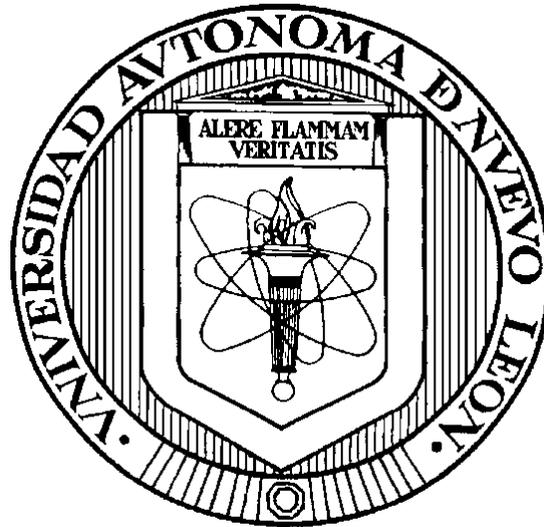


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**

**FACULTAD DE MEDICINA**



**“Análisis volumétrico por medio de Tomografía Axial Computarizada (TAC)  
en sitios de obtención de autoinjerto óseo del miembro superior e inferior”**

**Por**

**DR. GREGORIO ALEJANDRO VILLARREAL VILLARREAL**

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE**

**DOCTOR EN MEDICINA**

**FEBRERO 2024**

**“Análisis volumétrico por medio de Tomografía Axial  
Computarizada (TAC) en sitios de obtención de autoinjerto óseo del  
miembro superior e inferior”**

**Aprobación de la tesis:**



---

**Dr. med. Carlos Alberto Acosta Olivo  
Director de tesis**



---

**Dr. med. Mario Alberto Simental Mendía  
Co-director de tesis**



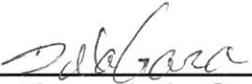
---

**Dr. med. Víctor Manuel Peña Martínez  
Miembro**



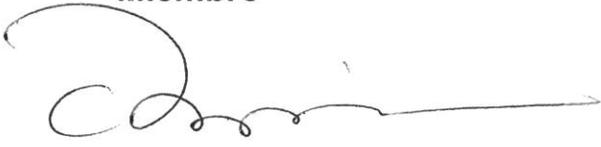
---

**Dr. med. José Félix Vilchez Cavazos  
Miembro**



---

**Dr. med. Santiago de la Garza Castro  
Miembro**



---

**Dr. med. FELIPE ARTURO MORALES MARTÍNEZ  
Subdirector de Estudios de Posgrado**

## DEDICATORIA Y/O AGRADECIMIENTOS

Primero, agradecer a mi escuela, hospital, servicio de ortopedia y traumatología y universidad. Por darme la oportunidad de alcanzar el nivel máximo al cual aspira un estudiante, el doctorado.

Segundo, al gran equipo de trabajo que encontré en este camino. Al Dr. Carlos Acosta, a quien conozco desde hace más de 10 años y me ha ayudado en cada etapa de mi desarrollo como especialista y ahora aceptó ser mi director de tesis. Doctor, muchas gracias por sus enseñanzas y sobre todo su amistad. A Mario Simental "Teacher Mario", por ser mi co-director de tesis. Gracias por tu amistad sincera y tu esfuerzo por hacer las cosas siempre al cien por ciento y sin errores. Al Dr. Félix Vílchez, gracias por su amistad, consejos y su ayuda en estos años de formación. A mi jefe de servicio, el Dr. Víctor Peña, gracias por su apoyo para poder ir a rotar al extranjero y formarme como subespecialista. Gracias por recibirme y ser parte de el servicio de ortopedia y traumatología. Gracias por su apoyo incondicional para terminar este proyecto. Al equipo de innovación de la subdirección de investigación, sobre todo al Dr. Diego Ramírez, sin el este trabajo no hubiese realizado. Al resto de los profesores del servicio de ortopedia y mentores del hospital muchas gracias a todos.

Tercero, a mi familia. A mis hermanas Patty y Cecy por siempre estar ahí. A mis padres, Ing. Gregorio Villarreal (†) Gracias papá por todas tus enseñanzas, fuiste mi mejor ejemplo. Lic. Patricia Villarreal. Gracias, mamá por nunca rendirte y siempre buscar ayudar a todos nosotros.

A mi querida esposa Dr. Lucia Fernández, le doy gracias a Dios por conocerte, por haber aceptado esa invitación para salir juntos. No tengo duda que tome la mejor decisión al casarme contigo. Tú más que nadie notaste mi descarga de alegría al enterarte de que había concluido este proyecto. Gracias por estar a mi lado siempre, por escucharme y darme consejos. Se que juntos lograremos cosas muy lindas y especiales.

## TABLA DE CONTENIDO

Índice de Tablas	VII
Índice de Figuras	VIII
Índice de Abreviaturas	IX

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Página</b>
Capítulo I	
1. RESÚMEN	10
Capítulo II	
2. INTRODUCCION	12
2.1 Antecedentes Generales	12
2.1.1 Tipos de autoinjertos óseos	12
2.1.2 Densidad Mineral Ósea	14
2.1.3 Sitios de medición de autoinjerto a estudiar	15
2.1.4 Aplicaciones clínicas de las UH	25
Justificación	26
Capítulo III	
3. HIPÓTESIS	28
Capítulo IV	
4. OBJETIVOS	29
4.1 Objetivo primario	29
4.1.1 Objetivos secundarios	29
Capítulo V	
5. MATERIAL Y MÉTODOS	30
5.1 Diseño del estudio y estrategia general	30
5.2 Criterios de inclusión	31
5.3 Criterios de exclusión	31
5.4 Reconstrucción y definición de los sitio anatomicos a medir	32
5.4.1 Miembro superior	32
5.4.2 Miembeo inferior	36
5.5 Análisis estadístico	40
Capítulo VI	
6. RESULTADOS	41
6.1 Resultados miembro superior	42
6.2 Resultados miembro inferior	43
Capítulo VII	
7. DISCUSIÓN	46
7.1 Resultados generales	46

7.2	Discusión de la cantidad de autoinjerto	46
7.3	Discusion de las zonas de fragilidad o fracturas por estrés	48
7.3.1	Miembro superior	48
7.3.2	Miembro inferior	49
7.4	DMO por medio de UH	49
Capítulo VIII		
8.	CONCLUSIÓN	50
Capítulo IX		
9.	REGISTRO COMITÉ ÉTICA	52
Capítulo X		
10.	BIBLIOGRAFÍA	54
Capítulo XI		
11.	RESÚMEN AUTOBIOGRÁFICO	61

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
Tabla 1 Resultados del volumen y unidades Hounsfield en el miembro superior	41
Tabla 2 Resultados de los coeficientes de correlacion intraclase del olécranon y radio distal	42
Tabla 3 Resultados del volumen y unidades Hounsfield del miembro inferior	43
Tabla 4 Resultados de los coeficientes de correlacion intraclase del miembro inferior	44

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 1 Tipos de autoinjerto óseo	13
Figura 2 Zonas de la cresta ilíaca	17
Figura 3 Tibia proximal	19
Figura 4 Calcáneo	20
Figura 5 Radio distal	22
Figura 6 Proceso olecraneano	23
Figura 7 Región de interés proceso olecraneano	32
Figura 8 Cuadrado de Müller radio distal	33
Figura 9 Región de interés radio distal	34
Figura 10 Región de interés cresta ilíaca	35
Figura 11 Cuadrado de Müller tibia proximal	36
Figura 12 Región de interés tibia proximal	37
Figura 13 Región de interés calcáneo	38

## LISTA DE ABREVIATURAS

**CI:** Cresta Ilíaca

**CIA:** Cresta Ilíaca Anterior

**CIP:** Cresta Ilíaca Posterior

**TP:** Tibia proximal

**RD:** Radio distal

**DMO:** Densidad Mineral Ósea

**UH:** Unidades Hounsfield

**A-TAC:** Angio-tomografía axial computarizada

**cm<sup>3</sup>:** Centímetros cúbicos

**3-D:** Tri-Dimensional

**DEXA:** Absorciometría de rayos X de energía dual

# Capítulo I

## Resumen

**Introducción.** La toma o procuración de autoinjertos óseos es uno de los procedimientos más comunes en la cirugía de ortopedia y traumatología. El autoinjerto de preferencia, y considerado estándar de oro, es la cresta ilíaca (CI), la cual se subdivide en cresta ilíaca anterior (CIA) y cresta ilíaca posterior (CIP); sin embargo, su morbilidad es alta. Por otro lado, existen otras opciones en el miembro como la tibia proximal (TP) y el calcáneo. Mientras que en el miembro superior, las zonas de procuración de autoinjerto óseo más comunes son el radio distal (RD) y el olécranon. Uno de los factores más importantes para decidir el sitio de obtención del autoinjerto es la cantidad de hueso esponjoso que ofrece. Otro factor importante, es la calidad de hueso a obtener; esto podría medirse a través de la densidad mineral ósea (DMO) por medio de las unidades Hounsfield (UH). **Material y métodos.** Se analizaron Angio-tomografías axiales computarizadas (A-TAC) de 2018 al 2023 del departamento de Radiología. Los estudios incluidos fueron analizados con un software médico 3-D Slicer™. La cantidad de hueso esponjoso disponible por región estudiada se midió en centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>) y la DMO del hueso esponjoso fue medido en UH. Mediante el software 3-D Slicer™, se creó un modelo anatómico tri-dimensional (3-D) de la región de interés. Los sitios

medidos en el miembro superior fueron el RD y el olécranon; mientras que en el miembro inferior fueron la CI, CIA, CIP, TP y calcáneo. Estas mediciones fueron hechas por duplicado, se realizó un coeficiente de correlación intraclase para evaluar la variabilidad de las mediciones. **Resultados.** Se incluyeron 20 A-TAC de miembro superior y 15 A-TAC de miembro inferior. Se obtuvo un volumen total de  $5.01 \pm 1.21 \text{ cm}^3$  del RD y  $5.81 \pm 1.61 \text{ cm}^3$  del olécranon ( $p < 0.0001$ ). En cuanto a la DMO en UH fue de  $303.1 \pm 73.26$  para el olécranon y de  $206.5 \pm 63.73$  del RD ( $p < 0.0001$ ). En las mediciones del miembro inferior se obtuvo un volumen total de  $61.88 \pm 14.15 \text{ cm}^3$ ,  $19.35 \pm 4.16 \text{ cm}^3$ ,  $32.48 \pm 7.49 \text{ cm}^3$ ,  $26.40 \pm 7.18 \text{ cm}^3$  para la TP, CIA, CIP y el calcáneo. Estadísticamente significativo para la TP  $p < 0.0001$ . En cuanto a la DMO por UH los resultados fueron los siguientes  $116 \pm 58.77$ ,  $232.4 \pm 68.65$ ,  $214.4 \pm 74.45$ ,  $170.5 \pm 52.32$ , para la TP, CIA, CIP y calcáneo. **Conclusión.** La mayor cantidad de autoinjerto óseo de los sitios analizados es la TP, mientras que el olecranon mostró la DMO más alta. Al analizar por extremidades: en la extremidad superior el olecranon supera al RD en cantidad y calidad ósea; en el miembro inferior la TP ofrece más cantidad de hueso, sin embargo, la CIA es la que tiene la DMO más alta.

## CAPÍTULO II

## **2. INTRODUCCIÓN**

### **2.1 Antecedentes Generales**

#### **2.1.1 Tipos de autoinjertos óseos**

La procuración de autoinjertos óseos es una práctica común entre ortopedistas. Se estima que en el mundo se realizan 2 millones de casos por año.(1) En Estados Unidos de América es el segundo tejido que más se transplanta por año,(2) teniendo un aproximado de 200,000-500,000 casos por año.(2)(3) El gasto estimado por año de estos procedimientos ronda los 2.5 billones de dolares.(1)

El autoinjerto óseo es el estándar de oro ya que posee propiedades biológicas únicas las cuales son: osteoinducción, osteoconducción y osteogénesis.(1)(3)

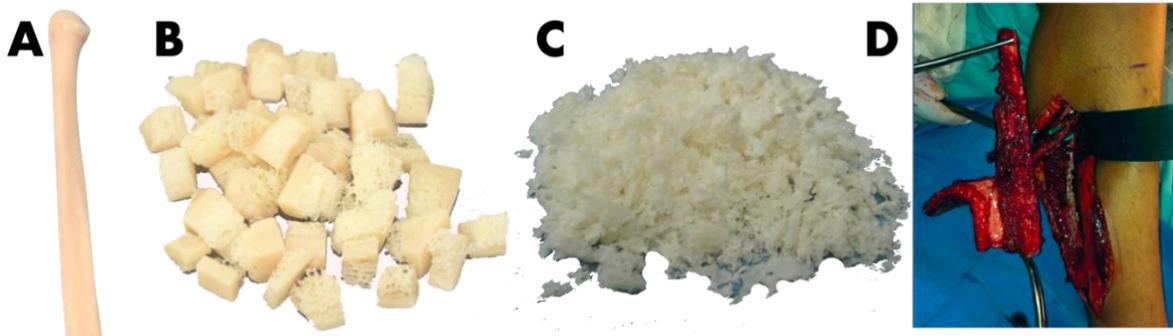
La osteoconducción es la capacidad que tiene el injerto óseo para agrupar y apilar nuevos osteoblastos así como células progenitoras de hueso por medio de migración celular y formación de nuevos vasos sanguíneos y tejido perivascular.(1)(3) La osteoinducción es la capacidad del autoinjerto de reclutar células madre no diferenciadas u osteoprogenitoras e inducirlas a

la formación de osteoblastos.(1)(3) La propiedad osteogénica es la habilidad de los osteoblastos para producir o formar hueso nuevo.(1)(3)

Las indicaciones clínicas varían desde el retraso en la consolidación, no unión, mala unión, artrodesis, salvamento de extremidad y la reconstrucción de defectos óseos.(3) Las contraindicaciones para la procuración de autoinjertos óseo son la infección del sitio quirúrgico y tumores óseos del sitio de obtención del autoinjerto.

Existen en general 4 tipos de autoinjertos óseos: el cortical, corticoesponjoso, esponjoso y el injerto óseo vascularizado. La principal función del autoinjerto cortical es la osteoconducción. (Figura 1.A) Se usa para dar estabilidad estructural y mecánica. Su desventaja principal es que a los 6 meses el hueso se puede volver débil debido a la reabsorción ósea, esto puede recuperarse a los 12 meses post-cirugía.(3) El injerto más usado es el autoinjerto tipo esponjoso y tiene la característica de brindar las tres funciones de los autoinjertos: osteoinducción, osteoconducción y especialmente es altamente osteogénico. (Figura 1.C) Es el estándar de oro para la pseudoartrosis y artrodesis.(3) El autoinjerto corticoesponjoso, ofrece las ventajas del autoinjerto cortical y esponjoso. (Figura 1.B) El sitio mas común de obtención es la CIA, en la cual se puede procurar un autoinjerto uni, bi o tricorticoesponjoso. (3) Los autoinjertos vascularizados, son utilizados para

defectos mayores de 12 cm. Los autoinjertos más utilizados son el peroné, radio distal y costillas, cada uno con su pedículo arterial. (Figura 1.D) Se ha reportado que mas del 90% de los osteocitos sobreviven y llegan a ser osteogénicos.(3)



**Figura 1.** Se muestran los 4 tipos de autoinjertos óseos. A. Cortical. B. Corticoesponjoso C. Esponjoso y D. Autoinjerto vascularizado

### 2.1.2 Densidad Mineral Osea (DMO)

La DMO es la calidad de la microarquitectura del hueso, normalmente el pico de DMO se da entre los 28 y 30 años. La DMO puede verse afectada por enfermedades metabólicas causando osteoporosis. (4) El estándar de oro para la medición de la DMO es la DEXA ya que su resultado se correlaciona con el riesgo de fractura y permite conocer la eficacia de algún tipo de tratamiento. (4) Sin embargo, esto implica el uso de un equipo especial de

rayos X como lo es el densitómetro. (5) Se han buscado otras opciones para la medición de la DMO. (5) Una de ellas es por TAC, mediante las UH. En los Estados Unidos de América, se realizan 62 millones de TAC por año. (6) Dando una gran oportunidad para utilizar estos resultados para medir la DMO, sin la necesidad de realizar una DEXA. (5)

Las UH es un coeficiente de atenuación del tejido estudiado. Estas UH representa un índice normalizado de atenuación de rayos X cuyo resultado se basa en un escala -1,000 que corresponde al aire, y 0 que corresponde al agua a una temperatura y presión estándar.(5) El valor típico para el hueso es de 300 a 3,000 UH. (5) Este coeficiente proporciona información sobre la calidad del hueso estudiado. (5) Esto sin costos añadidos, sin dosis extra de radiación, o el uso de equipo especial y/o fantomas, como en el caso de una DEXA.

### **2.1.3 Sitios de medición de autoinjerto a estudiar**

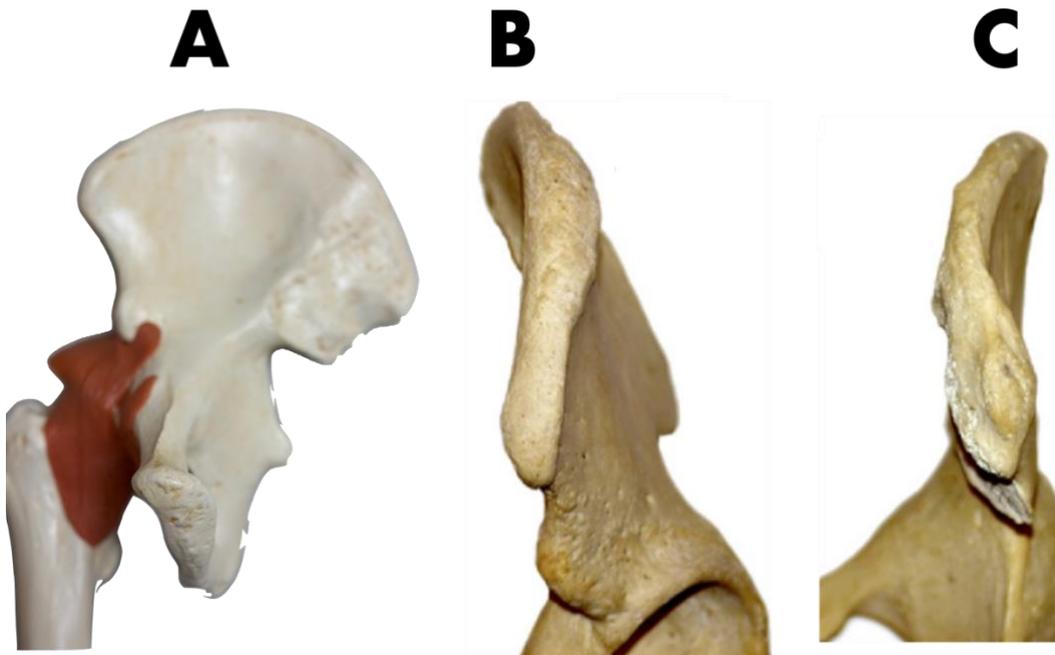
Son varios los factores que se toman en cuenta para la toma de decisión para escoger un sitio de obtención de autoinjerto tipo esponjoso óseo. Entre ellos están la cantidad de autoinjerto disponible, la morbilidad del sitio, complicaciones, lesiones asociadas y la calidad del hueso disponible.

La CI es una estructura ósea anatómica que forma parte de la pelvis y es esencial para diversas funciones, incluida la estabilidad de la columna vertebral y la sujeción de músculos importantes. La CI es una estructura larga y curva que se extiende a lo largo de la pelvis. Se subdivide en CIA y CIP. (Figura 2.A) La espina ilíaca antero-superior es el extremo más anterior, prominente y palpable, sirve como referencia anatómica, sobre todo para procuración de autoinjerto óseo. Además es sitio de inserciones musculares. La espina ilíaca postero-superior también es utilizada como referencia anatómica, especialmente para procuración de autoinjerto. (7) La procuración de la CIA se considera el estándar de oro y la más utilizada entre los ortopedistas. Su uso se describió por primera vez por Klapp en 1918, ofrece la ventajas de ser un autoinjerto muy versátil que se puede usar como autoinjerto tipo cortical, esponjoso, corticoesponjoso, además puede ser uni, bi o tricortical dependiendo de la cirugía en curso.(3) Para hacer la procuración de la CIA se requiere de una incisión en piel de 5 cm sobre el borde lateral o tabla externa de la CIA. Esta herida debe ser 3 cm proximal a la espina ilíaca anterosuperior, para evitar lastimar el nervio femorocutáneo. Posteriormente, se disecciona hasta llegar a la CI y con instrumental convencional (osteotomos, gubias o cucharillas) se obtiene el autoinjerto.(3) Según lo descrito, se pueden procurar en promedio entre 13 cm<sup>3</sup> y 27 cm<sup>3</sup> de autoinjerto esponjoso óseo con instrumental convencional.(8) Sin embargo, existen reportes de que se ha obtenido hasta 90cm<sup>3</sup> usando sistemas no

convencionales como las rimas para el acetábulo.(8)(9) A pesar de ser el autoinjerto más utilizado, la tasa de complicaciones es relativamente alta siendo de un 19.3%.(3) Estas complicaciones se subdividen en menores y mayores. Las menores son: dolor persistente en sitio de procuración, infección superficial, lesión nerviosa superficial, hematoma y seroma.(3) Mientras que las mayores son: hematoma profundo, hernia incisional, lesión neurológica o vascular permanente, marcha anormal e infección profunda.(3) Sin embargo, la complicación mas común es el dolor, que varía según lo descrito de un 2.8% hasta un 37.9%. La duración del dolor varía desde 3 meses hasta 2 años después de la cirugía.(10) (Figura 2.B)

En el lado contrario tenemos a la CIP. Es el sitio anatómico dónde más autoinjerto de tipo esponjoso existe, según lo descrito en la literatura. Los reportes mencionan que la media de obtención es de casi 30cm<sup>3</sup> usando instrumental convencional.(11) Sin embargo, para poder procurar este autoinjerto es necesario de una incisión mayor, aproximadamente de 6 cm en piel. Una posición especial del paciente, la cual es en decúbito ventral, por eso la obtención de autoinjerto óseo es muy común en esta zona para su uso en la cirugía de columna. Debido a esto, se considera que es un autoinjerto de acceso difícil, por ende, no tan utilizado. Al igual que la CIA tiene una tasa de complicaciones alta, alrededor de un 29%, siendo el dolor la mas común.(12) Sin embargo, se reportan complicaciones más severas que en la

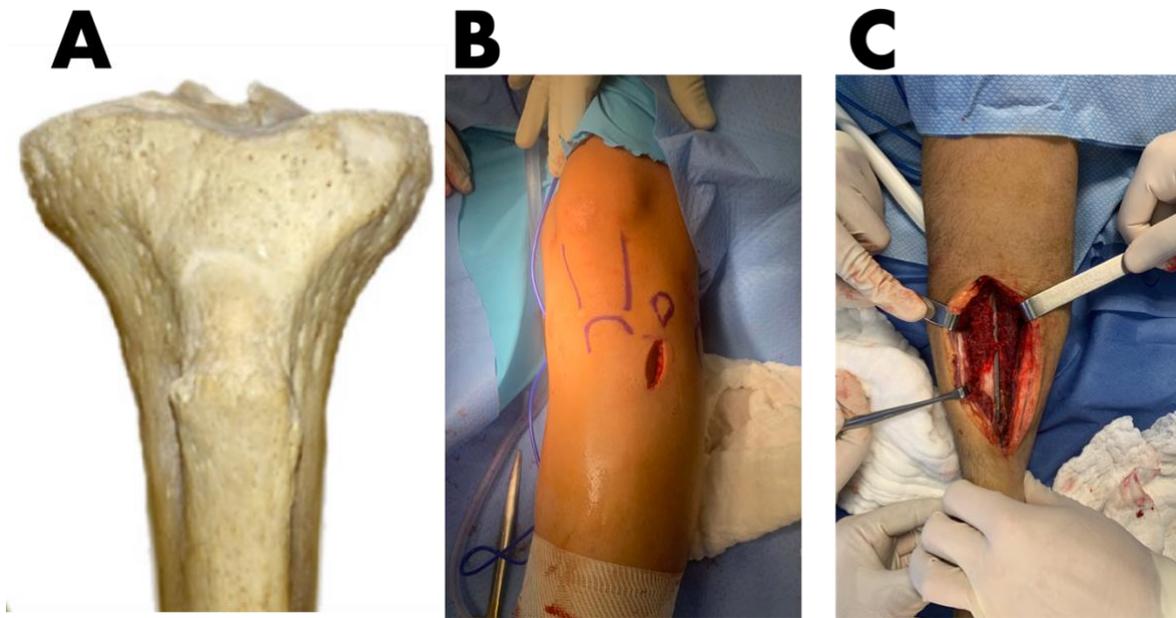
CIA, como son la lesión del uretero, marcha Trendelemburg y fractura de la articulación sacroilíaca.(3)(12) (Figura 2.C)



**Figura 2.** Diferentes zonas de la cresta iliaca. A. Cresta iliaca B. Cresta Iliaca anterior C. Cresta Iliaca Posterior

Por otro lado, la tibia es uno de los dos huesos largos de la pierna. Su ubicación es anterior y medial a la pierna. Se articula proximalmente con el fémur y peroné, formando la articulación de la rodilla. Distalmente, forma la articulación del tobillo. Anatómicamente se le describen una epífisis distal, una diáfisis y una epífisis proximal. La epífisis proximal o TP esta compuesta de un platillo tibial medial y un platillo tibial lateral.(7) En esta zona se encuentra la metáfisis de la TP que es otra opción de procuración de

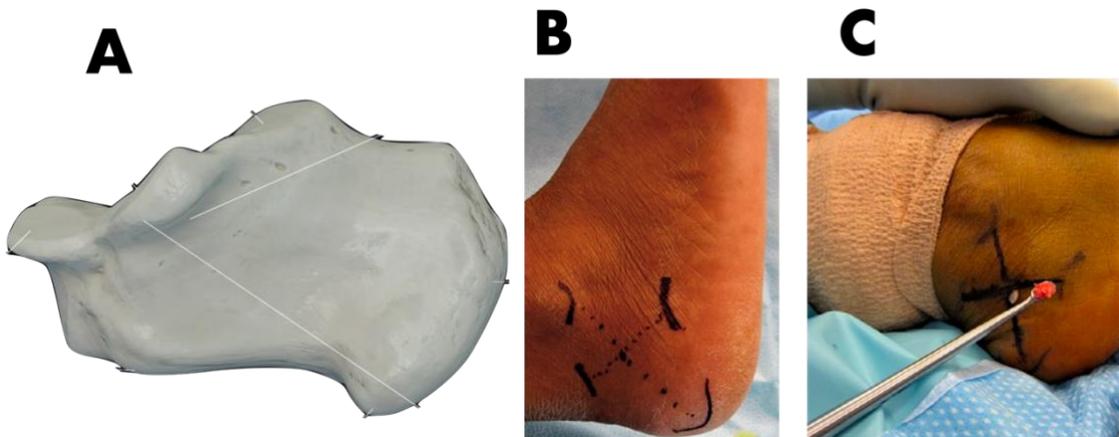
autoinjerto en el miembro inferior. Su uso fue descrito por O'Keeffe por primera vez en 1991 en cirugías de pie y tobillo.(13) Para procurar este autoinjerto se requiere de una incisión de 3 cm sobre la piel, iniciando 2 cm distales al tubérculo de Gerdy en la cara anterolateral y proximal de la tibia. Posteriormente se disecciona el músculo tibial anterior hasta llegar al hueso.(13) Según los reportes la cantidad de autoinjerto esponjoso que se puede obtener es de 25 cm<sup>3</sup>, sin embargo, otros señalan que se puede obtener hasta 70 cm<sup>3</sup> usando instrumental convencional.(14)(15) Como en el resto de los sitios de obtención de autoinjertos se describen complicaciones que varían de un 1% a 20%, según los reportes.(14) Estas complicaciones son: dolor, hematoma, infección, perforación a la articulación tibiofemoral y fractura de la TP.(3) Como en el resto de los sitios estudiados la complicación mas común es el dolor y puede llegar a ser del 20%, pero este dolor dura menos de 2 semanas, en un <3% puede durar hasta 8 semanas.(13)(14) La complicación más temida es la fractura de la TP por estrés o debilitamiento, debido a esto muchos ortopedistas no optan por esta opción de autoinjerto. Estudios biomecánicos han demostrado que haciendo una ventana cortical de 25 mm de diámetro se pueden obtener más de 10 cm<sup>3</sup> de hueso sin llegar a fracturarse, al someterlo a pruebas de estrés.(14)



**Figura 3.** Tibia proximal. A. Ejemplo de la tibia proximal y la metáfisis. B. Tamaño de incision para la procuración. C. Cantidad de autoinjerto esponjoso de la TP

Por último, el calcáneo es el hueso más grande del tarso. Esta ubicado en la parte posterior del pie. Su principal función es la absorción del impacto en la marcha. Su forma es irregular, sin embargo se destacan ciertas estructuras anatómicas: superficie articular anterior, posterior, sustentaculum tali y la tuberosidad del calcáneo. De esta última zona en su porción más inferior es de donde se obtiene el autoinjerto óseo.(7) (Figura 4.A) Descrito por primera vez por Biddinger en 1998 para obtener hueso esponjoso; se realiza una incisión de 2 cm sobre la piel en la cara lateral del calcáneo, 2 cm proximal al borde plantar y posterior del calcáneo hasta llegar al hueso.(16) (Figura 4.B)

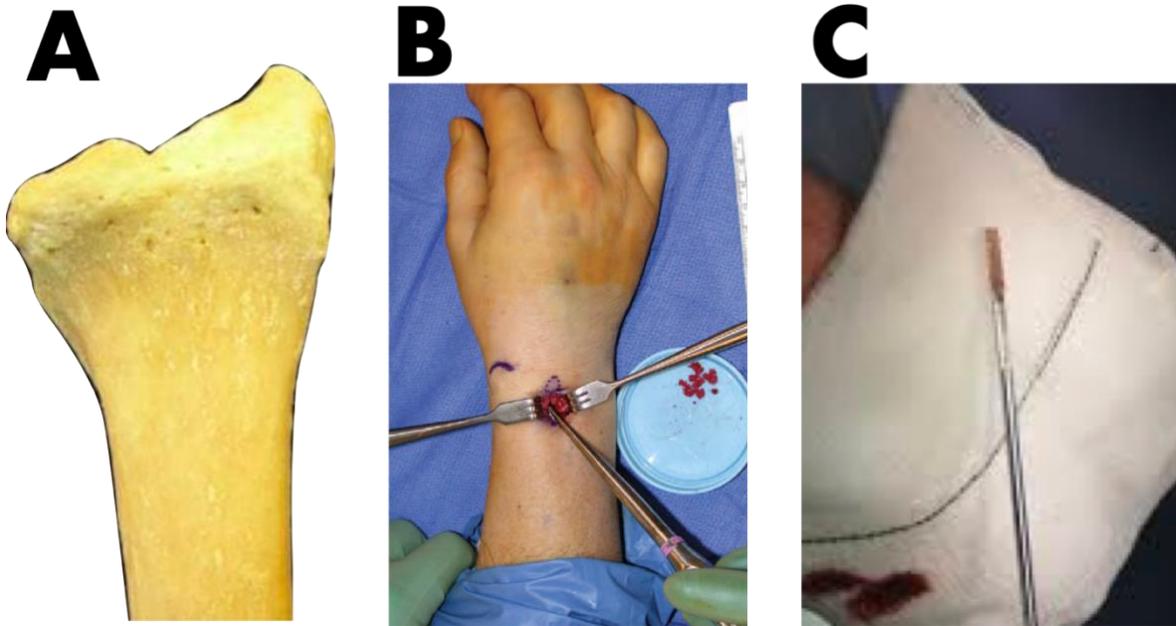
Se realiza una ventana de 8 mm, y se procura el autoinjerto.(16) Según los reportes, la cantidad de autoinjerto que se puede llegar a obtener es de  $0.85\text{cm}^3$  a  $5\text{cm}^3$ .(16)(17) Hasta un 13.5% de los pacientes refiere complicaciones.(17) (Figura 4.C) Siendo el dolor del sitio quirúrgico el más común, también han sido reportadas otras complicaciones como infección, lesión nerviosa, fractura por estrés. Bayod et al. demostraron en un estudio de análisis de elementos finitos que hasta  $1.5\text{ cm}^3$  de hueso se pueden procurar sin causar una fractura por estrés.(18)



**Figura 4.** Calcáneo. A. Vista lateral del calcáneo. B. Tamaño de incisión en cara lateral del calcáneo. C. Procuración autoinjerto

Por otra parte, cuando se necesita de autoinjerto óseo en el miembro superior normalmente se recurren a dos sitios anatómicos, el RD y el olécranon. Normalmente son sitios anatómicos específicos que usan los cirujanos de mano y codo.

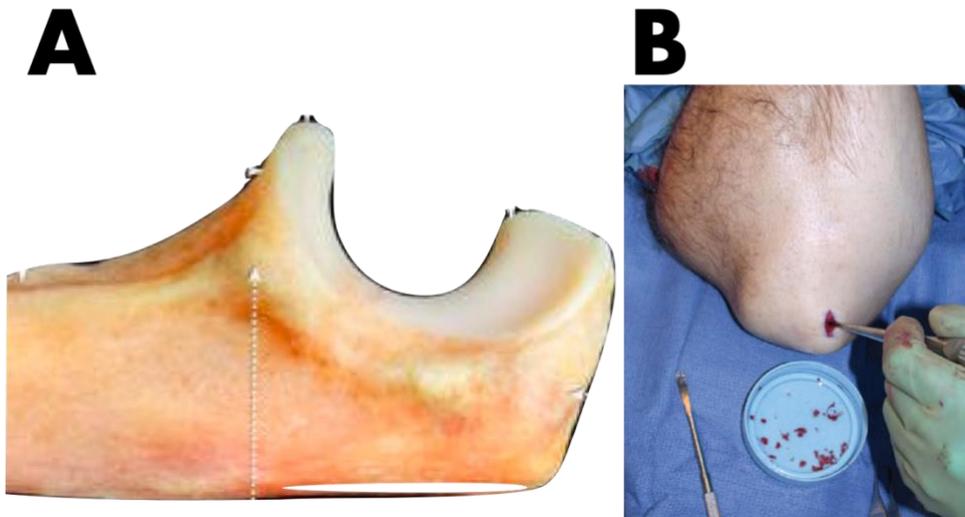
El radio es uno de los dos huesos largos del antebrazo. Dentro su estructuras anatómicas se encuentran, de proximal a distal la cabeza del radio, el cuello del radio, la tuberosidad del radio, la diáfisis del radio y finalmente el RD. En el RD, se encuentra la metáfisis del RD, lugar de donde se obtiene al autoinjerto óseo.(7)(Figura 5.A) El uso del RD como autoinjerto óseo fue descrito por primera vez por Watson y McGrath en 1981.(19) Para obtener el autoinjerto de RD se requiere de un incisión en piel de 3-4 cm en la cara dorsal del RD entre el primer y segundo compartimento de los tendones extensores de la muñeca.(Figura 5.B) Se disecciona por planos, protegiendo la rama sensitiva del nervio radial. Hasta llegar a la cortical del hueso, posteriormente se realiza una ventana de 1 cm para acceder al hueso esponjoso. Según los reportes descritos se puede obtener de 2.5 cm<sup>3</sup> – 3 cm<sup>3</sup> usando instrumentos convencionales.(20)(21) (Figura 5.C) Igualmente existen complicaciones, que varían de un 1%-8%.(20)(21) Siendo el dolor el más común; la tenosinovitis de Quervain, lesión nervio radial superficial, infección y la fractura por estrés han sido complicaciones observadas. En el estudio de Horne et al., evaluaron que tanta cantidad de autoinjerto de la metáfisis del RD se podía procurar sin provocar una fractura por estrés. Se concluyó que se puede procurar el 23% de la metáfisis del RD sin provocar una fractura.(22)



**Figura 5.** Radio distal. A. Anatomía del radio distal. B. Tamaño de incisión en piel. C. Autoinjerto esponjoso del radio distal

Por otro lado, tenemos al segundo hueso largo del antebrazo, el cúbito. Anatómicamente se le describen de distal a proximal una estiloides cubital, la diáfisis y su porción más proximal, el proceso olecraneano. El proceso olecraneano, es una apófisis o prominencia ósea subcutánea del codo. Su función es de inserción muscular y estabilizar el codo. Esta zona, es el segundo sitio que más comúnmente se utiliza para procurar autoinjerto del miembro superior.(7) Al igual que el RD fue descrito en 1981 por Watson y McGrath.(19) Para acceder a este autoinjerto se realiza una incision de 3-4 cm sobre el borde del olécranon, se incide la fascia muscular hasta llegar a la cortical del olécranon, posteriormente se realiza una ventana de 1.5 cm<sup>2</sup>

para acceder al hueso esponjoso.(19) Según los reportes en el olécranon se pueden procurar desde 2.8 cm<sup>3</sup>- 5.7cm<sup>3</sup> de hueso esponjoso.(21)(23) Su tasa de complicaciones ronda el 0%-9% y varían desde dolor, infección del sitio quirúrgico y la de mayor relevancia que es la fractura por estrés del olécranon.(1)(19) En un estudio biomecánico, Anderson et al. estudiaron la cantidad máxima de autoinjerto que se puede procurar del olécranon antes de causar una fractura siendo de 2.2cm<sup>3</sup>.(24)



**Figura 6.** Proceso olecraneano. A. Vistal medial del proceso olecraneano. B. Tamaño de incision del olécranon de 2cm.

#### 2.1.4 Aplicaciones clínicas de las UH

Hasta el momento se cuenta con pocas publicaciones que hablen o den uso clínico de la DMO medida por UH. Principalmente, se ha usado en cirugía lumbar, cirugía de pie y tobillo, y cirugía de hombro.

En cuanto a la cirugía de columna lumbar, Bredow et al. demostraron la correlación entre niveles de UH y aflojamiento de tornillos transpediculares.

En un estudio de 365 pacientes, en los cuales 45 tuvieron complicaciones de aflojamiento de tornillos transpediculares por mala calidad ósea. En sus resultados demostraron que, aquellos pacientes con niveles de debajo de 130 UH tenían más riesgo de aflojamiento de los tornillos transpediculares.(25)

Igualmente Shreiber et al. demostró la correlación entre los niveles de UH y la tasa de fusión después de una cirugía de columna lumbar. Se estudiaron 28 pacientes a los cuales se fusionaron 52 niveles de columna lumbar. El 73% presentó unión a nivel la fusión vertebral, con un nivel promedio de 203 UH, esto contra el 27% que presentó no-unión, los cuales tenían niveles 139 UH.(26)

De igual manera, Stowers et al. demostraron la correlación entre las UH y la tasa de no unión en fracturas de tobillo. En una cohorte de 19 pacientes que presentaron no unión de la fractura de tobillo, presentaron niveles de 186 UH,

contra 258 UH en el grupo control.(27) En cuanto a cirugía de hombro, Pervaiz et al. demostraron la correlación entre complicaciones o gestos quirúrgicos agregados y las UH en una cirugía de prótesis de hombro. Observaron que entre más bajos los niveles de UH, hubo la necesidad de colocar vástagos más anchos y la necesidad de cementar los componentes protésicos para mayor fijación. Posteriormente estratificaron los resultados de UH, en normal 121.3 UH, osteopenia 103.4 y osteoporosis 92.1 UH.(28)

### **Justificación**

Debido a que la procuración de autoinjertos óseos es uno de los procedimientos más comunes para un ortopedista, es importante conocer con evidencia científica la mejor opción de autoinjerto óseo para utilizar en el paciente. Existen cuatro características principales que se le estudian a un autoinjerto: 1- Niveles moleculares 2- Cantidad de autoinjerto disponible 3- Calidad del autoinjerto y 4- Complicaciones asociadas al procedimiento.

En un estudio de nuestro grupo se realizó una revisión sistemática y meta-análisis en donde se comparó otro aspecto importante a la hora de procurar un autoinjerto, los niveles moleculares. Cuando se habla de nivel molecular hablamos de número de células madre, número de factores de crecimiento, número de proteínas morfogenéticas y niveles de densidad trabecular. En

donde se encontro que efectivamente la CIA es superior en algunos resultados moleculares, sin embargo, esto no es estadísticamente significativo cuando se comparó con la TP. (29)

En cuanto a la cantidad es bien sabido que en el miembro inferior, la CIP o la combinacion de CIP y CIA brinda la mayor cantidad de autoinjerto. En cuanto al miembro superior lo estudios demuestran que el RD y olécranon tienen casi la misma cantidad de autoinjerto.

Si quisiéramos cuantificar la calidad de un autoinjerto, la DMO es una opción válida. Hoy en día, la DMO puede medirse por medio del TAC, sin la necesidad de realizar una DEXA. Esto gracias a las UH, las cuales se sabe que sus resultados son equiparables y validados con los de una DEXA.(5) El TAC es un examen radiológico que tiene un precio accesible, no se requiere de un aparato o antena sofisticada, y tampoco se somete al paciente a una dosis de radiación extra.

Es por esto, que es importante estudiar y demostrar científicamente las opciones de autoinjerto ósea que más comúnmente usa un ortopedista. Para brindar información de la mejor opción, cuando se requiera la procuración de un autoinjerto óseo en el miembro inferior y superior.

## **CAPÍTULO III**

### **3. HIPÓTESIS**

La TP ofrece mayor cantidad de autoinjerto esponjoso que el resto de los sitios medidos en A-TAC del miembro inferior.

El olécranon ofrece mayor cantidad de autoinjerto esponoso que el RD, medidos A-TAC del miembro superior.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1 Objetivo primario**

Realizar una cuantificación volumétrica total por medio de A-TAC en sitios anatómicos comunes de obtención y procuración de autoinjerto óseo en miembro superior y miembro inferior.

Miembro superior: Radio distal y Olécranon

Miembro inferior: Cresta ilíaca, cresta ilíaca anterior, cresta ilíaca posterior, tibia proximal y calcáneo

#### **4.1.1 Objetivos secundarios**

Medir la DMO del hueso estudiado por medio de las UH y darle un valor numérico al mismo.

## **CAPÍTULO V**

### **5. MATERIAL Y MÉTODOS**

#### **5.1 Diseño del estudio y estrategia general**

Este estudio fue sometido y aprobado por el Comité de Ética en Investigación con el número de registro OR22-00004.

Fue un estudio tipo observacional y transversal. En el cual se obtuvieron todos los A-TAC de miembro superior e inferior del año 2019 al 2023. Estos estudios se encontraban en la base de datos del Departamento de Radiología e Intervencionismo del Hospital Universitario “Dr. José E. González”. Todos los estudios fueron realizados en el mismo Tomógrafo General Electric CT99 LightSpeed VCT System. Se realizaron cortes de entre 1.25 mm a 2.5 mm. Intencionadamente se seleccionaron A-TAC ya que son estudios que en el miembro inferior se toman desde la pelvis hasta los ортеjos del pie. Igualmente, los A-TAC del miembro superior incluyen desde la articulación glenohumeral hasta los dedos de las manos. Gracias a esto se incluyeron por completo los sitios que se analizaron y sobretodo que los sitios analizados correspondían a un mismo paciente.

## **5.2 Criterios de inclusión**

Los criterios de inclusión fueron los siguientes:

1. Estudios de pacientes de entre 18-75 años a los cuales se les realizó un A-TAC
2. Estudios realizados en el Departamento de Radiología e Intervencionismo de Hospital Universitario “Dr. José E. González”
3. Estudios realizados entre los años 2019 y 2023

## **5.3 Criterios de exclusión**

Los criterios de exclusión fueron los siguientes:

1. Estudios incompletos
2. Estudios con patología metabólicas en el miembro a estudiar
3. Estudios con evidencia de material de osteosíntesis en el miembro a estudiar
4. Estudios con patología oncológica en el miembro a estudiar
5. Estudios con evidencia de fracturas o antecedentes de fracturas en el miembro a estudiar

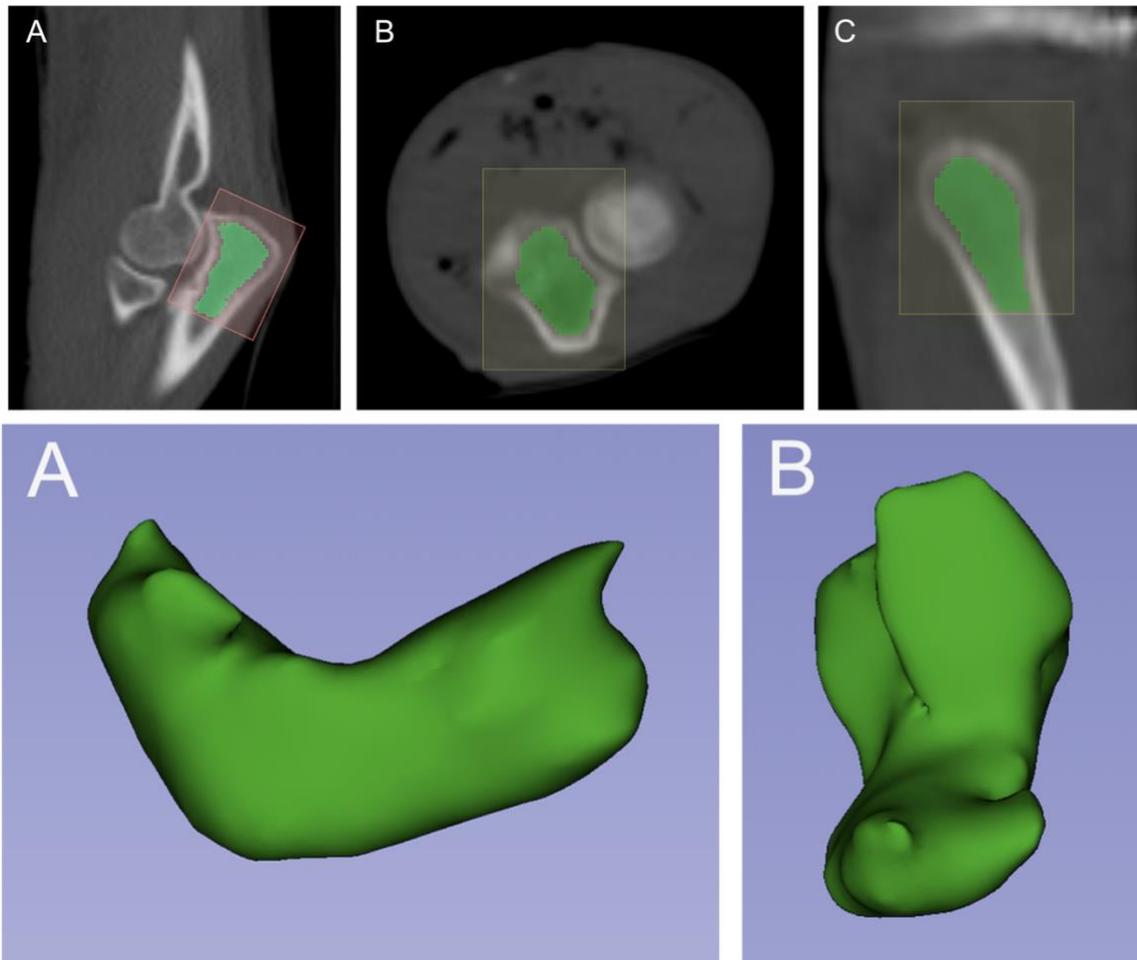
## **5.4 Reconstrucción y definición de los sitios anatómicos a medir**

Una vez incluido el estudio, este fue descargado en el programa 3-D Slicer (versión 4.11.20200930). El programa 3-D Slicer está aprobado para su uso en estudios de investigación médica.(30) Este programa permite por medio de sus herramientas, la manipulación, reconstrucción multiplanar y finalmente la cuantificación objetiva en  $\text{cm}^3$  en cuanto a la cantidad de autoinjerto esponjoso disponible de la región de interés, y a su vez de manera objetiva la DMO en UH. En nuestro estudio fue una reconstrucción final en 3-D de la región de interés. Todas las mediciones fueron realizadas en duplicado y por dos cirujanos ortopedistas.

### **5.4.1 Miembro Superior**

El primer sitio anatómico reconstruido y cuantificado fue el proceso olecraneano. El proceso olecraneano es una apófisis que tiene una forma irregular, por lo cual se establecieron límites anatómicos conocidos para definir los límites de la región de interés. Distalmente el límite de nuestra reconstrucción fue la indentación de la cúpula del radio con el olécranon. Posteriormente la cortical e interfase cortico-esponjoso fue eliminada, por medio de herramientas propias del software. Hasta que finalmente el

programa nos arrojó un modelo 3-D de la región de interés previamente delimitada.(Figura 7)



**Figura 7.** Región de interés proceso olecraneano. A. Segmentación corte sagital B. Segmentación corte coronal. C. Segmentación corte axial. A. Reconstrucción vista sagital B. Reconstrucción vista axial.

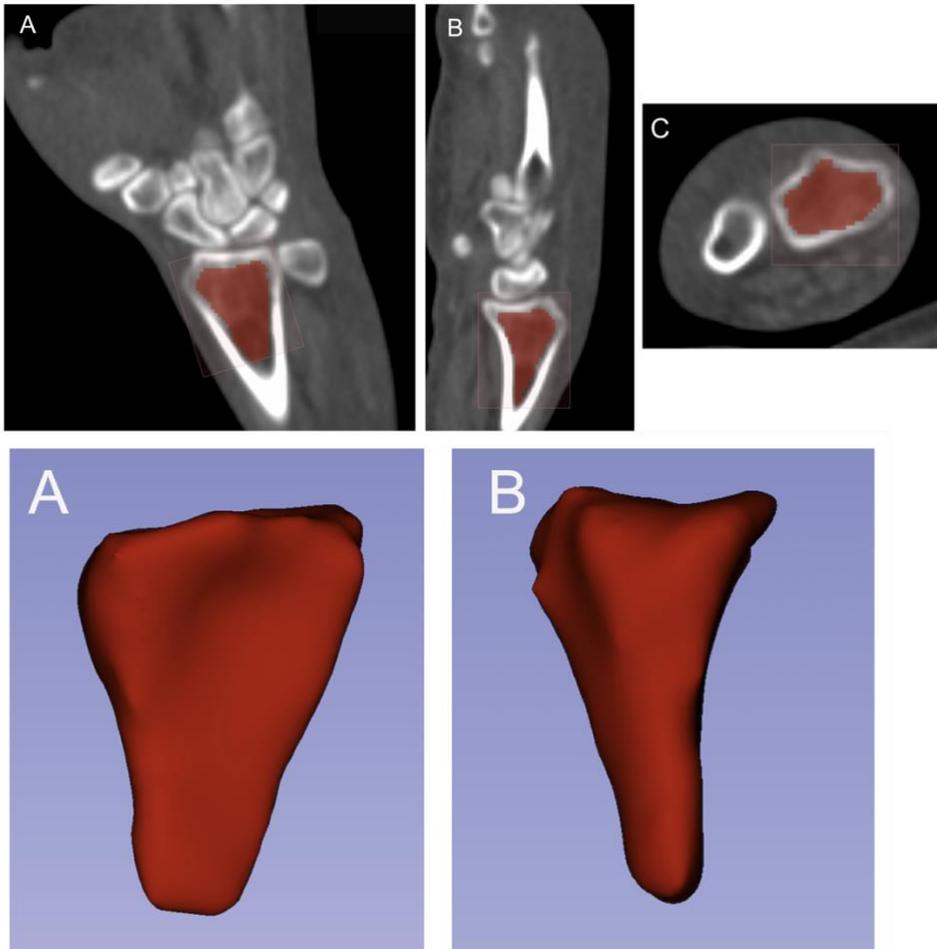
El segundo sitio del miembro superior es el RD. El RD es un hueso largo y al serlo nos permite dividir el hueso en zonas definidas por la literatura que son: epífisis, metáfisis y la diáfisis. Para este estudio solo se tomó en cuenta la

metáfisis del RD. Para establecer los límites anatómicos de la metáfisis se usó la regla de hueso largos del cuadrado de Müller.(31)(Figura 8) Los pasos para seguir esta regla son: medir el ancho de la epífisis del hueso en este caso el RD. Posteriormente, se mide el largo de esa primera línea. Para así trazar tres líneas del mismo tamaño que la primera línea formando así formar un cuadrado perfecto en el RD. Esa misma regla la aplicamos en un corte coronal del A-TAC y así continuar corte por corte la reconstrucción. Igualmente se eliminó la cortical y la interfase cortico-esponjosa. Finalmente, el programa nos arrojó un modelo 3-D de la región de interés previamente delimitada.(Figura 9)



**Figura 8.** Cuadrado de Müller. Para la obtener exclusivamente la metáfisis del radio distal. El primer paso es medir el ancho de la epífisis del radio distal y tenerla de referencia. Posteriormente, se trazan tres líneas (lateral, medial

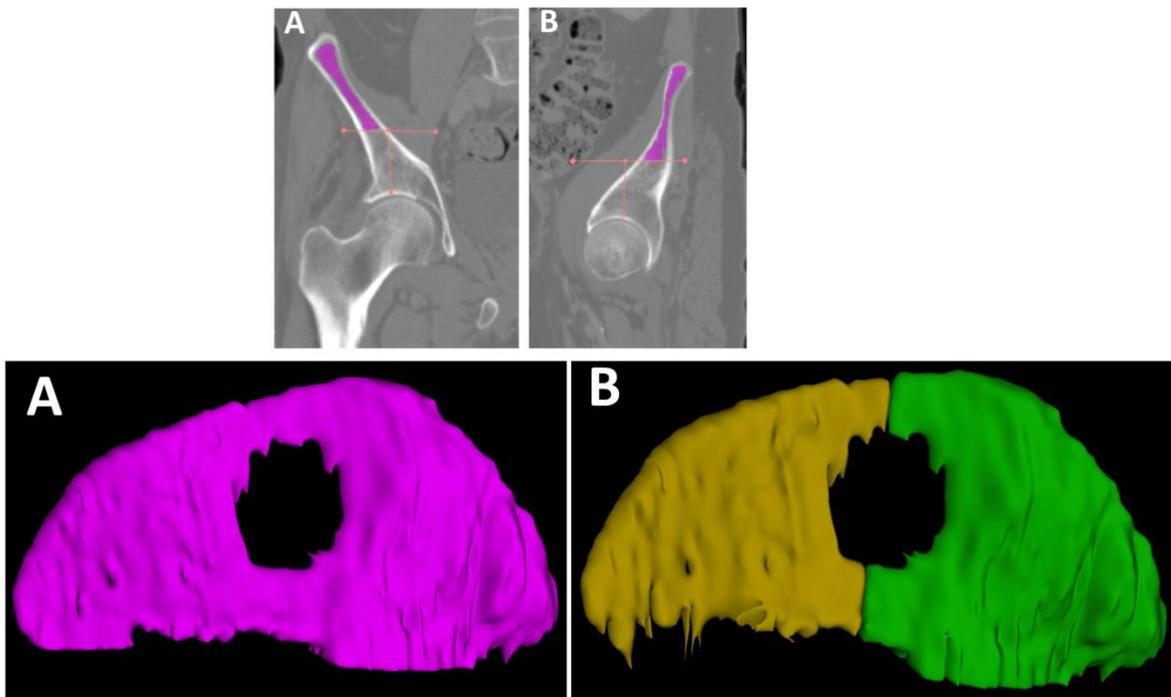
e inferior) del mismo ancho que la primer linea, para así unir las y formar un cuadrado perfecto.



**Figura 9.** Región de interés radio distal. A. Segmentación coronal B. Segmentación sagital C. Segmentación axial. A. Reconstrucción coronal B. Reconstrucción sagital

### 5.4.2 Miembro Inferior

En el miembro inferior el primer sitio a medir la cresta ilíaca. La cresta ilíaca es un hueso irregular y de características morfológicas planas. Distalmente el límite de la reconstrucción es hasta 4 cm proximales a la articulación coxofemoral. Proximalmente se tomó la totalidad de la cresta iliaca. Por medio de herramientas del programa se eliminó la cortical y la interfase cortico-esponjosa. Posteriormente, el programa nos arrojó un modelo 3-D de la región de interés previamente delimitada.(Figura 10) Una vez con el modelo 3-D de la totalidad de la cresta iliaca, esta fue subdividida en CIA y en CIP.(Figura 10)

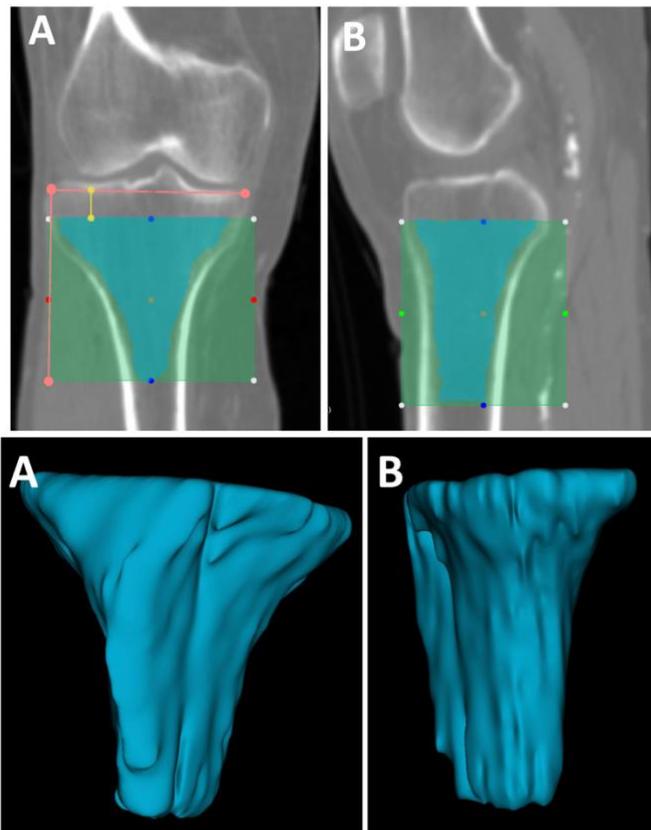


**Figura 10.** Región de interés cresta ilíaca. A. Segmentación coronal B. Segmentación sagital A. Reconstrucción de cresta ilíaca B. Subdivisión cresta ilíaca anterior y posterior.

La siguiente medición fue de la TP. Al igual que el RD, la tibia es un hueso largo y al ser un hueso largo se realizó la regla del cuadrado de Müller.(Figura 11) Para así tomar en la reconstrucción exclusivamente la zona de la metáfisis de la TP. Aunado a eso, estudios previos han demostrado que proximalmente se tiene que respetar 1.5 cm de la articulación tibiofemoral hacia distal. Esto es para evitar complicaciones como la fractura por estrés de la TP.(32) Posteriormente, por medio de herramientas del programa se eliminó la cortical y la interfase cortico-esponjosa. Finalmente, el programa nos arrojó un modelo 3-D de la región de interés previamente delimitada.(Figura 12)



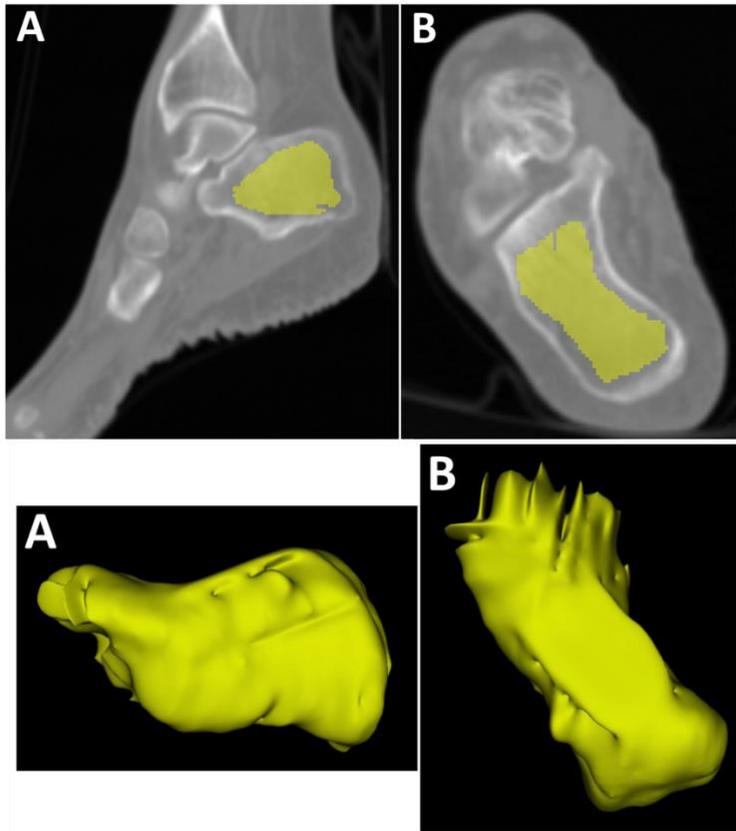
**Figura 11.** Cuadrado Müller tibia proximal. Para la obtener exclusivamente la metáfisis de la tibia proximal. Se realiza una línea que marca el ancho de la epífisis del radio distal. Posteriormente se complementa con tres líneas exactas hasta formar un cuadro perfecto.



**Figura 12.** Región de interés tibia proximal. A. Segmentación coronal B. Segmentación sagital A. Reconstrucción vista coronal B. Reconstrucción vista sagital

La última región de interés a medir en el miembro inferior fue el calcáneo. El calcáneo es un hueso de forma irregular y atípica de 6 caras. La zona donde se procura el autoinjerto es del cuerpo. El límite distal de nuestra región de

interés fue el sustentaculum tali. Finalmente, por medio de herramientas del programa se eliminó la cortical y la interfase cortico-esponjosa y el programa nos arrojó un modelo 3-D de la región de interés previamente delimitada.(Figura 13)



**Figura 13.** Región de interés calcáneo. A. Segmentación sagital B. Segmentación coronal A. Reconstrucción vista sagital B. Reconstrucción vista coronal

## 5.5 Análisis estadístico

Los datos fueron analizados en el programa GraphPad Prism software versión 5.00 para Windows (GraphPad Software, Inc.). Para el cálculo de tamaño de muestra, nos basamos en un estudio previamente publicado, en el cual se demostró que con un poder al 95% y un intervalo de confianza al 95%, se requería de un mínimo de 10 pacientes para obtener resultados estadísticamente significativos.(32) Los datos fueron presentados como medias y desviaciones estándar. La distribución de la normalidad de los datos fue hecho con prueba de D'Agostino & Pearson. En el miembro inferior, la comparación de las variables paramétricas se llevó a cabo usando las pruebas repetida de ANOVA y para las comparaciones múltiples la prueba de Tukey's. En el miembro superior, la comparación de las variables paramétricas se llevó a cabo con la prueba T de Student pareada. Un valor de  $p < 0.05$  se consideró estadísticamente significativo. Se realizó un coeficiente de correlación intraclase, para medir la consistencia de las mediciones y se definió como excelente un valor por encima del 0.9.(33)

## CAPÍTULO VI

### 6. RESULTADOS

#### 6.1 Resultados miembro superior

En cuanto a A-TAC del miembro superior, 47 fueron encontrados en el archivo radiológico. Finalmente, 20 estudios fueron incluidos según nuestros criterios de inclusión. Las razones de exclusión de los otros 27 estudios fueron: 14 tenían fracturas en la región de interés, 6 estudios se catalogaron como incompletos y 7 tenían implantes/artefactos en la región de interés. De los 20 estudios, 25% femeninos. La edad promedio fue de 41.7 años.

Los resultados obtenidos de la cuantificación objetiva y volumétrica de las reconstrucciones en centímetros cúbicos fue mayor para el olécranon con  $5.81 \pm 1.61 \text{ cm}^3$ . Por otro lado en el RD se obtuvo un volumen menor, esto de  $5.01 \pm 1.61 \text{ cm}^3$ . Estadísticamente significativo  $p < 0.0001$ . Los datos completos se pueden analizar en la Tabla 1.

En cuanto a la cuantificación objetiva de la DMO por medio de las UH. Los resultados favorecieron al proceso olecraneano  $303.1 \pm 73.26 \text{ UH}$ , esto comparado contra el RD el cual fue de  $206.5 \pm 63.73 \text{ UH}$ . Igualmente esto

fue estadísticamente significativo en favor al olécranon  $p < 0.0001$ . Los datos completos se pueden analizar en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados del volumen y unidades Hounsfield en el miembro superior

<b>Región</b>	<b>Volumen</b>	<b>95% IC</b>
<b>Olécranon</b>	$5.81 \pm 1.61 \text{ cm}^3$	5.26 - 6.36
<b>Radio distal</b>	$5.01 \pm 1.21 \text{ cm}^3$	4.59 - 5.42

<b>Región</b>	<b>Unidades Hounsfield</b>	<b>95% CI</b>
<b>Olécranon</b>	$303.1 \pm 73.26$	277.9 - 328.3
<b>Radio distal</b>	$206.5 \pm 63.73$	184.7 - 228.4

Datos se presentan en medias  $\pm$  DE con 95% IC (intervalo confianza)

En el análisis de coeficiente de correlación intra-clase se catalogaron como excelentes siendo de .0998 y de 0.996 para el olécranon y el RD en cuanto a la medición en  $\text{cm}^3$ . En la medición por UH los resultados fueron de 0.992 y de 0.998. Los datos completos se pueden analizar en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de los coeficientes de correlación intraclase del olécranon y radio distal.

<b>Region</b>	<b>Volumen</b>	<b>95% IC</b>
<b>Proceso olecraneano</b>	0.998	0.994-0.999
<b>Radio distal</b>	0.996	0.986-0.999
<b>Región</b>	<b>Unidades Hounsfield</b>	<b>95% IC</b>
<b>Proceso olecraneano</b>	0.992	0.978-0.997
<b>Radio distal</b>	0.998	0.995-0.999

Datos se presentan en medias  $\pm$  DE con 95% IC (intervalo confianza)

## 6.2 Resultados miembro inferior

En cuantos a los A-TAC 42 estudios fueron encontrados en la base de datos. Finalmente 15 fueron incluidos según nuestro criterios de inclusión. La razón de exclusión de los estudios restantes fueron: 14 presentaron fracturas en la región de interés, 6 fueron catalogados como incompletos y 7 presentaron implantes o artefactos en la región de interés. De los estudios incluidos 75% fueron masculinos, con edades de 22- 74 años.

En cuanto a los resultados volumétricos en  $\text{cm}^3$ . La región de interés que más autoinjerto se calculó fue la TP con  $61.88 \pm 14.15 \text{ cm}^3$ . Esto estadísticamente significativo comparado con el resto de los sitios medidos  $p < 0.0001$ . Incluso la TP registró más cantidad de autoinjerto disponible que la cuantificación de toda la cresta ilíaca entera que fue  $51.66 \pm 9.20 \text{ cm}^3$ . La subdivisión de CIA

y CIP demostró que la CIA tiene  $19.35 \pm 4.16 \text{ cm}^3$  y la CIP fue estadísticamente significativo mayor con  $32.48 \pm 7.49 \text{ cm}^3$ . Por último, el calcáneo que tiene  $26.40 \pm 7.18 \text{ cm}^3$ , esto comparado con el estándar de oro que la CIA  $19.35 \pm 4.16 \text{ cm}^3$ , resultó estadísticamente significativo ( $p < 0.01$ ). (Tabla 3)

Tabla 3. Resultados del volumen y unidades Hounsfield de la cresta ilíaca, cresta ilíaca anterior, cresta ilíaca posterior, tibia proximal y calcáneo.

<b>Región</b>	<b>Volumen</b>	<b>95% IC</b>
<b>Cresta ilíaca</b>	$51.66 \pm 9.20 \text{ cm}^3$	46.57-56.76
<b>CIA</b>	$19.35 \pm 4.16 \text{ cm}^3$	17.04-21.65
<b>CIP</b>	$32.48 \pm 7.49 \text{ cm}^3$	28.33 -36.63
<b>TP</b>	$61.88 \pm 14.15 \text{ cm}^3$	54.04-69.72
<b>Calcáneo</b>	$26.40 \pm 7.18 \text{ cm}^3$	22.42 -30.37
<b>Región</b>	<b>Unidades Hounsfield</b>	<b>95% IC</b>
<b>Cresta iliaca</b>	$221.0 \pm 70.63$	181.8-260.1
<b>CIA</b>	$232.4 \pm 68.65$	194.4-270.5
<b>CIP</b>	$214.4 \pm 74.45$	173.2- 255.7
<b>TP</b>	$116 \pm 58.77$	83.50- 148.6
<b>Calcáneo</b>	$170.5 \pm 52.32$	141.5- 199.4

Datos se presentan se medias  $\pm$  DE con 95% IC (intervalo confianza)

Abreviaciones: CIA, Cresta ilíaca anterior; CIP, Cresta ilíaca posterior; TP, Tibia Proximal; cm, centímetros

En cuanto a los resultados de la DMO por UH en el miembro inferior, se demostró que la CIA tiene la DMO mas alta de  $232.4 \pm 68.65 \text{ UH}$ , esto estadísticamente significativo contra el resto de los sitios medidos ( $p$

<0.0001). Los resultados del resto de los sitios por orden decreciente son  $221.0 \pm 70.63$  UH para toda la cresta ilíaca,  $214.4 \pm 74.45$  UH para la CIP y  $170.5 \pm 52.32$  para el calcáneo. Finalmente la región de interés con la DMO más baja fue la TP con  $116 \pm 58.77$  UH. (Tabla 3)

En cuanto a los resultados del coeficiente de correlación intraclase fueron de 0.949 a 0.988 para cuantificación volumétrica en  $\text{cm}^3$ . Los resultados de la DMO por UH fue de 0.997. Estos resultados se clasificaron como excelentes. (Tabla 4)

Tabla 4. Resultados de los coeficientes de correlación intraclase de la cresta ilíaca, cresta ilíaca anterior, cresta ilíaca posterior, tibia proximal y calcáneo

<b>Región</b>	<b>Volúmen</b>	<b>95% IC</b>
<b>Cresta ilíaca</b>	0.949 $\text{cm}^3$	0.859-0.983
<b>CIA</b>	0.965 $\text{cm}^3$	0.899-0.988
<b>CIP</b>	0.954 $\text{cm}^3$	0.869-0.984
<b>TP</b>	0.977 $\text{cm}^3$	0.934-0.992
<b>Calcáneo</b>	0.988 $\text{cm}^3$	0.964-0.996
<b>Región</b>	<b>Unidades Hounsfield</b>	<b>95% IC</b>
<b>Cresta Ilíaca</b>	0.997	0.992-0.999
<b>CIA</b>	0.997	0.990-0.999
<b>CIP</b>	0.997	0.990-0.999
<b>TP</b>	0.997	0.991-0.999
<b>Calcáneo</b>	0.997	0.992-0.999

Datos se presentan en medias  $\pm$  DE con 95% IC (intervalo confianza)

Abreviaciones: CIA, Cresta ilíaca anterior; CIP, Cresta ilíaca posterior; TP, Tibia Proximal; cm, centímetros

## **CAPÍTULO VII**

### **7.DISCUSION**

#### **7.1 Resultados generales**

Según los resultados obtenidos se comprobaron las hipótesis de que inicialmente se plantearon. En el miembro superior, el olécranon tiene más cantidad y mayor DMO que el RD. En cuanto el miembro inferior la TP, se demostró que tiene mayor cantidad de autoinjerto, sin embargo, la DMO más baja.

#### **7.2 Discusión de la cantidad de autoinjerto**

Como se mencionó anteriormente, uno de los aspectos mas importantes a la hora de tomar una decisión sobre el lugar de obtención del autoinjerto, es la cantidad de hueso disponible en la región de interés.

En el miembro superior, estudios cadavéricos han demostrado que se puede llegar a obtener hasta 2.8 cm<sup>3</sup> en el RD y de 2.7 cm<sup>3</sup> hasta 3.9 cm<sup>3</sup> para el proceso olecraneano.(21)(23) Sin embargo, estudio clínicos han demostrado que se puede obtener mas cantidad de hueso de estos mismos sitios. Esto

es de 3 cm<sup>3</sup> para el RD y de 5.7 cm<sup>3</sup> para el proceso olecraneano.(1)(20) Los resultados de nuestro estudio radiológico demostró que se puede llegar a obtener mas autoinjerto de lo descrito previamente, esto es de 5.81 cm<sup>3</sup> y del 5.01 cm<sup>3</sup> para el olecranon y RD.

En el miembro inferior estudios cadavéricos han demostrado que de la TP puedes obtener entre 10.6cm<sup>3</sup> y 15.2 cm<sup>3</sup>, esto comparado con lo descrito para la CIA que va de 9.15 cm<sup>3</sup> a 10.4 cm<sup>3</sup> y de 10.1 cm<sup>3</sup> para la CIP.(34)(35) Existe un estudio radiológico por Papagelopoulos et al. en el cual demostraron que la TP ofrece mas cantidad de autoinjerto que la CIA.(32) Sin embargo, este trabajo solo incluyo la TP y a la CIA. En nuestro trabajo decidimos, analizar los sitios de procuración de autoinjerto más comunes del miembro inferior que son la CIP, CIA, TP y calcáneo, esto del mismo paciente para evitar sesgos al analizar estudios de diferentes sitios en diferentes pacientes. También se demostró que existe más cantidad de autoinjerto que lo que esta publicado tanto estudios cadavéricos y clínicos. Creemos que esto es debido a la precisión de la segmentacion y reconstrucción obtenidas del software de las regiones de interés.

### **7.3 Discusion de las zonas de fragilidad o fracturas por estrés**

Otro aspecto importante a tomar en cuenta cuando se realiza una toma o procuracion de autoinjerto esponjoso es la máxima cantidad de hueso que se puede obtener sin causar un fractura por debilidad o estrés.

#### **7.3.1 Miembro superior**

Del miembro superior, Horne et al. realizaron un estudio biomecánico cadavérico en el RD. En el cual se estudiaron 2 grupos: en uno se procuró el 25% de hueso esponjoso de la metáfisis y en el otro se procuró el 50% del hueso esponjoso de la metáfisis. Se concluyó que el fallo a la carga o fractura, ocurrió al procurar el 25% de la metáfisis del RD.(22) De acuerdo con los resultados obtenidos de la reconstrucción, de nuestro estudio el 25% de la metáfisis del RD corresponde a  $1.25\text{cm}^3$ . En cuanto al olécranon Anderson et al. realizaron un estudio biomecánico cadavérico en el olécranon. En el cual analizaron 8 pares de cubitos proximales, en el cual se puede procurar entre  $2.1\text{cm}^3$  a  $2.2\text{cm}^3$ .(24) De acuerdo a estos resultados en el miembro superior se puede obtener mas cantidad de autoinjerto sin causar una fractura por estrés.

### **7.3.2 Miembro inferior**

En el miembro inferior, Lim CT et al realizaron un estudio biomecánico cadavérico en la TP. Estudiaron 11 TP en las cuales realizaron una ventana cortical de 25 mm y posterior obtuvieron autoinjerto esponjoso. Se concluyó que el realizar una ventana de 2.5cm, puede causar fracturas por estrés al aplicar carga a la falla. En otro estudio cadavérico biomecánico Alt et al. demostró que se puede obtener hasta 5.4 cm<sup>3</sup> de la TP sin causar una fractura por estrés. En nuestro resultados, la TP obtuvo un promedio de 61.88 cm<sup>3</sup>. La diferencia de resultados es que en nuestro estudio, se tomó la totalidad de la TP y no una hemi-meseta como en los estudios previamente mencionados. En el calcáneo, Bayod et al. realizaron un estudio de análisis de elementos finitos donde demostraron que tanta cantidad de autoinjerto se puede procurar antes de causar de una fractura por estrés. Concluyeron que hasta 1.30 cm<sup>3</sup> se puede procurar antes de causar una fractura. (18) En nuestro resultados la cantidad obtenida del calcaneo fue de 26.40 cm<sup>3</sup>.

### **7.4 DMO por medio de UH**

Otro tema que no ha sido abordado en la procuración de autoinjerto es su DMO y su probable utilidad clínica. El uso de las UH como una medición

equiparable y validada para la DMO, es de suma importancia ya que con un estudio como el TAC, nos puede tener dar información del estado general óseo del paciente.(5)(36) Incluso en un estudio se establecieron niveles de corte como: hueso normal 121.3 UH, hueso osteopénico 103.4 UH y hueso osteoporótico en 92.1 UH.(28)

En cuanto a UH y su uso clínico se ha descrito que niveles menores a 200 UH, se asocia no-unión o pseudoartrosis de fracturas de tobillo y menor índice de fusión en columna lumbar así como alfojamiento de tornillos transpediculares en cirugías de columna lumbar.(25)(26)(27) En un estudio por Pervaiz et al. demostraron que a menor nivel de UH (<100 UH), se asociaba a que en una cirugía de protésica de hombro, se usaran vástagos más gruesos o la necesidad del uso de cemento para fijar la prótesis.(28)

De acuerdo a nuestros resultados, en el miembro superior el autoinjerto con más DMO fue el olécranon con 303.1 UH. Esto es relevante ya que se demostró que el olécranon ofrece la mayor cantidad y con más DMO. En el miembro inferior la zona con la DMO más alta es la CIA con 232 UH y la más baja la TP con 116 UH. Estos resultados son muy interesantes ya que la TP tiene la mayor cantidad de hueso, sin embargo, el de DMO más baja y se contradice con lo previamente publicado.(29) No sabemos hasta el momento en que se traduce clínicamente, esto da pie a seguir investigando sobre este

tema. Realizar estudios clínicos donde se analice la DMO y la tasa de consolidación.

## **CAPÍTULO VIII**

### **8.CONCLUSIONES**

Se demostró que no solo la TP tiene más cantidad de autoinjerto que la CIP, incluso si se suman los resultados de CIP y CIA, la TP ofrece más cantidad de autoinjerto. Otro hallazgo importante es que el calcáneo brinda más cantidad de autoinjerto que la CIA. En cuanto a la DMO quien la presentaba más alta era la CIA y más baja la TP. En cuanto al miembro superior, el mejor autoinjerto en cantidad y calidad ósea por DMO fue el proceso olecraneano. Estos resultados, pueden ser útiles para los cirujanos ortopedistas generalaes y especialistas. Ya que se brindan datos objetivos de los sitios de procuración de autoinjerto del miembro superior e inferior y tener más opciones que la tradicional CIA.

## **CAPÍTULO IX**

## 9. Anexos



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE MEDICINA Y HOSPITAL UNIVERSITARIO

**DR. med. CARLOS ALBERTO ACOSTA OLIVO**  
Investigador principal  
Servicio de Ortopedia y Traumatología  
Hospital Universitario "Dr. José Eleuterio González"  
Presente.-

Estimado Dr. Acosta:

En respuesta a su solicitud con número de ingreso **PI21-00417** con fecha del **29 de noviembre del 2021**, recibida en las oficinas de la Secretaría de Investigación Clínica de la Subdirección de Investigación, se extiende la siguiente notificación con fundamento en el artículo 41 BIS de la Ley General de Salud; los artículos 14 inciso VII, 99 inciso II, 102, 111 y 112 del Decreto que modifica a la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la salud publicado el día 2 de abril del 2014; además de lo establecido en los puntos 4.4, 6.2, 6.3.2.8, 8 y 9 de la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SSA3-2012, que establece los criterios para la ejecución de proyectos de investigación para la salud en seres humanos; así como por el Reglamento interno de Investigación de nuestra Institución.

Se le informa que el Comité a mi cargo ha determinado que su proyecto de investigación clínica abajo mencionado cumple con la calidad técnica y el mérito científico para garantizar la correcta conducción que la sociedad mexicana demanda, por lo cual ha sido **APROBADO**.

Titulado: **"Análisis volumétrico por medio de Tomografía Axial Computada (TAC) de sitios de obtención de autoinjerto óseo del miembro superior e inferior"**.

De igual forma los siguientes documentos:

- Protocolo escrito en extenso, Versión 2.0 de fecha 27 de enero 2022.

Por lo tanto usted ha sido **autorizado** para realizar dicho estudio en el **Servicio de Ortopedia y Traumatología** del Hospital Universitario como Investigador Responsable. Su proyecto aprobado ha sido registrado con la clave **OR22-00004**. La vigencia de aprobación de este proyecto es al día **03 de febrero del 2023**.

Participando además el Dr. Gregorio Alejandro Villarreal Villarreal como **tesista**, Dr. Adrián Antonio Negreros Osuna, Dr. Mario Simental Méndiz, Dr. Víctor Manuel Peña Martínez, Dr. Alberto Montemayor Martínez, Dr. Gregorio Villarreal Calderón, Est. Daniela Ortega Mata, Dr. José Félix Vilchez Cavazos y el Dr. Crystyan Mauricio Acosta David como Co-Investigadores.

Toda vez que el protocolo original, así como la carta de consentimiento informado o cualquier documento involucrado en el proyecto sufran modificaciones, éstas deberán someterse para su re-aprobación.

Toda revisión será sujeta a los lineamientos de las Buenas Prácticas Clínicas en Investigación, la Ley General de Salud, el Reglamento de la Ley General de Salud en materia de investigación para la salud, la NOM-012-SSA3-2012, el Reglamento Interno de Investigación de nuestra Institución, así como las demás regulaciones aplicables.

El seguimiento continuo al estudio aprobado será el siguiente:

1. Al menos una vez al año, en base a su naturaleza de investigación.

**Comité de Investigación**  
Av. Francisco I. Madero y Av. Gonzálitos s/n, Col. Mitas Centro, C.P. 64460, Monterrey, N.L. México  
Teléfonos: 818329 4050, Ext. 2870 a 2874. Correo Electrónico: investigacionclinica@meduanel.com



Septiembre 18, 2017



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



FACULTAD DE MEDICINA Y HOSPITAL UNIVERSITARIO

2. Cuando cualquier enmienda pudiera o claramente afecte bienestar y los derechos de los sujetos de investigación o en la conducción del estudio.
3. Cualquier evento o nueva información que pueda afectar la proporción de beneficio/riesgo del estudio.
4. Así mismo llevaremos a cabo auditorias por parte de la Coordinación de Control de Calidad en Investigación aleatoriamente o cuando el Comité lo solicite.
5. Será nuestra obligación realizar visitas de seguimiento a su sitio de investigación para que todo lo anterior se encuentre debidamente consignado. En caso de no apegarse, este Comité tiene la autoridad de suspender temporal o definitivamente la investigación en curso, todo esto con la finalidad de resguardar el bienestar y seguridad de los sujetos en investigación

Atentamente,  
"Alere Flammas Veritas"

Monterrey, Nuevo León a a 27 de enero del 2022



DR. med. JOSÉ GERARDO GARZA LEAL  
Presidente del Comité de Ética en Investigación  
COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN  
COMITÉ DE INVESTIGACIÓN

**Comité de Investigación**

Av. Francisco I. Madero y Av. Gonzalitos s/n, Col. Mitras Centro, C.P. 64460, Monterrey, N.L. México  
Teléfonos: 81 8329 4050, Ext. 2870 a 2874. Correo Electrónico: investigacionclinica@meduanl.com



September 18, 2017

## CAPÍTULO X

### 10. Resumen bibliográfico

1. Mauffrey C, Madsen M, Bowles RJ, Seligson D. Bone graft harvest site options in orthopaedic trauma: A prospective in vivo quantification study. *Injury*. 2012;43(3):323-326. doi:10.1016/j.injury.2011.08.029
2. Baldwin P, Li DJ, Auston DA, Mir HS, Yoon RS, Koval KJ. Autograft, Allograft, and Bone Graft Substitutes: Clinical Evidence and Indications for Use in the Setting of Orthopaedic Trauma Surgery. *J Orthop Trauma*. 2019;33(4):203-213. doi:10.1097/BOT.0000000000001420
3. Myeroff C, Archdeacon M. Autogenous Bone Graft: Donor Sites and Techniques. *J Bone Jt Surg*. 2011;93(23):2227-2236. doi:10.2106/JBJS.J.01513
4. Marshall D, Johnell O, Wedel H. Meta-analysis of how well measures of bone mineral density predict occurrence of osteoporotic fractures. *BMJ*. 1996;312(7041):1254-1259. doi:10.1136/bmj.312.7041.1254
5. Schreiber JJ, Anderson PA, Rosas HG, Buchholz AL, Au AG. Hounsfield Units for Assessing Bone Mineral Density and Strength: A Tool for Osteoporosis Management. *J Bone Jt Surg*. 2011;93(11):1057-1063. doi:10.2106/JBJS.J.00160
6. Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography--an increasing source of

radiation exposure. *N Engl J Med.* 2007;357(22):2277-2284.

doi:10.1056/NEJMra072149

7. Moore KL, Dalley AF, R. Agur AM. *MOORE Anatomia Con Orientacion Clinica 8a Edicion.* Octava edi.
8. Brawley SC, Simpson RB. Results of an Alternative Autogenous Iliac Crest Bone Graft Harvest Method. *Orthopedics.* 2006;29(4):342-346.  
doi:10.3928/01477447-20060401-15
9. Gossman DG, Rosenblum W, Arosarena O, Valentino J. The Acetabular Reamer : A Unique Tool for Anterior Iliac Crest Bone Graft Harvesting. 2005;(March):557-559.  
doi:10.1097/01.mlg.0000157865.59712.ec
10. Goulet JA, Senunas LE, DeSilva GL, Greenfield MLVH. Autogenous Iliac Crest Bone Graft: Complications and Functional Assessment. *Clin Orthop Relat Res.* 1997;339(339):76-81. doi:10.1097/00003086-199706000-00011
11. Ahlmann E, Patzakis M, Roidis N, Shepherd L, Holtom P. Comparison of anterior and posterior iliac crest bone grafts in terms of harvest-site morbidity and functional outcomes. *J Bone Jt Surgery-American Vol.* 2002;84(5):716-720. doi:10.2106/00004623-200205000-00003
12. Fernyhough JC, Schimandle JJ, Weigel MC, Edwards CC, Levine AM. Chronic Donor Site Pain Complicating Bone Graft Harvesting From the Posterior Iliac Crest for Spinal Fusion. *Spine (Phila Pa 1976).*

- 1992;17(12):1474-1480. doi:10.1097/00007632-199212000-00006
13. O’Keeffe RM, Riemer BL, Butterfield SL. Harvesting of Autogenous Cancellous Bone Graft from the. *J Orthop Trauma*. 1991;5(4):469-474. doi:10.1097/00005131-199112000-00014
  14. Alt V, Nawab A, Seligson D. Bone Grafting from the Proximal Tibia. *J Trauma Inj Infect Crit Care*. 1999;47(3):555-557. doi:10.1097/00005373-199909000-00023
  15. Lim CT, Ng DQK, Tan KJ, Ramruttun AK, Wang W, Chong DYR. A biomechanical study of proximal tibia bone grafting through the lateral approach. *Injury*. 2016;47(11):2407-2414. doi:10.1016/j.injury.2016.09.017
  16. Biddinger KR, Komenda GA, Schon LC, Myerson MS. A New Modified Technique for Harvest of Calcaneal Bone Grafts in Surgery on the Foot and Ankle. *Foot Ankle Int*. 1998;19(5):322-326. doi:10.1177/107110079801900510
  17. O’Malley MJ, Sayres SC, Saleem O, et al. Morbidity and Complications Following Percutaneous Calcaneal Autograft Bone Harvest. *Foot Ankle Int*. 2014;35(1):30-37. doi:10.1177/1071100713511806
  18. Bayod J, Becerro-de-Bengoa-Vallejo R, Losa-Iglesias ME, Doblaré M. Mechanical stress redistribution in the calcaneus after autologous bone harvesting. *J Biomech*. 2012;45(7):1219-1226. doi:10.1016/j.jbiomech.2012.01.043

19. McGrath MH, Watson HK. Late results with local bone graft donor sites in hand surgery. *J Hand Surg Am.* 1981;6(3):234-237.  
doi:10.1016/S0363-5023(81)80075-5
20. Patel JC, Watson K, Joseph E, Garcia J, Wollstein R. Long-term complications of distal radius bone grafts. *J Hand Surg Am.* 2003;28(5):784-788. doi:10.1016/S0363-5023(03)00364-2
21. Bruno RJ, Cohen MS, Berzins A, Sumner DR. Bone graft harvesting from the distal radius, olecranon, and iliac crest: A quantitative analysis. *J Hand Surg Am.* 2001;26(1):135-141.  
doi:10.1053/jhsu.2001.20971
22. Horne LT, Murray PM, Saha S, Sidhar K. Effects of Distal Radius Bone Graft Harvest on the Axial Compressive Strength of the Radius. *J Hand Surg Am.* 2010;35(2):262-266. doi:10.1016/j.jhsa.2009.10.034
23. Ribak S, Azze RJ, Reis Borges RE, Raimundo E, Bettoni GB, Althoff BF. Bone graft harvested from the olecranon—an anatomic study. *JSES Int.* 2022;6(1):187-190. doi:10.1016/j.jseint.2021.09.012
24. Anderson MC, Chong ACM, Lucas GL, Czuwala PJ, Wooley PH. Harvesting bone graft from the olecranon: a quantitative and biomechanical comparison of proximal and dorsal cortical windows. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2014;43(7):321-324.  
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25046185>
25. Bredow J, Boese CK, Werner CML, et al. Predictive validity of

preoperative CT scans and the risk of pedicle screw loosening in spinal surgery. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016;136(8):1063-1067.

doi:10.1007/s00402-016-2487-8

26. Schreiber JJ, Hughes AP, Taher F, Girardi FP. An Association Can Be Found Between Hounsfield Units and Success of Lumbar Spine

Fusion. *HSS J* ®. 2014;10(1):25-29. doi:10.1007/s11420-013-9367-3

27. Stowers JM, Black AT, Kavanagh AM, et al. Predicting Nonunions in Ankle Fractures Using Quantitative Tibial Hounsfield Samples From Preoperative Computed Tomography: A Multicenter Matched Case Control Study. *J Foot Ankle Surg.* 2022;61(3):562-566.

doi:10.1053/j.jfas.2021.10.007

28. Pervaiz K, Cabezas A, Downes K, Santoni BG, Frankle MA.

Osteoporosis and shoulder osteoarthritis: incidence, risk factors, and surgical implications. *J Shoulder Elb Surg.* 2013;22(3):e1-e8.

doi:10.1016/j.jse.2012.05.029

29. Villarreal-Villarreal GA, Simental-Mendía M, Alonso AAG, Vilchez-Cavazos F, Acosta-Olivo CA, Peña-Martínez VM. Comparison of Anterior Iliac Crest Versus Proximal Tibia Autologous Bone Graft Harvesting: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Foot Ankle Surg.* 2023;62(2):388-397. doi:10.1053/j.jfas.2022.10.004

doi:10.1053/j.jfas.2022.10.004

30. Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, et al. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magn Reson*

*Imaging*. 2012;30(9):1323-1341. doi:10.1016/j.mri.2012.05.001

31. Müller ME, Nazarian S, Koch P SJ. *The Comprehensive Classification of Fractures of Long Bones.*; 1990.
32. Nikolopoulos CE, Mavrogenis AF, Petrocheilou G, Kokkinis C, Diamantopoulos P, Papagelopoulos PJ. A three-dimensional medical imaging model for quantitative assessment of proximal tibia vs. anterior iliac crest cancellous bone. *Knee*. 2008;15(3):233-237.  
doi:10.1016/j.knee.2008.01.005
33. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med*. 2016;15(2):155-163. doi:10.1016/j.jcm.2016.02.012
34. Gerressen M, Prescher A, Riediger D, van der Ven D, Ghassemi A. Tibial versus iliac bone grafts: a comparative examination in 15 freshly preserved adult cadavers. *Clin Oral Implants Res*. 2008;19(12):1270-1275. doi:10.1111/j.1600-0501.2008.01621.x
35. Engelstad ME, Morse T. Anterior Iliac Crest, Posterior Iliac Crest, and Proximal Tibia Donor Sites: A Comparison of Cancellous Bone Volumes in Fresh Cadavers. *J Oral Maxillofac Surg*. 2010;68(12):3015-3021. doi:10.1016/j.joms.2010.07.056
36. Deshpande N, Hadi MS, Lillard JC, et al. Alternatives to DEXA for the assessment of bone density: a systematic review of the literature and future recommendations. *J Neurosurg Spine*. 2023;38(4):436-445.

doi:10.3171/2022.11.SPINE22875

## **CAPÍTULO XI**

### **11. Resumen autobiográfico**

Dr Gregorio Alejandro Villarreal Villarreal

Candidato para el Grado de

Doctor en Medicina

**Tesis:** Análisis volumétrico por medio de Tomografía Axial  
Computarizada (TAC) en sitios de obtención de autoinjerto óseo del  
miembro superior e inferior

**Campo de estudio:** Estudio radiográfico

#### **Biografía:**

##### **Datos personales:**

Nacido en Monterrey, Nuevo Leon, el 2 de febrero 1987. Hijo del Ing.  
Gregorio Villarreal Santos (+) y de la Lic. Patricia Villarreal Romero

##### **Educación:**

Egresado de la Universidad Autónoma de Nuevo Leon, grado obtenido  
como Médico Cirujano Partero. Generación 2005-2011. Servicio social en  
investigación en Salud 2012- 2013

Especialidad de Ortopedia y Traumatología, del Hospital Universitario “Dr José E. Gonzalez” de la Universidad Autónoma de Nuevo Leon 2013-2017  
Subespecialidad de cirugía articular y deportiva, en la Clínica CEMTRO, Madrid, España. Leyes, Flores& Co. 2017-2018  
Certificado FIFA Football Medicine 2019

**Organizaciones a las que pertenece:**

Miembro del colegio de cirujanos ortopedis de nuevo leon 2018 a la fecha  
Miembro titular AMECRA 2019 a la fecha  
Miembro FEMECOT 2019 a la fecha  
Miembro titular de la Sociedad Mexicana de cirujanos de hombro y codo 2020 a la fecha