan.pineros@udea.edu.co

4. HORARIO

En la siguiente tabla se especifican los días y las horas en que usted realizará las espirometrías.

Días (Jueves)	Escenario atmosférico		
	a) 7:00 a.m.-10:00 a.m.	b)12:00 m-3:00 p.m.	c) 6:00 p.m.-9:00 p.m.
8 de noviembre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15 de noviembre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22 de noviembre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29 de noviembre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

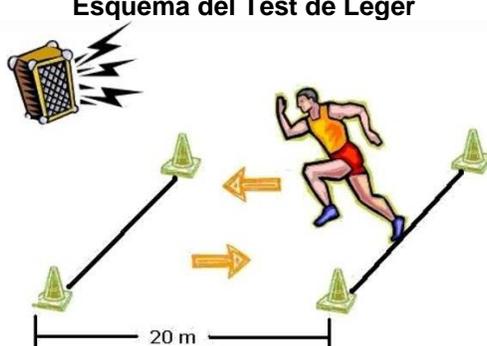
Presentarse en la medida de lo posible 30 minutos antes de la hora indicada.

5. LUGAR

- ✓ Las espirometrías se llevarán a cabo en el Salón de Reuniones del tercer piso del Coliseo-Universidad de Antioquia.

¡Gracias por tu participación!

Anexo 7. Información y recomendaciones para el test de Léger

 <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA Facultad Nacional de Salud Pública Héctor Abad Gómez</p>	INFORMACIÓN Y RECOMENDACIONES PRUEBA FÍSICA TEST DE LÉGER
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN <i>“Comportamiento de la función pulmonar asociada al ejercicio físico en condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica de un grupo de deportistas de la Universidad de Antioquia, Medellín 2018”</i>	
1. ¿EN QUÉ CONSISTE LA PRUEBA FÍSICA?	
<p>La prueba física que considera este estudio es el test de Course-Navette o prueba de Léger que tiene el objetivo de medir su consumo máximo de oxígeno, usted deberá hacer un calentamiento antes de realizar el test, una vez termine este calentamiento, descansará por 2 minutos y procederá a realizar el test que consiste en correr el mayor tiempo posible entre 2 líneas separadas por 20 metros en doble sentido, ida y vuelta, allí habrá un reproductor de sonido que emite las señales sonoras que escuchará durante la prueba. Usted deberá colocarse detrás de una línea demarcada por dos conos, de pie y en sentido del movimiento hacia otra línea separada a 20 metros que también estará demarcada por dos conos y deberá escuchar atentamente el protocolo de la prueba, de forma que:</p> <ul style="list-style-type: none">- A la primera señal sonora, usted debe desplazarse (correr) a la mayor velocidad posible, hacia la línea situada a 20 metros, sobrepasándola.- Una vez allí, esperará, en posición de salida alta, hasta escuchar la próxima señal sonora.- Repetirá este ciclo tantas veces como pueda, intentando seguir el ritmo entre señales, la idea es que pueda llegar a cada línea antes o justo en el momento en que escuche la señal.- La prueba concluirá cuando usted se detenga por la fatiga, es decir, cuando ya no pueda seguir el ritmo de las señales sonoras o cuando por dos veces consecutivas llegue a pisar la línea demarcada por los conos después de la señal sonora. <p>La prueba se inicia a un ritmo de 8,5km/h, por lo cual es sencillo al principio llegar de una a otra línea, pero usted no debe ir a buscar la siguiente línea hasta tanto no vuelva a escuchar la señal sonora, su velocidad irá incrementando a 0,5km/h por minuto.</p> <p>Cada prueba física no durará más de 25 minutos y se le garantizará una bebida hidratante (POWERADE®) durante la misma, además tendrá a su disposición al coordinador de la prueba y a un médico que estará listo para atender cualquier eventualidad que requiera.</p>	
<p>Esquema del Test de Léger</p>  <p>El diagrama ilustra el test de Léger. A la izquierda, un reproductor de sonido emite ondas sonoras. Dos líneas de conos están separadas por 20 metros. Un corredor está en la línea inferior, corriendo hacia la línea superior. Flechas amarillas indican el movimiento de ida y vuelta entre las líneas.</p>	
<p>Considere lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none">✓ Antes de iniciar la prueba usted debe diligenciar el cuestionario pre/post ejercicio y después de finalizarla también.✓ Pregunte al coordinador de la prueba si no entiende las instrucciones para realizarla.	

- ✓ Si siente agotamiento físico o considera que no está en condiciones de realizar la prueba, infórmelo al coordinador de la prueba o a la investigadora principal.
- ✓ Es necesario que usted tenga la póliza de deportista de la Universidad de Antioquia.

2. ¿CÓMO DEBE PREPARARSE PARA LA PRUEBA FÍSICA?

- ✓ Acudir con ropa y calzado cómodo, preferiblemente deportivo, no muy ajustado, para evitar que impida la movilidad.
- ✓ Es aconsejable que este bien alimentado e hidratado, pero evitando el exceso de comida y bebidas gaseosas o con cafeína 1 hora antes de la prueba.
- ✓ Se recomienda evitar el tabaco y alcohol en las horas previas (24 horas) a la prueba.
- ✓ Se recomienda no consumir vitaminas, ni medicamentos en las horas previas (24 horas) a la prueba, si lo/s consume porque sigue algún tratamiento médico, infórmelo de inmediato a la investigadora principal o al coordinador de la prueba.

3. DATOS DE INTERES

- ✓ **Investigadora Principal:**
Nombre: Marley Yurani Acevedo Ortiz
Correo Electrónico: marley.acevedo@udea.edu.co
- ✓ **Médico**
Nombre: Juan Gabriel Piñeros Jiménez
Correo Electrónico: juan.pineros@udea.edu.co
- ✓ **Coordinadores de la prueba**
Nombre: Maribel Carmona Echavarría
Licenciada en educación física de la Universidad de Antioquia
Correo Electrónico: mary940306@hotmail.com
- Nombre:** Sebastián Orozco Osorio
Licenciado en educación física de la Universidad de Antioquia
Correo Electrónico: sebastian.orozcoo@udea.edu.co

4. HORARIO

En la siguiente tabla se especifican los días y las horas en que usted realizará la prueba física.

Días (Jueves)	Escenario atmosférico		
	b) 7:00 a.m.-10:00 a.m.	b)12:00 m-3:00 p.m.	c) 6:00 p.m.-9:00 p.m.
8 de noviembre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15 de noviembre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22 de noviembre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
29 de noviembre	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

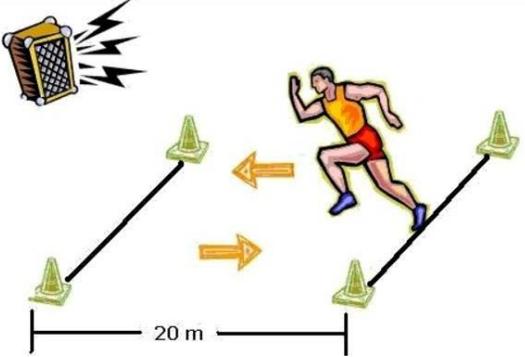
5. LUGAR

- ✓ La prueba física se llevará a cabo en la pista de atletismo de la Universidad de Antioquia.

¡Gracias por tu participación!

Anexo 8. Esquema del trabajo de campo

“Comportamiento de la función pulmonar asociada al ejercicio físico en condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica de un grupo de deportistas de la Universidad de Antioquia, Medellín 2018”

DIAS: Jueves 8, 15, 22 y 29 de Noviembre de 2018				
ESCENARIOS: a) 7:00 a.m. -10:00 a.m. b) 12:00 m.-3:00 p.m. c) 6:00 p.m.-9:00 p.m.				
<p>Inicia</p> <p>Llegada 30 minutos antes de la espirometría (6:30am/11:30am/5:30pm)</p>  <p>Los deportistas diligencian cuestionario de inicio, para saber si cumplen criterios de inclusión.</p>	<p>Espirometría pre</p>  <p>Antes de la prueba física.</p> <p>Talla y peso Frecuencia respiratoria y pulso</p>	<p>Prueba Física (Test de Léger-Ida y Vuelta 20 metros) Bebida Hidratante</p>  <p>Planilla test de Léger con etapa alcanzada</p>	<p>Espirometría post</p> 	<p>Finaliza</p> <p>Refrigerio</p>  <p>Continúa con sus actividades diarias.</p>
Diligencian cuestionario Pre/Post registro y seguimiento				
Recibe: Investigadora Principal Yurani Acevedo	Responsable: Médico Juan Gabriel Piñeros	Coordina: Licenciada en educación física Maribel Carmona. Apoya: Sebastián Orozco	Responsable: Médico Juan Gabriel Piñeros	Despide: Investigadora Principal Yurani Acevedo
Lugar: Salón de Reuniones Coliseo UdeA	Lugar: Salón de Reuniones Coliseo UdeA	Lugar: Pista Atletismo UdeA	Lugar: Salón de Reuniones Coliseo UdeA	

Anexo 9. Consentimiento informado

“Comportamiento de la función pulmonar asociada al ejercicio físico en condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica de un grupo de deportistas de la Universidad de Antioquia, Medellín 2018”

Estimado(a) deportista:

Se realizará un proyecto de investigación el cual tiene como objetivo, describir el comportamiento de la función pulmonar asociada al ejercicio físico en condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica de un grupo de deportistas de la Universidad de Antioquia en la ciudad de Medellín 2018.

Tenga en cuenta que la participación en este estudio es absolutamente voluntaria. Usted está en plena libertad de negarse a participar o de retirar su participación en cualquier momento durante el estudio. Su decisión de participar o no en esta investigación, no afectará de ninguna manera la formación académica o deportiva que tiene con la Universidad de Antioquia.

Si usted acepta participar en el estudio, ocurrirá lo siguiente:

Le haremos un cuestionario de inicio el cual tiene una primera parte de información general como su/s nombre/s y apellido/s, número de identificación, edad, sexo, etnia, deporte que practica, intensidad horaria semanal destinada a la práctica deportiva, programa académico al que pertenece, correo electrónico, número de celular y tiempo (meses, años) como deportista de representación en la Universidad de Antioquia, en la segunda parte del cuestionario le haremos algunas preguntas para conocer si fuma cigarrillos diariamente, si durante los últimos 3 meses tuvo cirugías o intervenciones quirúrgicas o le diagnosticaron alguna enfermedad, además de conocer si está en embarazo o tiene sospechas de estarlo en caso de ser mujer. Usted recibirá instrucciones de como completar el cuestionario correctamente, el tiempo aproximado de diligenciamiento no supera los tres minutos y puede preguntar al equipo investigador lo que considere que no entiende o de lo que siente que requiere más información. Igualmente se le garantizará que dicha información no será divulgada a los demás deportistas ni a ninguna otra persona.

Una vez el equipo investigativo evalué sus respuestas le informaremos si puede continuar con su participación en el estudio, de ser incluido le preguntaremos si nos autoriza utilizar sus datos de contacto (correo electrónico y número celular) para enviarle información relacionada con la investigación y adicional, si nos autoriza para llevar un registro fotográfico durante su participación en la investigación.

Si queda incluido en el estudio usted hará parte de uno de los tres grupos de deportistas que se conformarán y deberá realizar tres espirometrías y una prueba física por día durante los días jueves 8, 15 y 22 de noviembre del presente año en determinadas horas del día, así:

Dependiendo del grupo al que pertenezca (1,2 o 3) le corresponderá hacer las pruebas, como se muestra en la siguiente tabla:

Día (Jueves)	Escenario Atmosférico		
	A 7:00 a.m.-10:00 a.m.	B 12:00 m.-3:00 p.m.	C 6:00 p.m.-9:00 p.m.
8 de noviembre	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
15 de noviembre	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 1
22 de noviembre	Grupo 3	Grupo 1	Grupo 2
29 de noviembre	Reposición	Reposición	Reposición

En caso de que usted falte a alguno de los 3 días (8, 15 o 22 de noviembre), tendrá el jueves 29 de noviembre para realizar las pruebas en el escenario que le hizo falta.

Una vez le indiquemos a que grupo pertenece le daremos la programación de sus pruebas (día, hora, lugar) y las recomendaciones que debe seguir antes de realizarlas.

En la medida de lo posible debe llegar 30 minutos antes de la hora indicada al salón de reuniones del coliseo universitario de la Universidad de Antioquia, para que tenga tiempo de descansar, estar en reposo y diligenciar el numeral 1 y 2 de un cuestionario llamado pre/post ejercicio, que tiene el objetivo de llevar un registro y control de sus datos y resultados de las pruebas. En el numeral 1 se le preguntará por su Nombre/s y Apellido/s Completos, Número de Identificación, Fecha de Nacimiento, Edad (años), Sexo, Altura (cm), Etnia, Disciplina Deportiva; y en el numeral 2 se le preguntará si durante las últimas 24 horas usted consumió: Bebidas alcohólicas, Medicamentos, Vitaminas, Cigarrillos/Tabaco, Sustancias psicoactivas. Esta parte del diligenciamiento del cuestionario no tarda más de dos minutos y una vez el equipo investigativo evalúe sus respuestas le informará si puede realizar las pruebas ese día de estudio.

Si no puede realizar las pruebas en uno de los tres días de estudio, se le informará la razón y se le dará la oportunidad de hacerlas el último día (cuarto día) de estudio, tenga en cuenta que si usted no puede realizar las pruebas en dos de los cuatro días del estudio deberá ser excluido del mismo.

Si le informan que puede realizar las pruebas después de evaluar sus respuestas en el cuestionario de inicio, la primera prueba que realizará será una espirometría, una prueba respiratoria rápida que no causa dolor y se realiza con un dispositivo llamado espirómetro que mide cuánto aire puede inhalar en los pulmones y cuánto puede exhalar rápidamente. Antes de realizar la prueba, un médico lo pesará, le medirá su estatura, su frecuencia respiratoria y su pulso. Luego le indicará que inhale (tome aire) profundo y luego que exhale (bote el aire) todo el aire lo más rápido que pueda soplando dentro de un tubo o boquilla conectado al espirómetro. Está boquilla es nueva y se desecha una vez usted termine la prueba. Para obtener el “mejor” resultado, la prueba se repite tres veces donde usted podrá descansar entre ellas. Esta prueba es importante porque proporciona una valiosa información sobre su función pulmonar.

Luego de realizarse la espirometría usted tendrá tiempo para descansar y diligenciará el ítem I del numeral 4 del cuestionario pre/post ejercicio, dicho diligenciamiento no tarda más de un minuto, allí se le preguntará si durante la última hora usted experimentó irritación en los ojos, nariz, garganta, tos, producción de flema, dolor en el pecho, ruidos en el pecho, si tuvo dolor de cabeza y si noto nubes de partículas, polvo u hollín en el aire.

Una vez termine de diligenciar ese numeral, usted se dirigirá a la pista de atletismo de la Universidad de Antioquia, allí lo recibirá un/a licenciado/a en educación física que lo coordinará y le explicará cómo debe realizar la prueba física, que será el test de Léger que tiene el objetivo de medir su consumo máximo de oxígeno, usted deberá hacer un calentamiento antes de realizar el test, una vez termine descansará por 2 minutos y procederá a realizar el test que consiste en correr el mayor tiempo posible entre 2 líneas separadas por 20 metros en doble sentido, ida y vuelta, allí habrá un reproductor de sonido que emite las señales sonoras que escuchará durante la prueba. Usted deberá colocarse detrás de una línea demarcada, de pie y en sentido del movimiento hacia otra línea separada a 20 metros que también estará demarcada y deberá escuchar atentamente el protocolo de la prueba, de forma que:

- A la primera señal sonora, usted debe desplazarse (correr) a la mayor velocidad posible, hacia la línea situada a 20 metros, sobrepasándola.
- Una vez allí, esperará, en posición de salida alta, hasta escuchar la próxima señal sonora.
- Repetirá este ciclo tantas veces como pueda, intentando seguir el ritmo entre señales, la idea es que pueda llegar a cada línea antes o justo en el momento en que escuche la señal.
- La prueba concluirá cuando usted se detenga por la fatiga, es decir, cuando ya no pueda seguir el ritmo de las señales o cuando por dos veces consecutivas llegue a pisar la línea demarcada por los conos después de la señal sonora.

La prueba se inicia a un ritmo de 8,5km/h, por lo cual es sencillo al principio llegar de una a otra línea, pero usted no debe ir a buscar la siguiente línea hasta tanto no vuelva a escuchar la señal sonora, su velocidad irá incrementando a 0,5km/h por minuto.

Cada prueba física no durará más de 20 minutos y se le garantizará una bebida hidratante. Usted tendrá a su disposición un médico que estará listo para atender cualquier eventualidad que requiera.

Una vez finalice la prueba física usted debe dirigirse nuevamente al salón de reuniones del coliseo universitario y diligenciará el ítem II del numeral 4 del cuestionario pre/post ejercicio que tampoco supera el minuto de diligenciamiento, allí se le preguntará nuevamente si después de realizar la prueba física usted experimentó irritación en los ojos, nariz, garganta, tos, producción de flema, dolor en el pecho, ruidos en el pecho, si tuvo dolor de cabeza y si noto nubes de partículas, polvo u hollín en el aire.

Inmediatamente después de diligenciar este cuestionario, el médico le realizará tres espirometrías más. Una vez finalice se le dará un refrigerio y podrá continuar con sus actividades diarias con total normalidad.

En el último día de estudio, usted recibirá el informe de resultados de las espirometrías que se realizó durante los días y escenarios de estudio.

Tenga en cuenta que usted recibirá instrucciones de cómo realizar tanto la prueba física como la espirometría y puede preguntar al equipo investigativo o médico lo que considere que no entiende o de lo que siente que requiere más información. Incluso puede negarse a realizar alguna de las pruebas o a no finalizarlas.

Usted no recibirá un beneficio de tipo económico por su participación en el estudio, es decir, no recibirá dinero, pero tampoco le implicará gastos. Con la realización de las pruebas espirométricas usted tiene el beneficio de conocer su diagnóstico de función pulmonar al finalizar el estudio. Y se sentirá conforme al haber contribuido a la investigación, puesto que los resultados de esta, serán valiosos para las instituciones educativas, entes gubernamentales y organizaciones que promueven el deporte y la recreación, además contribuirá a que los resultados generales obtenidos sean divulgados y en consecuencia se puedan generar herramientas de planificación para la ciudadanía y del mismo modo, se puedan realizar nuevas investigaciones que ayuden a comprender la relación de la calidad del aire con el deporte.

Toda la información que usted nos proporcione para el estudio será de carácter estrictamente confidencial, será utilizada únicamente por el equipo de investigación del estudio y no estará disponible para ningún otro propósito. Usted quedará identificado(a) con un número y al finalizar el estudio se le dará a conocer sus resultados de las pruebas de función pulmonar, tenga en cuenta que los resultados generales del estudio serán publicados con fines académicos, pero sus resultados individuales no podrán ser identificados.

Los riesgos potenciales que implica su participación en este estudio son mínimos. Si alguna de las preguntas le hicieran sentir un poco incómodo(a) o hiere susceptibilidades tiene el derecho de no responderlas, al igual, si considera que la prueba física o la prueba respiratoria atentan contra su integridad mental o física tiene derecho a no realizarlas e incluso decidir retirarse del estudio. En caso de que ocurriera algún daño como resultado de la investigación puede solicitar al Departamento de Promoción y Prevención de Bienestar universitario apoyo psicológico si así lo considera necesario.

Si usted tiene alguna pregunta, comentario o preocupación con respecto al estudio, por favor comuníquelo antes de firmar este documento a alguno de los investigadores responsables o infórmelo al comité de ética de la Facultad Nacional de Salud Pública cuyos datos son:

Ubicación: Calle 62#52-59.Facultad Nacional de Salud Pública. Piso 2. Oficina 237

Correo Electrónico: eticasaludpublica@udea.edu.co

Teléfono: 2196830

Es importante que sepa que con la información suministrada por usted en el cuestionario de inicio el equipo investigador creará una base de datos y utilizará sus datos de contacto, como correo electrónico y número de celular para enviar las recomendaciones que debe seguir antes de cada prueba, además de informarle el día, hora y lugar donde se llevarán a cabo.

Recuerde que si acepta participar en este estudio debe:

- ✓ Tener disponibilidad de mínimo 3 horas los días jueves del mes de noviembre.
- ✓ Informar al equipo investigador y durante el tiempo del estudio cualquier eventualidad, como aparición de signos o síntomas físicos o psicológicos, afectaciones de salud, cambios en sus datos de contacto o comunicar si desea retirar su participación del estudio.
- ✓ Tener póliza integral estudiantil de la Universidad de Antioquia.

Los compromisos que adquiere el equipo investigador con usted, incluye:

- ✓ Solucionar los problemas o inconvenientes que surjan de la investigación.
- ✓ Tratar, guardar y administrar confidencialmente sus datos.
- ✓ Brindarle información oportuna de todo lo que usted considere necesario y comunicar sobre cualquier hallazgo de la investigación que pueda significar problemas, riesgos o beneficios para usted.
- ✓ Brindarle una bebida hidratante y un refrigerio durante cada día de estudio al que usted asista.

Si tiene inquietudes relacionadas con el estudio, puede en cualquier momento recurrir, escribir o llamar a la investigadora principal o al asesor del estudio, cuyos datos de contacto son:

Nombre: Marley Yurani Acevedo Ortiz

Correo Electrónico: marley.acevedo@udea.edu.co

Ubicación: Calle 62#52-59. Facultad Nacional de Salud Pública. Piso 3. Oficina 329

Teléfono: 2196890

Nombre: Juan Gabriel Piñeros Jiménez

Correo Electrónico: juan.pineros@udea.edu.co

Ubicación: Calle 62#52-59. Facultad Nacional de Salud Pública. Piso 3. Oficina 303

Teléfono: 2196846

El equipo de trabajo de este estudio, además de la investigadora principal y el asesor, incluye a los licenciados en educación física de la universidad de Antioquia Maribel Carmona Echavarría y Sebastián Orozco Osorio.

Usted recibirá una copia de este consentimiento, al igual que un esquema de las actividades que se realizarán en el estudio, con el fin de que sea más claro y fácil de entender para usted.

Parte del procedimiento normal en este tipo de investigaciones, es informar a los participantes y solicitar su autorización, para ello se le solicita diligenciar la siguiente información y firmar. Su firma indica su aceptación para participar voluntariamente en el presente estudio y al mismo tiempo la autorización para usar sus datos y divulgar los resultados generales de la investigación.

Yo _____ identificado con cedula de ciudadanía número _____ de _____ manifiesto que no he recibido presiones verbales, escritas y/o gestuales para participar en la investigación; que dicha decisión la tomé en pleno uso de mis facultades mentales, sin encontrarme bajo efectos de medicamentos, drogas o bebidas alcohólicas, de forma consciente, autónoma y libre.

Así mismo declaro que he sido informado/a sobre los objetivos del estudio, las garantías de confidencialidad y han sido aclaradas todas mis dudas, y por lo tanto acepto voluntariamente participar de la investigación *“Comportamiento de la función pulmonar asociada al ejercicio físico en condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica de un grupo de deportistas de la Universidad de Antioquia, Medellín 2018”*

Además acepto realizar las pruebas que se realizarán durante el transcurso de la investigación, la cual tendrá lugar en la sede central de la Universidad de Antioquia.

Nombre del/a Deportista: _____

Firma: _____

Fecha: _____

Día/Mes/Año

Nombre de la investigadora principal: _____

Firma: _____

Fecha: _____

Día/Mes/Año