

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
FACULTAD DE ENFERMERÍA  
TERAPIA FÍSICA**

**DISERTACIÓN DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
LICENCIADOS EN TERAPIA FÍSICA**

**ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA TÉCNICA DE SENTADILLA EN LOS  
FISICOCULTURISTAS DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL  
ECUADOR (PUCE), SEDE QUITO, EN EL AÑO 2017**

**Elaborado por:**

Danny S. Moya M.

L. Miguel Chato A.

**Quito, Febrero 2018**

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo describir la técnica de la sentadilla a través de la observación del gesto motor en los fisicoculturistas amateurs del gimnasio de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). Fue un estudio de tipo descriptivo, transversal, observacional, cuya muestra estuvo constituida por 17 deportistas que cumplieron con los criterios de inclusión. Para este estudio se realizó un análisis de movimiento mediante video con el programa KINOVEA (v.0.80.15), además se recabaron datos a través de un cuestionario sobre las características demográficas, de entrenamiento, del dolor y si presentaban o no lesiones actuales. Los resultados más importantes mostraron un promedio en ángulos de:  $53,29^\circ \pm 9,61^\circ$  para la cadera;  $60,11^\circ \pm 11^\circ$  para la rodilla; y  $95,52^\circ \pm 8,29^\circ$  para el tobillo. En comparación con los ángulos descritos por Fry (2003), hubo una diferencia negativa de  $-13,4^\circ$  ( $p=0,001$ ) para la cadera y  $-5,9^\circ$  ( $p=0,040$ ) para la rodilla, al contrario que en el tobillo, donde la diferencia fue positiva con  $+5,52^\circ$  ( $p=0,014$ ). No hubo ninguna correlación entre las posiciones angulares, sin embargo, existió una correlación negativa moderada entre la frecuencia de realización de la sentadilla y la posición angular de la cadera ( $r = -0,484$ ;  $p= 0,049$ ); mientras que la frecuencia semanal del entrenamiento y la alineación del raquis fue moderada y positiva ( $r = 0,611^{**}$ ;  $p= 0,009$ ). En comparación con los parámetros descritos actualmente en la literatura, se puede concluir que los fisicoculturistas de la PUCE no cumplen con una ejecución correcta de la técnica.

**Palabras clave:** cadera, fisicoculturismo, sentadilla, técnica, tobillo, rodilla.

## ABSTRAC

The objective of this study was to describe the technique of the squat through the observation of the motor gesture in the amateur bodybuilders of the gymnasium of the Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE). It was a descriptive, cross-sectional, observational study, whose sample consisted of 17 athletes who met the inclusion criteria. For this study, was made a motion analysis by video with the KINOVEA program (v.0.80.15), and data was collected through a questionnaire on the demographic, training, pain characteristics and whether or not they presented current injuries. The most important results showed an average in angles of:  $53.29^\circ \pm 9.61^\circ$  for the hip;  $60.11^\circ \pm 11^\circ$  for the knee; and  $95.52^\circ \pm 8.29^\circ$  for the ankle, without correlation between them. In comparison with the angles described by Fry (2003), there was a negative difference of  $-13.4^\circ$  ( $p = 0,001$ ) for the hip and  $-5.9^\circ$  ( $p = 0,040$ ) for the knee, as opposed to the ankle, where the difference was positive with  $+5.52^\circ$  ( $p = 0,014$ ). There was a moderate negative correlation between the frequency of performing the squat and the angular position of the hip ( $r = -0,484$ ,  $p = 0,049$ ); while the weekly frequency of training and spinal alignment was moderate and positive ( $r = 0,611$  \*\*,  $p = 0,009$ ). In comparison with the parameters currently described in the literature, the study concluded that the PUCE bodybuilders do not comply with a correct execution of the technique.

**Key words:** ankle, bodybuilding, hip, knee, squat, technique.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios por permitirme culminar una etapa más en mi vida y por su fidelidad en cada momento. A mi familia, Santiago, Gina y Jouseth, por ese apoyo incondicional. A mis amigos Daniela, Miguel, Lenin y Alejandro por esos buenos momentos que me los llevo en el corazón. A la universidad y mis profesores por brindarme todas las herramientas necesarias para ser una gran persona y buen profesional.

Danny Moya M.

Agradezco a primero a Dios, por haberme permitido crecer cada día más como persona, hijo, compañero, amigo y por sobretodo como padre. También doy gracias a mi familia por apoyarme en esta magnífica etapa de estudios. A mis amigos por estar siempre presentes. A todos los profesores que formaron parte de este proceso universitario y que fueron una guía súper importante para enfrentar la vida y uno de los agradecimientos más grandes que tengo es a mi hija, Danna, por enseñarme que cada día puedes aprender más, jugando, divirtiéndote y sobretodo, enseñando.

Miguel Chato Arruebo.

**DEDICATORIA**

*“A Dios y a toda mi familia, especialmente a mis padres y hermana, Santiago, Gina y Jouseth, quienes estuvieron de manera incondicional durante este proceso de formación, les amo.”*

Danny Moya M.

*“A Dios, mi familia y amigos. Los cuales estuvieron con todo ese amor, paciencia y la ayuda que me brindaron en el transcurso de todos estos años, simplemente muchas gracias”.*

Miguel Chato Arruebo.

## Tabla de contenido

RESUMEN .....	ii
ABSTRAC .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
DEDICATORIA .....	v
INTRODUCCION .....	1
CAPITULO 1: GENERALIDADES .....	2
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	4
1.3. OBJETIVOS .....	5
• General: .....	5
• Específicos .....	5
1.4. METODOLOGIA .....	5
• Tipo de estudio: .....	5
• Universo y Muestra .....	5
• Fuentes .....	6
• Materiales y métodos .....	6
• Plan de análisis de información .....	8
1.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	9
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....	10
2.1. FISICOCULTURISMO .....	10
2.2. LA SENTADILLA .....	13
CAPITULO III: ANALISIS DE LOS RESULTADOS .....	25
3.1. Presentación de los resultados .....	25
3.2. Discusión .....	28
CONCLUSIONES .....	32
RECOMENDACIONES .....	33
REFERENCIAS .....	34
ANEXOS .....	37

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1 :</b> CORRELACIÓN ENTRE CARACTERÍSTICAS DE EJECUCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE ENTRENAMIENTO. ....	27
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1:</b> MÚSCULOS IMPLICADOS DURANTE LA SENTADILLA.....	14
<b>FIGURA 2:</b> TIPOS DE SENTADILLA.....	15
<b>FIGURA 3:</b> FASE EXCÉNTRICA O DESCENSO DE LA SENTADILLA.....	17
<b>FIGURA 4:</b> EJEMPLO DE ANÁLISIS MEDIANTE VIDEO.....	25
<b>FIGURA 5:</b> COMPARACIÓN DE LOS ÁNGULOS DE LAS ARTICULACIONES DEL MIEMBRO INFERIOR.....	26
<b>FIGURA 6:</b> RELACIÓN ENTRE LA POSICIÓN ANGULAR DE CADERA VS FRECUENCIA DE REALIZACIÓN DE SENTADILLA.....	28

## ÍNDICE DE ANEXO

### **ANEXO 1:**

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EL ANALISIS BIOMECANICO DE UNA SENTADILLA EN LOS FISICO CULTURISTAS DEL “Team PUCE” .....	37
---	----

### **ANEXO 2:**

ENCUESTA.....	38
---------------	----

## INTRODUCCION

En la actualidad, el deporte ha evolucionado desde el punto de vista científico y médico, dejando de lado el empirismo. Esto se debe a la importancia que se le ha dado a la práctica de cualquier deporte, empleando una técnica adecuada para prevenir la incidencia de lesiones (Acero, 2013).

Entendiendo la técnica como la solución motora más adecuada y económica para realizar una actividad (Weineck, 2005), existen diversas técnicas en la práctica deportiva que ayudan al deportista a desempeñarse de mejor manera. Sin embargo, existen pocos estudios científicos en el Ecuador que indiquen cuál es la forma más adecuada de obtener un mejor desempeño y prevenir algún tipo de lesión a futuro.

Este es el caso del fisicoculturismo, en el cual las técnicas para realizar la variedad de ejercicios de musculación han sido muy debatidas, dadas las cargas de peso con que se trabaja. Uno de los ejercicios más discutidos ha sido la sentadilla, por la complejidad que este ejercicio conlleva en cuanto a su técnica (Crespo, 2014).

Se ha demostrado que las personas que entrenan con una buena técnica de sentadilla, previenen algún tipo de lesión como sobrecarga y sobreuso de la articulación de rodilla y la zona baja de la espalda (Escamilla, 2014).

Tomando en cuenta que la sentadilla es un ejercicio básico para el fortalecimiento de tren inferior en el equipo de fisicoculturismo de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE), se desea analizar la técnica de la sentadilla con el fin de describirla desde el punto de vista biomecánico.

## **CAPITULO 1: GENERALIDADES**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La práctica deportiva activa, regular y adecuada es beneficiosa para tener un estado de salud óptimo. Actualmente, el objetivo 3.7 del Plan Nacional del Buen Vivir del estado ecuatoriano, establece que se debe “fomentar el tiempo dedicado al ocio activo, y el uso del tiempo libre en actividades físicas, deportivas y otras que contribuyan a mejorar las condiciones físicas, intelectuales y sociales de la población” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2016).

En conformidad con el cumplimiento de estos lineamientos, el deporte dentro de la PUCE ha venido incrementando. Así, un estudio realizado sobre la participación de los estudiantes en actividades deportivas indica que hubo 513 estudiantes deportistas inscritos. Además de estos, otros 150 acuden a los diferentes clubes, sin estar oficialmente inscritos (Aguirre, 2015).

Dentro de la población de deportistas inscritos, al tener en cuenta la relación entre el lugar anatómico lesionado y el deporte que practican, las lesiones de espalda y de rodilla representan un 16% en los deportistas que practican fisicoculturismo; este deporte se considera, así el segundo más lesivo. La población descrita se encuentra en un rango de edad de 21 a 22 años (Aguirre, 2015).

Muchos fisicoculturistas suelen sufrir algún tipo de lesión, prevaleciendo el sexo masculino con un 77,27% frente al 22,73% del sexo femenino. Estudios realizados en estos deportistas muestran que las lesiones más frecuentes son las contracturas musculares de deltoides (10%), tríceps (35%) y cuádriceps (45%) (Domínguez, 2015). Este fenómeno podría deberse al hecho de que no existe instrucción, ni seguimiento adecuado en el proceso de entrenamiento (Astudillo, 2011).

Así, el riesgo de lesión aumenta al no tener un control sobre la técnica desarrollada durante los diversos ejercicios de musculación. Se ha establecido que la falta de información de las personas que practican rutinas de ejercicios que incluyen sentadillas puede causar problemas en el sistema musculoesquelético (López, 2000).

La sentadilla es uno de los ejercicios más realizados en los gimnasios, dada su acción directa sobre la mayoría de músculos del tren inferior (glúteos, cuádriceps, isquiotibiales y gemelos), lo cual es requerido para realizar gran parte de las actividades de la vida diaria y deportes en general (Comfort, 2007). Sin embargo, cuando no se tiene ningún tipo de orientación, la sentadilla se convierte en un ejercicio perjudicial, debido a los frecuentes errores técnicos que se cometen al ejecutarla (Cresser, 2010).

Una de las herramientas disponibles para reducir el riesgo de lesión es el análisis biomecánico del ejercicio. En la actualidad existen varias maneras y sistemas que permiten este análisis; uno de ellos es el programa “KINOVEA”. Este programa ayuda a estudiar el patrón de movimiento, midiendo los ángulos articulares, la distancia, la velocidad, etc., con el fin de observar errores y corregir la técnica del gesto motor analizado (Sportics, 2012).

Con base en las estadísticas descritas anteriormente, sobre el deporte universitario y la descripción del entrenamiento de los Fisicoculturistas de la PUCE, se desea analizar los principales componentes de la técnica de una sentadilla en esta población.

## 1.2.JUSTIFICACIÓN

El fisicoculturismo busca trabajar el cuerpo mediante la máxima hipertrofia muscular, en un entrenamiento que consiste en diversos ejercicios de fuerza o musculación con cargas, levantamiento de pesas, aumento de la ingesta calórica y descanso (Hernández, 2000).

Este entrenamiento trabaja de forma específica en los diferentes segmentos musculares que se desean hipertrofiar, los cuales se encuentran divididos en dos grupos: musculatura del tren superior (cuello, tronco, brazos y antebrazos) y musculatura del tren inferior (cadera, muslo y pierna) (Linares, 2014).

Entre los ejercicios más comunes de tren inferior se encuentra la sentadilla, con sus distintas variantes. La sentadilla ha sido un ejercicio muy controvertido, ya que forma parte del grupo de ejercicios potencialmente lesivos, por el uso de dos a tres palancas mecánicas que pueden causar alteración anatómica funcional (Lavorato & Pereira, 2009).

Según Cresser (2010), el 60 % de la población que intenta realizar una sentadilla comete algún error técnico que puede provocar una lesión. Por esta razón, analizar la técnica de este gesto motor es muy importante para deportistas, preparadores físicos, traumatólogos y kinesiólogos (Bishop, 2013). La ejecución correcta de la sentadilla puede prevenir lesiones en las rodillas o en la zona lumbar, evitando que el deportista pierda continuidad en los entrenamientos.

En este trabajo se describirá la técnica empleada por los fisicoculturistas en el gimnasio de la PUCE. Principalmente se analizarán las fases de la sentadilla y los distintos ángulos de flexión de cadera y de rodilla que se alcanzan durante este movimiento.

### 1.3.OBJETIVOS

- **General:**

Describir la técnica de la sentadilla a través de la observación del gesto motor en los fisicoculturistas del gimnasio de la PUCE.

- **Específicos**

- Describir las características de la población (edad y género); del entrenamiento (frecuencia, tipo y duración del entrenamiento); y de la lesión (mecanismo de la lesión y presencia actual de dolor articular y muscular).

- Comparar los ángulos promedios descritos en la literatura con los ángulos de la articulación de cadera, rodilla y tobillo alcanzados por cada deportista durante una sentadilla profunda.

- Determinar la relación entre las características del movimiento (posición angular, alineaciones) y la frecuencia de entrenamiento semanal.

### 1.4.METODOLOGIA

- **Tipo de estudio:**

El estudio es de tipo descriptivo, transversal y observacional, debido a que no habrá intervención alguna del investigador y solamente se realiza una medición del gesto técnico de la sentadilla en los deportistas del “Team PUCE”.

El estudio se desarrollará en el gimnasio de Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Quito, Av. 12 de octubre 1076 y Roca.

- **Universo y Muestra**

La población accesible son los 150 deportistas del gimnasio de la PUCE, tomando como muestra únicamente a los 24 inscritos en la disciplina de fisicoculturismo

amateur, con un entrenamiento regular de 3 a 5 veces por semana, quienes se encuentran en un rango de edad entre 19 y 25 años.

Para contactar a los participantes se realizó una solicitud a coordinación de deportes con el fin de obtener un listado de los deportistas inscritos, sus datos más importantes como nombres, correos electrónicos y números de teléfono, para tener un canal de comunicación.

Posterior a ello se realizó una reunión para explicar el objetivo del estudio, en la cual se optimizó el tiempo para hacer firmar el consentimiento informado y la encuesta a quienes aceptaron la participación dentro del estudio. Se incluyeron a los deportistas que: 1) dentro de su entrenamiento tengan un mínimo de tres meses de entrenamiento, y 2) quienes realicen mínimo un día de entrenamiento con sentadilla.

Por otro lado se excluyeron a los deportistas: 1) que no ejecuten sentadillas dentro de su rutina de entrenamiento, 2) quienes hayan sido diagnosticados con alguna lesión en rodilla, cadera o espalda; 3) quienes presenten molestias de rodillas o espalda menores a un mes de evolución, sin evaluación del médico; y 4) quienes cursen por alguna condición de salud adversa, como por ejemplo cirugías recientes.

- **Fuentes**

Las fuentes del estudio son fuentes primarias, ya que se va a realizar una encuesta y un video directo de los fisicoculturistas para analizar su técnica durante una sentadilla profunda.

- **Materiales y métodos**

En primer lugar se usó un cuestionario (Anexo II) para poder obtener datos de la población, como son: edad, sexo, antecedentes de lesión, tiempo y tipo de

entrenamiento y dolor durante la ejecución de la sentadilla. Posterior a ello, con la ayuda de una videocámara Panasonic DMC-FZ60, se grabó el video de la ejecución de la sentadilla y, a partir de éste, el análisis de la técnica con el programa “KINOVEA” (v.0.80.15). Los datos que se tomaron en cuenta para el análisis de video son:

- Ángulo de dorsiflexión de tobillo
- Ángulo de flexión de rodilla
- Ángulo de flexión de cadera
- Alineación rodilla - punta de pies
- Alineación de espalda

Para esto, antes de empezar con la grabación, se les indicó a los deportistas que hagan un calentamiento de 10 minutos. Después se marcó a los deportistas utilizando marcadores reflectivos, en el lado izquierdo del cuerpo, tomando en cuenta como puntos de referencia los siguientes: base del quinto metatarsiano, maléolo externo, 1cm superior a la cabeza del peroné, trocánter mayor, base de las costillas, extremo de la barra (se asumió este punto como el final del dorso) (Fry, 2003). Por último, se pidió a los deportistas que realicen tres sentadillas profundas con barra alta y con el 70% de su resistencia máxima (RM).

El video fue grabado de manera no profesional. Se colocó la cámara a 3 metros de distancia, en un plano sagital (enfoque lateral) de la zona de realización de la sentadilla, asentada sobre un trípode a 86 cm del suelo

- **Plan de análisis de información**

Se realizó un análisis descriptivo de la información, para lo cual se presentaron los valores reales de los parámetros que se utilizaron en el análisis de la técnica, junto con el promedio y el porcentaje para el estudio de las variables: dolor y entrenamiento.

Para la comparación entre las posiciones angulares obtenidas en el estudio y los valores de referencias se utilizó un estudio realizado por Fry (2003), en el cual se describe los promedios de flexión de cadera ( $60,7^\circ \pm 6,01^\circ$ ), rodilla ( $66,1^\circ \pm 10^\circ$ ) y tobillo ( $90^\circ \pm 10,9^\circ$ ). Para este análisis se empleó la prueba t-student para muestras independientes. En cuanto a las correlaciones entre las posiciones angulares se realizó el test de Pearson. Para las correlaciones entre las características de la ejecución de la técnica; y características del entrenamiento y del dolor se utilizó la prueba de correlación de Spearman. Se aceptó un error  $\leq 0,05$ . Todos los análisis se realizaron usando el paquete estadístico SPSS v2.

## 1.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

	Variable	Definición conceptual	Dimensión	Definición operacional	indicador	Escala
Características demográficas	Edad	Tiempo que ha vivido una persona desde su nacimiento	<18 años 18-22 años 22-25 años >25 años	Adultos jóvenes	$= \frac{\# \text{de adultos jóvenes}}{\text{total}} \times 100$	Ordinal
	Sexo	Categoría taxonómica que sirve para clasificar animales, plantas y otros organismos	Hombre	Varón que ha llegado a la edad adulta	$= \frac{\# \text{de hombres}}{\text{total}} \times 100$	Nominal
			Mujer	Persona del sexo femenino, que ha llegado a la edad adulta	$= \frac{\# \text{de mujeres}}{\text{total}} \times 100$	
	Cuestionario	Serie de preguntas que se hace a un grupo de personas para reunir datos o para detectar la opinión pública sobre un asunto determinado	Dolor	Percepción sensorial localizada y subjetiva que puede ser más o menos intensa, molesta o desagradable en una parte del cuerpo.	$= \frac{\# \text{ de portias con dolor}}{\text{total}} \times 100$	Nominal
			Entrenamiento	Preparación para perfeccionar el desarrollo de una actividad, especialmente para la práctica de un deporte.	$= \frac{\# \text{ de entrenamientos con sentadilla}}{\text{total}} \times 100$	
	Análisis del gesto Motor	Combinación de varios movimientos en una o más unidades biomecánicas y cadenas que tiene un fin. Por medio de un instrumento (KINOVEA).	Alineación de espalda	Ángulos adecuados para realizar la técnica de la sentadilla	Proporción de desalineamiento de espalda	Nominal
Ángulo de flexión de rodilla			Proporción de ángulo alcanzado por el deportista			
Ángulo adelantamiento de rodilla			Proporción de alineamiento de rodilla			
Angulo de flexión de tronco			Proporción de ángulo de flexión de tronco alcanzado por el deportista.			

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. FISICOCULTURISMO

#### 2.1.1. Definición

El fisicoculturismo es una actividad física basada en el máximo desarrollo de hipertrofia muscular, que no sólo busca aumentar el tamaño muscular sino trabajar con otros componentes como: la definición, la simetría y los detalles musculares. Todo este proceso depende de un balance entre la síntesis y la degradación de proteínas, el aumento de la actividad física y el descanso (Ito, 2013).

El fisicoculturismo es un deporte que requiere dedicación, tiempo y actividad física intensa. El trabajo se realiza con ejercicios de musculación con cargas progresivas, levantamiento de pesas y control sobre el número de repeticiones, en conjunto con un control nutricional. Esta actividad suele realizarse en gimnasios, donde en ocasiones se entrena hasta dos veces al día (Luciano, 2013).

A pesar de esto, en muchos países de Latinoamérica como, por ejemplo, Chile, Costa Rica, Panamá, México, Colombia, entre otros (Morgade, 2017), el fisicoculturismo no es considerado como un deporte, sino más bien como un certamen de modelaje. Si bien es cierto que el fisicoculturismo comparte con otros deportes ciertos métodos y destrezas, la meta primordial del fisicoculturista es esculpir su cuerpo como un acto de modelaje que persigue la belleza (Ferrús, 2005). Sin embargo, desde 1946 la Federación Internacional de Fisicoculturismo (IFBB) ha logrado que se consolide como un deporte olímpico, formando parte de las distintas competencias a nivel continental, como en el caso de Suramérica, en los Juegos Panamericanos (IFBB, 2017).

### **2.1.2. Historia**

Desde tiempos antiguos, el cuerpo humano siempre ha sido un tema escultural demostrando estética y poder físico. El fisicoculturismo tiene sus primeras manifestaciones en figuras griegas donde el cuerpo tenía que ser preparado, moldeado, esculpido y perfeccionado (Merced, 2013).

Según López, (2010) en la época de la Antigua Grecia y Roma los atletas entrenaban con peso y resistencia para poder después competir en los Juegos Olímpicos, más no para modelar su belleza física. En ese entonces, el fisicoculturismo no se trataba de comportamientos dirigidos fundamentalmente al desarrollo de la fuerza o la definición, pero sí a la simetría del cuerpo, bajo los modelos de distintos guerreros o esculturas como la de Hércules.

El término fisicoculturismo se deriva de la palabra culturismo que nace en Francia en los siglos XVII y XIX, donde aparece la disciplina deportiva y la competición moderna, con finalidad estética. Desde entonces nacen varios personajes ilustres que fueron figuras importantes para la evolución de este deporte (Ferrús, 2005).

Cabe destacar a Eugen Sandow (1880), quien fue el primero en realizar exhibiciones en las que mostraba su musculatura. El fisicoculturismo tuvo gran impacto en la década de los 50 y 60 ya que, además de aparecer equipos sofisticados, aparecen revistas especializadas en ejercicios y musculación (Merced, 2013).

### **2.1.3. Proceso de hipertrofia muscular**

El cuerpo humano responde a estímulos que lo hacen estar en constante movimiento y cambio. Los cambios físicos dependerán de la cantidad de carga que sea aplicada en las diferentes partes del cuerpo (Merced, 2013). Como se sabe, el cuerpo humano está

compuesto por extremidades, músculos, articulaciones, que responden de diferentes maneras a los estímulos que reciben (López, 2010).

El músculo es un tejido que presenta gran capacidad de adaptación anatómica y fisiológica, según la demanda funcional. Representa el 45% del total del peso corporal, por lo que al ser estimulado genera grandes cambios estructurales en el individuo (Luciano, 2013).

Para lograr la hipertrofia muscular se debe tener en cuenta la condición física de la persona que desea iniciar la actividad, así como el proceso y el estado del entrenamiento físico. De manera que Zhelyazkov (2001) menciona ciertas consideraciones a observar, tales como:

- Edad
- Sexo
- Antecedentes patológicos
- Patologías y/o limitaciones físicas actuales
- Medidas antropométricas
- Somatotipo
- Estado nutricional

Cada uno de estos puntos juega un papel fundamental para iniciar con un plan de entrenamiento dirigido a la hipertrofia muscular, ya que es un trabajo progresivo y adaptativo (Luciano, 2013).

Al entrar en términos de hipertrofia muscular, se pretende la ganancia de volumen en la sección fisiológica transversal de los músculos provocada por el engrosamiento y el aumento del número de fibras musculares como adaptación morfológica al entrenamiento de la fuerza (Aceña et al., 2007).

Esta adaptación se produce en diferente orden y nivel, donde encontramos procesos anabólicos (construcción) y catabólicos (destrucción). La hipertrofia consigue que los procesos anabólicos sean mayores a los catabólicos, junto con cambios hormonales. De manera que la hipertrofia muscular comprende microruptura de fibras musculares tipo I y II, lo que produce como consecuencia el aumento de nuevas fibras más gruesas, fuertes y resistentes (Boffi, 2008).

Cabe destacar que una de las principales preocupaciones entre los culturistas hoy en día es la definición muscular. Se debe tener en cuenta que la diferencia será el escultor detrás del cuerpo moldeado. El fisicoculturismo, más que un buen físico, busca la perfección. Ciertos estudios han demostrado que si una persona se ejercita aeróbicamente, el sustrato energético utilizado es la grasa, de modo que se quema grasa y se define el músculo después de lograr la hipertrofia (Geiger, 2017). La definición se logra reduciendo el porcentaje de grasa corporal, es decir perder grasa subcutánea y eliminar también el líquido que se encuentra en los tejidos. Así, la definición muscular en este deporte es de vital importancia para las competiciones (López, 2013).

## **2.2.LA SENTADILLA**

### **2.2.1. Concepto**

La sentadilla pertenece al grupo de los ejercicios de cadena cinética cerrada; las extremidades inferiores están fijas en el suelo, provocando que el pie soporte todo el peso sobre el suelo. El uso de este tipo de ejercicios tiene ventajas importantes, ya que permite reproducir la mayoría de las actividades de la vida diaria como caminar o ponerse de pie (Kasim et al., 2007).

La sentadilla es un ejercicio que se realiza para fortalecer la musculatura del tren inferior, específicamente glúteos, cuádriceps, isquiotibiales y gemelos (Figura 1).



**Figura 1. Músculos implicados durante la sentadilla.**

**Fuente:** Blanco (2015)

El ejercicio consiste en flexionar y extender las rodillas y la cadera, movilizandoo la carga sobre el tronco (Lavorato & Pereira, 2009). Las posibilidades de ejecución son variadas, según Beardsley, (2012) y Contreras, (2013) se describen cuatro tipos, que presentamos a continuación (Figura 2):

- A. Sentadilla parcial:** conocida también como  $\frac{1}{4}$  de sentadilla o “*Quarter Squat*” es aquella en la que el ángulo de flexión de rodilla (fémur respecto a tibia) no sobrepasa los  $120^\circ$  de flexión.
- B. Media sentadilla:**  $\frac{1}{2}$  sentadilla o “*half squat*”, ángulo de flexión de rodilla no sobrepasa los  $90^\circ$  de flexión.
- C. Sentadilla paralela:** es aquella en la que los muslos quedan paralelos al suelo. En esta sentadilla no existe flexión de rodilla de  $90^\circ$ ; puede llegar a los  $75^\circ$  ya que existe una dorsiflexión de tobillo de  $10-15^\circ$ .
- D. Sentadilla completa o profunda:** en esta variante, se sobrepasa la horizontalidad del muslo con respecto al suelo, llegando casi a la flexión completa de rodillas ( $60-65^\circ$ ). Se conoce también como ATG “*ass to ground*”, ya que el objetivo es llegar a sentarse sobre los gemelos.



**Figura 2. Tipos de sentadilla**

1. Arranque de la sentadilla 2. Sentadilla parcial 3. Media sentadilla 4. Sentadilla profunda.

Fuente: Blanco (2015).

### 2.2.2. Importancia de la técnica para realizar una sentadilla

Las personas que se dedican a tonificar e hipertrofiar su musculatura usan como medio la sentadilla para obtener beneficios globales de este ejercicio, pero también muchas personas advierten sobre lo peligroso que puede ser ejecutar una sentadilla con una mala técnica, ya que puede generar lesiones tanto a nivel de la espalda baja como de las rodillas (López, 2002). No obstante, para evitar lesiones se recomienda observar parámetros durante la ejecución de la sentadilla como:

- Una fuerza muscular general aceptable, en especial de columna, abdomen y tren inferior.
- Una técnica correcta, supervisada por un profesional.
- Una clara necesidad de usarla, ya que podemos trabajar con otros ejercicios que utilizan el mismo grupo muscular sin necesidad de tantas precauciones.
- No presentar, ni haber sufrido lesiones graves de rodilla y espalda. De ser éste el caso, controlar los grados de flexión de rodillas y cadera.
- Conocer el peso con el que se desea trabajar, según el objetivo del deportista, sin llegar a utilizar el 100% de la fuerza máxima (López, 2002 & Sánchez, 2004).

Por lo tanto, entrenadores, deportistas, fisioterapeutas o cualquier persona que vaya a utilizar este ejercicio debe conocer los requisitos previos, así como las ventajas y desventajas de este ejercicio (Sánchez, 2004). La mala ejecución de este ejercicio podría afectar estructuras como la columna lumbar, que teniendo en cuenta la carga que soporta durante el día, podría aumentar el riesgo de lesión (López, 2000). Por esta razón, es aconsejable realizar este tipo de ejercicios de la manera más profesional, con posturas correctas y buscando posiciones articulares armónicas con el fin de disminuir el riesgo potencial de lesiones que puedan afectar al entrenamiento del deportista, su bienestar en general y la disminución de su rendimiento deportivo (Sánchez, 2004).

### **2.2.3. Técnica de la sentadilla**

La técnica de la sentadilla consiste en flexionar y extender piernas movilizandocarga sobre el tronco, la nuca o la clavículas (Lavorato & Pereira, 2009). Se debe iniciar con el agarre de la barra, midiendo un pulgar desde el borde estriado. La barra se coloca en el pecho o a nivel de las escapulas, realizando una ligera aducción de las mismas (5°-10°) (Waller & Townsend, 2008).

Para el arranque, los miembros inferiores deben estar colocados en posición neutra, entre 0 y 30 grados de rotación externa de cadera, para evitar dolores en rodillas y cadera (Escamilla, 2001; Waller & Townsend, 2008). La fase excéntrica o descenso se caracteriza por mantener los talones apoyados en el suelo, no sobrepasar las rodillas de la punta de los pies y mantener el tronco erguido (Figura 3)(Van Dieën, Hoozemans & Toussaint, 1999; NCSA, 2007); mientras que en la fase concéntrica o ascenso se realiza una fuerza vertical, con la columna en posición neutra, acompañada de una espiración profunda para evitar el aumento de la presión intratecal y basculaciones antero-

posteriores de la columna lumbar y la pelvis, en casos de inestabilidad; o caídas de la barra (Ebben, 2009).



**Figura 3. Fase excéntrica o descenso de la sentadilla.**

1. Talones apoyados en el suelo 2. No sobre pasar las rodillas de la punta de los pies 3. Cadera al mismo nivel que la rodilla, y 4 mantener el tronco erguido e inclinado hacia delante.

**Fuente:** Fabi (2015)

En este sentido, una sentadilla se va a realizar en función del grupo muscular que se desea trabajar, por ejemplo, cuádriceps, isquiotibiales o glúteos (Escamilla et al., 2001; Rudolph, 2013). Por ello, es importante conocer los grupos musculares que se potenciarán dependiendo del grado de flexión de rodilla o de la profundidad del ejercicio (Salen & Powers, 2001; Ferrer, 2013), en los distintos tipos de variantes de la sentadilla mencionados anteriormente. Es así que en una media sentadilla (90 grados de flexión de rodilla) se potenciará principalmente el cuádriceps; y en la sentadilla profunda (65 grados de flexión de rodilla), los glúteos (Pearl, Gary & Moran, 2003).

#### **2.2.4. Biomecánica durante la sentadilla**

La sentadilla, por ser un ejercicio de cadena cinética cerrada, tiene efectos biomecánicos sobre la articulación de la rodilla, la cadera y la espalda baja. Se ha visto que, de estas tres zonas, la rodilla es la articulación que más fuerzas de compresión y cizalla presenta (Escamilla, 2001).

Entendiendo la fuerza como un vector que presenta magnitud y dirección, que al actuar sobre un cuerpo puede cambiar la velocidad o la forma del mismo (dependiendo del ángulo y forma de aplicación), existen diferentes tipos de fuerza que van a depender de la dirección en la que actúen (Guede, 2013). La fuerza de cizalla no es más que la deformación que sufre una estructura debido a dos fuerzas paralelas, pero en diferente sentido, que convergen hacia el objeto, produciendo un efecto de corte (Malibrán, 2015). Por otro lado, la fuerza de compresión se entiende como el cambio de forma del objeto que produce acortamiento por dos fuerzas perpendiculares en la misma dirección (Gonzales, 2013).

Estas fuerzas mecánicas actúan sobre los tejidos blandos, especialmente los de espalda baja (ligamentos interespinosos y disco intervertebral); y de rodillas (ligamentos cruzados y meniscos). Esto se debe a que las fuerzas de cizalla tibio femorales afectan netamente a ligamentos cruzados; y las fuerzas de compresión intervertebral y tibio femoral, a su vez, afectan a los discos, los meniscos y el cartílago articular respectivamente (Escamilla, 2001).

La fuerza de cisión es aquella fuerza de resistencia o de compresión que se crea en la articulación en función del tipo de ejercicio. En el caso de la sentadilla, esta fuerza va en una dirección posterior, llevando la tibia hacia anterior si no estuviera limitada por el ligamento cruzado anterior. La segunda es una fuerza de compresión que sigue en dirección del eje longitudinal de la tibia, debido al soporte del peso, lo cual mejora la estabilidad de la rodilla (Palmiter et al., 1991).

Para contrarrestar estas dos fuerzas mecánicas, a nivel muscular, se genera una contracción de isquiotibiales y cuádriceps, los cuales ayudan a mejorar la estabilidad de rodilla evitando los momentos de traslación anterior. Es así como la contracción de

isquiotibiales secundaria a la contracción de cuádriceps (efecto conocido como co-contracción) sirve para ayudar a estabilizar rodilla y la cadera, manteniendo la columna en una posición que no causa compresión sobre sus estructuras articulares (Iriarte & Prentice, 2000).

Esta co-contracción de isquiotibiales evita el giro sobre el eje de rotación desde un punto fijo, ayudando para que la fuerza de cisión no haga que la rodilla se dirija hacia medial provocando un varo de rodillas, aumentando el ángulo Q y causando rotación anterior de cadera. (Schoenfeld, 2010).

Si no se restringiera la fuerza de cisión en rodilla con el mecanismo de co-contracción, la rotación anterior de cadera provocaría una extensión de columna lumbar, aumentando la fuerza de compresión en discos y facetas. De modo que esta tensión en isquiotibiales no sólo es beneficiosa para la estabilidad de las rodillas y la cadera, sino también para la columna, ya que provoca una leve flexión anterior de tronco, desplazando el centro de gravedad en sentido anterior, lo cual también disminuye el momento de flexión de rodillas, liberándolas de la fuerza de cisión y compresión femoropatelar (Lavorato, 2009).

Según Lavorato (2009), “los ejercicios de cadena cinética cerrada intentan minimizar el momento de flexión de la rodilla, al mismo tiempo que aumentan el momento de tensión en la cadera”. Sin embargo, se ha visto que no sólo se crea tensión en la cadera sino en los tobillos, por la aplicación de resistencia en la parte inferior del pie. En este momento, la planta del pie intenta neutralizar la fuerza de cisión anterior, provocando un segundo momento de extensión de la rodilla. Así, durante el ejercicio, se recluta toda la cadena cinética de la extremidad inferior (van Dieën et al., 1999). De esta manera, se reducen las superficies de contacto articular, dejando al deportista libre de lesiones, de

tejidos blandos en espalda, cadera y rodilla. Por este motivo, es necesario que el ejecutante presente un buen control muscular antes de realizar una sentadilla y, con más razón, al cargar peso durante el ejercicio (Prentice & Iriarte, 2000).

### **2.2.5. Actividad muscular durante la sentadilla**

Según varios autores los principales músculos que actúan durante una sentadilla son tres grandes grupos musculares:

#### **A. Cuádriceps:**

Durante un estudio realizado por Lavorato & Pereira (2009) se evidenció, mediante electromiografía, que la actividad muscular del cuádriceps durante una sentadilla aumentaba durante la flexión de la rodilla, con un pico de actividad aproximadamente entre los 80° y los 90° de flexión.

De los músculos que conforman el cuádriceps, los dos que tuvieron mayor trabajo fueron el vasto interno y el externo, con un 40 -50% más de actividad que el recto anterior. La actividad de este último incrementó con la torsión en flexión de cadera, al igual que los músculos extensores de cadera (isquiotibiales y glúteos), para intentar estabilizar la cadera, extendiéndola.

De esta manera podemos observar que el recto anterior actúa más como un estabilizador de cadera cuando el tronco se encuentra vertical y los vastos, tanto el interno como el externo, actúan mayormente para estabilizar rodilla. A pesar de haber presentado una mayor actividad muscular por parte de los vastos interno y externo, podemos ver que todo el grupo muscular se activa de manera simultánea durante el periodo de descenso en la sentadilla.

#### **B. Isquiotibiales**

En cuanto a este grupo muscular, al ser músculos biarticulares, es difícil determinar si presentan un trabajo netamente excéntrico o concéntrico durante las fases de ascenso y descenso de la sentadilla. Sin embargo, se ha visto que presentan una actividad isométrica, con alargamiento en su origen (isquion) durante el descenso y acortamiento de su inserción distal, en el ascenso ocurre lo contrario (Escamilla, 2001).

Así mismo, se observó que en la fase de ascenso los isquiotibiales presentan mayor actividad, con una diferenciación entre los músculos que se dirigen hacia medial (semimembranoso, semitendinoso) y el que se dirige hacia lateral (bíceps femoral). En todo caso, la actividad pico de este grupo muscular se registró entre los 50° y 70° de flexión de rodilla, con una contracción isométrica entre el 30 y 80% fuerza máxima voluntaria (Lavorato & Pereira, 2009).

### **C. Gemelos**

Con los gemelos ocurre algo similar que con los isquiotibiales, por ser músculos biarticulares. Debido a la dorsiflexión en tobillos durante la fase de descenso, se genera un acortamiento de isquiotibiales y un alargamiento de gemelos. Por otro lado, durante la fase de ascenso se acorta los gemelos y se alarga los isquiotibiales (Siff, 2003).

Con estos cambios en la longitud del músculo, se cree que existe un trabajo excéntrico durante el descenso para controlar el radio de dorsiflexión de tobillo, y concéntricamente en el ascenso para ayudar a la plantiflexión de tobillo.

En una revisión realizada por Lavorato (2009) se concluye que la actividad de los gemelos durante la sentadilla es moderada con un aumento progresivo durante la flexión de rodilla, llegando al pico de actividad entre los 60° y los 90°, que va decreciendo a medida que se va ascendiendo.

## **D. Estabilizadores Locales**

Los músculos estabilizadores de columna lumbar y pelvis juegan un papel muy importante durante la sentadilla, siendo éstos los que deben activarse 50 milisegundos antes de realizar cualquier actividad (Comefort, 2012). Entre ellos encontramos el transverso del abdomen, el multífido, el glúteo medio y la musculatura del suelo pélvico. Estos tres músculos previenen la inestabilidad lumbo-pélvica durante la ejecución de la sentadilla, evitando así las basculaciones antero posteriores de pelvis y manteniendo la columna lumbar en un punto neutro (lordosis normal) (Alias, 2014).

### **2.2.6. Análisis de los defectos en la ejecución de la sentadilla**

Varios autores, entre ellos Floyd & Thompson (2001) y Anselmi (2007), han evaluado los defectos técnicos más comunes durante el desarrollo de la sentadilla, se ha llegado a un consenso de los siguientes errores:

**Arqueo de la espalda baja:** este defecto se produce por un desbalance muscular entre el grupo abdominal que se encuentra hiperactivo y los glúteos débiles, lo que provoca que la pelvis se dirija hacia anterior promoviendo la lordosis lumbar. De esta manera, los músculos psoas-iliacos y recto femoral, se acortan contribuyendo a esta posición compensatoria, ya que cuando estos músculos están tensos, tiran de sus inserciones en L1-L2 y D12 y de la mitad de la pelvis hacia adelante (Floyd & Thompson, 2001).

**Excesivo valgo de rodillas:** el valgo de rodillas se debe a que los músculos de la parte interna y externa de la pierna vencen la función de rotación externa del glúteo mayor; entonces, el tensor de la fascia lata y la banda iliotibial tiran de su inserción distal, en la tibia, inclinándola hacia adentro (valgo de rodilla) y, junto a la tensión

provocada por los aductores, conducen a la rotación interna del fémur. Este mecanismo puede producir dolor en los ligamentos colaterales internos de rodilla.

**Rotación externa de tibia y pronación del pie:** En cuanto a la posición de cadena cinética cerrada, como la sentadilla, la articulación tibio-peróneo-astragalina realiza una pronación cuando la tibia rota hacia interno en el astrágalo, permitiendo así que el pie se aplane. Estos cambios estructurales que se producen están relacionados con tensiones en los músculos que revierten la flexión plantar, y su debilidad interviene en la dorsiflexión.

**Levantar los talones:** para poder obtener una buena sentadilla debe existir el suficiente movimiento de flexión de cadera, flexión de rodilla y dorsiflexión. Cuando los flexores plantares están tensos, éstos interfieren directamente sobre los músculos flexores dorsales. Por ello los talones se levantan haciendo un movimiento compensatorio, permitiendo que el troco realice la función del tren inferior. En otros casos, los talones se suelen levantar aun sin tener los flexores plantares tensos, debido a que las extremidades inferiores trabajan para compensar la falta de movilidad de la cadera: la cadera presenta, en ese caso, sus flexores acortados. Estos dos casos deben evitarse porque el peso que estaría cargando el deportista sería un factor de lesión específicamente de la espalda baja debido a que todo el peso se dirigiría hacia adelante y cargaría mucho peso sobre la espalda baja.

**Redondear la espalda baja:** este error se causa por la excesiva tensión generada por los glúteos que limita la flexión de la cadera, provocando esta compensación lumbar también en flexión. Además, la debilidad de la musculatura paravertebral, desde la región cervical, impide mantener la columna vertebral alineada y derecha, mientras se efectúa el descenso de la sentadilla. Estos factores ayudan a eliminar la lordosis lumbar

y acentuar una cifosis. Esto último provoca que los hombros se dirijan hacia abajo y atrás, para compensar el soporte de peso creando una base sobre la cual apoyar la barra (Anselmi, 2007).

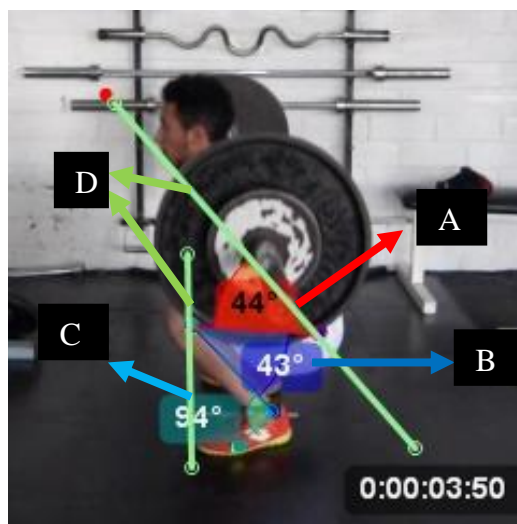
Adicional a estos defectos durante la ejecución, los deportistas deberían tomar en cuenta la estructura ósea disfuncional, para así poder evitar los errores anteriormente mencionados y prevenir algún tipo de lesión a futuro. Gómez (2017) habla de acetábulos aplanados, pelvis en anteversión, cuello femoral más horizontal o coxa vara (esto limita la abducción, mas no la sentadilla), fémur y tibia más cortos y tobillo hipermóvil (Del Castillo, 2015).

## CAPITULO III: ANALISIS DE LOS RESULTADOS

### 3.1. Presentación de los resultados

#### 3.1.1. Características demográficas y de entrenamiento de la población de estudio.

La población de estudio fue de 23 deportistas, quienes completaron el cuestionario sobre las características de entrenamiento, los antecedentes de lesión y la sensación de dolor durante la sentadilla. De estos deportistas, 17 cumplían con los criterios de inclusión antes descritos. En estos participantes se realizó el análisis de movimiento mediante video tal como se muestra en la Figura 4. Dentro de los deportistas que participaron, 15 eran hombres, (88,23%) y 2 eran mujeres (11,76%).



**Figura 4** Ejemplo de análisis mediante video.

**A.** Ángulo de cadera; **B.** Ángulo de Rodilla; **C.** Ángulo de Tobillos; **D.** Alineaciones de raquis y rodilla punta de pie.

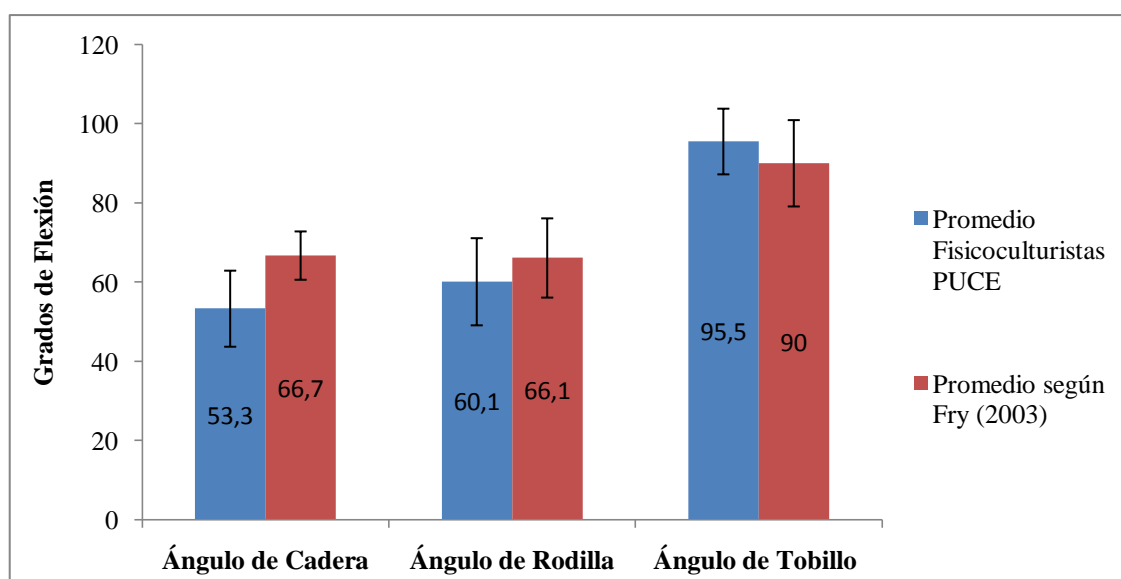
El promedio de edad de toda la población fue de  $23,2 \pm 6,3$  años). Esta media calculada entre edad y género, se distribuyó de la siguiente manera:  $23,4 \pm 6,6$  años para el género masculino; y  $21,5 \pm 2,1$  años para el género femenino.

Con respecto al tiempo de entrenamiento de toda la población, el promedio fue de  $2,4 \pm 2,6$  años, con una distribución del 41,2% de deportistas que acumulaban entre 3

meses y 1 año de entrenamiento, el 29,4% entre 1 y 2 años, el 11,8% entre 2 y 3 años, y el 17,6% 3 años o más. De éstos deportistas, el 5,9% entrenaban 3 veces por semana; el 35,8%, 4 veces por semana; y el 58,8%, 5 veces por semana. En cuanto a la frecuencia de realización de sentadilla, el 35,3% realizaba la sentadilla 1 vez por semana, el 47,1% lo realizaba 2 veces por semana y el 17,6% lo realizaba 3 veces por semana.

### 3.1.2. Comparación entre posiciones angulares finales.

Otro objetivo del estudio fue comparar los ángulos promedios descritos en la literatura por Fry (2003) con los ángulos de la articulación de cadera, rodilla y tobillo alcanzados por cada deportista de la PUCE durante la ejecución de una sentadilla profunda. Se encontró que el ángulo de flexión de cadera tenía una diferencia de  $-13,4^\circ$  ( $t = -5,748$ ;  $p = 0$ ), y el de rodilla de  $-5,9^\circ$  ( $t = -2,241$ ;  $p = 0,040$ ). Esto nos indica que los deportistas de la PUCE no alcanzan los ángulos descritos en la literatura para estas dos articulaciones. Sin embargo, en el caso particular del tobillo la diferencia fue de  $+5,52^\circ$  ( $t = 2,749$ ;  $p = 0,014$ ), demostrando que los deportistas de la PUCE presentan un mayor grado de plantiflexión, cometiendo el error de despegar los talones del suelo (Figura 5).



**Figura 5** Comparación de los ángulos de las articulaciones del miembro inferior.

\*  $p < 0,05$

### 3.1.3. Correlaciones entre parámetros de ejecución de la sentadilla, características de entrenamiento y dolor

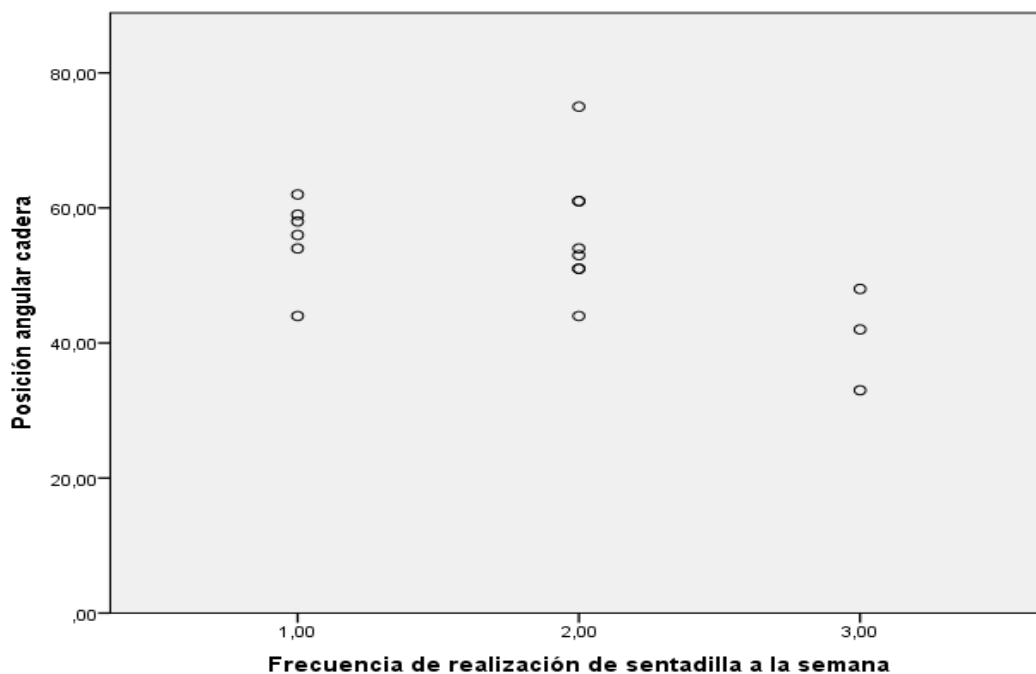
Se realizó una correlación para determinar si algunas características de las variables de entrenamiento y del dolor se relacionaban con la técnica de la sentadilla durante la ejecución. Los resultados no mostraron la existencia de una correlación significativa entre las posiciones angulares de los segmentos anatómicos estudiados ( $p > 0.05$ ). Así, podemos decir que en estos deportistas la posición angular final es independiente para cada segmento del miembro inferior (cadera, rodilla y tobillo) (Tabla 1).

**Tabla 1** Correlación entre características de ejecución y características de entrenamiento.

<b>Variables correlacionadas</b>	<b>Valor P</b>
Posición angular de cadera con posición angular de rodilla	0,892
Posición angular de cadera con posición angular de tobillo	0,721
Posición angular de rodilla con posición angular de cadera	0,892
Posición angular de rodilla con posición angular de tobillo	0,910
Posición angular de tobillo con posición angular de cadera	0,721
Posición angular de tobillo con posición angular de rodilla	0,910
Posición angular de cadera con frecuencia semanal de realización de sentadilla	0,049
Frecuencia semanal de entrenamiento con alineación raquis lumbar	0,009

Se encontró una correlación significativamente moderada e inversa entre la frecuencia semanal de realización de sentadilla y la posición angular de la cadera ( $r = -0,484$ ;  $p = 0,049$ ), indicando que a medida que se incrementa la frecuencia de realización de la sentadilla disminuye el ángulo flexión de la cadera (Figura. 6).

También se observó una correlación moderada y directa entre la frecuencia semanal del entrenamiento y la alineación del raquis ( $r = 0,611^{**}$ ;  $p = 0,009$ ), sugiriendo que al aumentarse el número de sesiones de entrenamiento a la semana, el raquis lumbar adopta una alineación redondeada (Tabla 1).



**Figura 6. Relación entre la posición angular de cadera vs frecuencia de realización de sentadilla**

### **3.2.Discusión**

El objetivo de este estudio fue describir la técnica de la sentadilla a través de la observación del gesto motor en los fisiculturistas del gimnasio de la PUCE. Para alcanzar este objetivo se indagó sobre las características demográficas y técnicas de la población que práctica este deporte. Además, se compararon los valores de los ángulos promedios de las articulaciones del miembro inferior descritos en la literatura con los ángulos encontrados en el estudio durante la ejecución de una sentadilla profunda. Finalmente, se relacionó las características del movimiento con la frecuencia semanal de entrenamiento.

Los resultados obtenidos con respecto a las características demográficas indican que el equipo de fisiculturismo de la PUCE se encuentra en el rango de edad estimado para la iniciación de esta práctica deportiva. Es decir está entre los 18 y 25 años, donde la maduración ósea y el desarrollo de fuerza máxima son óptimos para iniciar con un entrenamiento intenso usando cargas, intermedias o altas (Mirotti & Casanovas, 2003).

En las estadísticas brindadas por la Confederación Sudamericana de Fisicoculturismo y Fitness (2012), se señala que a nivel amateur las categorías juveniles y promocionales (18 a 24 años) son las que más interés despiertan para participar en las competencias.

En cuanto a la relación entre los ángulos de flexión de cadera y rodilla, Fry (2003) menciona que hay correlación entre los ángulos mencionados, así como la fuerza de torque durante la sentadilla. Sin embargo, en el presente estudio no se encontró dicha relación. Esto posiblemente se debe a la diferente distribución de cargas que se da entre la cadera y la rodilla al momento de realizar el movimiento de manera libre.

Específicamente, la alineación punta de pie-rodilla no es correcta en los estudiantes de la PUCE, sobrepasando frecuentemente con la rodilla la línea de los pies. Cuando se sobrepasa la línea, una compensación entre los ángulos de flexión de cadera y rodilla se produce para intentar mantener el centro de gravedad dentro de la base de sustentación, realizando una mayor inclinación anterior del tronco (McKean, Dunn & Burkett, 2010). Esta compensación también es referida por Fry (2003) en su estudio donde existe una mayor carga en cadera y espalda baja cuando se restringe el movimiento de sobrepasar la línea de los pies. En este momento, se produce una mayor fuerza de torque en la articulación de la cadera y se realiza una mayor flexión de tronco con el fin de alcanzar mayor profundidad de movimiento. En este sentido los deportistas de la PUCE en su intento de lograr un sentadilla profunda, cumpliendo con todos los parámetros técnicos, flexionan inicialmente la cadera para no sobrepasar la línea de los pies, es en este momento donde se pierde dicha correlación entre los ángulos de la cadera y la rodilla.

Este aspecto también se puede explicar desde el punto de vista muscular, observando la relación entre la frecuencia semanal de realización de sentadilla y posición angular final de la cadera. Donde la posición angular final de cadera nos permite mirar que el *timmi*g o secuencia de activación muscular se ve modificado por la frecuencia semanal

de realización de sentadilla. Esto lo explica Lavorato & Pereira (2009) a través de un estudio electromiográfico, en el cual, concluye que el orden de activación en la sentadilla durante la fase de descenso es glúteo, cuádriceps y gemelos; mientras que en la fase de ascenso es glúteo, isquiotibiales y paravertebrales contra laterales e ipsilaterales. Esta secuencia de activación permite mantener la relación entre ángulos por el adecuado control muscular. En el caso de los fisicoculturistas de la PUCE probablemente un déficit de *timing* hace que la activación muscular sea distinta, activando primero la musculatura flexora de tronco lo que hace que el ángulo de flexión de cadera será mayor al de la rodilla. Un nuevo estudio utilizando electromiografía en dos grupos de fisicoculturistas (técnica correcta vs incorrecta) podría revelar de manera exacta el modelo de activación muscular en los deportistas de la PUCE.

Finalmente, se encontró una correlación negativa entre la frecuencia semanal de realización de sentadilla y el ángulo de flexión de cadera. La correlación señala que a menor frecuencia de práctica semanal, mayor será el ángulo de flexión de cadera en los fisicoculturistas de la PUCE. Según Comefort (2012) un patrón de activación muscular cambia cuando existe mayor frecuencia de repetición de un ejercicio, haciendo que el control muscular mejore. Esto sucedió con los deportistas de la PUCE, quienes a mayor frecuencia de realización de sentadilla, tuvieron menor ángulo de flexión de cadera. Además, la alineación del raquis lumbar está determinada por el comportamiento de la musculatura estabilizadora mencionada con anterioridad. Durante los movimientos del tronco o de las extremidades, la musculatura estabilizadora de la zona lumbo-pélvica efectúa su trabajo de *feedforward* (anticipación al movimiento) manteniendo la neutralidad de la columna lumbar. En los deportistas de la PUCE se observa que una mayor frecuencia semanal del entrenamiento se asocia con una inadecuada alineación lumbar (espalda redondea), lo que se podría explicar cómo una deficiencia en el trabajo

del músculo multífido y transverso del abdomen que son los encargados de mantener la lordosis normal de columna cervical y lumbar (Anselmi, 2007).

Por lo expuesto, es importante señalar que el control del movimiento antes de realizar el ejercicio con carga tiene una importancia relevante para alcanzar la posición angular óptima, sin compensaciones en la cadera, rodilla y tobillo según lo descrito en la literatura.

A nuestro conocimiento este es el primer estudio que relaciona la cinemática del movimiento con las características de entrenamiento y dolor en fisicoculturistas amateur en el Ecuador

Por otra parte, uno de los limitantes del estudio fue el reducido número de participantes y la evaluación de otras variables como el tipo de calzado o acortamientos musculares que probablemente afecten la cinemática del movimiento. Como se pudo observar en el caso del ángulo de flexión de tobillo, donde los deportistas de la PUCE presentan una plantiflexión probablemente causa por acortamiento del tríceps sural.

Los resultados de este estudio tienen un impacto en dos áreas relevantes del entrenamiento deportivo como son la prevención de lesiones y la mejora del rendimiento físico. Una mala técnica de sentadilla realizada por un deportista y con peso muerto, podría repercutir en el rendimiento o generar algún tipo de lesión a largo plazo (Escamilla, 2014). Desde el punto de vista de rendimiento, los distintos factores que influyen en los errores técnicos de la sentadilla podrían tener un efecto directamente proporcional sobre la adquisición rápida de la fuerza. Es decir que la realización de una mala técnica podrían generar ciertas compensaciones musculares, lo que ocasionaría un desbalance muscular para realizar una sentadilla adecuada y por ende producir una lesión como se indicó previamente (Balsalobre & Jiménez, 2014).

## CONCLUSIONES

El equipo de fisiculturismo de la en la PUCE se encuentra conformado mayoritariamente por hombres en un promedio de 23,2 años de edad. Estos deportistas llevan un promedio de 2,4 años de entrenamiento, con una frecuencia semanal de 3 a 5 días. Los ejercicios básicos para fortalecimiento de tren inferior son sentadilla y prensa, con una frecuencia semanal de realización de sentadilla de 2 días.

La técnica empleada durante la ejecución de la sentadilla, por los fisiculturistas de la PUCE, no cumple con las posiciones angulares finales según lo descrito por Fry (2003). Además cometen errores técnicos durante la ejecución de la sentadilla, como por ejemplo, despegar los talones del suelo, pronación del pie, rotación externa de la tibia y redondeo de la columna lumbar.

La relación entre las características de ejecución y la frecuencia semanal de entrenamiento nos indican que la técnica de la sentadilla empleada por los fisiculturistas de la PUCE puede verse afectada por la frecuencia semanal del entrenamiento y/o la práctica semanal del ejercicio en mención.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda que antes de realizar una sentadilla se tenga una buena información acerca de la técnica y de ser posible practicarla sin peso. También es importante estar supervisado por un equipo multidisciplinario (deportólogos, fisioterapeutas, entrenadores) para observar y corregir la correcta ejecución de la técnica, evitando así futuras lesiones.

Se recomienda continuar con estudios de esta índole ya que beneficiará a la población deportiva en general para evitar lesiones y tener mejor rendimiento con mejores resultados.

A la población de estudio, se le recomienda modificar el sistema de entrenamiento con respecto a la sentadilla para poder corregir los errores observados. Primero que se inicie con un plan de adquisición de control muscular realizando sentadilla más veces por semana, con carga del 25 al 50% de su RM; y con un mayor número de repeticiones hasta perfeccionar la técnica. Posterior a ello, realizar el aumento de carga de manera paulatina.

A los fisioterapeutas se les recomienda indagar sobre la biomecánica de este ejercicio para que puedan determinar y prevenir lesiones. El ámbito de la prevención de lesiones debe ser más explorado a través de un análisis biomecánico minuciosos y de bajo coste que permita mejorar el control motor y el rendimiento físico de los deportistas o pacientes.

Para los entrenadores la supervisión de sus deportistas durante los entrenamientos es fundamental para poder corregir a tiempo errores y replantear, si es necesario, el plan de entrenamiento en caso que el deportista no tenga un buen control muscular. No solo se trata de observar que realicen el ejercicio sino de ver que lo hagan de una forma correcta, con el peso adecuado, para lograr un correcto desarrollo muscular.

## REFERENCIAS

- Aguirre, K; Bogazzi Z. (2015). *Prevalencia de lesiones y factores asociados en deportistas de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Abril de 2015. (Tesis pregrado)*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Aristizabal López, J.A. (2010). El fisicoculturismo. [Internet]. Recuperado de:  
<http://www.slideshare.net/gueste46cff/el-fisicoculturismo>
- Balsalobre, C.; Jiménez, P. (2014). *Entrenamiento de fuerza, nuevas perspectivas metodológicas* (1Ed.).Madrid, España
- Beardsley, C. (2012). How does squat deep affect how hard the various leg muscles are working?. *Strength and conditional Journal*, 29(10), 10-13.
- Chicharro, J. L., & Muelas, A. L. (1996). *Fundamentos de fisiología del ejercicio*. Ediciones pedagógicas.
- Comefort, M.; Mottram, S. (2012). *Kinetic Control, The Management of Uncontrolled Movement* (1Ed.) Elsevier Health Sciences. Australia.
- Comfort, P; Kasim, P. (2007). Optimizing squat technique. *Strength and conditional Journal*, 29(6), 10-13.
- Contreras B, 2013. Type of Squat. *Med. Sci. Sports exerc.* , 36(1), 127-130
- Escamilla, RF. (2001a). Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. *Med. Sci. Sports exerc.*, 33(1), 127-141
- Escamilla, RF., Fleisig S., Zheng N., Lander E., Barrentine W., Andrews R., Bergemann W., and Moorman. T.(2001b). Effects of technique variations on knee biomechanics during the squat and leg press. *Med. Sci. Sports exerc.*,33(9), 1552–1566.
- Ferrer, G. (2013). La Técnica de la Sentadilla: Revisando un Paradigma. *Revista Electrónica De Ciencias Aplicadas Al Deporte* ,6 (23), 123-124.
- Ferrús Antón, B. (2005). *Culturismo y cultura popular*. Universidad Autónoma de Barcelona. Recuperado de:  
<http://ddd.uab.cat/pub/lectora/20309470n11/20309470n11p105.pdf>
- Floyd, R. T., & Thompson, C. W. (2004). *Manual of structural kinesiology* (p. 416). Boston: McGraw-Hill.
- Fry, A., Smith,C., & Schilling,B. (2003). Effect of Knee Position on Hip and Knee Torques During the Barbell. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 629-633S.

- Heredia, J.R., & Acosta, M. (2004). Propuesta para diseño de programas de entrenamiento en fitness. *EFDeportes.com, Revista Digital*, 10(69). Recuperado de: <http://www.efdeportes.com/efd69/fitness.htm>
- Hernández, C. (2000). *Enciclopedia Del Culturismo/Bodybuilding Encyclopedia*. Editorial Hispano Europea.
- Ito, N., Miyagoe-Suzuki, Y., & Ichi Takeda, S. (2013). Molecular basis of muscle hypertrophy and atrophy: Potential therapy for muscular dystrophy. *Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 2(2), 179-184.
- Labrada, J. L., Voz, E. y Pérez, F. (2010). Análisis cinemático del movimiento de lanzamiento en pitchers del equipo de béisbol de Matanzas. *Biomecánica del Ejercicio y los Deportes*, 1(4), 12-15
- Lander, J. E., Bates, B. T., & Devita, P. A. U. L. (1986). Biomechanics of the squat exercise using a modified center of mass bar. *Medicine and science in sports and exercise*, 18(4), 469-478.
- Lavorato, M. A., & Pereira, N. V. (2009). La sentadilla ¿es un ejercicio potencialmente lesivo. *Investigación y Desarrollo, Fortia 1(1)* Recuperado de : <http://www.productosfortia.com/la-sentadilla-es-un-ejercicio-potencialmente-lesivo.pdf>
- López, P., López, A., Orcero, R., & Gallego, M. (2010). Etnografía del culturismo. <http://www.slideshare.net/patripatr1g91/etnografia-del-culturismo>
- Luciano, J. (2013). Hipertrofia muscular como proceso y estado. *EFdeportes.com, Revista Digital*. Buenos Aires, 17(177), recuperado de: <http://www.efdeportes.com/efd177/hipertrofia-muscular-como-proceso-y-estado.htm>
- Lynn, SK and Noffal, GJ. (2012) Lower extremity biomechanics during a regular and counterbalanced squat. *J Strength Cond Res*, 26(9): 2417–2425.
- Merced, A. (2013). El arte de competir en el fisicoculturismo. *EFDeportes.com, Revista Digital*, 18(187). Recuperado de: <http://www.efdeportes.com/efd187/el-arte-de-competir-en-el-fisicoculturismo.htm>
- Morante, J. C. (1998). La técnica como medio de entrenamiento deportivo. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 8(4), 23-27.
- McKean, MR., Dunn, PK., Burkett, BJ. (2010). The lumbar and sacrum movement pattern during the back squat exercise. *J Strength Cond Res*. 26(5), 1454.

- McLain, L.G., Reynolds, S. (1989). Sports injuries in a high school. *Pediatrics*, 84(12), 446-450.
- Ramos, O. (1994). Técnica Deportiva. *Revista de actualización en Ciencias del Deporte*, 2(1), 44-45.
- Riera, J. R. (1989). *Fundamentos del aprendizaje de la técnica y la táctica deportivas*. Recuperado de:  
[https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=Tm4HBuk533cC&oi=fnd&pg=PA7&dq=definicion+de+t%C3%A9cnica+deportiva+&ots=ZbkBAB\\_RXk&sig=6Ju\\_7dybdCdrXI-GsuB4eRu\\_mSY#v=onepage&q=definicion%20de%20t%C3%A9cnica%20deportiva&f=false](https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=Tm4HBuk533cC&oi=fnd&pg=PA7&dq=definicion+de+t%C3%A9cnica+deportiva+&ots=ZbkBAB_RXk&sig=6Ju_7dybdCdrXI-GsuB4eRu_mSY#v=onepage&q=definicion%20de%20t%C3%A9cnica%20deportiva&f=false)
- Rink, J. E., & Hall, T. J. (2008). Research on effective teaching in elementary school physical education. *The Elementary School Journal*, 108(3), 207-218.
- Rojas, E.O., Kraiterman, A.J., Fernandez, S. (2010). Comparación Del Comportamiento De Las Estructuras Anatómicas De La Rodilla Durante La Sentadilla Profunda Y La Sentadilla Media. *Revista electrónica de Ciencias Aplicadas al Deporte*, 3(10), 10-16.
- Siff, M. (2003). Muscular action during squat. *Supertraining*, 11(6), 15-18.
- Schoenfeld, B. J. (2010). Squatting kinematics and kinetics and their application to exercise performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(12), 3497-3506.
- SporticsTM. (2013). Kinovea: software libre para analizar entrenamientos. [Internet]. Recuperado de: <http://sportics.es/kinovea-software-libre-para-analizar-entrenamientos/>
- Van Mechelen, W., Hlobil, H.C., Kemper, H. (1991). Back Injuries in high-risk persons and high-risk sports. *Sports Med*, 19(5),124-136.
- Van Dieën, J. H., Hoozemans, M. J., & Toussaint, H. M. (1999). Stoop or squat: a review of biomechanical studies on lifting technique. *Clinical Biomechanics*, 14(10), 685-696.
- Waller, M & Townsend, R. (2007). The Front Squat and Its Variations. *Strength and Conditioning Journal*, 29(6), 14-19.

## ANEXOS

### ANEXO 1:

#### **CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA EL ANALISIS BIOMECANICO DE UNA SENTADILLA EN LOS FISICO CULTURISTAS DEL “Team PUCE”**

**Investigadores:** Miguel Chato, Danny Moya.

**Lugar:** Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Usted ha sido invitado a participar en un estudio de investigación titulado: ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA TÉCNICA DE LA SENTADILLA EN EL EQUIPO DE FISICOCULTURISMO. Este estudio pretende describir la técnica de ejecución de la sentadilla mediante la medición de la posición angular y alienación de los deportistas. Si usted está de acuerdo en participar de esta investigación de manera voluntaria, sírvase firmar este documento para que se nos permita filmarle realizando una sentadilla, bajo diferentes condiciones.

Yo, \_\_\_\_\_ con C.I. \_\_\_\_\_ He sido informado que no hay riesgo y que mi participación beneficiara a la elaboración de un trabajo de investigación y a una mejora en la técnica de la realización de la sentadilla. Se me ha proporcionado los nombres de los investigadores. He leído la información proporcionada o me ha sido leída. He tenido la oportunidad de preguntar sobre ella y se me ha contestado satisfactoriamente. Consiento voluntariamente participar en esta investigación y entiendo que tengo el derecho a retirarme de la investigación en cualquier momento. He sido informado y tengo en consideración que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados o difundidos con fines científicos Recibiré una copia firmada y fechada de esta forma de consentimiento

Nombre \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Firma \_\_\_\_\_ C.C. \_\_\_\_\_

Ciudad y fecha \_\_\_\_\_

**ANEXO 2:**

**ENCUESTA**

**Edad:**

**Género:** Masculino\_\_\_ Femenino\_\_\_

**CARACTERISTICAS DEL ENTRENAMIENTO**

**1. ¿Hace cuánto tiempo pertenece al equipo de fisicoculturismo?**

(Especifique años en números enteros y meses en decimales Ej 3 = tres años ;  
1,5 = un año seis meses)

\_\_\_\_\_

**2. ¿Cuántas veces por semana entrena?**

\_\_\_\_\_

**3. ¿Cuáles son sus ejercicios primarios y / o actividades durante el entrenamiento de piernas? (seleccione máximo 2)**

- a) Prensa
- b) Sentadilla
- c) Hacka
- d) Peso muerto (Zumo)
- e) Otro: \_\_\_\_\_

*\*Si seleccionó SENTADILLA, continúe con la encuesta*

**4. ¿Cuántas veces por semana realiza sentadillas?**

\_\_\_\_\_

**LESIONES PREVIAS**

**5. ¿Presenta usted alguna lesión de columna lumbar (espalda baja)?**

Sí \_\_\_ No \_\_\_

**6. ¿Presenta usted alguna lesión de cadera?**

Sí \_\_\_ No \_\_\_

**7. ¿Presenta usted alguna lesión de rodilla?**

Sí \_\_\_ No \_\_\_

**8. ¿Presenta usted alguna lesión de rodilla?**

Sí \_\_\_ No \_\_\_

*\* Si su respuesta, en las preguntas 5, 6,7 u 8, fue **SÍ**, la encuesta termina aquí. Si su respuesta es **NO** continúe con la encuesta*

## DOLOR DURANTE LA EJECUCION

9. ¿Usted ha sufrido dolor durante la ejecución de la sentadilla?

Sí\_\_\_ No\_\_\_

**\*Si su respuesta en las preguntas fue SI continúe con las siguientes preguntas. Caso contrario aquí termina la encuesta.**

10. ¿En qué parte del cuerpo presenta este dolor?

- a) Columna lumbar (espalda baja)
- b) Cadera
- c) Rodilla
- d) Tobillo

10. ¿Qué lado está molestando?          Derecho          Izquierdo          Ambos

11. ¿Hace cuánto tiempo presenta el dolor?

- a) Menos de 3 meses
- b) Más de 3 meses

Otro: \_\_\_\_\_

12. ¿Cuál es la intensidad de su dolor? (siendo 1= dolor mínimo; 10= dolor insoportable).

1      2      3 4 5 6 7 8 9 10

13. ¿En qué momento de la sentadilla le duele? (Marque en cada una de las fases que se presente el dolor)

- a) Al Iniciar la sentadilla (Barra sobre los hombros)
- b) Durante la sentadilla (fase de descenso)
- c) Final de la sentadilla (Rack o Soporte)
- d) Al Reincorporarse de la sentadilla (fase de ascenso)