



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE MEDICINA  
DEPARTAMENTO DEL MOVIMIENTO CORPORAL HUMANO Y SUS  
DESÓRDENES

UNIVERSIDAD DE BARCELONA  
FACULTAD DE BIOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE FISIOLÓGÍA E INMUNOLOGÍA

PASANTIA EN INVESTIGACIÓN DENTRO DEL GRUPO “FISIOLÓGÍA  
ADAPTATIVA: EJERCICIO E HIPOXIA” DE LA UNIVERSIDAD DE  
BARCELONA

ESTUDIANTE DE FISIOTERAPIA  
JEIMY ALEXANDRA GIRALDO PEDROZA

FEBRERO - JUNIO 2013



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
FACULTAD DE MEDICINA  
DEPARTAMENTO DEL MOVIMIENTO CORPORAL HUMANO Y SUS  
DESÓRDENES

UNIVERSIDAD DE BARCELONA  
FACULTAD DE BIOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE FISIOLÓGÍA E INMUNOLOGÍA

PASANTIA EN INVESTIGACIÓN DENTRO DEL GRUPO "FISIOLÓGÍA  
ADAPTATIVA: EJERCICIO E HIPOXIA" DE LA UNIVERSIDAD DE  
BARCELONA

ESTUDIANTE DE FISIOTERAPIA  
JEIMY ALEXANDRA GIRALDO PEDROZA

FEBRERO - JUNIO 2013

## Resumen:

El presente trabajo expone el proceso de pasantía en investigación que realizó la estudiante en el grupo Fisiología Adaptativa: Ejercicio e Hipoxia de la Universidad de Barcelona como opción de grado, en él se encuentra una revisión de la trayectoria que ha tenido el grupo sobre el tema ejercicio e hipoxia intermitente en búsqueda de innovar dentro del mundo biomédico. Por otro lado se encuentra la metodología utilizada en cada una de las unidades académicas pertenecientes al grupo y la manera como la estudiante se integró a cada una de las actividades que se realizaron en ellas. En los resultados se expone cada una de las técnicas, tecnologías y procedimientos que aprendió y las habilidades en investigación que la estudiante fue adquiriendo a través de su pasantía. En las conclusiones se aprecia la relación entre las actividades en investigación y lo que esto aportó en la construcción integral de su perfil fisioterapéutico así como los alcances que puede tener específicamente en el tema en el que se desarrolló (ejercicio e hipoxia hipobárica). Finalmente el último apartado son recomendaciones desde su experiencia sobre la importancia de este tipo de relaciones interdisciplinarias y la investigación en la formación de fisioterapia.

**Palabras clave:** *Investigación, Pasantía, Hipoxia hipobárica, Ejercicio físico, experiencia en investigación.*

## Summary

In this final degree job you will find the process of an internship in investigation that the student made in the research group called "FISIOLOGÍA ADAPTATIVA: EJERCICIO E HIPOXIA" from the Barcelona University as an option to get the degree as a Physiotherapy. In it you find a review of the experience of the group in the topic: Exercise and intermittent hypoxia looking for innovate in the biomedical field. On the other hand you will find the methodology that the research group use in its different academic teams and the way how the student got involved in it. In the results it is exposed each technique, technologies and procedures that she learned and all the research skills that she aimed through her internship. As conclusions will be the relation between the activities in research and why those helped in the construction in her physiotherapy profile; as well the scopes that she could get as physiotherapist in the topic that she got involved (exercise and hypoxic hypobaric). Finally in the last chapter there are recommendations from her experience about the importance of this kind of interdisciplinary relationship and the investigation in the vocational training in physiotherapy.

**Key words:** *Investigation, Internship, Hypoxic Hypobaric, Physical exercise, research experience.*

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, quien es mi guía y protector en cada paso que sueño y en cada paso que doy.*

*A cada uno de los integrantes de mi familia Giraldo, Pedroza y Mehring, con sus palabras de apoyo, alegría, soporte e incondicionalidad, me ayudaron a forjar el camino en esta valiosa experiencia lejos de mi casa.*

*A Ginés Viscor, Casimiro Javierre y Ramón Torrella por abrirme las puertas de su casa en los laboratorios de la Universidad de Barcelona y guiarme en un fuerte proceso de construcción.*

*A Karim Alvis, quien me ha orientado y apoyado fuertemente en todo mi proceso de formación desde mis primeros pasos en fisioterapia.*

*Al equipo de trabajo de los laboratorios, especialmente a David Rizo y Juan Gabriel Rios, compañeros incondicionales en el camino del conocimiento.*

*A Aydeé Robayo, por todo su apoyo desde tierras lejanas.*

***Dedicado a mi valiosa familia, orgullo en mi experiencia de vida....***

## CONTENIDO

PRESENTACIÓN .....	13
1. MARCO REFERENCIAL.....	18
1.1 ANTECEDENTES .....	18
1.1.1 Pasantía en Investigación.....	18
1.1.2 Convenio y Universidad de Intercambio .....	21
1.1.3 Grupo de Investigación Fisiología Adaptativo: Ejercicio e Hipoxia .....	24
1.1.4 Publicaciones del grupo de investigación: .....	26
1.2 PROBLEMATICA .....	26
1.3 ESCENARIOS DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	27
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	27
1.5 OBJETIVOS .....	30
1.5.1 Objetivo General.....	30
1.5.2 Objetivos Específicos .....	30
2 MARCO TEÓRICO .....	32
3 ESTRATEGIA METODOLÓGICA.....	36
3.1 BÚSQUEDA Y SELECCIÓN DE PASANTÍA .....	36
3.2 PROYECTO INVESTIGACIÓN “EFECTO DE LA HIPOXIA HIPOBÁRICA INTERMITENTE EN LA RECUPERACIÓN DEL DAÑO MUSCULAR INDUCIDO EN RATAS DE LABORATORIO.” .....	39
3.2.1 Diseño Experimental.....	40
3.2.2 Toma de muestras .....	43
3.2.3 Análisis de muestras.....	44
3.3 “SERVICIO DE HIPOBARIA Y FISIOLOGÍA BIOMÉDICA” LABORATORIO DE FISIOLOGÍA Y EJERCICIO FÍSICO; HOSPITAL BELLVITGE .....	45
3.4 METODOLOGÍA INTEGRACIÓN ESTUDIANTE DE ESTANCIA TEMPORAL .....	45
4 RESULTADOS .....	47

4.1	RESULTADOS: DENTRO DE LAS DINÁMICAS DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN FISIOLÓGIA ADAPTATIVA: EJERCICIO E HIPOXIA.....	49
4.2	RESULTADOS: DE ORDEN ORGANIZACIONAL .....	51
4.2.1	Habilidades logísticas .....	51
4.2.2	Manejo de información y datos. ....	54
4.3	RESULTADOS: PROCEDIMENTALES, TÉCNICOS Y TECNOLÓGICOS.....	57
4.3.1	Cámara Hipobárica: .....	57
4.3.2	Equipo de Banda de entrenamiento:.....	58
4.3.3	Contador celular: .....	59
4.3.4	Procesamiento y almacenamiento de muestras in situ .....	59
4.3.5	Pruebas histoquímicas: .....	62
4.3.6	Toma fotográfica de muestras Microscopio: .....	68
4.3.7	Entrenamiento Pruebas Elisas:.....	70
4.3.8	Ergómetro y Sistema software: .....	71
4.1.4	Cámara Hipobárica BiopoL'H:.....	72
4.1.8	NEAR-INFRARED SPECTROSCOPY .....	73
4.3.9	Protocolos y rutinas.....	75
4.4	RESULTADOS: INVESTIGACIÓN SOBRE ACTIVIDAD FÍSICA, EJERCICIO FÍSICO E HIPOXIA.....	76
4.4.1	Revisiones teóricas .....	77
4.4.2	Aplicar el método científico en proyectos de investigación dentro del marco de la unión europea.....	78
5	ACERCAMIENTO Y PROFUNDIZACIÓN A LA UNIDAD DE TRABAJO DE MÚSCULO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN FEH.....	80
5.2	OBJETIVOS: .....	81
5.2.1	Objetivo General.....	81
5.2.2	Objetivos Específicos .....	81
5.3	DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE TÉRMINOS PREGUNTA SURGIDA DENTRO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN .....	82
5.4	DEFINICIÓN DE VARIABLES PREGUNTA SURGIDA DENTRO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN.....	83

5.5	MARCO TEÓRICO .....	85
5.6	METODOLOGÍA DISEÑO EXPERIMENTAL.....	96
5.6.1	Planeación de estructura macro del procesamiento de muestras.....	97
5.7	RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN .....	98
5.8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES: .....	109
5.8.1	Respecto a los resultados experimentales aplicados.....	109
5.8.2	Respecto a la experiencia del proceso de pasantía .....	110
5.8.3	Recomendaciones: .....	113
	Bibliografía .....	115

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Ejemplo codificación para Músculos miembro posterior derecho. ....	43
Ilustración 2 Organización papeletas codificadas para muestreo Pasantía UNAL- UB 2013 FEH-U. ....	53
Ilustración 3 Codificación y preparación para muestreo Pasantía UNAL- UB 2013 FEH-U.....	53
Ilustración 4. Cuantificación celular campo 2.R110 Sóleo. Pasantía UNAL- UB 2013 FEH-U.	55
Ilustración 5. Base de datos pruebas histoquímicas Sóleo. Pasantía UNAL- UB 2013 FEH-U.	56
Ilustración 6. Cámara Hipobárica Laboratorio FEH UB.Pasantía-2013 Departamento FEH-UB. ....	57
<b>Ilustración 7. Treadmill- Pasantía-2013 Departamento FEH-UB.</b> .....	58
Ilustración 8. Contador celular Lab. FEH, Pasantía-2013 Departamento FEH-UB .....	59
Ilustración 9 Obtención de muestras de sujetos docentes Torrella y Viscor; Foto: Juan Gabriel Rios, Pasantía UNAL-2013 Departamento FEH-U.....	60
Ilustración 10 Corte de muestras según tipificación, Pasantía UNAL- UB 2013 FEH-U .....	60
Ilustración 11 Corte de Tibial Anterior Derecho, Pasantía UNAL- UB 2013 FEH-U.....	60
Ilustración 12 Corte de Diafragma, Pasantía UNAL- UB 2013 FEH-U.....	60
Ilustración 13 Corte e ingreso de datos de la muestra según tipificación, Pasantía UNAL- UB 2013 FEH-U .....	61
Ilustración 15 Recipiente de almacenamiento codificado. Pasantía UNAL- UB 2013 FEH-U .	61
Ilustración 15 Recipiente de almacenamiento Nitrógeno líquido. Pasantía UNAL- UB 2013 FEH-U .....	61
Ilustración 16. Criostato, corte de muestras. Pasantía UNAL-2013 Departamento FEH-UB..	64
Ilustración 17 Foto Microscopio óptico Tomado por David Rizo; Muestras tisulares Sóleo. Hematoxilina-Eosina, .....	65
Ilustración 18 Foto Microscopio Óptico, Sóleo. Tomado por David Rizo. Departamento FEH-U .....	65
Ilustración 19 Tinción final Sóleo, capilares Pasantía UNAL-2013 Departamento FEH-U. ....	66
Ilustración 20 Foto Microscopio Óptico. Tomado por David Rizo; Muestras tisulares Sóleo. Departamento FEH-U.....	66
Ilustración 21 Tinción final hematoxilina-Eosina Sóleo. Pasantía UNAL-2013 Departamento FEH-U .....	67
Ilustración 22 Foto Microscopio Óptico Sóleo. Tomado por David Rizo. Departamento FEH-U .....	67
Ilustración 23 Foto muestras tisulares Sóleo.. Pasantía UNAL-2013 Departamento FEH-U ..	68
Ilustración 24 Microscopios. Pasantía UNAL-2013 Departamento FEH-U.....	69

Ilustración 25. Tomado por Jeimy Giraldo Entrenamiento ELISAs, placa 96 pocillos. Pasantía UNAL-2013 Departamento <i>FEH-U</i> .....	70
Ilustración 26. Material ELISAS Pasantía UNAL-2013 Departamento FEH-UB.....	70
Ilustración 27. Datos, equipo y Monitor Ergómetro UFEBELL- Biopol'H- Pasantía UNAL-2013 Departamento FEH-UB.....	72
Ilustración 28. Cámara Hipobárica Biopol'H- Pasantía UNAL-2013 Departamento FEH-UB .	72
Ilustración 29 Sesión pruebas de esfuerzo con NIRS- Departamento Fisiología del Ejercicio UB- Hospital Bellvitge. Pasantía UNAL-2013 Departamento FEH-U.....	73
Ilustración 30 Dispositivo NIRS Pasantia UNAL- UB 2013 FEH-U .....	74
Ilustración 31 Lectura NIRS Pasantia UNAL- UB 2013 FEH-U.....	74
Ilustración 32, Daño y regeneración muscular, Tomado TIIDUS PM. Skeletal Muscle Damage and Repair: Mechanisms & Interventions. In PETER M T, editor: Human Kinetics; 2008. p. 57 .....	92

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Principales características de fibras musculares; Tomada de López Chicharro J, Fisiología del ejercicio, Madrid, 2006 .....	89
Tabla 2: Muestras procesadas para efectos de esta investigación y la investigación macro del proyecto desarrollado en FEH. 2013.....	97
Tabla 3: Resumen valores de daño muscular obtenido a través de técnica Hematoxilina-Eosina; Control (CTRL); Hipoxia (HIP) y Ejercicio e Hipoxia (EHIP); Extracto tabla general Daño muscular creado por David Rizo. FEH- UB. Pasantía UNAL- UB 2013.....	99
Tabla 4: Resumen valores Fibras tipo I de n=3. Ratas control positivo t0. Pasantía UNAL- UB 2013. ....	100
Tabla 5: Resumen valores Fibras tipo I de n=2. Ratas control positivo t3. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL.....	100
Tabla 6: Resumen valores Fibras tipo I de n=2. Ratas control positivo t7. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL.....	100
Tabla 7: Resumen valores Fibras tipo I de n=2. Ratas Hipoxia T3. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL.....	101
Tabla 8: Resumen valores Fibras tipo I de n=2. Ratas Hipoxia T7. Dentro del proceso no se pudo obtener el número de capilares de las ratas 68 y 69, lo cual no permite el cálculo del CCA y CCP. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL.....	101
Tabla 9: Resumen valores Fibras tipo I de n=3. Ratas Hipoxia y ejercicio físico T3. Sin posible obtención conteo capilar en un sujeto. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL .....	101
Tabla 10: Resumen valores Fibras tipo I de n=3. Ratas Hipoxia y ejercicio físico T3. Sin posible obtención conteo capilar en un sujeto. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL .....	101
Tabla 11: Resumen valores Fibras tipo II de n=2. Ratas recuperación pasiva T7. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL.....	102
Tabla 12: Resumen valores Fibras tipo II de n=2. Ratas recuperación pasiva T3. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL.....	102
Tabla 13: Resumen valores Fibras tipo II de n=3. Ratas sin exposición a daño muscular. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL .....	102
Tabla 14: Resumen valores Fibras tipo II de n=2. Ratas expuestas a 3 sesiones de Hipoxia. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL .....	102
Tabla 15: Resumen valores Fibras tipo II de n=2. Ratas expuestas a 7 sesiones de Hipoxia. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL .....	102

Tabla 16: Resumen valores Fibras tipo II n=3. No pudo ser posible obtención el número de capilares de la rata 128. Ratas expuestas a 3 sesiones de ejercicio e hipoxia . Pasantía UNAL-UB 2013 Equipo FEH-UNAL ..... 103

Tabla 17: Resumen valores Fibras tipo II de n=2. Ratas expuestas a 7 sesiones de ejercicio e hipoxia. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL..... 103

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1, Estructura Diseño experimental Investigación del FEH lab.....	41
Gráfico 2 Resultados Pasantía de investigación UNAL- UB FEH; Alexandra Giraldo 2013 .....	48
Gráfico 3 Metodología diseño experimental de ¿Cuáles son cambios morfo-funcionales a nivel micro-estructural en las fibras musculares de Sóleo; tras una lesión por sobre-esfuerzo en los diferentes grupos experimentales (Control positivo, hipoxia y ejercicio e hipoxia) a 3 y 7 días después de ocurrida la lesión?; pregunta surgida dentro de la pasantía a través del apoyo de David Rizo, Ramón Torrella y Ginés Viscor .....	96
Gráfico 4. Resumen valores porcentuales de los 3 tipos de fibras en el músculo Sóleo en cada uno de los 3 grupos. Pasantía UNAL- UB 2013.....	103
Gráfico 5. Comparación temporal de las ratas control en los dos tipos de fibras más predominantes en Sóleo del índice de capilaridad. Pasantía de investigación UNAL- UB FEH. ....	104
Gráfico 6. Comparación temporal de las ratas Hipoxia en los dos tipos de fibras más predominantes en Sóleo del índice de capilaridad. Pasantía UNAL- UB 2013. FEH.....	106
Gráfico 7. Comparación temporal de las ratas control en los dos tipos de fibras más predominantes en Sóleo del índice de capilaridad. Pasantía UNAL- UB 2013. FEH.....	106
Gráfico 8. Índice capilar por área y por perímetro de las 3 diferentes condiciones en el día 3 y 7 en el músculo Sóleo fibras I. Pasantía UNAL- UB 2013. FEH.....	107
Gráfico 9. Índice capilar por área y por perímetro de las 3 diferentes condiciones en el día 7 en el músculo Sóleo fibras I y IIa. Pasantía UNAL- UB 2013. FEH.....	108

## PRESENTACIÓN

El movimiento corporal humano dentro del marco integral de su desarrollo, involucra procesos fundamentales a nivel morfológico, neuronal, bioquímico, fisiológico, sensitivo, entre otros; en donde sus estructuras están en constante interacción de acuerdo a las exigencias que el medio le demanda. Lo anterior explica el comportamiento del cuerpo humano en busca de la homeostasis dentro del organismo; de allí que, a través del estudio de las funciones corporales a nivel micro y macroscópico relacionadas a un entorno deportivo, pueden generarse acciones que modifican elementos del ciclo vital humano, potencialicen capacidades y se adquieran adaptaciones según las exigencias del medio en el que se desarrolle la actividad deportiva, influenciando en el rendimiento de manera positiva.

Teniendo en cuenta que el Movimiento Corporal Humano es el objeto de estudio de la Fisioterapia y que la actividad deportiva se basa en el movimiento de estructuras corporales con gestos específicos según sea la disciplina a través de la planificación y promoción de los mismos (1); la fisiología adaptativa crea un campo de estudio e investigación en el cual el fisioterapeuta conoce a través de dichas actividades deportivas los comportamientos tisulares a nivel sistémico y por tanto puede generar análisis biomecánicos y neuromecánicos a nivel tisular que modificarán el movimiento corporal de los individuos.

Como se ha mencionado antes, el movimiento corporal humano está íntimamente relacionado con los procesos fisiológicos de la actividad física y

deportiva desde lo microscópico hacia lo macroscópico, de tal manera este tipo de pasantías y específicamente dentro del Grupo de Investigación Fisiología Adaptativa: Ejercicio e Hipoxia; dan herramientas al fisioterapeuta en formación para explicar diferentes alteraciones en el movimiento a partir del comportamiento tisular, que a través del conocimiento, el profesional tiene una herramienta más específica y cercana de la magnitud de los cambios plásticos que sufre el sistema no sólo a nivel local y microscópico sino también global; profundizando en las condiciones de cada uno de los elementos tisulares los cuales arrojan series de datos que se prestan para entender no sólo desde lo patológico sino también desde la normalidad el desempeño de dichos elementos.

En este orden de ideas y viendo la relación entre el movimiento corporal humano con la fisiología adaptativa y los análisis posibles desde la biomecánica tisular, a lo largo de este texto, se ha hecho una síntesis del proceso que se llevó a cabo dentro de la pasantía en el grupo de investigación “Fisiología Adaptativa: Ejercicio e hipoxia” (FEH) de la Universidad de Barcelona dentro de dos unidades académicas, los laboratorios del FEH y la Unidad de Fisiología del Ejercicio del Departamento de Ciencias Fisiológicas II (UFEBELL), como opción de trabajo de grado de la estudiante perteneciente a la carrera de Fisioterapia.

Dicha pasantía se planteó con la idea e interés de aprender y fortalecer las habilidades desde lo investigativo capacitándose al hacer un acompañamiento a un grupo de investigación; interés que venía desde su línea de profundización Mecánica y Neuromecánica del Movimiento Corporal Humano, la cual le brindó herramientas en su formación como investigadora.

La estudiante buscaba hacer parte de un equipo multidisciplinar e internacional con profesionales de diferentes latitudes del mundo, siendo éste fuente de conocimiento específicamente en adelantos científicos y tecnológicos del área de la salud.

Por tal motivo, teniendo en cuenta el contexto que se presentó y el objetivo de formarse como investigadora, es importante hacer anotación que la estudiante realizó dicho acompañamiento bajo la figura de “Laboratoy Training” (nombre dado por el departamento de Fisiología e Inmunología de la UB) sin desarrollar una pregunta de investigación propia, sino con disposición abierta para involucrarse según las oportunidades que encontró dentro del grupo que le abrió las puertas, coordinado por el Doctor Ginés Viscor, docente e investigador de dicha universidad.

Dentro de este informe se presenta en el **primer capítulo** lineamientos básicos establecidos para el desarrollo adecuado de la Pasantía; así mismo lineamientos por parte de cada una de las universidades para su ejecución, los antecedentes tanto del desarrollo investigativo como opción de Trabajo de Grado dentro de la carrera de Fisioterapia de la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de destino y del Grupo de investigación; Esto permite plantear un norte dentro de la estructura que tendrá la Pasantía respecto a la formación integral de la estudiante.

El **segundo capítulo** presenta un punto referencial de antecedentes en el cual se puede evidenciar parte del trabajo investigativo del grupo sobre el tema central en el cuál la estudiante se relacionó más, “¿Puede la hipoxia intermitente contribuir a la regeneración tisular?” (Investigación principal del grupo de carácter nacional en España), ya que, en principio, a ella la recibieron en el grupo para colaborar dentro de esa investigación.

Seguido a lo anterior, en el **tercer capítulo** se presenta el desarrollo de la estrategia metodológica del grupo de investigación y del trabajo colaborativo, realizado por la estudiante dentro del mismo, a lo largo del primer semestre académico de 2013 comprendido entre Febrero a Junio del mismo año.

En el **cuarto capítulo** se plantean los resultados que responden al objetivo general agrupados en tres grandes líneas, “Resultados: procedimentales, técnicos y tecnológicos”; “Resultados: dentro de las dinámicas del grupo de investigación fisiología adaptativa: Ejercicio e hipoxia” y “Resultados: Formación sobre ejercicio físico adaptativo”.

De manera paralela y extra, la estudiante desarrolló una pregunta de investigación no prevista al inicio de la pasantía, originada dentro del grupo de investigación como constructo grupal (¿Qué cambios morfo-funcionales se encuentran a nivel micro-estructural en las fibras musculares de Sóleo; tras una lesión por sobre-esfuerzo en los diferentes grupos experimentales a 3 y 7 días después de ocurrida la lesión?); por tanto su desarrollo y orientación estuvo apoyado por una de las unidades del grupo de investigación. Estos resultados, para facilidad de lectura y mayor organización, se presentan en el **capítulo quinto** y por lo anterior también se presentan objetivos, marco teórico, definición de variables y discusión, relacionado con el proceso de esta investigación.

Finalmente en el **capítulo sexto**, se presentan las conclusiones tanto de la pasantía en el grupo de investigación respondiendo a los objetivos específicos que alimentaron el general y además las conclusiones que la estudiante obtuvo de la pregunta de investigación que se desarrolló.

En la construcción de la estructura de este Trabajo de Grado se da un agradecimiento a la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de Barcelona (UB) y específicamente a las unidades académicas involucradas, porque a partir de los convenios establecidos, la oportunidad brindada dentro del grupo de investigación del profesor Ginés Viscor, Casimiro Javierre, Ramón Torrella y el apoyo de la docente Karim Alvis cada día se construyen nuevas perspectivas y vivencias logrando aprender cosas que moldean mejores profesionales tanto a nivel investigativo, clínico, deportivo, pedagógico entre otros, pero fundamentalmente humano.

## **1. MARCO REFERENCIAL**

Como punto de referencia a la pasantía en investigación realizada por la estudiante en la Universidad de Barcelona durante Febrero a Junio de 2013 se ubica a continuación al lector en los antecedentes dando un contexto sobre el terrero en el cual ella trabajó y se integró; así mismo se plantea y delimitan la problemática, se continua con la justificación de la Pasantía dando paso a los objetivos que serán el norte de dicho proceso.

### **1.1 ANTECEDENTES**

A continuación se presentan antecedentes tanto de las pasantías como opción de grado en la Carrera de Fisioterapia, los convenios interinstitucionales existentes que permiten la movilidad y el grupo de investigación de la Universidad de Barcelona en el cual la estudiante desarrolló sus procesos de aprendizaje.

#### **1.1.1 Pasantía en Investigación**

Dentro de la Resolución 049 de 2005 en el acta 07 del 07 de Marzo del Consejo Superior de la Facultad de Medicina, se reglamentaron los trabajos de grado para la Facultad de Medicina, la cual cubre a todos los programas de pregrado de Fisioterapia, Fonoaudiología, Nutrición y Dietética, Terapia Ocupacional y Medicina; en donde se formula como norma válida para optar al título de fisioterapeuta, realizar trabajos de índole investigativos a través de monografías o participación en proyectos de investigación que estén vinculados a un docente, ya sea en la Universidad Nacional de Colombia o

en otra institución a nivel nacional como internacional (2). Para interés de la estudiante, al estar en X semestre de la Carrera y en búsqueda de la finalización de este periodo, se postula para optar como Trabajo de Grado una pasantía en investigación a través de un intercambio académico internacional.

Por lo anterior a lo largo de los años algunos estudiantes han realizado pasantías como opción de Trabajo de Grado pero a nivel internacional como pasantía en Investigación sólo está registrado el trabajo del Fisioterapeuta Rodrigo Esteban Argothy Bucheli en el año 2008, con su trabajo “Comparación de los patrones Biomecánicos del salto en Pacientes con Reconstrucción del Ligamento Cruzado Anterior intervenidos con distintas técnicas quirúrgicas” realizado en la Universidad Nacional de Entre Rios, Argentina en el Laboratorio de Biomecánica de la Facultad de Ingeniería dirigido por el Doctor Bioing. En este trabajo se realizó un régimen colaborativo con el laboratorio respecto a la investigación y paralelo a esto el fisioterapeuta profundizó dentro de la línea de conocimientos de Biomecánica acorde a la línea de profundización elegida dentro de la Universidad Nacional de Colombia, Mecánica y Neuromecánica del movimiento dirigida por la Docente Karim Alvis. (3)

La anterior investigación aportó dentro de sus objetivos planteados desde el orden investigativo en el marco de la formación del fisioterapeuta en la Carrera de Fisioterapia de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, la cual busca generar profesionales que construyan ideas y representaciones del movimiento corporal humano y analicen la naturaleza de las modificaciones que tiene día a día el cuerpo a partir de su naturaleza

(4); por lo anterior se puede evidenciar que a cada instante a nivel microscópico se generan transformaciones que reflejan procesos macroscópicos y que afectarán al movimiento de cada individuo de manera permanente y dinámica. Desde la formación dentro de la línea de profundización mecánica y neuromecánica del movimiento se hace énfasis de manera transversal en todos los campos de la fisioterapia involucrando siempre el análisis de movimientos complejos, procesos neuromecánicos, fisiológicos entre otros, que repercuten dentro de la integración de los conceptos de rehabilitación y habilitación para generar movimiento, enseñar o modificarlo.

Teniendo dicha premisa, en donde el ser humano es complejo y caótico al igual que su movimiento, surge la necesidad de pensarse como fisioterapeuta integral, el cual trabaja en equipo con grupos multidisciplinarios para poder entender más cada día aquella complejidad; desde esta perspectiva, con influencia de diferentes docentes de su departamento, cree oportuno y productivo el realizar un semestre académico en el exterior dentro de un grupo de investigación. De tal forma la estudiante desde inicios de IX semestre, se interesó en la búsqueda de centros de referencia para la investigación que generan cada día avances científicos pensando en dicho ser humano integral. Al finalizar el semestre y después de intentar contactar con varios grupos de investigación, encuentra una gran oportunidad de abrir la mente a nuevas ideas, conocimiento, otras perspectivas y multiculturalidad al ser aceptada dentro del grupo de investigación del profesor Dr. Ginés Viscor de la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona como estudiante de intercambio.

La estudiante al pertenecer a la línea de Mecánica y Neuromecánica, le llamó la atención que el grupo del profesor Ginés tenía en curso un subproyecto llamado “Repercusiones neuropsicológicas de un programa de estimulación cognitiva, física e hipoxia hipobárica intermitente, en pacientes que han sufrido traumatismo craneoencefálico” dentro de la investigación principal titulada: “¿Puede la hipoxia intermitente contribuir a la regeneración tisular?”; así mismo, dentro de la línea de investigación en Colombia, el equipo realiza análisis de orden biomecánico a nivel tisular, tema que le interesaba mucho a la estudiante y que además está relacionado con los procesos de regeneración tisular y como consecuencia su análisis desde lo micro genera un mejor entendimiento del movimiento corporal y sus alteraciones. Por otra parte la estudiante debía encontrar un sitio para realizar su Práctica Académica de Deporte y Ejercicio Físico, en el mismo semestre del desarrollo de su trabajo de grado, de ahí que este grupo de investigación respondía a las necesidades y temáticas de interés de la estudiante. Durante su estancia, su prioridad pasó a ser el segundo subproyecto derivado del proyecto macro titulado: “Efecto de la hipoxia hipobárica intermitente en la recuperación del daño muscular inducido en ratas de laboratorio” debido a la necesidad y demanda de apoyo que requería el primero.

### **1.1.2 Convenio y Universidad de Intercambio**

La estancia temporal se realizó a través del Convenio Marco Bilateral que existe entre la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Barcelona en España vigente para el año 2011 y por los siguientes 5 años; a partir de los acuerdos de cooperación entre las partes permitiendo el

desarrollo de actividades académicas, intensificando los intercambios entre las dos universidades en el área pedagógica, técnica y científica incluyendo la investigación en todas estas áreas. (5)

De igual manera el convenio especifica que la cooperación se realiza bajo la responsabilidad de cada una de las unidades académicas que se encuentran involucradas dentro del proceso, en este caso el Departamento del Movimiento Corporal Humano y sus Desórdenes de la Facultad de Medicina perteneciente a la Universidad Nacional de Colombia y el Departamento de Fisiología e Inmunología de la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona; realizando actividades en donde se cuenta con la participación de estancias que promueven la adquisición de herramientas profundizando sobre tópicos particulares (IBID) .

En cuanto a la Universidad de Barcelona (UB), ubicada en la ciudad de Barcelona, España; es la principal universidad pública de Cataluña, y cuenta con el mayor número de estudiantes y ofertas académicas, siendo el más grande epicentro de investigaciones universitarias a nivel nacional y uno de los referentes más importantes a nivel Europeo debido a su excelente calidad en los productos académicos. Esta institución es una universidad cosmopolita y urbana la cual se mantiene a la vanguardia de este mundo contemporáneo, pero así mismo para ella es importante mantener viva su historia, de Barcelona y Cataluña teniendo como bandera sus tradiciones pero siempre innovando y claro está, manteniendo su excelencia docente. (6)

Dentro de las estadísticas de la Universidad de Barcelona, esta cuenta con 87.486 estudiantes, 152 másteres Universitarios, 71 programas de Doctorado; 5247 profesores e investigadores, exponiendo que dichos programas y personas adscritas a la universidad desarrollan permanentemente investigación, de igual manera reafirmando lo anterior se destaca por el número de publicaciones tomando el segundo lugar a nivel Español según los indicadores del “*Third European Report on S&T Indicators*”, 2003.

A nivel investigativo la Universidad se organiza a partir de diferentes unidades y participa en centros de referencia y redes nacionales e internacionales; tiene además tres grandes fundaciones dentro de Barcelona; la “Fundación Clínico-Instituto de Investigaciones Biomédicas Agustí Pi i Sunyer” (IDIBAPS), la “Fundación Parque Científico de Barcelona” (PCB), sede del “Instituto de Investigación Biomédica de Barcelona” (IRBB), y el “Instituto de Investigación Biomédica de Bellvitge” (IDIBELL), en donde la estudiante realizará apoyo y labores al grupo de investigación en el último de ellos.

Durante el año 2010 la universidad se destacó al obtener “17 proyectos europeos, 175 proyectos en convocatorias nacionales, más de 500 proyectos de investigación y convenios de colaboración con empresas” (6), con unos ingresos globales de 70 millones de euros, todos ellos con más de 5000 investigadores vinculados a 243 grupos consolidados, 14 grupos singulares y 22 grupos emergentes los cuales han sido reconocidos por la “Generalitat de Catalunya” (7).

### 1.1.3 Grupo de Investigación Fisiología Adaptativa: Ejercicio e Hipoxia

Uno de los grupos de investigación adscritos a la Universidad de Barcelona y reconocido por la “Generalitat de Catalunya” como grupo “Singular de Recerca” (SGR300-2009); con código UNESCO: 31090 es Fisiología Adaptativa: Ejercicio e Hipoxia liderado por el Profesor Ginés Viscor Carrasco, catedrático de la UB adscrito al Departamento de Fisiología e Inmunología de la Facultad de Biología y responsable científico del “Servicio de Hipobaría y Fisiología Biomédica”; quien ha participado ha publicado más de 70 artículos en revistas de índole científico. (8).

A nivel general el grupo de Fisiología Adaptativa: Ejercicio e Hipoxia explora y trabaja sobre líneas de investigación como Fisiología del ejercicio en gran altitud; “parámetros de equilibrio ácido-base y balance iónico durante ejercicio y estrés térmico; reología sanguínea y microcirculación en músculo esquelético; capilarización, morfometría y caracterización metabólica de fibras musculares; Intercambio ventilatorio y transporte de oxígeno en ejercicio, hipoxia y estrés térmico; y finalmente respuestas adaptativas de la exposición intermitente a hipoxia hipobárica” (9); esta última de interés para la estudiante y en la cual fue asignada dentro de la pasantía de investigación que realizó durante el primer semestre del 2013.

Siguiendo con aquella línea investigativa; el grupo ha estado y actualmente se encuentra investigando acerca de las respuestas adaptativas que son inducidas por la limitación del aporte de oxígeno a nivel sistémico simulando cambios de altitud a partir de la modificación en la presión barométrica;

siendo punto importante de análisis los ajustes a nivel periférico y central que modifican la respuesta adaptativa de los tejidos frente al ejercicio cuando se tienen condiciones contextuales en las cuales la hipoxia no es permanente. (9)

Este grupo tiene una larga trayectoria ya que en el periodo comprendido entre 1994 a 2001, adelantó importantes investigaciones que han sido base para la continuidad y sostenibilidad de dicha unidad de investigación en exposición a hipoxia intermitente en humanos a través de una cámara hipobárica instalada en el Institut Nacional D'educaci'o Física de Catalunya (INEFC) en donde se pudo realizar programas de exposición a la altura de manera simulada e intermitente obteniendo muestras de estudio a nivel sistémico, especialmente sanguíneo, ventilatorio y cardiaco; de igual manera actualmente se realizan en la cámara hipobárica del campus universitario del hospital universitario de Bellvitge en L'Hospitalet de Llobregart. (10)

De tal manera se pudo realizar una aproximación a la fisiología en altura a través de dos vertientes, la primera, tomando modelos animales experimentales como lo son ratas de laboratorio, y por otro lado humanos; siendo posible el estudio de las alteraciones a nivel periférico de cada uno de los organismos y observando claramente una ventana científica que da indicios de que los resultados en ésta área tienen una posible aplicación terapéutica. Debido a lo anterior los estudios han ido más allá de la fisiología adaptativa en personas deportistas, sino también abrió un campo de estudio en población con Trauma Craneoencefálico. (10)

Por tanto el grupo de investigación de fisiología de Ejercicio e hipoxia se encuentra alimentado de la constante investigación multidisciplinaria de diferentes unidades académicas como lo son la Facultad de Biología a través del departamento de Fisiología e Inmunología, la Facultad de Medicina con la Unidad de Fisiología del Ejercicio del Departamento de Ciencias Fisiológicas II, y el Instituto Guttmann.

#### **1.1.4 Publicaciones del grupo de investigación:**

Debido al gran número de publicaciones que tiene el grupo de investigación se remite al siguiente enlace:

*<http://scholar.google.es/citations?user=LLIn1gQAAAAJ&hl=es>*

Se puede apreciar las publicaciones que han tenido desde el año 1980 hasta la actualidad 2013 observando que tienen más de 200 publicaciones y se encuentran activos dentro de la comunidad científica y la vanguardia.

## **1.2 PROBLEMATICA**

La investigación es un área fundamental en el avance del conocimiento en Fisioterapia y en el mejoramiento de la calidad del proceso académico de aprendizaje dentro del componente de formación integral; por tal motivo es una premisa para la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de Barcelona generar cada día dinámicas con elementos interdisciplinarios a partir de los grupos de investigación que aporten a dichos procesos. Según lo anterior, la problemática subyace en la necesidad de generar conocimiento aplicado en el campo de Fisioterapia a través de la investigación, demandando formación y capacitación en esta área; que sumada a los

saberes teórico-prácticos adquiridos en el pregrado fortalecerá los aprendizajes y el avance de la profesión

### **1.3 ESCENARIOS DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

Esta pasantía en el grupo de investigación se desarrolló en los laboratorios del departamento de Fisiología e Inmunología de la Facultad de Biología en la Universidad de Barcelona, y en la Unidad de Fisiología del Ejercicio y en el Campus de Bellvitge de L'Hospitalet de Llobregat.

Así mismo las funciones que realizó la estudiante estuvieron supeditadas a las habilidades que a lo largo del proceso ella fue alcanzando, basadas en la práctica y conceptos teóricos de lo adquirido en su carrera como en los constructos teóricos que dicho grupo ha realizado. Sus funciones se encuentran detalladas en el capítulo de los resultados que se obtuvieron, pues cada uno refleja los aprendizajes que tuvo la estudiante dentro de su formación como investigadora.

### **1.4 JUSTIFICACIÓN**

La investigación es un elemento transformador dentro de la sociedad que actúa como eje fundamental en el desarrollo en todos los campos de la práctica fisioterapéutica. Este proceso enriquece la profesión a través de la fundamentación teórico-práctica y hace que la labor e intervención del fisioterapeuta este a la vanguardia de los adelantos de la ciencia a nivel

mundial. Por lo tanto la investigación en la perspectiva del movimiento corporal humano garantiza el fortalecimiento de la profesión y evita que salga del campo competitivo.

Por otro lado la investigación, al ser un elemento transformador, influye no solamente en la intervención que se da a la población aportando al bienestar humano, sino que también genera modificaciones dentro de la formación integral del perfil fisioterapéutico construyendo individuos a nivel intelectual con miradas más holísticas a situaciones problemáticas, influyendo potencialmente en todas las esferas de la población colombiana, siendo conscientes que se es parte de una sociedad y que el hecho de tener la ventaja y el privilegio del poseer conocimiento, también conlleva una responsabilidad con la misma comunidad, la institución que ayuda a forjar dichos perfiles, la nación y consigo mismo.

La investigación soporta cambios en la forma de “transmitir y acumular conocimiento” (11), dando aportes científicos los cuales crean escenarios que potencializan el desarrollo económico de la nación enlazado al campo social y tecnológico, convirtiendo la universidad en la unión con el estado e industria que genera contribuciones respecto a la calidad de vida de las personas. En este caso, la pasantía en investigación contribuye en la formación de la estudiante como investigadora que en el futuro tendrá muchas más herramientas para aportar desde este punto a la sociedad de su país.

Por tanto dicha pasantía alimenta con herramientas al estudiante, moldeándola como investigadora, aportando no solo a su formación sino también a todo el contexto en el que se encuentra rodeado; en este caso, la Universidad Nacional de Colombia, la Universidad de Barcelona,

específicamente la carrera de Fisioterapia y el proyecto sobre Fisiología adaptativa en el cual participó, conformando redes de investigación y por tanto transmisión de conocimiento mundial a nivel interinstitucional e internacional al interactuar con otras comunidades científicas.

Al participar como pasante de investigación en el grupo Fisiología Adaptativa: Ejercicio e hipoxia es una excelente oportunidad para que el estudiante adquiera habilidades y bases en su formación de pregrado en miras de estudios más avanzados dentro del ámbito investigativo multidisciplinario. Dicho grupo de investigación, enfocado a la actividad física, integra saberes que se estudian a nivel microscópico pero que claramente repercuten en el comportamiento macro tisular y por supuesto el movimiento corporal, no solo dentro de parámetros patológicos sino también desde el desempeño cotidiano de los tejidos. De la misma manera por su trayectoria, el grupo en el cual se desarrolló la pasantía, es referente mundial para continuar otras investigaciones, que aporten dentro del tratamiento terapéutico de individuos que no solo están en el área deportiva sino que también se pueden transpolar desde la habilitación a rehabilitación.

Se espera entonces que un fisioterapeuta en su ejercicio profesional cuente con las suficientes herramientas para poder explorar de manera más analítica y argumentativa el movimiento corporal humano y sus desordenes a través de sustentos teórico-prácticos que potencialicen su quehacer diario a través de la integración y búsqueda de los diferentes saberes; los cuales cada día están en continuo avance, modificándose, moldeándose y nutriéndose a partir de adelantos científicos que amplían los campos de acción de la profesión.

## 1.5 OBJETIVOS

### 1.5.1 Objetivo General

Participar de manera activa y competitiva dentro de las dinámicas al interior del grupo de Fisiología Adaptativa: Ejercicio e Hipoxia de la Universidad de Barcelona, teniendo como prioridad su investigación “¿Puede la hipoxia intermitente contribuir a la regeneración tisular?”, durante el segundo semestre de 2013.

### 1.5.2 Objetivos Específicos

- Lograr integrarse dentro de las actividades que se adelantan en el grupo de investigación.
- Capacitarse en la utilización de técnicas y tecnologías manejadas dentro de los procesos del Laboratorio de Fisiología e Inmunología.
- Adquirir formación en investigación sobre actividad física, ejercicio físico e hipoxia
- Aplicar el método científico en proyectos de investigación dentro del marco de la unión europea.
- Entrenar las habilidades de precisión y rigurosidad al realizar mediciones y observaciones identificando las características de los protocolos y rutinas aplicadas en cada uno de los proyectos en los que colaboró.

- Adquirir habilidades logísticas y de organización para el desarrollo de proyectos de investigación.
- Obtener destreza en el procesamiento y almacenamiento de muestras histológicas de tejidos in situ como parte de la vinculación al grupo de investigación.
- Identificar los criterios que se tienen en cuenta en la recolección, manejo y sistematización de información respondiendo a las necesidades e intereses que se plantean dentro de una investigación.
- Socializar los aprendizajes adquiridos hasta Junio 2013 en relación al proyecto “¿Puede la hipoxia intermitente contribuir a la regeneración tisular?”
- Identificar cómo los aprendizajes desarrollados en el “Lab training” de orden colaborativo, se articulan y relacionan con el ejercicio profesional del fisioterapeuta visualizando alcances.

## 2 MARCO TEÓRICO

El grupo de investigación Fisiología Adaptativa e Hipoxia ha generado múltiples publicaciones en las cuales quieren extender el conocimiento a la población científica para que se comprendan nuevas formas de innovación dentro del campo biomédico y de entrenamiento físico y deportivo. Uno de sus ejes centrales en el 2013 es el proyecto “Efecto de la hipoxia hipobárica intermitente en la recuperación del daño muscular inducido en ratas de laboratorio.”

Teniendo en cuenta que la estudiante se incorporó al grupo, siendo aceptada para integrarse como apoyo al proyecto macro “¿Puede la hipoxia intermitente contribuir a la regeneración tisular?”, sumado a lo expuesto en el párrafo anterior, es fundamental revisar ciertos conceptos y lo que se ha desarrollado en el interior del proyecto para poder entender cuál es el enfoque, las posturas y dinámicas que se presentarán a lo largo de la pasantía. Se conoce por hipoxia a la privación del suministro adecuado de oxígeno, en todo el cuerpo (hipoxia generalizada) o en diferentes segmentos del cuerpo (hipoxia de tejido), esto puede ocurrir en las alturas (“mal de montaña) o al bucear. (12)

Dentro del artículo, “*La hipoxia hipobárica: simulando altitud*” publicado en la revista “*Femmagine, revista para la difusión el conocimiento y el estudio del músculo*”, en su edición del 2012 presentado por el doctor Viscor, se enfatiza que desde este núcleo investigativo se genera ciencia en contra de las lesiones musculares y se investiga sobre la hipoxia hipobárica intermitente, la cual consiste en crear situaciones de “hipoxia de forma

artificial y controlada, permitiendo conocer las reacciones del cuerpo frente a las alturas” (13).

El grupo de investigación ha logrado con éxito realizar un programa en donde controla sesiones hipoxicas al interior de una cámara hipobárica, con paredes muy resistentes, permitiendo reducir la presión barométrica a nivel interno pero que a la vez realiza intercambio de aire desde el exterior. Todo este equipo funciona mediante la acción de un grupo de bombas de vacío y válvulas que en general están controladas de manera informática y por tanto permite aplicar diferentes tipos de exposición a la altitud simulada. (14) Así, a través de patrones diarios de sesiones hipobáricas, el individuo inhala aire con poco oxígeno y seguido a esto se presenta una fase de recuperación con normobaría, siempre manteniendo los parámetros con las mismas condiciones ambientales y físicas que demande la altura geográfica. Es por lo anterior que teniendo en cuenta las necesidades, se ha desarrollado un sistema de refrigeración dentro de dicha cámara lo cual permite simular también el clima frío, suponiendo un contexto similar al deseado para los participantes en donde hay disminución de la presión y temperatura. (10) (13)

Así mismo, este grupo de investigación innova desarrollando nuevas posturas frente al entrenamiento físico aplicando teorías básicas del mismo, en donde se genera un procedimiento de uso de la exposición a altitud en sesiones intermitentes sin tener que ir a la montaña, “sometiendo al organismo a una fase de recuperación posterior a un periodo de agresión (hipoxia)” evidenciándose (según la práctica y teoría) cambios morfológicos y funcionales en los individuos, los cuales son beneficiosos porque mejoran el rendimiento a nivel muscular y además se derivan estas aplicaciones al entrenamiento deportivo aplicando dichos ciclos de estrés y recuperación. (13)

Se reporta además que respecto a las aplicaciones deportivas e investigación biológica; dicho grupo de investigación ya había demostrado las ventajas de la aplicación de este tipo de programas respecto a la mejora de la capacidad aeróbica de deportistas en diversas modalidades de competición y también para conseguir la pre-aclimatación a la altitud en alpinistas o expedicionarios a altas cordilleras (Himalaya, Pamir y Andes). “Se pudo entonces deducir que la estimulación de la eritropoyesis como la neo-vascularización, es decir el aumento de densidad capilar en los tejidos de mayor demanda como el músculo esquelético o el miocardio, son la base que proporciona la mejora en la capacidad aeróbica”. (13)

Dentro de su investigación relacionada con hipoxia hipobárica, como todo estudio, presenta ventajas y desventajas pero se ha podido definir hasta el momento que hay pocos riesgos y mayor número de ventajas. Los inconvenientes sobre los que hay que prestar más atención son los derivados de un posible problema disbárico, ya que la relación volumen-presión es inversamente proporcional y por tanto el aire del interior tiende a expandirse con presiones bajas. Dentro de la aplicación en el deporte, se detectaron mejoras en la capacidad aeróbica a través de una pre-aclimatación a la altitud tanto en zonas a nivel del mar como en montaña. (10) Según el grupo de investigación a nivel laboral hay un impacto; en este campo hay varias zonas en el mundo en que cada vez aumenta la cantidad de trabajadores en altitud; “en muchos casos estas personas están sometidas a un sistema de turnos en altura con descansos periódicos a baja altitud lo que proporciona un interesante modelo de exposición crónica intermitente a la hipoxia de altitud” (13). Cómo se ha podido exponer en los párrafos anteriores, esta investigación hace un esfuerzo por abarcar ciencia

aplicada, con su punto fuerte en deporte pero además en la búsqueda de aplicaciones en otros ámbitos.

Finalmente en la actualidad, dentro del marco de la investigación de fisiología adaptativa, desde hace más de un año, la investigación en ratas realizada en los laboratorios del departamento de Fisiología e Inmunología de la Universidad de Barcelona; complementa los trabajos desarrollados previamente en seres humanos con personas deportistas, activas y con patologías (TCE) y aporta evidencia para determinar el efecto de la hipoxia hipobárica intermitente a través de la experimentación con ratas de laboratorio y su recuperación del daño muscular inducido (10) (proceso al cual la estudiante se integró al llegar al grupo). Se analizan pues, las modificaciones a nivel plasmático, morfológico y funcional de los tejidos hematológicos y musculares así como cuantificaciones celulares satélite a nivel miológico que se relacionen con procesos de inflamación, daño y regeneración (14) y que cada día den mayor información de los procesos que se desarrollan a nivel fisiológico en los organismos expuestos a ejercicio físico e hipoxia hipobárica.

### **3 ESTRATEGIA METODOLÓGICA**

Teniendo en cuenta que la pasantía estuvo planteada de manera abierta a modificaciones dependiendo los procesos de aprendizaje y las habilidades que la estudiante adquiriría, es importante precisar cómo fue el proceso metodológico para encontrar y ser aceptada dentro del grupo de investigación Fisiología: Ejercicio e hipoxia; por otro lado, la metodología de trabajo dentro de la institución que la estudiante pudo observar en los diferentes sitios de práctica y por último la que la estudiante tuvo a partir de las posibilidades de intervención y aprendizaje incluyendo su integración dentro de una parte de la investigación.

#### **3.1 BÚSQUEDA Y SELECCIÓN DE PASANTÍA**

Para desarrollar la pasantía en el grupo de investigación Fisiología Adaptativa: Ejercicio e hipoxia de la Universidad de Barcelona teniendo como prioridad el proyecto DEP2010-22205-C02-00 titulado “¿Puede la hipoxia intermitente contribuir a la regeneración tisular?” se realiza una investigación reportada en principio de manera descriptiva, orientada a la revisión teórica de los conceptos manejados dentro del grupo de investigación con bases bibliográficas, fundamentando la razón de cada uno de los procesos analizados y realizados; además en segunda medida, orientado al registro del aprendizaje práctico que se tenga dentro de las dinámicas de cada una de las unidades del grupo.

Teniendo en cuenta el enfoque investigativo en el cual se ha formado la estudiante a lo largo la Carrera de Fisioterapia, específicamente en la Línea de profundización Mecánica y Neuromecánica del Movimiento y en las Prácticas Académicas de Campo; la intención de la estudiante por querer conocer otro tipo de enfoques a nivel mundial sobre la fisioterapia, iniciando por el contacto disciplinar con otros fisioterapeutas y multidisciplinar en otra parte del mundo, y el hecho de ser consciente de que la fisiología es el motor que permite las modificaciones a nivel sistémico del movimiento corporal humano, siendo estas relacionables con áreas de interés por parte de la estudiante sobre neurociencias y neurofisiología al entender los elementos bioquímicos, electro-físicos entre otros; se inició la búsqueda de lugares en los cuales la estudiante pudiera desarrollar herramientas en el ámbito investigativo con el enfoque de la última práctica académica de campo a desarrollar durante el transcurso de X semestre; Ejercicio físico y deporte.

Se tuvo en cuenta centros de referencia mundial en los cuales la investigación fuera destacada por su calidad y excelencia y de tal forma se ubicó la Universidad de Barcelona en España y los diferentes grupos de investigación adscritos a la misma.

Paralelo a lo anterior se hizo una búsqueda en la base de datos de la Oficina de Relaciones Internacionales de la Universidad Nacional de Colombia, se realizó el contacto telefónicamente con Universidad de Barcelona confirmando la existencia de un acuerdo marco entre universidades para la realización de actividades académicas de índole investigativo y se revisó el contenido e información general de diferentes grupos de investigación encontrando al grupo Fisiología Adaptativa: Ejercicio e hipoxia como aquel

que cumplía con los requerimientos que posiblemente necesitaría acorde a la culminación de su décimo (X) semestre y a sus intereses particulares respecto a los diferentes tópicos que se desarrollan dentro de los proyectos trabajos en dicho grupo.

Es entonces cuando la estudiante se comunica telefónicamente con el Coordinador del grupo, el profesor Dr. Ginés Viscor y a través de la respuesta formal vía correo electrónico, él le brindó la oportunidad de ser parte de su grupo de investigación por el semestre comprendido entre Febrero y Junio de 2013 tomando la figura de estudiante en “Laboratory training” lo cual significa que la Universidad de Barcelona recibe a un estudiante interesado en hacer parte del equipo para aprender y hacer un entrenamiento científico.

A continuación, la Universidad Nacional de Colombia selecciona y autoriza a la estudiante a realizar un intercambio académico durante el siguiente periodo siendo aceptada su solicitud en el acta 35 de la sesión del 25 de Octubre de 2012 por el Consejo de la Facultad de Medicina, y posteriormente a dicha fecha fue aceptada por la Oficina de Relaciones Internacionales de la Universidad Nacional de Colombia y de la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona. De tal forma este sueño y oportunidad para tener mayores herramientas dentro de su formación integral a nivel fisioterapéutico se vuelve más tangible.

La estudiante entonces adopta la figura de estudiante pasante y de intercambio internacional, formándose en un “Laboratory Training” con una

intensidad de 30 créditos durante su estancia, trabajando tiempo completo dentro del grupo de investigación pero manejando una agenda semanal, la cual era flexible dependiendo las necesidades del grupo de investigación, del proyecto en marcha y las circunstancias de los experimentos. Para efectos de los requisitos de las asignaturas en la Universidad Nacional, la estudiante cumplió 6 créditos de la asignatura trabajo de grado correspondiente a 256 horas presenciales durante el semestre.

Dicha pasantía se desarrolló en 2 bloques; el primero se desarrolló dentro del proyecto ya nombrado y el segundo se centró en la participación y observación de pruebas de desempeño deportivo y de actividad física de investigaciones en curso indirectamente relacionadas con el laboratorio FEH. Por tanto el desarrollo de las actividades académicas tuvo lugar en las instalaciones de la Universidad de Barcelona y sus laboratorios del Departamento de Fisiología e Inmunología de la Facultad de Biología dentro del Campus de Pedralbes (BKC), y en el Servicio de Hipobaría y Fisiología Biomédica, ubicado dentro del Campus de la Salud en el Hospital de Bellvitge (HUBc).

### **3.2 PROYECTO INVESTIGACIÓN “EFECTO DE LA HIPOXIA HIPOBÁRICA INTERMITENTE EN LA RECUPERACIÓN DEL DAÑO MUSCULAR INDUCIDO EN RATAS DE LABORATORIO.”**

Para entendimiento del lector sobre cuál era la dinámica de trabajo con la que la estudiante se encontró a continuación se presenta un panorama general de la metodología del proyecto que tuvo mayor prioridad ella durante su estancia; al integrarse al equipo de trabajo la estudiante apoyó en todas las fases pero esto se desglosará en el apartado de resultados. El proyecto se desarrolló en 3 fases: experimentación, toma de muestras y análisis.

### **3.2.1 Diseño Experimental**

Los sujetos de estudio fueron 14 lotes de 10 ratas macho (Sprague-Dawley) cada uno divididas en 3 grupos; Control, Experimental 1 y Experimental 2. Los sujetos han sido enumerados con códigos expresando que hacen parte del departamento; son sujetos vivos y tienen un número dentro de la N total de 130. Para disminuir el porcentaje de sesgo, se realizó doble ciego en donde las ratas son enumeradas consecutivamente en números en impares del 1 al 100 de tal forma que no afecte en los análisis de los resultados el conocer los sujetos manipulados.

Dependiendo el grupo en el que se encontraban, éstas fueron expuestas a 3 fases de experimentación: La primera de preparación, daño muscular y rehabilitación (Fase analítica) a través de protocolos establecidos y diseñados a partir de la evidencia científica y la experiencia de los investigadores principales. (Gráfico 1).

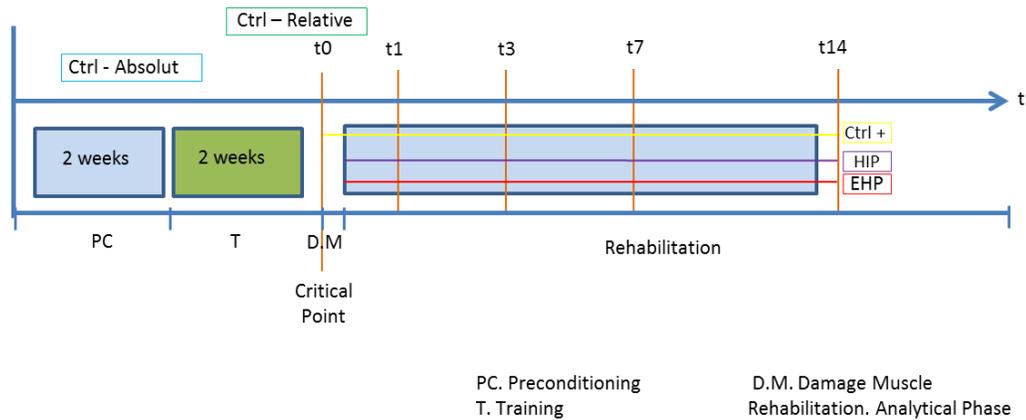


Gráfico 1, Estructura Diseño experimental Investigación del FEH lab.

La fase preparación incluye una sub-fase de pre- acondicionamiento y otra de entrenamiento. El pre-acondicionamiento se realiza a través del protocolo interno QGR/101.055.001; el cual tiene una duración de 2 semanas, en donde los todos las ratas son expuestas y adaptadas a correr hasta  $45\text{cm s}^{-1}$  en una banda caminadora con rejilla de estimulación eléctrica al final de ella con intensidad entre 0.2 a 1mA. Se inician sesiones con velocidad  $0\text{ cm s}^{-1}$  y va aumentando hasta llegar al máximo ( $45\text{ cm s}^{-1}$ ); a partir de la sesión 5, se realizan dos sesiones diarias (A y B), con mínimo 6 horas de descanso entre cada sesión. (15)

El entrenamiento se rige a través del protocolo QGR/101.055.002; éste tiene una duración de 2 semanas en donde las ratas mantienen la velocidad de carrera en  $45\text{ cm s}^{-1}$  durante 35 minutos y realizan dos sesiones diarias. Durante estas dos subfases, a partir de la observación y los parámetros manejados dentro de los protocolos, el grupo control se divide en negativos y positivos dependiendo si las ratas han aprendido el estilo de carrera adecuado respecto a la clasificación de comportamiento del interno

101.710.002-3E01A del protocolo QGR/101.051.002; los positivos pasarán a la fase de daño muscular, mientras que los negativos no pasarán dicho punto crítico. (16)

La siguiente fase, es la de daño muscular, en donde a partir del protocolo interno QGR/101.051.001 se realiza una sesión de carrera forzada con una declinación o pendiente negativa en la banda de 0-15° exigiendo una contracción excéntrica de la musculatura del eje posterior de las ratas a una velocidad entre 20-50cm s<sup>-1</sup>. La duración de dicho protocolo va hasta que se pueda observar que la rata está en la fatiga máxima y no es capaz de correr lejos de las descargas eléctricas las cuales varían entre 1.2 y 1.8mA; y/o presentan posiciones antálgicas, protegiendo uno de sus miembros inferiores. Dentro del diseño experimental, las ratas no realizan entrenamiento un día antes la aplicación de este protocolo disminuyendo los niveles de estrés de las ratas y coordinando logísticamente los momentos de sacrificio dentro de las semanas. (17)

Posterior se realiza el protocolo de Sesión Hipóxica Intermitente, en donde siguiendo el protocolo interno QGR/101.056.004 se modifica la presión atmosférica de 740 torr (Barcelona) a 462torr. (rango optimo 462 ± 3 ; rango aceptable 453 y 470); Aproximadamente 4000 metros de diferencia con respecto al nivel del mar durante 4 horas haciendo la variación de altura en aproximadamente 15 minutos. (18)

En la fase de rehabilitación, las ratas que se encontraban en el grupo experimental 2, debían correr justo después de la sesión hipobárica,

siguiendo el protocolo interno establecido QGR/101.055.005; ellas alcanzan una velocidad de  $30\text{cm s}^{-1}$  y dependiendo de la fase del protocolo correrán con 5 grados de inclinación ascendente. Tiempo del protocolo: 22 minutos. (19)

Durante todos los protocolos, se realizó el registro de diferentes parámetros (% de humedad, temperatura, número y tiempo de duración de los electrochoques cuando la rata toca la rejilla, distancia recorrida, entre otros). Así mismo a pesar de que se han hecho modificaciones a los protocolos internos estos provienen de protocolos ya establecidos y validados anteriormente en otras investigaciones por la comunidad científica respecto al entrenamiento con ratas (10).

### 3.2.2 Toma de muestras

Después de la aplicación de los protocolos se realizaron toma de muestras en Tiempo (t) 1, t3, t7 y t14; teniendo como t 0, el punto crítico del daño muscular. (Gráfico 1.)

Para la toma de muestras se realizaron sacrificios en cada uno de los tiempos programados de manera aleatoria; logísticamente se programaron 5 sitios de trabajo. Un sitio de toma y corte

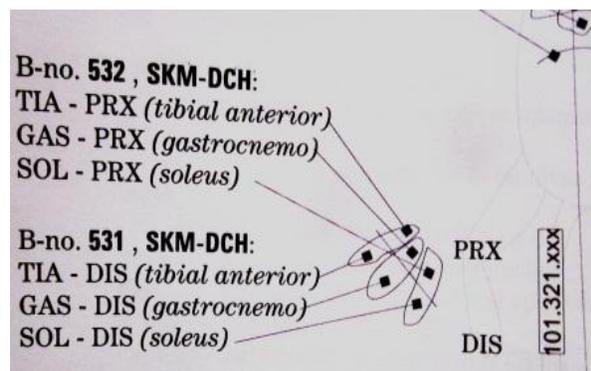


Ilustración 1 Ejemplo codificación para Músculos miembro posterior derecho.

de muestras, un segundo sitio de pesaje y nuevo corte tisular, un tercer sitio de almacenamiento de las mismas; un cuarto sitio de preparación plasmática y un quinto sitio de conteo celular, todo registrado a través de códigos específicos según el origen de la muestra. (20)

### **3.2.3 Análisis de muestras**

En el análisis de muestras se realiza en 3 unidades. La primera, Hematológica parte A, en la cual a través de diferentes pruebas bioquímicas se busca describir la evolución de marcadores de daño muscular. Se tipifica el aumento de células progenitoras en sangre como respuesta al tratamiento; por otro lado se realizan pruebas a nivel histoquímico para definir a nivel estructural y bioquímico los cambios que se han generado haciendo pruebas con ciertas citoquinas (IL-6, IL-1  $\beta$ , TGF- $\beta$ , IGF-1, LIF) (10).

Así mismo en la última unidad realizan pruebas respecto a la densidad sanguínea (EDTA; FACScan; Viscosidad) y además como un subgrupo se toman los huesos de los 4 miembros para realizar antropometría ósea y analizar su médula.

### **3.3 “SERVICIO DE HIPOBARIA Y FISIOLÓGÍA BIOMÉDICA” LABORATORIO DE FISIOLÓGÍA Y EJERCICIO FÍSICO; HOSPITAL BELLVITGE**

El laboratorio está coordinado por el Profesor Casimiro Jaiverre, el cual tiene a cargo varias investigaciones y su departamento trabaja muy unido al departamento de Fisiología e Inmunología de la Facultad de Biología de la Universidad de Barcelona respecto a fisiología adaptativa. En ese orden de ideas el Servicio de Hipobaría y Fisiología Biomédica se convierte en un escenario en el cual la estudiante puede integrarse al trabajo diario con personas que asisten al hospital para diferentes procedimientos en la cámara hipobárica o en el laboratorio de fisiología en el cual se prestan servicios de las diferentes tecnologías y generan conocimiento a partir de los experimentos que realizan a diario de los estudios adelantados dentro del departamento.

### **3.4 METODOLOGÍA INTEGRACIÓN ESTUDIANTE DE ESTANCIA TEMPORAL.**

El régimen colaborativo por parte de la estudiante en la Estancia temporal se dividió en 2 áreas, por un lado colaboró en el laboratorio de Fisiología Adaptativa: Ejercicio e hipoxia dentro del manejo, cuidado y entrenamiento de las ratas; apoyo en la realización de pruebas histoquímicas de las muestras tisulares dentro de esta unidad de análisis, apoyo en los protocolos de muestreo en las 5 unidades de recolección de muestras (ver 3.2.1), apoyo

en la unidad de trabajo hematológico en el entrenamiento y realización de pruebas de laboratorio tipo ELISA; entre otros.

Teniendo en cuenta que la estudiante pertenece al laboratorio FEH (Fisiología Adaptativa: Ejercicio e Hipoxia); dependiendo del volumen de trabajo y los intereses de la estudiante desempeñó labores en el UFEBELL apoyando las actividades de las pruebas de campo, de variabilidad cardiaca, pruebas de esfuerzo, entrenamiento y manipulación de tecnologías propias de los experimentos que se estuvieran realizando de orden investigativo. Por lo anterior observó y participó en pruebas de esfuerzo físico a personas con discapacidad cognitiva en el marco de un estudio de intervención con danzaterapia, pacientes de fatiga crónica y con lesión medular. Así mismo pruebas ecográficas de diferentes tejidos observando la respuesta a exposiciones determinadas por los estudios que se realizan, entre otros. Dichos estudios son de índole particular o de trabajo interno del departamento.

Por tanto la agenda de la estudiante se modificó cada semana dependiendo de las actividades de cada uno de los laboratorios, dando prioridad al proyecto nacional de hipoxia intermitente y pruebas con personas deportistas que presentan lesión medular.

## 4 RESULTADOS

En este capítulo se describen los resultados y alcances obtenidos a lo largo de la pasantía en un grupo investigación, desarrollada en la Universidad de Barcelona como opción de Trabajo de Grado en el periodo entre Febrero 1 y Junio 30 del 2013. Está dividido en 5 partes, referentes a facetas superpuestas e interrelacionadas dentro del proceso de experiencia y formación. A continuación se presenta un esquema en el cual el lector puede ser guiado de una manera más simple a través de los resultados, siguiendo el hilo conductor del proceso de pasantía. En dicho esquema hace referencia al desarrollo del objetivo principal englobado en la figura de “Laboratory training” (Denominado así en por el laboratorio FEH), en el cual se evidencian las 5 facetas, pero además el cumplimiento de cada uno de los objetivos específicos presentados en este documento incluidos dentro de dichas categorías (con letras de la A a la K). *(ver gráfico 3)*

El esquema está separado por 6 colores, los cuales representan las 5 facetas; “Dinámica del grupo de investigación” (rojo); Organizacional (verde); “Procedimental, técnico y tecnológico”(naranja), , “Adquisición de formación en investigación actividad física, ejercicio físico e hipoxia” (azul) y “Experiencia dentro del proceso de formación como investigadora”(fucsia); el sexto color (morado) hace parte de un resultado extra, ya que ella tuvo un mayor acercamiento a una de las unidades de trabajo (muscular) en donde se planteó desde el equipo de trabajo la pregunta ¿Cuáles son cambios morfo-funcionales a nivel micro-estructural en las fibras musculares de Sóleo; tras una lesión por sobre-esfuerzo en los diferentes grupos experimentales (Control positivo, hipoxia y ejercicio e hipoxia) a 3 y 7 días después de ocurrida la lesión?.



#### **4.1 RESULTADOS: DENTRO DE LAS DINÁMICAS DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN FISIOLÓGIA ADAPTATIVA: EJERCICIO E HIPOXIA.**

Es importante reiterar que la estudiante al llegar al grupo de investigación se encontró con oportunidades para integrarse y las posibilidades de aprendizaje dependerían de ella y su interés por formarse como investigadora.

Teniendo esto claro:

- ✓ La estudiante durante su entrenamiento científico fue asignada a colaborar de manera autónoma en todos los procedimientos en los que se manipulaban las ratas cuando estuvieron vivas, (remitase diseño experimental 3.2.1) durante la toma y almacenamiento de muestras después del sacrificio (remitase “Toma de muestras” apartado 3.2.2). La estudiante logró realizarlo de manera adecuada integrándose al grupo de investigación FEH dentro de la investigación “Efecto de la hipoxia hipobárica intermitente en la recuperación del daño muscular inducido en ratas de laboratorio”.
  
- ✓ Por otro lado, la estudiante dentro de su Pasantía desarrollo junto a la unidad de trabajo de Músculo la pregunta ¿Cuáles son cambios morfo-funcionales a nivel micro-estructural en las fibras musculares de Sóleo; tras una lesión por sobre-esfuerzo en los diferentes grupos experimentales (Control positivo, hipoxia y ejercicio e hipoxia) a 3 y 7 días después de ocurrida la lesión?;

- ✓ En el Departamento de Ciencias Fisiológicas II (UFEBELL) y Servicio de Hipobaría del Hospital Universitario de Bellvitge la estudiante realizó acompañamiento a 3 proyectos de manera aleatoria dependiendo de las necesidades del Proyecto Nacional desarrollado en el departamento FEH.

El primer proyecto liderado por la Dra. Guerra de la Universidad de Blanquerna y el Dr. Javierre se relacionó con un programa de entrenamiento combinado de ejercicio físico aeróbico, danzaterapia y entrenamiento de la resistencia para mejorar condiciones de salud de personas con discapacidad cognitiva; la estudiante acompañó, colaboró y aprendió sobre la realización de pruebas de esfuerzo máximas y submáximas; pruebas de balance y equilibrio, apoyó en la coordinación logística de los pacientes, registro de datos y observación en una sesión de danzaterapia.

El segundo proyecto se relacionó con mediciones en la variabilidad cardiaca de personas adulto mayor que realizaba una vez a la semana Chi Kung, investigación liderada por 3 enfermeras docentes de la Facultad de Medicina de la UB. A la estudiante le asignaron colaborar en el manejo y orientación de los individuos durante la aplicación de las pruebas de campo, test de concentración, montaje del instrumento de medición (Polar).

El tercer proyecto, liderado por el Dr. Javierre y en colaboración con el laboratorio FEH, se relacionó con el mejoramiento de rendimiento deportivo y sus capacidades físicas de deportistas paralímpicos élite de handbike con lesión medular. La estudiante apoyó la realización de las pruebas de esfuerzo triangular y submáxima, pero además bajo la

supervisión de Juan Gabriel Rios (Doctorando en el FEH) realizó el montaje y monitorización del sistema tecnológico NIRS (ver apartado 4.1.8)

Las anteriores acciones realizadas dentro de las investigaciones multidisciplinares permiten evidenciar que la estudiante se integró, adaptó y trabajó de manera sincronizada dentro del grupo de investigación. Reflejado en el apoyo constante de ella hacia los investigadores en la realización del acompañamiento de proyectos y de los investigadores hacia ella en los aprendizajes teóricos y prácticos durante su estancia. (*Gráfico 3, Sección A*)

## **4.2 RESULTADOS: DE ORDEN ORGANIZACIONAL**

### **4.2.1 Habilidades logísticas**

*La estudiante adquirió habilidades logísticas y de organización para el desarrollo de proyectos de investigación (Gráfico 3 sección B)*

Partiendo de la base justificada de este trabajo de grado, sobre la importancia de la investigación en la formación para interrelacionar saberes a partir de la experimentación de condiciones particulares que afectan la fisiología, para la estudiante fue fundamental hacer un acercamiento real de los recursos necesarios que se deben tener en cuenta para llevar a cabo una investigación de gran tamaño y sus respectivas labores en el ámbito científico, lo cual desde el principio tiene una bandera en alto llamada interdisciplinariedad. Por tanto la estudiante a lo largo del proceso de formación pudo tener una visión tanto macro como micro de los recursos

necesarios para desarrollar diferentes proyectos y la logística necesaria para ello.

También pudo relacionarse con la interdisciplinariedad no solo desde el punto de vista de intercambio de saberes, sino también de recursos, es decir; la estudiante se dio cuenta que los diferentes entes académicos se plantean situaciones para ser estudiadas en donde intervienen varios departamentos no necesariamente de una sola Universidad e Institutos de investigación, colaborándose entre sí para disminuir gastos económicos y aprovechar al máximo la situación problemática a investigar involucrando varias preguntas relacionadas y de tal forma el constructo final será más de una sola publicación dentro de la comunidad científica.

Pasando al plano metodológico y en relación al mejor aprovechamiento de los recursos, es importante la planeación de cómo se manejarán las muestras dentro de una investigación. En el caso de la estudiante, ella se relacionó mayoritariamente con ratas, codificación de muestras, lugares para almacenar las mismas; de orden de laboratorio; pero esos aprendizajes dentro de su rol de fisioterapeuta se trasladan a la organización de los pacientes según las necesidades presentadas (ejemplo: El caso de los pacientes que presentaban lesión medular; los cuales no tenían el mismo nivel y las pruebas se debían realizar en cicloergómetros adaptados a sus condiciones), los equipos necesarios, el orden como se obtendrán los datos de las pruebas que se realicen, los elementos principales que deben observarse al realizar mediciones en las personas, especialmente si se realizan pruebas o experimentos en estados dinámicos y no estáticos.

Dentro del grupo de investigación, en el FEH, la estudiante pudo darse cuenta que la organización interna del manejo de muestras, recolección de datos y demás elementos aporta en el trabajo en grupo, ya que permite diferentes posibilidades de interrelacionar información y generar puntos de relevo en donde cada unidad de trabajo adquiere la información que necesita controlando aleatorizaciones y condiciones específicas.



Ilustración 2 Organización papeletas codificadas para muestreo Pasantia UNAL- UB 2013 FEH-U.



Ilustración 3 Codificación y preparación para muestreo Pasantia UNAL- UB 2013 FEH-U.

En el caso de la investigación “Efecto de la hipoxia hipobárica intermitente en la recuperación del daño muscular inducido en ratas de laboratorio.” La estudiante se incorporó en las dinámicas de relevo dentro del muestreo, apoyó en la preparación del laboratorio para cada sacrificio (remitirse a 3.2.2) y además colaboró en la organización logística de las papeletas y recipientes en los cuales se adquieren las muestras para luego ser direccionadas a cada unidad de trabajo que la requiera.

Dependiendo de la muestra (pata derecha, izquierda u otros tejidos) el papel se encontraba pre-pesado; a estos era necesario ponerles el código de barras y una línea divisoria entre parte “proximal” y parte “distal”. Las papeletas que no están pre-pesadas contienen el número del origen de la

muestra y se tiene organizado por cubículos los números correspondientes a cada muestra. Dichas características se identifican en el código de barras organizados por número de lote de rata; letra indicando origen del tejido y código final con el número de la rata. “Todo lo que está vinculado al proyecto nacional posee código, número de nueve dígitos” (20) que hacen referencia a lo anterior.

Lo anterior evidencia el nivel de organización que hay dentro del laboratorio, en donde cada detalle procedimental logísticamente preparado y su comunicación sea en un solo lenguaje; como consecuencia la estudiante aprendió que el contexto y las condiciones suministradas por el investigador previamente planificadas evita la pérdida inadvertida de información que no se encuentre monitorizada (especialmente cuando se manejan volúmenes muestrales altos) y de manera recíproca el control de dicha información permite tener una mejor visión de hasta dónde se podrá llegar en el camino de la investigación en curso, ya que evidencia la capacidad que tiene el equipo de obtener el mayor número de datos y cumplir los objetivos que se proyecten.

#### **4.2.2 Manejo de información y datos.**

*La estudiante durante su proceso de pasantía recolectó información y manejó datos tanto en los protocolos de entrenamiento y muestreo, como en el procesamiento y cuantificación de las muestras tisulares. ( ver Gráfico 3 sección C) esto generó razonamientos de correlación entre los datos arrojados según el proceso que estaba haciendo, las variables que se observaron y los conocimientos teóricos; alimentando la identificación de los*

posibles criterios que se tienen en cuenta al momento de realizar un diseño experimental, hacer observación de comportamientos entre otros.

Durante el entrenamiento en cada una de las etapas la estudiante obtuvo información respecto al comportamiento de los individuos, el lote al que pertenecen, la distancia y velocidad de carrera, sus condiciones ambientales (Temperatura, humedad), la intensidad y duración de los electrochoques estimulantes. Así mismo también obtuvo datos en el punto de relevo de las sesiones de muestreo, en el corte, pesaje y registro de muestra almacenándolos en bases de datos. La adquisición, sistematización y almacenamiento de la información anterior se interrelaciona con el área logística de la investigación aplicando los procedimientos organizacionales planeados previamente y en concordancia con una mayor comunicación entre los individuos del equipo sin importar la unidad de trabajo en la que se desempeñan.

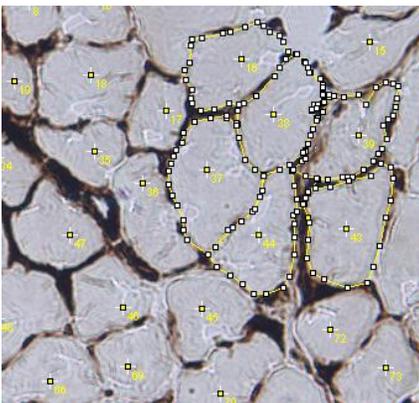


Ilustración 4. Cuantificación celular campo  
2.R110 Sóleo. Pasantía UNAL- UB 2013  
FEH-U

Finalmente la estudiante durante la pasantía realizó la cuantificación de variables observadas en las muestras procesadas con técnicas de histoquímica, organizando dentro de una base de datos la información de cada fibra muscular, campo fotografiado y sección muscular para generar posteriormente comparaciones entre condiciones específicas.

Al realizar un trabajo de profundización en el área de trabajo del Músculo, la estudiante realizó el conteaje de más de 8000 células y sus respectivas variables; lo cual facilitó el proceso de análisis de los mismos al tener claro el panorama de qué estaba sucediendo y de tal forma correlacionar los datos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	AD
1	Indice		8.53	7392	242	0.83	88.83	2.27	3.53	MEIAS													
2			1.73	1986	44	0.07	17.01	0.62	0.53	DESV/EST													
3	Tipos	Fibra	Capillares	PCSA	PER	Circ	Ferret	CCA	CCP														
4	1	1	7	2405.57	105.94	0.05	70.01	2.33	3.00	Totales													
5	1	2	8	5025.26	272.71	0.02	96.12	1.59	2.91	1. Tipos I	81	% F. Tipos I	89.0										
6	1	3	8	3438.54	239.18	0.76	87.31	2.33	3.34	2. Tipos Ia	6	% F. Tipos Ia	6.6										
7	1	4	7	1838.15	142.3	0.88	61.04	3.83	4.31	3. Tipos Ib	4	% F. Tipos Ib	4.6										
8	1	5	5	2389.59	190	0.92	64.49	3.12	2.78	4. Tipos II													
9	1	6	8	4399.7	242.42	0.94	85.65	1.82	3.30	Tipos I													
10	2	7	7	5131.29	286.2	0.79	112.11	1.36	2.45	Capillares	PCSA	PER	Circ	Ferret	CCA	CCP							
11	1	8	7	3954.9	337.04	0.88	85.69	1.77	2.95		8.14	4002	242	0.81	88.81	2.17							
12	1	9	7	3756.47	222.86	0.95	76.29	1.86	3.14	Tipos IIa													
13	1	10	6	3602.09	225.91	0.89	81.81	1.67	2.66	Tipos IIb													
14	1	11	10	5428.17	291.77	0.8	118.62	1.84	3.43	Capillares	PCSA	PER	Circ	Ferret	CCA	CCP							
15	1	12	10	3908.42	252.78	0.77	91.64	2.56	3.96		8.50	4210	257	0.81	95.03	2.09							
16	1	13	9	4354.12	252.54	0.86	91.47	2.07	3.56	Tipos IIc													
17	1	14		2861.09	181.99	0.78	69.81			Capillares	PCSA	PER	Circ	Ferret									
18	1	15		2774.31	198.16	0.89	75.71				7.50	3463	218	0.87	78.98	2.38							
19	1	16		2905.08	208.5	0.84	74.38																
20	1	17		728.78	112.87	0.77	43.63																
21	1	18	11	5113.63	280.26	0.82	105.12	2.15	3.92														
22	1	19	12	4790.82	288.63	0.72	100.74	2.53	4.16														
23	2	20	10	4303.47	284.84	0.62	118.99	1.82	3.39														
24	1	21	7	2849.09	224.61	0.71	90.86	2.46	3.12														
25	1	22	9	5925.17	318.29	0.77	109.73	1.52	2.90														

Ilustración 5. Base de datos pruebas histoquímicas Sóleo. Pasantía UNAL- UB 2013 FEH-U

Dentro de la construcción de criterios de la estudiante al hacer recolección, manejo y sistematización de datos, aprendió que en una investigación siempre se debe registrar no solo las variables de interés, sino también otras posibles variables que se tienen en el escenario experimental y que posiblemente no dan cuenta al cumplimiento de ningún objetivo planteado. Lo anterior es de ayuda ya que 1) si no se obtiene lo que busca en primer medida puede relacionarse el “¿qué salió mal dentro del experimento?” con ¿“Qué pudo influir en la obtención de los datos que pueda alterarlos”? para hacer variaciones en el diseño experimental; 2) El surgimiento de otra pregunta de investigación usando los recursos que tienen ya invertidos, sin necesidad de repetir el experimento. Por otro lado, la manera como se sistematiza siempre debe dirigirse a mantener un lenguaje claro y preciso con el resto de personas; tanto internas como externas a los proyectos disminuyendo la variabilidad de la información según el individuo que la transmita.

### 4.3 RESULTADOS: PROCEDIMENTALES, TÉCNICOS Y TECNOLÓGICOS.

*A lo largo del proceso la estudiante ha podido capacitarse en la utilización de diferentes técnicas y tecnologías manejadas dentro de los laboratorios de la Universidad de Barcelona (Gráfico 3 sección D); a través de la realización de procedimientos necesarios para el desarrollo de las investigaciones en las que realizó acompañamiento y colaboración tanto en el FEH como en UFEBELL (para ver investigaciones específicas remitirse apartado 4.1)*

**Laboratorio del Grupo de investigación Fisiología Ejercicio e Hipoxia (FEH):**

#### 4.3.1 Cámara Hipobárica:

Durante los entrenamientos y adaptación de las ratas (Febrero-Marzo), la estudiante aprendió a monitorizar la cámara hipobárica.

Dentro de los aprendizajes que la estudiante tuvo en el manejo de tecnologías pudo aprender que dicha cámara está compuesta de un compartimiento rectangular de lámina de vidrio gruesa con tres orificios en



Ilustración 6. Cámara Hipobárica Laboratorio FEH UB. Pasantía-2013 Departamento FEH-UB.

donde se alojan 2 válvulas y un sensor de presión, la válvula 1 permite la

entrada de aire y la válvula 2, la ventilación; esta última válvula junto con el sensor, están conectados a un dispositivo que registra la presión a la cual se encuentra la cámara y además indica hacia donde se modifica dicho valor. La presión es controlada desde el dispositivo a través de una perilla. Barcelona se encuentra a nivel del mar, es decir 750 Torr y el estudio se realizó simulando la altitud de 4000 metros de altura, por lo cual se llevaba la presión a 462 Torr y debido a la variación de la presión parcial de los gases, se pasaba de normoxia a hipoxia de manera monitorizada. La información suministrada en los párrafos anteriores se obtuvo a partir de la indagación de la estudiante a los integrantes del grupo durante su proceso de aprendizaje en la utilización de una tecnología nueva para ella. Dentro del proceso la estudiante consideró fundamental saber su funcionamiento para poder tomar decisiones de manera autónoma durante las sesiones de hipoxia.

#### **4.3.2 Equipo de Banda de entrenamiento:**

La estudiante aprendió a manejar la banda de 5 carriles monitorizando la velocidad con dos monitores diferentes (debido a problemas técnicos), estas se asociaban a la resultante de distancia de carrera;



**Ilustración 7. Treadmill- Pasantía-2013**  
**Departamento FEH-UB.**

además se modificaba la intensidad eléctrica con la cual se estimularía a las ratas para que mantuvieran la carrera y de tal forma controlar el comportamiento de cada animal respecto al número de choques sobre la

barra metálica y la cadencia de la marcha. Durante el uso de la banda (treadmill) la estudiante tuvo que monitorizar el comportamiento de las ratas corredoras e ir modificando simultáneamente los parámetros con los cuales corrían de acuerdo a los protocolos establecidos.

#### 4.3.3 Contador celular:

Durante las sesiones de muestreo, se obtenían muestras de sangre y se analizaban justo después de ser tomadas; para esto se utilizó el contador de células sanguíneas Nihon Kohden, y la estudiante aprendió a prepararlo, utilizarlo y realizar la lectura de datos que arrojaba el equipo.



24-MAY-13	09 15	
ID C101	510 3393	
WBC	22.2H	10 <sup>3</sup> /uL
RBC	7.61	10 <sup>6</sup> /uL
HGB	15.1	g/dL
HCT	44.8	%
MCV	58.9	fL
MCH	19.8	pg
MCHC	33.7	g/dL
PLT	819	10 <sup>3</sup> /uL

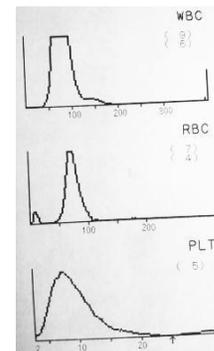


Ilustración 8. Contador celular Lab. FEH, Pasantía-2013 Departamento FEH-UB

#### 4.3.4 Procesamiento y almacenamiento de muestras in situ

*La estudiante obtuvo destreza y agilidad dentro del procesamiento y almacenamiento de muestras histológicas de tejidos in situ a través de las prácticas semanales de muestreo y pruebas histoquímicas como parte de su integración al equipo de trabajo. En donde al analizar y procesar las muestras la estudiante pudo entender mejor la mecánica tisular de los*

*músculos con los que interaccionó y su procesamiento le permitió realizar un análisis de las mismas. (Gráfico 3 sección E)*

Durante cada muestreo, un miembro del equipo y ella recibían las muestras tomadas de las ratas por parte del docente Torrella y Viscor (Ilustración 9)

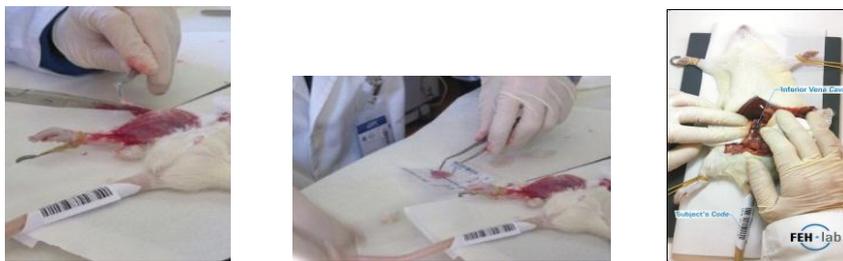


Ilustración 9 Obtención de muestras de sujetos docentes Torrella y Viscor; Foto: Juan Gabriel Rios, Pasantía UNAL-2013 Departamento FEH-U



Ilustración 10 Corte de muestras según tipificación, Pasantía UNAL- UB 2013 FEH-U

La estudiante debía realizar cortes a las muestras tisulares dependiendo de si era pata derecha o izquierda; si la extremidad era derecha debía identificar y separar la parte distal de la proximal, y si era izquierda, cerebro, cerebelo y pulmones se pesaba de  $0.25 \pm 0.03$



Ilustración 11 Corte de Tibial Anterior Derecho, Pasantía UNAL- UB 2013 FEH-U



Ilustración 12 Corte de Diafragma, Pasantía UNAL- UB 2013 FEH-U

Se realiza la inserción de cada código de barras en el sistema dependiendo su origen, sección y futuro procesamiento; adjunto a su peso y categoría.

Observó y participó en el almacenamiento y manipulación de las muestras en recipientes plásticos introducidos en nitrógeno líquido, logrando conservar las muestras con la actividad enzimática y las propiedades del tejido debido a que la disección de las ratas se hacía con anestesia y morían solo al momento en que el diafragma se extraía.



Ilustración 13 Corte e ingreso de datos de la muestra según tipificación, Pasantía UNAL- UB 2013 FEH-U



Ilustración 15 Recipiente de almacenamiento Nitrógeno líquido. Pasantía UNAL- UB 2013 FEH-U

Ilustración 15 Recipiente de almacenamiento codificado. Pasantía UNAL- UB 2013 FEH-U



Así mismo la estudiante a través de su práctica adquirió agilidad y confianza en la manipulación e identificación de las fibras musculares y demás órganos; tanto en el microscopio como in vivo. Los procedimientos anteriores le permitieron participar de las actividades planeadas del grupo de investigación y al adquirir habilidades en dichas manipulaciones el grupo tuvo mayor confianza en lo que ella hacía. Por otro lado desde el papel de fisioterapeuta, no se relaciona directamente con las prácticas diarias del perfil

profesional en la atención de pacientes; pero si lo hace en el plano de la investigación; si este fisioterapeuta se encamina en diseños experimentales que incluyan animales; la experiencia adquirida en los laboratorios le da autonomía para decidir cómo se harán los cortes, el procesamiento y almacenamiento dependiendo de las necesidades que se tengan en la investigación.

Por otro lado, la práctica realizada en los laboratorios identificando y manipulando las fibras contribuye en la formación integral del investigador y del fisioterapeuta ya que le da herramientas para generar posteriores investigaciones, que en el futuro pueden ser desde su diseño y ejecución hasta la dirección científica interdisciplinar, lo cual en el ámbito fisioterapéutico renueva y construye conocimiento ya que las investigaciones relacionadas con temas biológicos direccionadas al estudio humano dan bases para comprender con mayor profundidad el movimiento corporal y por tanto generan desarrollo en el rol profesional.

#### **4.3.5 Pruebas histoquímicas:**

Los aprendizajes que la estudiante tuvo en las siguientes pruebas histoquímicas que se describirán a continuación fueron fundamentales para realizar el análisis de muestras celulares y por tanto el desarrollo de la pregunta de investigación que se planteó al hacer un mayor acercamiento a la unidad de trabajo músculo en el grupo de investigación.

En la investigación “Efecto de la hipoxia hipobárica intermitente en la recuperación del daño muscular inducido en ratas de laboratorio” se realizan pruebas histoquímicas para observar a nivel micro-estructural los cambios comparativos que han sucedido dentro de las fibras musculares de cada uno de los individuos participantes (ratas) en el diseño experimental. Por lo anterior, la estudiante tuvo la oportunidad de aprender, realizar y analizar las muestras procesadas.

Es importante resaltar que la estudiante aprendió a realizar las preparaciones previas a cada prueba histoquímica; es decir, en primer lugar se realizó la búsqueda de las muestras tisulares que se procesaron; teniendo en cuenta que hay cientos de ellas dentro de contenedores (Kanister) sumergidas en nitrógeno líquido. Cada día de prueba se realizaron análisis de 4 a 6 músculos escogidos según la planeación de la semana.

Así mismo se debía gelatinizar portaobjetos para evitar que las muestras tisulares no se adhieran debidamente y se cayeran. Este proceso se realizó siguiendo el protocolo en el cual se toma cantidades específicas de gelatina de piel porcina y agua destilada; y se mezcla a temperatura de 39 grados.

Además se necesitaron hacer cortes de 12 a 15 $\mu$ m en el criostato, tecnología encontrada en la Facultad de Biología en el departamento de Biología celular). La estudiante observó en varias ocasiones el procedimiento realizado por el Dr. Profesor Ramón Torrella. Para disminuir el riesgo de falsos positivos, se realizaron dos copias tisulares de cada muestra a observar; en el caso de los capilares se hacían 4.



Ilustración 16. Criostato, corte de muestras. Pasantía UNAL-2013 Departamento FEH-UB

#### 4.3.5.1 *Protocolo de Succinato deshidrogenasa (SDH)*

Durante los proceso la estudiante aprendió que el protocolo de SDH se utiliza para detectar la actividad de la enzima de origen mitocondrial succinato deshidrogena, debido a las reacciones que presenta, la precipitación implica que hay actividad mitocondrial y por tanto ciclo de Krebs, indicando sobre su principal fuente de energía en la oxidación. Dicha reacción es observada ya que se utiliza Nitro-BT; una sal de tetrazolium soluble la cual sirve como indicador de la reacción química; después de la reacción entre SDH y Nitro-BT, este último no es soluble y precipita formando una sustancia llamada Formazan que se aloja en los lugares en donde hubo reacción oxidativa por la enzima. De tal manera se buscaba diferenciar si las fibras eran anaeróbicas o aeróbicas y si había plasticidad muscular adaptándose generando uno u otro tipo de fibra después de la lesión inducida.

Cuando la estudiante se integró en este proceso, en el aprendizaje de la técnica pudo observar fibras musculares de Gastronemio y Tibial anterior;

luego, cuando estaban analizando Sóleo detuvieron las pruebas de SDH puesto que el porcentaje de fibras oxidativas era mayor al 98% del músculo y el equipo de trabajo determinó que era innecesario continuar haciéndolas.

La estudiante aprendió a realizar el protocolo el cual incluye su medio de fijación en pH 7.6 (Caoilato sódico; Sacarosa; CaCl<sub>2</sub>), y medio de incubación (Tampón fosfato, Solución succinato sódico, Nitro BT).

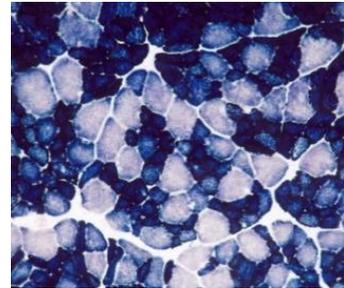


Ilustración 17 Foto Microscopio óptico Tomado por David Rizo; Muestras tisulares Sóleo. Hematoxilina-Eosina,

En cada sesión que la estudiante realizó cada prueba, se preparaban los medios de fijación y de Incubación teniendo en cuenta el protocolo y los gramos especificados de cada sustancia, así mismo modificaba el pH con NaOH.

#### **4.3.5.2 Tinción del endotelio Capilar**

Una técnica que la estudiante aprendió a realizar es la tinción de capilares del músculo esquelético en cortes transversales, diseñada por Fouces & Cols en 1993. Se obtiene a través de la tinción del producto de la actividad de ATPasa propias de las células que conforman el endotelio capilar combinadas con iones del plomo (Pb<sup>2+</sup>)



Ilustración 18 Foto Microscopio Óptico, Sóleo. Tomado por David Rizo. Departamento FEH-U

adicionados al tejido, los cuales precipitan al entrar en contacto con Sulfuro de amonio al final del procedimiento.



Ilustración 19 Tinción final Sóleo, capilares  
Pasantía UNAL-2013 Departamento FEH-U.

Este protocolo tiene dos partes, una de fijación, en donde las muestras se ponen en formalina- sacarosa a una temperatura de 25°C con un pH de 7.6 durante 5 minutos, luego se realiza un proceso de incubación por 1 hora a 40°C; el cual previamente se ha realizado la preparación del mismo (Gelatina, tris.maleato; nitrato de plomo, CaCl<sub>2</sub>, Agua destilada, ATP) con los respectivos pesos de cada insumo; luego se modifica el pH de esa solución alcalinizándola de 3.55(aprox.) a 7.2 con NaOH. Después de dicho tratamiento se tintera con Sulfuro de amonio y se realiza el montaje de los portaobjetos en glicerina.

#### 4.3.5.3 Hematoxilina- Eosina

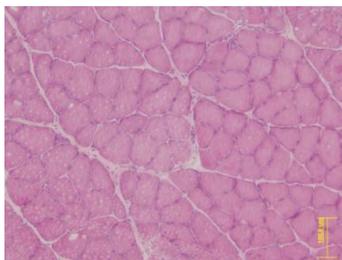


Ilustración 20 Foto Microscopio Óptico.  
Tomado por David Rizo; Muestras tisulares  
Sóleo. Departamento FEH-U

La técnica Hematoxilina- Eosina es una tinción en la cual se tiene en cuenta que la Hematoxilina es una sustancia basófila y la eosina acidófila, por tanto después de un protocolo de fijación se teñirán los núcleos y el citoplasma respectivamente ya que dichas sustancias son afines a ellos. (21)

De tal manera siguiendo el protocolo interno del laboratorio se introducen los tejidos durante 5 minutos en Hematoxilina, luego se realizan lavados y se

expone 3 minutos a Eosina acuosa al 1%, finalmente se introducen en alcohol al 96% y se realiza el montaje.

La estudiante a lo largo del semestre realizó pruebas en las cuales tiñó el tejido practicando, obteniendo agilidad en cada uno de los pasos del protocolo y posteriormente observando lo que sucedía en cada célula.



Ilustración 21 Tinción final hematoxilina-Eosina Sóleo. Pasantía UNAL-2013 Departamento FEH-U

#### 4.3.5.4 *Miosina ATPasa*

Otra de las técnicas que la estudiante aprendió para hacer tinciones a los tejidos es la de ATPas con el protocolo de Booke y Kaiser (1970), en donde a través de dos medios, uno básico y otro ácido se puede diferenciar la actividad rápida o lenta de las células (en medio básico las Ila son más oscuras).

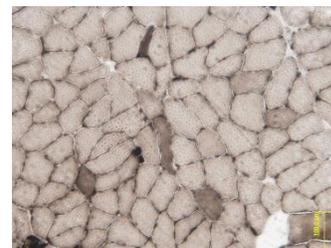


Ilustración 22 Foto Microscopio Óptico Sóleo. Tomado por David Rizo. Departamento FEH-U

Para lo anterior se someten los tejidos a una fijación en Formalina- sacarosa durante 5 minutos a 4°C, luego se realiza una pre-incubación en medio ácido o alcalino dependiendo lo que se quiera obtener, en el caso de la investigación, se busca hacer de un mismo plano tisular una tinción y copia de las fibras, ya que lo que no se tiñe en medio alcalino (10.7) lo hará en ácido (4.2) y viceversa; dicho medio de pre-incubación se ha preparado con

anterioridad con los adecuados pesos de los componentes según el



Ilustración 23 Foto muestras tisulares Sóleo..  
Pasantía UNAL-2013 Departamento FEH-U

protocolo (ácido KCl; Acetato de sodio; Básico: Glicina,  $\text{CaCl}_2$ , NaCl). Después

se procede a pasar a medio de Incubación el cual está a un pH de 9.4 durante 30 min

a temperatura de  $37^\circ\text{C}$  ( $\text{CaCl}_2$ , Tampón Glicina/NaOH; ATP); posterior a esto se

introducen los tejidos en  $\text{CaCl}_2$ , y posteriormente en  $\text{CoCl}$ ; estos dos últimos

reaccionarán con los productos de la actividad de ATPasas y precipitarán; finalmente se agrega Sulfuro de amonio al 2% lo cual teñirá los lugares en los cuales hubo reacción con las ATPasas.

La estudiante aprendió a realizar el procesamiento de las muestras para la tinción de Miosina ATPasa y adquirió las habilidades necesarias para realizarla autónomamente.

#### **4.3.6 Toma fotográfica de muestras Microscopio:**

La estudiante realizó acercamientos a la toma fotográfica de las muestras procesadas y por tanto a dos diferentes microscopios; el electrónico y el digital.

Tuvo la oportunidad de hacer fotografías desde el microscopio óptico del departamento de Fisiología celular de la Universidad de Barcelona; preparó los portaobjetos dentro del microscopio, ubicó las fibras según los sitios de interés identificando áreas de importancia para focalizar los campos necesarios para el posterior análisis (daño muscular; mejor tinción dependiendo las fibras e identificación de posición de fibras) y tuvo la experiencia de manejarlo bajo supervisión del estudiante de Doctorado en Fisiología David Rizo. Por otro lado, también tuvo la oportunidad de hacer sesiones de observación de mitocondrias y tejido adiposo en el Microscopio electrónico (mayor resolución debido a que captura los electrones) en el Hospital Clínic, de la Universidad de Barcelona bajo la tutoría del docente Ramón Torrella.



Ilustración 24 Microscopios. Pasantía UNAL-2013  
Departamento FEH-U

#### 4.3.7 Entrenamiento Pruebas Elisas:

Uno de los procesos realizados dentro de la investigación de Fisiología adaptativa es la de realizar pruebas Elisas al tejido sanguíneo en busca de marcadores inmunológicos que reporten reparación tisular. Teniendo en cuenta que esta técnica es muy costosa todos los estudiantes en formación dentro del laboratorio FEH deben realizar protocolos de entrenamiento antes de aplicar una real. La estudiante realizó y completó dicha etapa de entrenamiento más no realizó ninguna prueba real ya que todas las muestras necesarias ya habían sido procesadas.

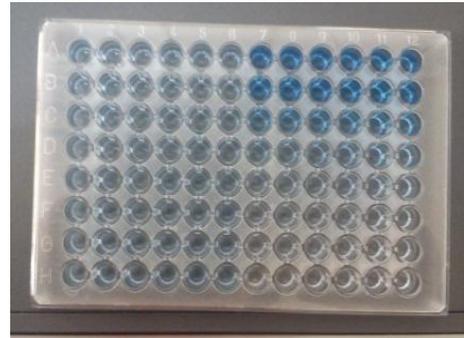


Ilustración 25. Tomado por Jeimy Giraldo  
Entrenamiento ELISAS, placa 96 pocillos. Pasantía  
UNAL-2013 Departamento FEH-U



Ilustración 26. Material ELISAS Pasantía UNAL-2013  
Departamento FEH-UB

Se relacionó con los diferentes tipos de micro pipetas existentes en el laboratorio; realizó el protocolo de entrenamiento en donde se hizo énfasis en la velocidad y precisión de cada pipeteado.

***Laboratorio Unidad de Fisiología del ejercicio del Departamento de Ciencias Fisiológicas del Hospital Universitario Bellvitge (EFEBELL)***

**4.3.8 Ergómetro y Sistema software:**

Dentro de la pasantía, se participó en el Laboratorio de la Unidad de Fisiología del ejercicio del Departamento de Ciencias Fisiológicas del Hospital Universitario Bellvitge (EFEBELL) en donde se trabajan con pacientes e individuos voluntarios para realizar investigaciones; a cargo del Profesor Casimiro Javierre; la estudiante aprendió a realizar el montaje de los equipos utilizados en las pruebas de esfuerzo sobre banda, esto incluyó máscara, calibración, conexión entre máscara y sistema, utilización del software para almacenar los datos y sus respectivos análisis.

Además, en la práctica, la estudiante aprendió a poner sobre el paciente los electrodos para realizar electrocardiogramas, y hacer su lectura monitorizando junto con el equipo de trabajo su estabilidad. Durante las pruebas de esfuerzo se observaron también los datos de referencia en reposo respecto a FR, VE btps, VT Vo<sub>2</sub>/kg, VO<sub>2</sub>, QR, VCO<sub>2</sub>, ER<sub>O2</sub> FC, O<sub>2</sub>Pulse, Lactato, %Vo<sub>2</sub>max, luego durante su trabajo aeróbico, umbral anaeróbico y finalmente en el pico máximo de consumo de oxígeno para ser comparados y analizados.

Dependiendo del paciente la estudiante se capacitó en la observación de los valores que indican hay cambios respecto a la fatiga presentada y los signos

que se registraban en el software para determinar las adaptaciones a las cargas de trabajo, el porcentaje aeróbico y la potencia máxima respecto a los datos teóricos con su edad y estilo de vida.



Ilustración 27. Datos, equipo y Monitor Ergómetro UFEBELL- Biopol'H- Pasantía UNAL-2013 Departamento FEH-UB

#### 4.1.4 Cámara Hipobárica Biopol'H:

Se realizaron pruebas particulares a deportistas que querían mejorar su rendimiento a través de los efectos de la hipoxia hipobárica y la estudiante tuvo la oportunidad de observar y hacer acercamientos de cómo se realiza la monitorización de la cámara hipobárica ubicada en el Servicio de hipobaría y fisiología Biomédica del Hospital de Bellvitge. Esta cámara presenta el mismo principio de la del Departamento de FEH. *(Remitirse a 4.1.1)*

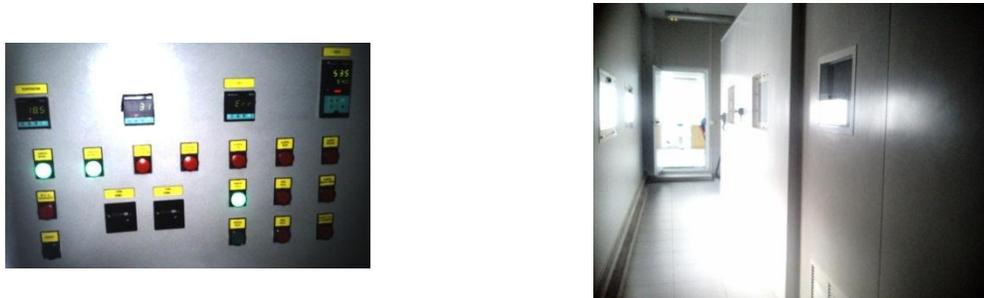


Ilustración 28. Cámara Hipobárica Biopol'H- Pasantía UNAL-2013 Departamento FEH-UB

#### 4.1.8 NEAR-INFRARED SPECTROSCOPY

Mientras la estudiante realizó su pasantía se estaba adelantando una investigación en Laboratorio de la Unidad de Fisiología del ejercicio del Departamento de Ciencias Fisiológicas del Hospital Universitario Bellvitge (EFEBELL) de la Universidad de Barcelona con deportistas elite paralímpicos que presentan lesión medular. Dicha investigación busca el mejoramiento de sus capacidades física y además observar marcadores de activación metabólica a nivel celular. Los detalles de la investigación se reservan.

Se realizaron pruebas de esfuerzo y se monitorizaró la Oxihemoglobina y sus variaciones; para lo anterior la estudiante observó el proceso y aprendió el manejo del dispositivo “Near Infrared Spectroscopy” (NIRS)



Ilustración 29 Sesión pruebas de esfuerzo con NIRS- Departamento Fisiología del Ejercicio UB- Hospital Bellvitge. Pasantía UNAL-2013 Departamento FEH-U

La estudiante participó en varias sesiones y paralelo a esto aprendió a hacer la monitorización y lectura del sistema a partir de los protocolos internos QGR/101.035.013 del laboratorio de Fisiología Ejercicio e Hipoxia de la Universidad de Barcelona.



Ilustración 30 Dispositivo NIRS  
Pasantía UNAL- UB 2013 FEH-U

El NIRS, es un sistema con un haz de luz que tiene 2 longitudes de onda capaz de medir, conectado o no, los cambios en la oxigenación y en el tejido el índice de saturación (TSI). Se

basa en el principio de la ley óptica de Beer-Lambert en donde a partir de la absorbancia se puede calcular la densidad de una sustancia. Teniendo en cuenta que dicha ley hace referencia a sistemas sin dispersión, y los tejidos biológicos no se comportan como tal, entonces se hace una variación con el “factor de



Ilustración 31 Lectura NIRS Pasantía UNAL- UB 2013  
FEH-U.

corrección en la dispersión del paso de luz” tomando el modelo teórico de Patterson y cols identificando la distancia de la fuente y atenuación de la luz (la pérdida o no de potencia). De tal forma se identifican al menos 3 cromóforos (átomos excitables que absorben la radiación de la luz y dan color a las diferentes sustancias en las cuales están presentes); estos son la oxihemoglobina ( $O_2HB$ ), la desoxihemoglobina (HHB) y Cyt.Ox. La sumatoria de la  $O_2HB$  y HHB darán como resultado la medición total de volumen de sangre (tHB). (22)

#### 4.3.9 Protocolos y rutinas

*La estudiante se capacitó en protocolos y rutinas usadas dentro de la pasantía de investigación; a través de esto entrenó habilidades como precisión y rigurosidad al realizar mediciones y observaciones que dependían del interés que tenía para cada acción. (ver gráfico 3 sección F).*

Los protocolos más usados en la práctica, fueron el acondicionamiento, entrenamiento, daño muscular y rehabilitación de las ratas durante el proceso, explicados en el apartado de Diseño experimental (3.2.1). En cada uno de los protocolos la estudiante identificó en qué punto del entrenamiento iba cada rata, aplicó las sesiones dependiendo del programa y su nivel teniendo en cuenta cada una de sus fases, la velocidad los minutos, la aceleración y la intensidad de estimulación (en cuanto a la rejilla).

A lo largo de las sesiones de entrenamiento la estudiante adquirió confianza en el manejo de los sujetos de estudio y así mismo en las acciones que realizaba en cada una de las actividades desarrolladas. Además dentro de los sujetos se realizaba constantemente limpieza de cada jaula, cambio y pesaje de bebidas y comida.

De igual manera la estudiante en cada una de las técnicas de histoquímica y ELISA que aprendió siguió los protocolos definidos dentro del laboratorio dependiendo la evidencia científica. La estudiante a partir de diarios de

campo desarrollados por ella, pudo darse cuenta del avance en las habilidades, cómo por ejemplo mayor observación en cuanto a los valores que se obtuvieron al realizar las carreas, en cuanto a elementos normales y anormales del protocolo que debían o no ser informados dentro de la práctica. Por otro lado, reforzó aspectos en la seguridad y autonomía dentro del desarrollo de los protocolos, puesto que en diferentes momentos se necesitó que ella tomara decisiones rápidas y confiara en los conocimientos que había adquirido a lo largo de su carrera.

Dentro de la formación como fisioterapeuta este tipo de acciones le sirvieron para formarse dentro de su perfil, ya que para realizar análisis de movimiento y ver su progresión en el tiempo es fundamental tener una evaluación inicial precisa que sea confiable en la observación de los cambios que se generan a lo largo de los tratamientos; o en el caso de la investigación, en la toma rigurosa de información de las variables que se estén observando.

La realización de estos protocolos y rutinas le dio la oportunidad de apoyar nuevos proyectos después de la finalización de su Pasantía, ya que contaba con la experiencia para hacerlo.

#### **4.4 RESULTADOS: INVESTIGACIÓN SOBRE ACTIVIDAD FÍSICA, EJERCICIO FÍSICO E HIPOXIA.**

*La estudiante dentro de su proceso adquirió de manera transversal, formación en el área de actividad física, ejercicio físico e hipoxia en el área investigativa. (Gráfico 3 sección G)*

#### 4.4.1 Revisiones teóricas

Teniendo en cuenta que la estudiante inició un proceso en el cual se enfrentó a procesos completamente nuevos para ella, para desempeñarse eficientemente dentro del laboratorio tuvo que hacer búsquedas constantes de información bibliográfica que la orientaban y contextualizaban en lo que se estaba desarrollando en los laboratorios. Los medios utilizados se remiten a las bases de datos de la Universidad Nacional de Colombia y documentos de internet; así mismo referencias bibliográficas de libros virtuales.

De tal forma a lo largo del semestre hizo revisiones sobre ejercicio físico, entrenamiento, hipoxia y lo que estos conceptos implican cuando se integran a la normal fisiología del ser humano. Así mismo paralelo a su práctica la estudiante asistió en varias ocasiones a clases vinculadas a la facultad de Biología de la universidad de Barcelona.

De igual manera la estudiante aprendió diferentes estrategias y técnicas utilizadas en el campo investigativo aplicadas al ejercicio físico e hipoxia, cómo se puede observar en el apartado 4.3; lo que le exigió de manera independiente hacer búsquedas bibliográficas sobre cada una de las técnicas, los instrumentos utilizados y el cómo se generan cambios tisulares y sistémicos para poder comprender la direccionalidad que tenía la investigación y su trabajo diario en el laboratorio.

#### 4.4.2 Aplicar el método científico en proyectos de investigación dentro del marco de la unión europea.

La estudiante aplicó el método científico (*Gráfico 3 sección H*) en su formación al participar en el proyecto nacional sobre hipoxia intermitente perteneciente a uno de los países de la Unión Europea; para lo anterior enfatizó en la observación, experimentación, medición, demostración y análisis. La hipótesis estaba dada desde lo que se venía trabajando posterior a su llegada y las conclusiones se dividieron en el trabajo de profundización que realizó más el trabajo de formación respecto a la dinámica del grupo de investigación y la parte procedimental, técnico y tecnológica.

Cómo se había nombrado en el esquema inicial, los resultados propuestos desde el inicio de la pasantía dieron lugar a una quinta fase, la cual surgió como producto del entrenamiento científico dentro del grupo. A través de la observación, como grupo de trabajo, se plantearon la duda si existían cambios morfo-funcionales a nivel micro-estructural en las fibras musculares de Sóleo tras una lesión. La estudiante, como integrante del grupo de investigación, aplicando el método científico desarrolló junto y con la ayuda de sus compañeros la respuesta a la pregunta a través de la experimentación, análisis y demostración. Finalmente se obtuvieron resultados y conclusiones posteriormente expuestas en el documento (*remítase al capítulo 5*).

Paralelo a lo anterior, diariamente la estudiante llevó a cabo un diario de campo, el cual le sirvió como herramienta para revisar, analizar procesos y comportamientos, datos que alimentaron este documento final de “pasantía dentro de un grupo investigación”.

## **5 ACERCAMIENTO Y PROFUNDIZACIÓN A LA UNIDAD DE TRABAJO DE MÚSCULO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN FEH.**

Dentro de la experiencia que tuvo la estudiante dentro del grupo de investigación, tuvo la oportunidad, con el Profesor Ramón Torrella y el estudiante de Doctorado David Rizo, de desarrollar en conjunto la pregunta ¿Cuáles son cambios morfo-funcionales a nivel micro-estructural en las fibras musculares de Sóleo; tras una lesión por sobre-esfuerzo en los diferentes grupos experimentales (Control positivo, hipoxia y ejercicio e hipoxia) a 3 y 7 días después de ocurrida la lesión?, surgida dentro de la unidad de trabajo de Músculo del grupo FEH y parte de la Tesis Doctoral de David Rizo.(*ver gráfico 3 sección J*)

Dentro de su tesis se realiza un análisis micro-estructural a músculos de miembros inferiores implicados en la locomoción de las 103 ratas analizadas pertenecientes al proyecto macro (apartado 3.2.1). Los músculos que se analizaron fueron Sóleo, Grastronemio, Tibial anterior, Cuadriceps y Peroneo largo. De estos la estudiante trabajó con las 21 muestras de Sóleo. La selección del músculo y el número de muestras dependió de la planificación respecto al tiempo de su estancia en el laboratorio de FEH.

Por lo anterior a continuación se presentan los objetivos planteados, una revisión bibliográfica que da un marco de referencia teórico, la definición y las variables que se tuvieron en cuenta, la metodología y los resultados

obtenidos. Las conclusiones se presentan en el siguiente capítulo (Capítulo 6.2)

## 5.2 OBJETIVOS:

### 5.2.1 Objetivo General

- Comparar los cambios morfo-funcionales a nivel micro-estructural en las fibras musculares de Sóleo; tras una lesión por sobre-esfuerzo en los diferentes grupos experimentales en tres diferentes tiempos.

### 5.2.2 Objetivos Específicos

- Describir a nivel micro-estructural la *recuperación* morfo-funcional ***pasiva*** de un corte transversal del Sóleo en el día 0, 3 y 7 de la lesión a partir de sus parámetros morfométricos y sus tipos metabólicos.
- Describir a nivel micro-estructural de un corte transversal del Sóleo la recuperación morfo-funcional *ante exposición a* ***hipoxia intermitente*** en el día 3 y 7 después del daño muscular a partir de la variación en sus parámetros morfométricos y sus tipos metabólicos.
- Describir a nivel micro-estructural de un corte transversal del sóleo la recuperación morfo-funcional *ante exposición a* ***hipoxia intermitente más ejercicio*** en el día 3 y 7 después del daño muscular a partir de la variación en sus parámetros morfométricos y sus tipos metabólicos

- Comparar los cambios morfo-funcionales del **tiempo 0, 3 y 7** de los cortes musculares de Sóleo que se recuperaron de manera **pasiva**.
- Comparar los cambios morfo-funcionales del **tiempo 3 y 7** de los cortes musculares de Sóleo que se recuperaron con **hipoxia intermitente**.
- Comparar los cambios morfo-funcionales del **tiempo 3 y 7** de los cortes musculares de Sóleo que se recuperaron con **hipoxia intermitente más ejercicio**.
- Interrelacionar los resultados de los tiempos 0, 3 y 7 de cada una de las muestras para ver sus diferencias en la regeneración tisular

### 5.3 DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE TÉRMINOS PREGUNTA SURGIDA DENTRO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN

**Hipoxia intermitente:** Descenso intermitente en el aporte de oxígeno tisular debido a su caída en la presión parcial; puede estar dado por causas patológicas o efectos ambientales, esta última se acompaña de hipobária la cual hace referencia a la reducción de la presión barométrica sin presentar cambios en la concentración de sus gases. (23)

**Entrenamiento físico:** Es el conjunto de actividades que mejoran el rendimiento deportivo de manera específica minimizando su imprecibilidad, lo anterior incluye tener en cuenta la estabilidad y continuidad durante un periodo de tiempo, la progresión planificada de cargas de trabajo y el control de las diferentes variables que influyen en el rendimiento. (24)

**Lesión muscular:** Conjunto de alteraciones funcionales y anatómica debido a una tensión fisiológica de la fibra muscular que sobrepasa su punto de visco-elástico hasta el punto de ruptura; suelen ser de dos tipos, traumáticas o distensión (25)

**Característica morfofuncional:** Hace referencia a las características de la forma, estructura y su relación con la dinámica de su función celular respecto a su funcionalidad tisular. Para efectos de esta investigación se tendrán en cuenta el área, perímetro, Número de capilares por fibra, distancia de difusión media, circularidad y tipos metabólicos de fibras.

#### 5.4 DEFINICIÓN DE VARIABLES PREGUNTA SURGIDA DENTRO DEL GRUPO DE INVESTIGACIÓN

CONCEPTO	VARIABLE	INDICADOR
<b>Característica Morfológicas</b>	<u>Fiber cross- sectional Area (FCSA):</u> Extensión de superficie delimitada por su membrana celular y medida en $\mu\text{m}^2$ .	Número de $\mu\text{m}^2$ por cada célula muscular.
	<u>Fiber Perimeter: (FPER):</u> Sumatoria de la longitud de la membrana celular; medida dada en $\mu\text{m}$	Número de $\mu\text{m}$ por cada célula muscular.
	<u>Número de capilares por fibra: (NCF)</u>	Sumatoria del número de capilares por cada

	Contaje capilar por célula en cada campo muscular.	fibra muscular.
	<u>Distancia de difusión média: (Ferret DMM):</u> Es la distancia en el plano X y en el plano Y que hay entre la membrana y el núcleo celular.	Sumatoria de cada eje que cómo resultante dará la Distancia desde los planos más externos de la célula a su núcleo en $\mu\text{m}$ .
	<u>CCP:</u> Número de capilares que irrigan por cada 100 micras	Número de capilares por fibra sobre el su área por 100 (NCF/ FCSA)* 100
	<u>CCA:</u> Número de capilares que irrigan por cada 1000 micras <sup>2</sup>	Número de capilares por fibra sobre el su área por 1000 (NCF/ FCSA)* 1000
	<u>Shape descriptors:</u> (Circularidad) Unidad adimensional en la cual 1 hace referencia a un círculo perfecto	Número de 0.0 a 1 en donde 0.0 es un polígono con menor circularidad que una circunferencia perfecta la cual es 1. Valor anormal superior a 0.8
<b>Características funcionales</b>	<u>Tipo de fibra según su consumo de oxígeno:</u>	Porcentaje de células con precipitaciones

	Aeróbica o anaeróbica dependiendo del resultado en la SDH.	azules en cada campo fotografiado.
	<u>Tipo de fibra según su miosina:</u> Fibra I, IIa o IIx	Número de fibras según la clasificación por campos celulares de acuerdo a la tinción de ATPasas.
	<u>Daño muscular:</u> Observación de las alteraciones por sobre esfuerzo en la organización normal de las células.	Media del número de células anormales Media del área inflamada y células no musculares

## 5.5 MARCO TEÓRICO

Para identificar si hay o no modificaciones morfo-funcionales en las células musculares del sóleo es importante precisar la estructura anatómica, fisiológica y biomecánica tisular del músculos esquelético en mamíferos, ya que entendiendo la base micro estructural es posible tener conocimiento de la distribución de cargas, recepción de impactos y por tanto la normal organización, el tipo de fibra y trabajo que realizan determinados músculos.

Asi mismo es importante además tener claro qué sucede cuando hay daño muscular a nivel ultraestructural, ya que la pregunta de investigación apuntó a observar los cambios morfométricos y de metabolismo celular post-lesión y

para analizar los datos fue importante entender qué era erróneo. En este caso se revisaron los procesos fisiológicos metabólicos; y posterior a esto qué significaba dentro del funcionamiento normal cada una de las variables que morfométricas utilizadas en el estudio.

Estructuralmente de macro a micro los músculos se componen de fascículos, estos a su vez tienen fibras musculares (miocito) que son alargadas, cilíndricas, miden aproximadamente 10 a 100 $\mu$ m de espesor y 1 a 30cm de longitud dependiendo el músculo. Son multinucleares, alargados y alojados hacia la periferia del citoplasma debido a que el desarrollo embrionario de cada fibra proviene de la fusión de multitudes mioblastos y a nivel biomecánico dicha ubicación nuclear es la mejor para la estructura contráctil. Así mismo en el músculo, en cada fascículo se encuentran células satélite situadas fuera de la membrana celular listas para regenerar el tejido a partir de nuevas fibras musculares estriadas. (26)

Por otro lado, las miofibrillas compuestas de miosina y actina necesarias para la contracción muscular y nebulina y titina para la flexibilidad de la fibra. Cada una de las miofibrillas encontradas dentro del sarcoplasma se encuentra rodeada de capilares y es paralela a las otras y su cantidad depende a qué tipo de fibra muscular pertenezca; así mismo para cubrir con toda la longitud de la célula, las miofibrillas se organizan una detrás de la otra y es así que cada una de sus uniones forman las líneas delimitantes de cada unidad de patrón repetido, sarcómera (27) (28)

Al interior de cada miofibrilla encontramos que los filamentos de actina son doble hélice y a su alrededor hay dos fibras proteínicas de troponina y tropomiosina cubriendo los espacios en donde la miosina se unirá para generar la contracción. Por otro lado la miosina es una fibrilla hexagonal que tienen en uno de sus extremos forma de bastoncillo el cual en su final presenta forma de cabeza (enlace cruzado) fundamental para generar la contracción muscular. (28)

Los filamentos de miosina se organizan paralelamente a nivel longitudinal dando origen a la banda A (anisotrópica) en la mitad del sarcómera, y los filamentos de actina (finos) se unen entre sí a través de distrofina y vinculina formando la línea Z; esta última línea a su vez se une a las fibrillas gruesas a través de la titina dentro de la zona de banda I (isotrópicas), en donde las actinas se ven más claras porque no hay presencia de miosina (bisegmentada por línea Z). Por el contrario, Banda A esta formada por la línea oscura que generan estas proteínas y en su centro (el de las miosinas) se encuentra la línea H, la cual es un espacio en donde no hay enlaces cruzados pues la mitad de la estructura de estos filamentos van en dirección contraria a la otra mitad. Las proteínas titinas enganchan a las miosinas y la nebulina a las actinas hasta la línea Z respectivamente, asegurando que después de la contracción las estructuras vuelvan al lugar inicial. (28) (29)

A nivel molecular el calcio juega un papel fundamental al permitir o no la contracción, pues es el sustrato que desencadena el movimiento a través del acoplamiento “contracción – excitación” dado a partir de la reacción en la membrana sarcoplasmática por el potencial de acción transmitida a los túbulos T. La contracción está dada por el roce activo entre las moléculas de

Miosina y Actina. La miosina se une al sitio activo con la estructura globular de la actina generando un arco entre sí por medio de un enlace cruzado a través de su zona de bisagra (meromiosina pesada, sitio S1 y S2); ella está formada por 4 cadenas proteicas; dos entrelazadas que son pesadas y en las estructuras globulares (cabeza) se presentan 2 cadenas ligeras (llamadas reguladora y esencial) por cada cadena pesada. (30)

La miosina (domio S1) hidroliza el ATP utilizando la energía liberada en la contracción, la velocidad de hidrolisis depende del tipo de cadenas pesadas que tenga cada fibrilla de miosina; se ha determinado que en los humanos las más rápidas en expresarse son las tipo IIA y IIX. Los puentes cruzados que se forman trabajan en dos fases, la primera haciendo una contracción “débil” ya que hay baja afinidad en la miosina por la actina pues el ATP aún no ha sido separado en ADP y fosfato; y la segunda, la fuerte, en donde el ATP ya ha sido disociado. (29)

La miosina acoplada desde su cabeza a la actina al romper el enlace busca de nuevo la siguiente contracción adelantando su bastoncillo para seguir avanzando a un lugar más lejano y no contiguo. Este movimiento claramente es pequeño en comparación con el tamaño de cada fascículo muscular y es por tal razón que se aplica movimiento en masa de “todo o nada” obteniendo acortamiento en conjunto del sarcómera y por tanto una contracción activa; aunque la generación de puentes cruzados no es sincronizada obteniendo en ciertos momentos sólo el 50% de la fuerza que generarían todos los acoplamientos, pero al soltarse están listos los demás que mantendrán la contracción. (28)

Cómo se había comentado anteriormente, la Tropomiosina y Troponina (llamadas proteínas reguladoras) ejercen un papel fundamental en la regulación de la contracción; la troponina al tener una sub-unidad a fin al calcio se moviliza cuando este entra al citosol y una segunda sub-unidad afín a la tropomiosina atrae a esta última movilizándola y dejando libre el punto de acople entre la miosina y actina; acto seguido se forma el puente cruzado y al liberarse la energía de ATP en su disociación la miosina logra mover su palanca generando movimiento. (29)

Es claro que no todas las fibras musculares realizan el mismo proceso de contracción y se diferencian dependiendo del tipo de músculo que conformen determinando su funcionalidad y estructura. Su diferenciación tiene origen morfológico, bioquímico y biomecánico en toda la unidad motora (ver tabla 1). La clasificación se realiza dependiendo del tipo de miosina que tiene cada fibra debido a que es el “motor” de la contracción (31); existe gran variedad de ellas, siendo isomorfas en sus cadenas pesadas, lo cual implica

<b>Tabla 1</b> <b>Principales características diferenciadoras de los distintos tipos metabólicos de fibras musculares</b>				
	<b>Lentas (tipo I)</b>	<b>Intermedias (tipo IIA)</b>	<b>Rápidas (tipo IIX)</b>	
Diámetro	Intermedio	Grande	Pequeño	
Grosor de línea Z	Ancho	Intermedio	Estrecho	
Contenido de glucógeno	Bajo	Intermedio	Alto	
Resistencia a la fatiga	Alta	Intermedia	Baja	
Capilares	Muchos	Muchos	Pocos	
Contenido de mioglobina	Alto	Alto	Baja	
Velocidad de contracción	Lenta	Rápida	Rápida	
Actividad ATPasa	Baja	Alta	Alta	
Sistema energético predominante	Aeróbico	Combinado	Anaeróbico	
Motoneurona	Pequeña	Grande	Grande	
Descarga	Baja	Alta	Alta	

Tabla 1: Principales características de fibras musculares; Tomada de López Chicharro J, Fisiología del ejercicio, Madrid, 2006

mayor o menor velocidad de disociación de ATP en ADP + P. Se puede hacer una clasificación entre I y II; dentro de la II se diferencian la A, C y X en el cuerpo humano se encuentran tipo I, tipo IIA y IIX (29).

Las tipo I (llamadas SO) son lentas y resistentes a la fatiga, siendo pequeñas pero con alta capacidad para mantener la contracción a través del tiempo; estas fibras hidrolizan con menor velocidad el ATP, además sus túbulos T presentan una menor superficie de membrana, cubriendo menor área, por tanto la estimulación de liberación de calcio es menor con respecto al resto de fibras sumado a que los potenciales de acción transmitidos a dichas fibras también son menores debido a su velocidad de propagación ( $60-70\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) y por tanto necesitan tiempos mayores para relajarse, siendo más resistentes a la fatiga y ahorrando energía (29). Este tipo de células adquieren su energía de manera aeróbica, por esto una célula lenta altamente oxidativa presenta un número elevado de capilares a su alrededor aumentando la superficie de intercambio gaseoso. Además presentan concentraciones altas de mioglobina siendo capaces de captar mayor cantidades de Oxígeno sanguíneo, presentando niveles bajos de glucólisis; (30) (32)

Por otro lado, las fibras tipo II reciben los estímulos eléctricos a mayor velocidad de propagación ( $80\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) y así mismo tienen 5 veces mayor velocidad al hidrolizar su ATP pero con mayor dependencia de la glucólisis, debido a su menor número de mitocondrias; las tipo IIA (mayoritariamente FOG) son las más lentas entre las rápidas y son oxidativas, las tipo IIB son las más rápidas pero su consumo de energía se hace de predominio glucolítico y menos oxidativas, lo cual disminuye su capacidad para perdurar en el tiempo; es decir altamente fatigables aunque con mayor potencia para

generar fuertes contracciones (antiguamente llamadas FG, fast glycolitic ) y las tipo IIX que están en un nivel intermedio con respecto a las A y B. Por tanto el orden de reclutamiento de las fibras va de A a X y luego a B determinada por el tipo de actividad que se realice y su demanda en la magnitud de fuerza que se requiera. (29) (33)

Es importante hacer anotación que todos los músculos esqueléticos presentan los diferentes tipos fibras, pero es el porcentaje de cada una que define la funcionalidad del músculo; lo cual también significa que su plasticidad es alta debido a que tiene la capacidad de adaptarse fácilmente a las demandas requeridas modificando el porcentaje de cada uno de sus tipos de sus células. (29)

Cuando un daño muscular ocurre en el ejercicio físico, las células entran en un periodo de máximo de estrés de tal manera que mueren por quimiotaxis ya que la fibra muscular inicia altas producciones de citoquinas IL-1 $\beta$  e IL-8, TNF- $\alpha$  (Factor de necrosis tumoral); en la matriz extracelular se generan proteínas como laminina, fibronectina y derivados de lípidos de membrana como los leucotrienos B4 que gestionan la respuesta inflamatoria de manera directa e indirecta atrayendo principalmente a neutrófilos (señalizados por quimiquinas ELR, CXC) a través de diapédesis.

Cuando se produce lesión por alargamiento de las fibras o sobrecarga mecánica se reporta que las células polimorfonucleares empiezan a acumularse en el músculo a las 2 horas de ocurrida la lesión, su pico de concentración se encuentra al día, a partir de ese punto en el 3er y 4to día

después de la lesión no se reportan cambios significativos en su aumento y se inicia el descenso y vuelta bajo control a los 7 días después de la lesión. (34)

Generalmente los macrófagos aparecen en la lesión en grandes cantidades después de la llegada de los neutrófilos, superando su valor los macrófagos aumentan su cantidad desde el día 1ro al día 4to después de la lesión, incluso hay reportes en los cuales durante el día 5to se presenta incremento; estas células son marcadores biológicos para el factor de crecimiento endotelial vascular entre otros que aportan en la remodelación de la fibra muscular. (34) (35)

Resumiendo, en el proceso de daño muscular, los valores indicativos a nivel bioquímico, histológico y funcional tienen picos a través de los días pero respecto a la ultra-estructura el nivel más alto se registra entre las primeras 48 horas estabilizándose al tercer día, lo cual respecto a la investigación realizada en el laboratorio Fisiología adaptativa: ejercicio e hipoxia de la Universidad de Barcelona justifica la toma muestral en T3 (día 3 después del daño muscular). De igual manera en el 7mo día se registra disminución de todos estos niveles en

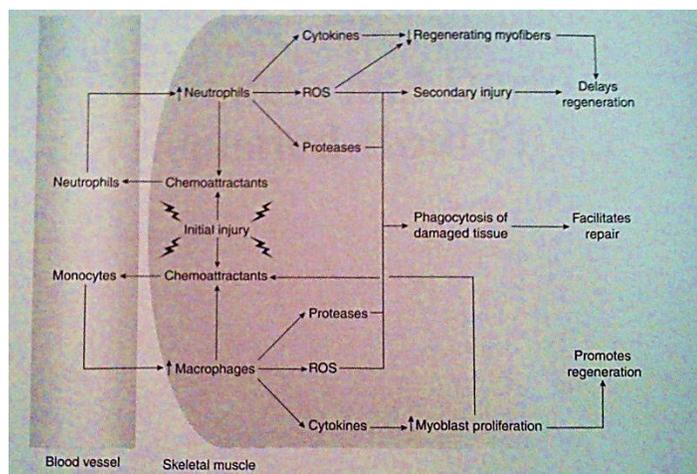


Ilustración 32, Daño y regeneración muscular, Tomado TIIDUS PM. Skeletal Muscle Damage and Repair: Mechanisms & Interventions. In PETER M T, editor: Human Kinetics; 2008. p. 57

donde se está produciendo remodelación estructural de la célula. (34)

En la modelación celular, existen células satélite listas para la regeneración muscular que hacen una “recapitulación del proceso embrionario de la miogénesis, es importante anotar que son diferentes de los mioblastos (estado fetal y desarrollo embrionario) y también de las células que se encargan del crecimiento muscular. (36)

Respecto a la regeneración lo primero que se expresa son las cadenas pesadas de miosina, y luego se modifican a las respectivas isoformas adultas dependiendo del control neural en el que se encuentran y el músculo al cuál están conformando. En cuanto al músculo Sóleo, en rata se ha observado que tiene un rápido proceso regenerativo después de una lesión. Su regeneración miofibrilar comienza desde el día 3 a 5 después de la lesión y luego rápidamente lidera una regulación baja de miosina HC2B y HC2X, y una alta regulación de la miosina lenta (HC2A), claramente expresada dependiendo del gen para el cual está codificado siendo plásticamente reformable dependiendo de las condiciones ambientales y sus demandas. (31)

Respecto a los parámetros a observar en el modelo experimental, a nivel morfológico según la evidencia el músculo tiene una gran capacidad plástica para regenerarse dependiendo las condiciones sometidas comparativamente con el músculo adulto. Como se comentaba anteriormente, el hecho de que sean rápidos o lentos implica la diferenciación de las miosina y refleja que las células satélite también son diferentes, pues se induce que hay también

heterogeneidad entre ellas proveniente de la información genética más no de las líneas de edad siendo permisivas a las condiciones que se encuentran y la remodelación en cuanto al tipo de fibra será influenciado por el ejercicio físico pues demanda diferentes niveles metabólicos. Por tanto los músculos tienen una alta capacidad adaptativa en respuesta involucrando parámetros como el tamaño y tipo de la fibra que directamente se correlacionan con la fuerza y resistencia a la fatiga. (36)

Así mismo esos tamaños fibrilares se adaptan dependiendo de su estructura interna, por tanto la abundancia relativa de los componentes internos (ej mitocondria) y extracelulares (ej. capilares y su densidad por área) claramente influyen en su eficiencia y eficaces dentro de sus actividades metabólicas. Si la fibra si es muy gruesa, es decir que su área es amplia, implica que es inversamente proporcional a la capacidad aeróbica oxidativa y a su densidad mitocondrial; dicha relación se encuentra en cada fibra muscular pero el tamaño de cada fibra depende también de a qué músculo corresponda, de tal manera que ciertas fibras con gran tamaño se encuentran presentes en un músculo grande pero las mismas fibras tendrán un tamaño menor si su músculo presenta fascículos delgados; esto además está dado dependiendo de la característica general rápida o lenta de cada músculo. Recientemente se encontró en un estudio (37) que las fibras 1A y 2A son más delgadas que las 2X y que las fibras tipo 1 son más grandes que las tipo 2. (38)

Respecto a la densidad capilar, en las fibras de contracción lenta se pueden ver mayor cantidad de vasos circundantes; en las ratas el ratio capilar por fibra es de 2.85 en el sóleo y 1.46 en el peroneo siendo lento y rápido cada

uno respectivamente. (39) y así mismo los porcentajes de perfusión de oxígeno; en el ser humano el ratio capilar por fibra es de 4.92 en las tipo I y en las tipo IIA 4.52 y 3.52 para las 2X, lo cual sugiere que a medida que va disminuyendo su carácter oxidativo su ratio también. (31)

Es fundamental al tener en cuenta que hubo comparación entre grupos experimentales, por tanto las condiciones del daño muscular cambiaron y su fisiología también se modificó ya que la hipoxia a corto plazo genera modificaciones a nivel ventilatorio y cardiovascular, presentando hiperventilación taquicardia y hemoconcentración, así mismo la afinidad de la hemoglobina por el O<sub>2</sub> se modifica. Si el estímulo es permanente y se convierte en crónico, la hiperventilación se mantiene y los niveles de Bicarbonato en el LCR disminuyen, el volumen sistólico disminuye, la capilarización aumenta, la eritropoyesis aumenta y la afinidad por el O<sub>2</sub> disminuye. Se ha demostrado que las modificaciones sistémicas se mantienen a nivel celular, lo cual indica que siempre sucederá lo mismo cuando se presenta esta condición, pero es fundamental tener en cuenta las demás condiciones contextuales pues dependiendo la intensidad y su duración se podrán observar variabilidad en las adaptaciones fisiológicas que tenga el individuo. (23)

De tal manera y acorde a los dos primeros párrafos del marco metodológico en este apartado, se hizo una revisión teórica de los elementos necesarios para desarrollar cada uno de los objetivos específicos de la pregunta.

## 5.6 METODOLOGÍA DISEÑO EXPERIMENTAL

Una de las unidades de trabajo dentro de la investigación es la muscular, en la cual la estudiante colaboró y profundizó en diferentes técnicas histoquímicas para observar lo que estaba sucediendo a nivel celular en las ratas de diferentes tiempos de evolución durante el entrenamiento físico antes y después de su lesión.

Se ha tomado una n=3 en cada uno de los grupos observados, (control, hipoxia intermitente e Hipoxia intermitente con ejercicio físico) en T (tiempo)0 (control), T3 y T7. Cada una de estas condiciones son observadas respecto a los cambios morfo-funcionales que han tenido a través de pruebas histoquímicas que dan cuenta de su plasticidad.

Se realiza entonces una descripción de dichos cambios y se realizan comparaciones entre las ratas control, que no han sido expuestas al daño muscular y cada uno de los tiempos después de la lesión, el grupo control y el de hipoxia; así mismo se comparan los tiempos 3 y 7 respectivamente entre si y los tiempos entre cada uno de los grupos condicionales.

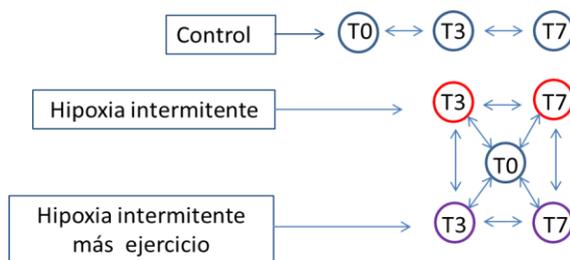


Gráfico 3 Metodología diseño experimental de ¿Cuáles son cambios morfo-funcionales a nivel micro-estructural en las fibras musculares de Sóleo; tras una lesión por sobre-esfuerzo en los diferentes grupos experimentales (Control positivo, hipoxia y ejercicio e hipoxia) a 3 y 7 días después de ocurrida la lesión?; pregunta surgida dentro de la pasantía a través del apoyo de David Rizo, Ramón Torrella y Ginés Viscor

Para poder obtener los datos de las variables y realizar la parte experimental se tomaron las muestras seleccionadas aleatoriamente respecto a la condición a la que pertenecían. Se procesaron a través de pruebas

histoquímicas SDH, Tinción de capilares, ATPasa y Hematoxilina-Eosina. Después cada muestra fue fotografiada. En las 3 primeras pruebas se hicieron 3 fotografías de campos celulares (superior, medio e inferior) y en la Hematoxilina-Eosina se fotografiaron todos los campos celulares que más se pudieron capturar para observar el daño muscular.

Para lo anterior se realizan mediciones a través del programa de procesamiento de imagen “ImageJ” obteniendo los datos de las variables de FCSA (Fyber Cross Area), FP (Fyber Perimeter), Circularidad y MMD (Distancia difusión media) y parte del daño muscular. Los datos del resto de variables se obtuvieron por conteo manual.

### 5.6.1 Planeación de estructura macro del procesamiento de muestras

El análisis de las muestras se realizó siguiendo la tabla 2, la cual orientó el trabajo a lo largo del almacenamiento de información. Cabe aclarar que estas muestras se analizaron junto con otras y sin orden específico; este dependía del cronograma y planeación que se tuviera dentro de las prácticas de laboratorio.

CONDICIÓN	TIEMPO MUESTREO	Sujeto 1	Sujeto 2	Sujeto 3
Control +	t0	R37	R39	R40
Control +	t03	R63	R65	R118
Control +	t07	R29	R116	R100
HIP	t03	R115	R120	R127
HIP	t07	R55	R68	R99
HIP EX	t03	R90	R110	R128
HIP EX	t07	R70	R87	R109

Tabla 2: Muestras procesadas para efectos de esta investigación y la investigación macro del proyecto desarrollado en FEH. 2013

## 5.7 RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

Se realizó la fase experimental en busca del cumplimiento de los objetivos manteniendo una n de 3 por cada condición; Control (CTRL); Hipoxia (HIP) y Ejercicio e Hipoxia (EHIP); pero por razones logísticas dentro del grupo de investigación y dando prioridad a la sincronización de sus actividades con otros centros de investigación, no se pudieron obtener todas las variables de cada sujeto hasta el momento de la finalización de la pasantía de la estudiante y por tanto dentro del análisis que ella realizó no genera comparaciones estadísticas, pero si logra evidenciar de manera macro cuál es la tendencia de los resultados obtenidos a través de los datos.

A través de la técnica Hematoxilina Eosina, respecto al daño muscular, fuera de las muestras planificadas dentro del desarrollo de este documento, se adicionaron los resultados obtenidos de 12 sujetos para ver la diferencia en el día séptimo en cada uno de los tres grupos experimentales. En el estudio macro que se adelantaba dentro del laboratorio de Fisiología animal de la Universidad de Barcelona se tuvieron en cuenta más variables (área de perimio y endomio, inflamación, células no mionucleares, fibras anormales, 5 variables diferentes de formas poligonales, entre otros)

Se evidenciaron los siguientes resultados mostrando valores preliminares en la media de las fibras anormales y las células que no son musculares. en el número de células anormales con niveles más altos en hipoxia y ejercicio que en el resto de condiciones, la hipoxia o hipoxia y ejercicio no parecen influir en el número de células nuevas; estos registros se deben revisar ya que al parecer la normalidad es más alta. Los niveles células de origen

distinto al muscular; incluyendo las inflamatorias; disminuyen con mayor medida en la intervención con Hipoxia y ejercicio.

		Rata	Total fibras	Fibras anormales	Fibras regenerativas	Non-mionucle.
<b>Ctrl</b>	<b>t07</b>	<b>29</b>	489	6.13	1.23	0.57
		<b>79</b>	377	11.94	3.18	1.47
		<b>100</b>	495	7.27	1.01	0.84
		<b>116</b>	460	7.39	1.09	0.94
		<b>Media</b>	455.25	8.18	1.63	0.96
<b>EHIP</b>	<b>t07</b>	<b>70</b>	268	3.73	1.12	0.89
		<b>87</b>	244	2.05	0.82	0.55
		<b>108</b>	563	5.68	1.07	0.41
		<b>109</b>	468	3.42	0.43	0.43
		<b>114</b>	530	4.53	0.38	0.83
		<b>Media</b>	414.6	3.88	0.76	0.62
<b>HIP</b>	<b>t07</b>	<b>68</b>	353	5.67	1.13	0.46
		<b>85</b>	257	3.11	0.00	0.29
		<b>99</b>	470	6.60	1.49	0.33
		<b>Media</b>	360	5.12	0.87	0.36

Tabla 3: Resumen valores de daño muscular obtenido a través de técnica Hematoxilina-Eosina; Control (CTRL); Hipoxia (HIP) y Ejercicio e Hipoxia (EHIP); Extracto tabla general Daño muscular creado por David Rizo. FEH- UB. Pasantía UNAL- UB 2013.

A continuación se muestran los resultados de los diferentes sujetos obtenidos a través de la tinción de capilares y la tinción de ATPasas dentro de los respectivos grupos Control, hipoxia o hipoxia y ejercicio físico clasificados por el tipo de fibra. Los resultados de las fibras tipo IIc en cada una de las condiciones se han omitido debido al bajo porcentaje representativo en el músculo y a que en este documento no se le dará mayor profundidad a sus resultados (ver tabla 3).

Respecto al resto de variables morfo-funcionales, en la condición de ratas control T3 y T7 e hipoxia T3 no fue posible obtener una n de 3 sino de 2 ya

que las muestras que fueron procesadas durante el tiempo de estancia de la estudiante no salieron bien y no se pudieron fotografiar los campos. El resto de las muestras se procesarán en el mes de Julio.

Fibras tipo I en ratas control sin daño muscular (t0), y a 3 y 7 días posteriores a la lesión:

### **FIBRAS TIPO I**

#### **CONTROL T0**

	Capilares	FCSA	PER	Circ	Feret	CCA	CCP
<b>R 37</b>	9.69	4558.56	270.29	0.77	102.67	2.22	3.59
<b>R 39</b>	8.41	4804.25	272.70	0.80	105.17	1.93	3.16
<b>R 40</b>	8.06	4053.98	252.42	0.78	94.17	2.12	3.21
<b>MEAN</b>	<b>8.72</b>	<b>4472.26</b>	<b>265.14</b>	<b>0.79</b>	<b>100.67</b>	<b>2.09</b>	<b>3.32</b>

Tabla 4: Resumen valores Fibras tipo I de n=3. Ratas control positivo t0. Pasantía UNAL- UB 2013.

#### **CONTROL T3**

	Capilares	FCSA	PER	Circ	Feret	CCA	CCP
R 63	7.95	3498	229	0.82	85.84	2.37	3.46
R 65	7.82	3696	231	1.46	56.53	2.23	3.40
<b>Mean</b>	<b>7.88</b>	<b>3596.82</b>	<b>229.60</b>	<b>1.14</b>	<b>71.18</b>	<b>2.30</b>	<b>3.43</b>

Tabla 5: Resumen valores Fibras tipo I de n=2. Ratas control positivo t3. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL

#### **CONTROL T7**

	Capilares	FCSA	PER	Circ	Feret	CCA	CCP
R 29	7.64	3530	239	0.77	88.23	2.25	3.22
R 116	7.24	4033	250	0.79	93.04	1.91	2.91
<b>Mean</b>	<b>7.44</b>	<b>3781.65</b>	<b>244.48</b>	<b>0.78</b>	<b>90.63</b>	<b>2.08</b>	<b>3.06</b>

Tabla 6: Resumen valores Fibras tipo I de n=2. Ratas control positivo t7. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL

Fibras tipo I en ratas expuestas a hipoxia a 3 y 7 días posteriores a la lesión:

#### HIPOXIA T3

	Capilares	FCSA	PER	Circ	Feret	CCA	CCP
R 115	6.48	3194.96	225.55	0.77	83.88	2.10	2.84
R 120	8.18	4437.87	270.83	0.75	103.73	1.97	3.04
<b>Mean</b>	<b>7.33</b>	<b>3816.41</b>	<b>248.19</b>	<b>0.76</b>	<b>93.81</b>	<b>2.04</b>	<b>2.94</b>

Tabla 7: Resumen valores Fibras tipo I de n=2. Ratas Hipoxia T3. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL

#### HIPOXIA T7

	Capilares	FCSA	PER	Circ	Feret	CCA	CCP
R 55	9.59	3525.03	231.80	0.81	86.35	2.86	4.14
R 68		3818.78	249.21	0.76	92.90		
R 99		3404.39	226.92	0.81	83.94		
<b>Mean</b>	<b>9.59</b>	<b>3582.73</b>	<b>235.97</b>	<b>0.80</b>	<b>87.73</b>	<b>2.86</b>	<b>4.14</b>

Tabla 8: Resumen valores Fibras tipo I de n=2. Ratas Hipoxia T7. Dentro del proceso no se pudo obtener el número de capilares de las ratas 68 y 69, lo cual no permite el cálculo del CCA y CCP. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL

Fibras tipo I en ratas expuestas a hipoxia y ejercicio a 3 y 7 días posteriores a la lesión:

#### EJERCICIO E HIPOXIA T3

	Capilares	FCSA	PER	Circ	Feret	CCA	CCP
R 90	7.17	3990.29	252.21	0.78	95.19	1.89	2.86
R 110	9.75	3842.97	246.76	0.78	89.23	2.81	3.80
R 128		3495.95	229.93	0.81	85.00		
<b>Mean</b>	<b>8.46</b>	<b>3776.40</b>	<b>242.97</b>	<b>0.79</b>	<b>89.81</b>	<b>2.35</b>	<b>3.33</b>

Tabla 9: Resumen valores Fibras tipo I de n=3. Ratas Hipoxia y ejercicio físico T3. Sin posible obtención conteo capilar en un sujeto. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL

#### EJERCICIO E HIPOXIA T7

	Capilares	FCSA	PER	Circ	Feret	CCA	CCP
R 70		4575.14	268.75	0.78	99.26		
R 87	13.18	4374.08	270.15	0.75	103.24	3.18	5.04
R 109	10.32	3905.98	246.46	0.80	91.68	2.96	4.33
<b>Mean</b>	<b>11.75</b>	<b>4285.07</b>	<b>261.78</b>	<b>0.78</b>	<b>98.06</b>	<b>3.07</b>	<b>4.68</b>

Tabla 10: Resumen valores Fibras tipo I de n=3. Ratas Hipoxia y ejercicio físico T3. Sin posible obtención conteo capilar en un sujeto. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL

## FIBRAS TIPO IIA

### CONTROL T0

	Capilares	FCSA	PER	Circ	Feret	CCA	CCP
R 37	8.26	3137.39	225.21	0.76	85.88	2.83	3.70
R 39	8.45	5125.81	280.00	0.82	107.39	1.68	3.02
R 40	7.73	3671.16	238.37	0.78	88.51	2.41	3.29
<b>MEAN</b>	<b>8.15</b>	<b>3978.12</b>	<b>247.86</b>	<b>0.79</b>	<b>93.93</b>	<b>2.30</b>	<b>3.34</b>

Tabla 11: Resumen valores Fibras tipo II de n=3. Ratas sin exposición a daño muscular. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL

### CONTROL T3

	Capilares	FCSA	PER	Circ	Feret	CCA	CCP
R 63	8.37	3600.31	234.07	0.81	87.92	2.40	3.57
R 65	7.80	3442.62	225.13	0.85	53.84	2.32	3.47
<b>Mean</b>	<b>8.09</b>	<b>3521.46</b>	<b>229.60</b>	<b>0.83</b>	<b>70.88</b>	<b>2.36</b>	<b>3.52</b>

Tabla 13: Resumen valores Fibras tipo II de n=2. Ratas recuperación pasiva T3. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL

### CONTROL T7

	Capilares	FCSA	PER	Circ	Feret	CCA	CCP
R 29	8.18	3899.98	248.98	0.78	90.96	2.24	3.33
R 116	6.70	3612.47	241.88	0.76	90.02	2.01	2.81
<b>Mean</b>	<b>7.44</b>	<b>3756.22</b>	<b>245.43</b>	<b>0.77</b>	<b>90.49</b>	<b>2.13</b>	<b>3.07</b>

Tabla 12: Resumen valores Fibras tipo II de n=2. Ratas recuperación pasiva T7. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL

### HIPOXIA T3

	Capilares	FCSA	PER	Circ	Feret	CCA	CCP
R 115	6.62	3442	233	0.77	86.12	2.01	2.82
R 120	8.38	4347	272	0.73	104.28	2.10	3.10
<b>Mean</b>	<b>7.50</b>	<b>3894.16</b>	<b>252.40</b>	<b>0.75</b>	<b>95.20</b>	<b>2.05</b>	<b>2.96</b>

Tabla 14: Resumen valores Fibras tipo II de n=2. Ratas expuestas a 3 sesiones de Hipoxia. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL

### HIPOXIA T7

	Capilares	FCSA	PER	Circ	Feret	CCA	CCP
R 55	9.29	2868.16	214.14	0.77	80.08	3.46	4.34
R 68	8.98	3759	248	0.76	90.09	2.39	3.63
R 99		3326	230	0.78	85.44		
<b>Mean</b>	<b>9.14</b>	<b>3317.63</b>	<b>230.72</b>	<b>0.77</b>	<b>85.20</b>	<b>2.93</b>	<b>3.98</b>

Tabla 15: Resumen valores Fibras tipo II de n=2. Ratas expuestas a 7 sesiones de Hipoxia. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL

### EJERCICIO E HIPOXIA T3

	Capilares	FCSA	PER	Circ	Feret	CCA	CCP
R 90	6.58	3656.93	245.52	0.74	94.46	2.12	2.74
R 110	6.29	3018.89	226.26	0.72	83.58	2.08	2.78
R 128		3252.94	227.36	0.78	83.55		
<b>Mean</b>	<b>6.43</b>	<b>3309.58</b>	<b>233.05</b>	<b>0.75</b>	<b>87.20</b>	<b>2.10</b>	<b>2.76</b>

Tabla 16: Resumen valores Fibras tipo II n=3. No pudo ser posible obtención el número de capilares de la rata 128. Ratas expuestas a 3 sesiones de ejercicio e hipoxia . Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL

### EJERCICIO E HIPOXIA T7

	Capilares	FCSA	PER	Circ	Feret	CCA	CCP
R 70		4239.27	264.24	0.75	99.19		
R 87	9.75	2954.19	232.22	0.68	89.80	3.41	4.00
R 109	9.90	3500.53	233.49	0.80	85.52	3.03	4.28
<b>Mean</b>	<b>9.82</b>	<b>3564.66</b>	<b>243.32</b>	<b>0.74</b>	<b>91.50</b>	<b>3.22</b>	<b>4.14</b>

Tabla 17: Resumen valores Fibras tipo II de n=2. Ratas expuestas a 7 sesiones de ejercicio e hipoxia. Pasantía UNAL- UB 2013 Equipo FEH-UNAL

En un panorama general, la distribución porcentual de fibras encontradas en el Sóleo de cada una de las ratas de todos los grupos estudiados demuestra que es un músculo oxidativo, con fibras que ejercen su funcionalidad original a ser tónicas debido a su abundancia de fibras tipo I y a pesar de la lesión este porcentaje se mantiene.

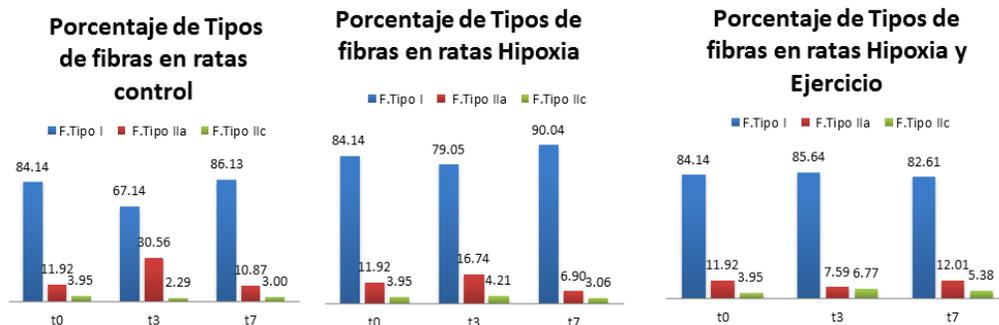


Gráfico 4. Resumen valores porcentuales de los 3 tipos de fibras en el músculo Sóleo en cada uno de los 3 grupos. Pasantía UNAL- UB 2013.

Para poder describir de manera organizada a nivel estructural en cada uno de los grupos se decidió graficar las variables del índice de número capilares por unidad de área (CCA) y número de capilares por unidad de perímetro (CCP) ya que son dos variables que visualmente pueden aportar índices que relacionan 2 variables (capilaridad y área o perímetro) y a partir de lo anterior se puede correlacionar con los demás datos.

A continuación se presentan los valores promedios de las ratas control, a t0, t3 y t7 en las fibras tipo I y tipo IIa (Gráfico 5) :

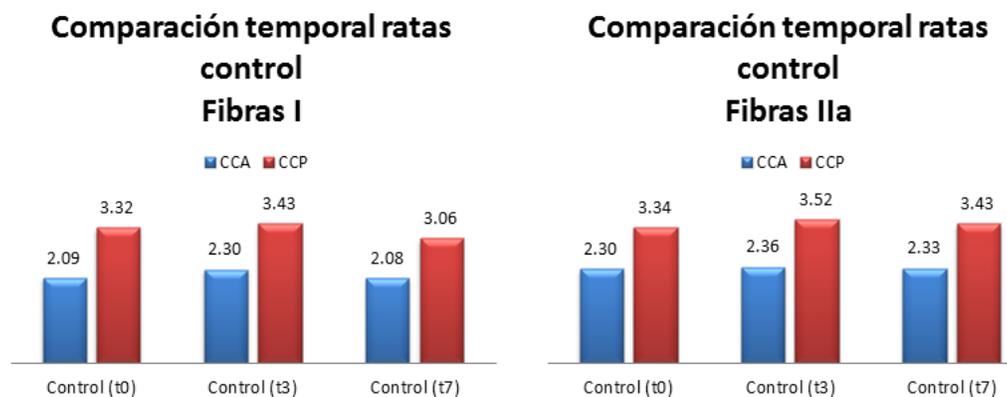


Gráfico 5. Comparación temporal de las ratas control en los dos tipos de fibras más predominantes en Sólido del índice de capilaridad. Pasantía de investigación UNAL- UB FEH.

En el grupo control, se observó que en a t3/tres días después de la lesión hay mayor capilarización por unidad de área y perímetro, y a t7 el CCA volvió a los valores iniciales; esto se relaciona con el FCSA el cual disminuyó progresivamente hasta el día 7 para ambos tipos de fibras (ver tablas 5 a 6 12 a13 y gráfico 5). Además se observaron cambios en la circularidad; en el

día 3 fue de 0.84 y en el 7 disminuyó a 0.78 (fibras I), mostrando una recuperación de la forma poligonal original (ver tabla 5 y6) .

La distancia de difusión media aumentó conforme pasaban los días (86.30 en t3 a 90.63 en t7 fibras I y 70.88 en t3 y 90.49 en t7 para fibras Ila y su CCP disminuyó respectivamente indicando mayor distancia por irrigar desde su membrana hacia el núcleo con respecto al número de capilares que la irrigan por micra (ver tabla 11 y12).

El porcentaje de fibras I y fibras Ila se mantuvo estable, lo cual mostró que la lesión no produce cambios a nivel metabólico, a nivel morfológico al observar la FCSA a t3 disminuye, lo cual puede dar indicios de que la lesión generó atrofia muscular y por esto no hay más capilares pero si menor área.(ver gráfico 4)

A continuación se presentan los valores promedios de las ratas expuestas a Hipoxia como parte de su proceso de recuperación a t0, t3 y t7 en las fibras tipo I y tipo Ila (Gráfico 6)

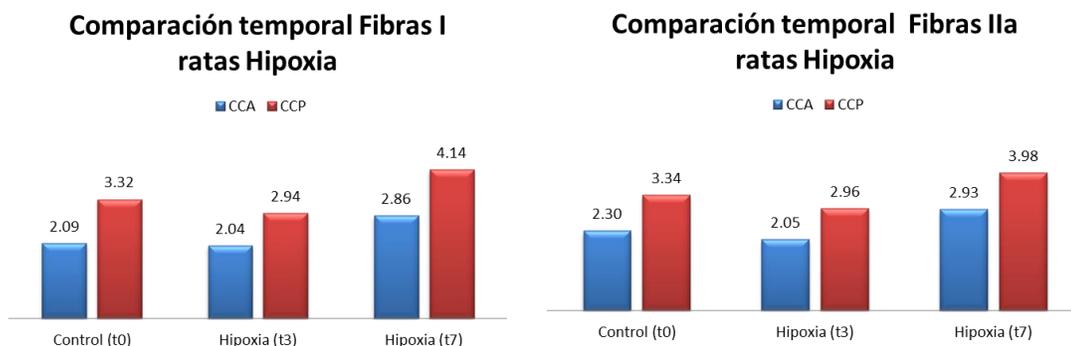


Gráfico 6. Comparación temporal de las ratas Hipoxia en los dos tipos de fibras más predominantes en Sólleo del índice de capilaridad. Pasantía UNAL- UB 2013. FEH.

En el grupo de hipoxia la circularidad no presentó grandes cambios ni en t3 ni en t7, como muestra las Tablas 14 y 15). Su MDD disminuyó en las ratas sometidas a hipoxia en la evolución temporal y el CCA y CCP aumentaron progresivamente en ambos tipos de fibras- (ver gráfico 6).

A continuación se presentan los valores promedios de las ratas expuestas a Hipoxia y ejercicio como parte de su proceso de recuperación a t0, t3 y t7 en las fibras tipo I y tipo IIa (Gráfico 7)

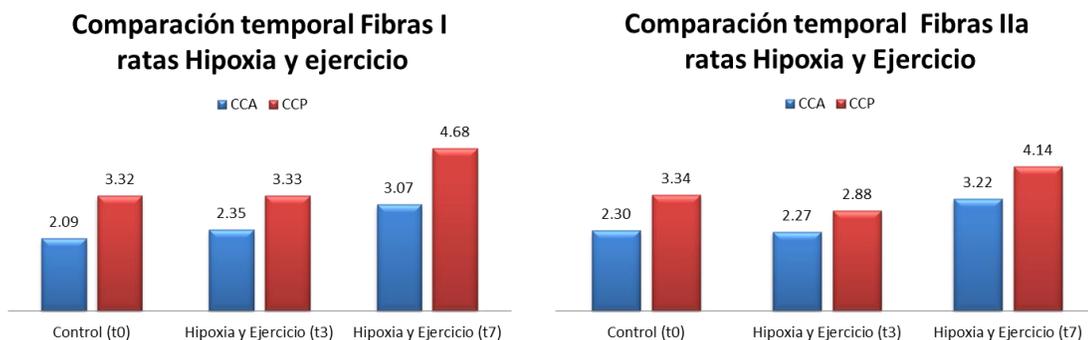


Gráfico 7. Comparación temporal de las ratas control en los dos tipos de fibras más predominantes en Sólleo del índice de capilaridad. Pasantía UNAL- UB 2013. FEH.

En el grupo expuesto a sesiones de Hipoxia más ejercicio las fibras musculares disminuyeron de tamaño respecto al grupo control no lesionado/t0, pero a t3 y t7, en ambos tipos de fibra, la FCSA es mayor que en el grupo Control en los mismos tiempos (Ver Tabla 16 Y 17). En la circularidad no hubo diferencias y se evidenció el progreso en la capilarización por área y perímetro de t3 a t7(ver gráfico 7).

Al relacionarse entre grupos se obtiene que la circularidad en los grupos HIP y EHIP se mantuvo en valores parecidos al de ratas no lesionadas tanto en t3 como en t7, indicando una recuperación del daño muscular más rápida (ver gráfico 8). En las fibras tipo Ila, no hubo diferencias significativas en ninguno de los parámetros en t3.

Ahora se puede observar los índices de capilaridad de las fibras I y Ila a t 3 y t7 en cada uno de los grupos:

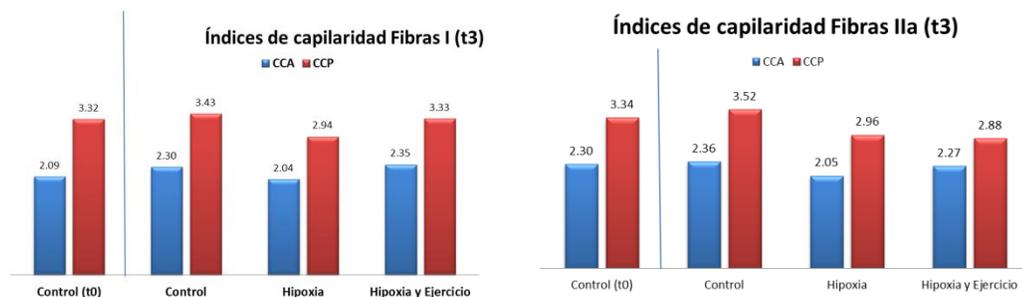


Gráfico 8. Índice capilar por área y por perímetro de las 3 diferentes condiciones en el día 3 y 7 en el músculo Sóleo fibras I. Pasantía UNAL- UB 2013. FEH.

Por parte de las fibras Ila, no hay aumento de la capilaridad y el área media de las fibras disminuyó, lo que en el CCA se ve reflejado en su aumento en el grupo ejercicio e hipoxia con respecto al de hipoxia pero no superan al control.

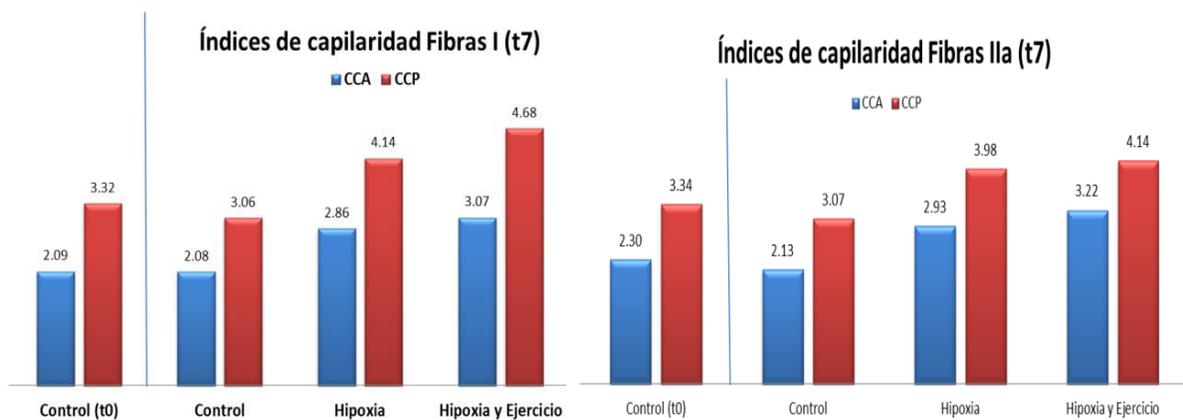


Gráfico 9. Índice capilar por área y por perímetro de las 3 diferentes condiciones en el día 7 en el músculo Sóleo fibras I y Ila. Pasantía UNAL- UB 2013. FEH.

En t7, tanto el grupo HIP como el grupo EHIP mostraron un aumento del CCA y el CCP en ambos tipos de fibras. (ver gráfico 9) lo cual evidencia que la capilarización aumentó por unidad de área pero también por unidad de perímetro especialmente en las ratas expuestas a hipoxia más ejercicio; y que comparando con los resultados del tiempo 3, estos valores en aumentaron.

## 5.8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

### 5.8.1 Respecto a los resultados experimentales aplicados

- Tras una lesión muscular, la circularidad en las secciones transversales de las fibras aumenta, informando daño muscular. Al exponerse a hipoxia e hipoxia y ejercicio la circularidad se mantiene en valores similares a los de las ratas no expuestas a daño. Por lo tanto, un protocolo de Hipoxia Hipobárica Intermitente como un protocolo de Hipoxia Hipobárica Intermitente más Ejercicio resultan eficaces para mitigar los efectos de la lesión.
- La capilarización (CCA) disminuyó en las ratas lesionadas; sin embargo, las ratas expuestas a hipoxia y ejercicio e hipoxia aumentaron su capilarización muscular rápidamente, tal y como ya mostraron Viscor y cols (13) (40). Este aumento de la capilarización podría preparar al músculo para una recuperación más rápida y una vuelta al entrenamiento más eficaz.
- Teniendo en cuenta que el Sóleo ha sido descrito como un músculo con predominio de fibras musculares oxidativas, se pudo ver que ante la lesión los porcentajes de este grupo de fibras se mantienen sin presentar cambios a nivel funcional, conservando su predominio en la capacidad de contracción lenta, esto está supeditado a la demanda del tipo de entrenamiento (aeróbico) al que fueron expuestas. Es necesario seguir investigando la respuesta de este músculo ante exigencias anaeróbicas para observar si se modifican sus porcentajes

de tipos metabólicos teniendo en cuenta la capacidad plástica descrita en la literatura.

- Hay una tendencia en la disminución del FCSA después del daño tisular en los protocolos con Hipoxia, pero un aumento en los de Ejercicio e Hipoxia acompañada de su aumento en la capilaridad
- Las aseveraciones anteriores deben tenerse en cuenta como un preámbulo a los resultados que se han obtenido a lo largo de la investigación, ya que la muestra (n=21) analizada al momento de realizar este documento no es lo suficientemente grande para generar relaciones estadísticas que solventen las afirmaciones hechas en los párrafos anteriores, pero estos datos si dieron cuenta de la tendencia con la cual va la recuperación de las ratas expuestas al experimento.

### **5.8.2 Respecto a la experiencia del proceso de pasantía**

Cuando la estudiante inició la pasantía en investigación estaba a la expectativa de hacer parte de un grupo como el de Fisiología adaptativa: ejercicio e hipoxia , ya que representaba un reto el integrarse de manera dinámica y acertada en el mundo de la investigación con personas que realizan maestrías, doctorados y son docentes en esta área.(ver gráfico 3 sección K)

A través de los días y el desarrollo de las actividades la estudiante obtuvo habilidades, destrezas y mayor confianza en los procedimientos realizados en los laboratorios, así mismo en realizar análisis, interpretación y obtener

conclusiones frente a situaciones presentadas o estudiadas. Desde sus conocimientos de Fisioterapia alimentó el análisis que hacían los investigadores de otras disciplinas (como Biología) la visión del ser humano como un ser integral, sin seccionarlo a través de la delimitación de un músculo, procesos fisiológicos y análisis biomecánicos de una unidad tisular, sino de iniciar a pensar sobre el movimiento corporal como un engranaje del trabajo de todo el sistema en un entorno integral.

Cada una de las actividades en investigación realizadas en el grupo aportó en su formación interdisciplinar, lo cual, sumado a los conocimientos previos adquiridos en la formación previa dentro de la Carrera de Fisioterapia hacen de la estudiante un elemento valioso dentro de grupos de investigación nacional o internacional en el área de la salud.

Al aprender herramientas y conocimientos a partir de las revisiones teóricas, la práctica empírica y la interacción con tecnologías, aumenta su conocimiento y relación entre temas que posteriormente la estudiante puede transferir a las demás personas, con un impacto social dentro del país.

Por otro lado manejar y recolectar información y datos, le es útil para la acertada inferencia y asociación de resultados y comportamientos. Los datos se traducen en observaciones de las características y cualidades del objeto de estudio, y por tanto a partir de ellos, la estudiante aprendió a cuantificar y cualificar lo que buscaba. El aprender sobre la manipulación de muestras biológicas entrenó a la estudiante en la aplicación del método científico en las investigaciones en las que colaboró y a aprendió a utilizar y diseñar protocolos. Las anteriores habilidades sumadas a las herramientas logísticas adquiridas, le dieron una visión general de cómo se realiza y planea una investigación; además le enseñó a la estudiante a jerarquizar procesos en orden a la correcta aplicación del método científico a través de procesos ordenados cognitivos brindándole la posibilidad de que en el futuro, con mucha más experiencia y práctica pueda coordinar múltiples proyectos simultáneamente construyendo conocimiento de manera interdisciplinar

comprendiendo aún más tanto desde lo micro como macro el movimiento corporal y estando a la vanguardia de lo que sucede en el entorno.

Respecto al procesamiento tisular, la estudiante, inmersa en el mundo de la fisiología adaptativa, y desde su perfil fisioterapéutico, se ha interesado por el análisis del movimiento normal y patológico desde niveles micros a partir del entendimiento de la dinámica molecular del cuerpo y que dentro de la intervención a pacientes le dio a la estudiante una visión más amplia de cómo y dónde entrar a realizar la intervención para tener mayor eficacia y eficiencia desde su engranaje académico.

Además de manera extra, la estudiante con parte de las herramientas y habilidades que adquirió, profundizó y desarrolló una pregunta de investigación dentro del periodo de pasante.

Dentro del propio tema con el cual estuvo involucrada e investigando la estudiante, le da conocimiento sobre nuevas herramientas de intervención dentro del área de fisioterapia desde el punto de vista de mayor capilarización y homeostasis celular tanto en pacientes patológicos como en poblaciones deportistas, ya que la estudiante pudo concluir dentro de su pasantía en el grupo de investigación que la hipoxia más ejercicio mejora los tiempos de recuperación y remodelación tisular; lo anterior le permite al fisioterapeuta intervenir con mayores demandas a nivel mecánico y estímulos de estrés de manera más temprana en el tratamiento ya que el tejido tendrá una mejor respuesta por sus propiedades intrínsecas.

Lo anterior se verá reflejado en el resultado de la intervención ya que además de poder disminuir los tiempos de recuperación tisular, se podrá disminuir el impacto del síndrome de desacondicionamiento físico y por consiguiente se obtendrá mayor ganancia en las cualidades y calidad del movimiento debido a una intervención más temprana.

Finalmente, y de manera transversal, la estudiante dentro de la pasantía en investigación tuvo la oportunidad de interactuar con bastantes personas investigadoras de otro tipo de formación, adquiriendo una visión general y macro de lo que sucede a nivel mundial en las dinámicas de investigación ya que continuamente presencié por un lado las relaciones académicas que el departamento mantenía a nivel Iberoamérica y de la Unión Europea; así mismo su equipo de trabajo estaba integrado por personas de Islandia, Brasil, Argentina, Grecia, Chile, Colombia, Reino Unido, Irán y por supuesto España. El nivel internacional da nuevos puntos de vista no solo de la forma como se investiga sino también las posibles oportunidades en el campo de acción de la Fisioterapia.

Es por los anteriores puntos que se concluye que la estudiante Participó de manera activa y competitiva dentro de las dinámicas al interior del grupo de Fisiología Adaptativa: Ejercicio e Hipoxia de la Universidad de Barcelona, teniendo como prioridad su investigación “¿Puede la hipoxia intermitente contribuir a la regeneración tisular?”, durante el segundo semestre de 2013.

Así mismo al finalizar su estancia la estudiante obtuvo la aceptación en la Maestría Fisiología Integrativa ofertada por el Departamento de Fisiología e Inmunología de la Universidad de Barcelona, lo cual corroboró el engranaje que tuvo como un miembro más del grupo de investigación.

### **5.8.3 Recomendaciones:**

Desde el punto de vista investigativo, es fundamental continuar apoyando y desarrollando espacios en donde se brinde la oportunidad de profundizar de manera práctica con temas que abran nuevas estrategias de intervención dentro del campo de acción del fisioterapeuta.

La investigación aporta en la consolidación de las bases científicas en la profesión y por tal motivo es importante fortalecer el aprendizaje y las bases en investigación dentro de los procesos de formación desarrollados en la Universidad Nacional de Colombia desde el pregrado, ya que a través de la construcción continua de conocimiento y su evolución la institución y específicamente la Carrera de Fisioterapia son reconocidos a nivel externo por su alta calidad, punto fundamental en los procesos de reacreditación; Lo anterior puede estimularse con la integración de estudiantes de pregrado en grupos de investigación establecidos en donde se trabaje de manera interdisciplinaria con otros departamentos y entes investigativos.

Desde la experiencia académica de la estudiante dentro del grupo de investigación, se plantea la importancia de interdisciplinaridad generando una red más extensa sobre las posibilidades de investigación respondiendo a problemáticas integrales dentro de la sociedad, que a su vez se convierten en puntos de referencia para que más fisioterapeutas puedan generar investigaciones posteriores y de tal manera la profesión siempre esté a la vanguardia respecto a temas actuales.

Como se nombraba dentro de los resultados, es fundamental que se trabaje mucho más en equipo dentro de Colombia; que la interdisciplinaridad se dé no solo por la construcción del conocimiento y constructos académicos sino también para ayudarse mutuamente a nivel recursivo dentro de la sociedad como equipos de trabajo que nutren el desarrollo del país, ya que desde la experiencia tenida por la estudiante, el soporte económico de grandes proyectos proviene de entes gubernamentales pero además de instituciones privadas asociadas a diferentes facultades de las universidades en donde todos trabajan por colaborar mutuamente sin importar a qué gremio pertenecen.

Las pasantías en investigación realizadas dentro de marcos interinstitucionales y/o internacionales crean espacios en los cuales los

futuros profesionales conocen lo que se está desarrollando en otras partes y motiva al estudiante a continuar relacionado con el mundo científico a través de maestrías, doctorados, grupos de investigación, trabajos en colaboración con otras instituciones entre otros.

## Bibliografía

1. UNIVERSIDAD DE GRANADA. No registra. [Online].; 2011 [cited 2013 Abril 11. Available from:  
<http://www.ugr.es/~proexc/ejemplos/subproy4/PORTAFOLIOS/Debates%20y%20aportaciones/7.%20EF.%20cuerpo%20y%20movimiento/CONCEPTO%20DE%20ACTIVIDAD%20FISICA.pdf>.
2. CONSEJO DE LA FACULTAD DE MEDICINA R4d2CFdM. Secretaria General, Régimen legal. [Online].; 2005 [cited 2012 02 16. Available from:  
<http://www.legal.unal.edu.co/sisjurun/normas/Norma1.jsp?i=51452>.
3. ARGOTHY R. Comparación de los patrones Biomecánicos del salto en Pacientes con Reconstrucción del Ligamento Cruzado Anterior intervenidos con distintas técnicas quirúrgicas. Bogotá;; 2008.

4. FACULTAD MEDICINA, SEDE BOGOTÁ, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Pregrado Fisioterapia. [Online].; 2013 [cited 2013. Available from: [http://www.medicina.unal.edu.co/programa.php?id\\_programa=4](http://www.medicina.unal.edu.co/programa.php?id_programa=4).
5. OFICINA DE RELACIONES INTERNACIONALES. Convenios Universidad Nacional de Colombia. [Online].; 2011 [cited 2012 12 06. Available from: <http://www.ori.unal.edu.co/convenios.html>.
6. UNIVERSIDAD DE BARCELONA. Universidad de Barcelona/La universidad. [Online].; 2012 [cited 04 12 2012. Available from: <http://www.ub.edu/web/ub/es/universitat/universitat.html>.
7. UNIVERSIDAD DE BARCELONA. Investigación e Innovación. UNIVERSIDAD DE BARCELONA/Investigación e Innovación. [Online].; 2012 [cited 2012 12 04. Available from: [http://www.ub.edu/web/ub/es/recerca\\_innovacio/recerca\\_innovacio.html](http://www.ub.edu/web/ub/es/recerca_innovacio/recerca_innovacio.html).
8. ACADEMIA.EDU. ACADEMIA.EDU. [Online].; 2012 [cited 2012 12 04. Available from: <http://ub.academia.edu/GinesViscor>.
9. UNIVERSIDAD DE BARCELONA. Resercha. [Online].; 2012. Available from: [http://www.ub.edu/web/ub/ca/recerca\\_innovacio/recerca\\_a\\_la\\_UB/grups/fitxa/F/HIPOXINA/index.html](http://www.ub.edu/web/ub/ca/recerca_innovacio/recerca_a_la_UB/grups/fitxa/F/HIPOXINA/index.html).
10. VISCOR CARRASCO GINÉS. MEMORIA TÉCNICA PARA PROYECTOS TIPO A o B. Barcelona;; 2012.
11. ROBAYO AL. Historia de un maestro que teniendo en obra gris su subjetividad... vino la Pedagogía y sopló y sopló.... Revista Iberoamericana de Educación n.º 46/6. 2008.
12. CAMELO C, PEÑA J, DEUDERO J. Respuesta A La Hipoxia. Un Mecanismo Sistemico Basado En El Control De La Expresion Genica. MEDICINA (Buenos Aires). 2006; 66: p. 155-164.
13. VISCOR G. La hipoxia hipobárica: simulando la altitud. Femmagazine. 2012.
14. RIZO ROCA D. Informe anual 2012, Efecto de la hipoxia hipobárica intermitente en la recuperación de daño muscular inducido a ratas de laboratorio. Barcelona;; 2012.
15. FEH DI. Rat Preconditioning on a 5-Channel Treadmill. Protocolo. Barcelona: Project

DEP2010-22205-C02-01, Versión 1.5; 2013.

16. FEH DI. Rat Exercise training on a 5-Channel Treadmill. Protocolo. Barcelona: Universidad de Barcelona, Project DEP2010-22205-C02-01; 2013. Report No.: Versión 1.3.
17. FEH DI. Rat Muscle Damage on a 5-Channel Treadmill. Versión 1.5. Barcelona: Universidad Barcelona, Project DEP2010-22205-C02-01; 2013.
18. FEH DI. Rat Intermittent Hypoxia Session. 1.3. Barcelona: Universidad Barcelona, Project DEP2010-22205-C02-01; 2013. Report No.: QGR/101.055.004.
19. FEH DI. Rat Rehabilitation on a 5-Channel Treadmill. Versión 1.3. Barcelona: Universidad de Barcelona, Project DEP2010-22205-C02-01; 2013. Report No.: QGR/101.055.005.
20. FEH Dii. Introducción Muestreo, puestos de distribución. Interno. Barcelona: Universidad de Barcelona, Departamento Fisiología Ejercicio e Hipoxia; 2013.
21. CÉSAR EDUARDO MA. Facultad de medicina, Universidad Autónoma de México. [Online].; 2010 [cited 2013 05 11. Available from: [http://www.facmed.unam.mx/deptos/biocetis/PDF/Portal%20de%20Recursos%20en%20Linea/Apuntes/3\\_tecnica\\_histologica.pdf](http://www.facmed.unam.mx/deptos/biocetis/PDF/Portal%20de%20Recursos%20en%20Linea/Apuntes/3_tecnica_histologica.pdf).
22. Artinis Medical Systems B. Manual de uso NIRS ST. Walburg 4 The Netherlands; 2008.
23. Viscor G. Bases fisiológicas de la hipoxia i les seves aplicacions: de l'esport i la mutanya a la medicine de capcalera. [Online].; 2012 [cited 2013 Junio 03. Available from: <http://161.116.7.34/conferencies/ivtrobadabiologia/gines%20viscor/bases%20fisiologiques%20de%20la%20hipoxia%20i%20les%20seves%20aplicacions.pdf>.
24. Facultad de Ciencias del deporte UdCLm. III Curso Universitario de Especialización en alto rendimiento deportivo. No registra..
25. Bahr M. Lesiones musculares; Diagnóstico, tratamiento y rehabilitación. 6th ed. Madrid, España: Panamericana; 2007.
26. No refiere. Tejido Muscular, Histología Tema 16: Introducción al tejido muscular.

[Online].; 2013 [cited 3013 Mayo 05. Available from:  
[http://wzar.unizar.es/acad/histologia/texto/TemasHistologia\\_I/1\\_5\\_TejidoMuscular.pdf](http://wzar.unizar.es/acad/histologia/texto/TemasHistologia_I/1_5_TejidoMuscular.pdf).

27. CHOI YM&KBC. Muscle fiber characteristics, myofibrillar protein isoforms, and meat quality. *Livestock Science*, Elsevier. 2009; 122: p. 105–118.
28. NORDIN M. *Biomecánica básica del sistema musculoesqueletico*. 3rd ed. España: Mc Graw Hill; 1999.
29. LÓPEZ CHICHARRO JYAFV. *Fisiología del Ejercicio*. 3rd ed. Madrid: Panamericana; 2006.
30. GREGER R&UW. *Comprehensive Human Physiology* Berlín: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 1996.
31. SCHIAFFINO S&RC. Fiber Types In Mammalian Skeletal. *Physiol Rev* 91. 2011;; p. 1447–1531.
32. BARRETT KEDMB&C. *Fisiología Médica*. 3rd ed.: Mc Graw Hill; 2010.
33. BOTTINELLI RYCR. Human skeletal muscle fibres: molecular and functional diversity. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. 2000 Febrero-Mayo; 73: p. 195-262.
34. TIIDUS PM. Skeletal Muscle Damage and Repair:Mechanisms & Interventions. In PETER M T, editor...: *Human Kinetics*; 2008. p. 38-86.
35. TIDBALL JG. Inflammatory Processes In Muscle Injury And Repair. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2005.; 288.
36. STEFANO SCHIAFFINO & CARLO REGGIANI. Fiber Types In Mammalian Skeletal Muscle. *Physiol Rev*. 2011; 91: p. 1447–1531.
37. Acevedo LM RJ. New insights into skeletal muscle fibre types in the dog with. *Cell Tissue Res*. 2006; 323: p. 283–303.
38. Saltin B GD. Skeletal Muscle Adaptability: Significance for Metabolism and Performance. *Compr Physiol*. 2011;(doi: 10.1002/cphy.cp100119).
39. BRAD J. BEHNKE PMDJPTIMADCP. Oxygen exchange profile in rat muscles of

contrasting fibre. J Physiol. 2003; 549(2): p. 597–605.

40. UNIVERSIDAD DE BARCELONA RECERCA. Fisiología Adaptativa; Ejercicio e hipoxia/  
Equip Investigador. [Online].; 2012 [cited 2012 12 05. Available from:  
[http://www.ub.edu/web/ub/ca/recerca\\_innovacio/recerca\\_a\\_la\\_UB/grups/fitxa/F/HIP  
OXINA/index.html](http://www.ub.edu/web/ub/ca/recerca_innovacio/recerca_a_la_UB/grups/fitxa/F/HIP<br/>OXINA/index.html).

41. IN L. [Online].; 2012. Available from: <http://es.linkedin.com/in/gviscor/es>.