

Universidad de Valladolid

Facultad de Medicina

Grado en Medicina



Trabajo Fin de Grado

**“ESTIMACIÓN DE DENSIDAD ÓSEA
MEDIANTE TOMOGRAFÍA
COMPUTARIZADA CON
PROTOCOLO GSI Y CORRELACIÓN
DENSITOMÉTRICA”.**

Curso 2018-2019

Alumna: Marina Soto Fernández

Tutor: Dr. Francisco Ardura Aragón

AGRADECIMIENTOS

Agradecer al Dr. Sánchez Lite su tiempo y plena predisposición para que este trabajo contase con la ayuda imprescindible del Servicio de Radiodiagnóstico del Hospital Clínico Universitario de Valladolid.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN/ABSTRACT	4
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Osteoporosis	5
1.2 Fracturas Vertebrales	6
1.3 Densitometría Ósea - Absorciometría Dual De Rayos X (DXA)	7
1.4 TC con protocolo GSI (Gemstone Spectral Imaging).....	9
2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	10
3. PACIENTES, MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1 Pacientes.....	10
3.2 Materiales.....	11
3.3 Métodos.....	12
3.3.1 Recogida de datos.....	13
3.3.2. Análisis de datos.....	13
4. RESULTADOS	13
4.1 Imágenes.....	13
4.2 Estadística descriptiva.....	14
4.3 Correlaciones.....	16
5. DISCUSIÓN	17
6. CONCLUSIONES	20
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
ANEXOS	24
Anexo I: estudio estadístico completo.....	25
Anexo II: clasificación de potencia estadística	30

RESUMEN

La osteoporosis es una enfermedad cuya prevalencia ha aumentado en los últimos años debido al envejecimiento de la población, el sedentarismo, el aumento de hábitos tóxicos y otros factores. Su relevancia radica en el riesgo de fractura. Para su diagnóstico y manejo terapéutico podemos cuantificarla mediante la medición de la densidad mineral ósea (DMO).

Existen varias técnicas para poder llevar a cabo dicho cometido, siendo la densitometría ósea el *patrón oro* de todas ellas en la actualidad. Esta técnica presenta una serie de inconvenientes que no encontramos en la Tomografía Computarizada *Gemstone Spectral Image* (TC-GSI), una nueva variedad dentro de la tecnología de tomografía computarizada con múltiples utilidades, entre las que se encuentra una posible valoración de DMO.

Hemos analizado once pacientes que acudieron al Hospital Clínico Universitario de Valladolid por fracturas vertebrales, obtuvimos los valores de DMO mediante TC-GSI y mediante densitometría. Posteriormente correlacionamos los valores obtenidos con ambas técnicas. El análisis estadístico mostró correlación estadísticamente significativa entre los datos de densidad de la TC y los de la densitometría a nivel de columna vertebral.

Palabras clave: osteoporosis, fractura vertebral, densitometría, TC-GSI, densidad mineral ósea, columna.

ABSTRACT

Osteoporosis is a disease whose prevalence has increased in recent years due to the aging of the population, sedentary lifestyle, increased toxic habits and other factors. Its relevance lies in the risk of fracture. For its diagnosis and therapeutic management we can quantify it by measuring bone mineral density (BMD).

There are several techniques to carry it out, being the densitometry the gold standard of all of them at present. This technique presents a series of drawbacks that we cannot find on the other side. Computed tomography *Gemstone Spectral Image* (CT-GSI) is a new variety within the technology of computed tomography with multiple utilities, among which is a possible assessment of BMD.

We have analyzed eleven patients received at University Clinical Hospital of Valladolid affected by vertebral fractures. We obtained BMD values by GSI-CT and by densitometry. Later on, we correlated the values obtained with both techniques. The statistical analysis showed a statistically significant correlation between the BMD data from CT-GSI and those from densitometry at the spine.

Key words: osteoporosis, vertebral fracture, densitometry, TC-GSI, bone mineral density, spine.

1. INTRODUCCIÓN

Este estudio forma parte de uno de los grupos pioneros en investigación de esta técnica y su correspondiente aplicación puesto que solo hemos podido encontrar un artículo que hable sobre ello en la literatura científica.

Los pacientes que sufren una fractura vertebral podrían someterse a un estudio de extensión de la fractura y medición de densidad ósea con una sola prueba de imagen (TC – GSI). La correlación de datos densitométricos entre la TC y la DXA en favor de la primera, haría prescindible ésta última y otros estudios complementarios como la resonancia magnética.

1.1 OSTEOPOROSIS

La osteoporosis se define como la enfermedad del hueso caracterizada por una menor resistencia del mismo, que se debe tanto a un déficit en la densidad mineral ósea (cantidad) como a una alteración en la microarquitectura del hueso (calidad), o a ambos factores, lo que ocasiona una mayor fragilidad y una mayor predisposición a sufrir fracturas ante traumatismos de baja energía (1).

La definición-clasificación de osteoporosis de la *Organización Mundial de la Salud* (OMS) es **densitométrica** y no clínica. Se basa en la medida de la masa ósea con el método DEXA en la columna o cadera. Estableciendo cuatro categorías:

- Normalidad
- Osteopenia
- Osteoporosis
- Osteoporosis grave o establecida

La presencia de una baja masa ósea patológica, osteopenia u osteoporosis, es el mejor indicador de riesgo de fractura para la región donde se ha medido la masa ósea; de ahí su interés, ya que la pérdida de masa ósea es asintomática excepto hasta que se produce la fractura osteoporótica (2).

La osteoporosis es un problema de salud pública en aumento. Los datos nos informan de que alrededor del mundo se produce una fractura osteoporótica cada 3 segundos. Comparando cifras, en las mujeres, el riesgo de sufrir osteoporosis es mayor que la suma del riesgo de padecer cáncer de mama, ovario y útero.

El aumento de la esperanza de vida ha contribuido a un aumento de la prevalencia de osteoporosis y no solo debido a la disminución de la DMO sino al aumento natural de caídas en la población adulta mayor. Todo ello está provocando un mayor número de complicaciones y gasto social en relación a dicha patología.

1.2 FRACTURAS VERTEBRALES

La patología sobre la que se centra el estudio son las **fracturas vertebrales**. Son las fracturas osteoporóticas únicas, más comunes en todo el mundo, y constituyen una parte integral de la enfermedad osteoporótica.

Se dan aproximadamente en un 30-50% de las personas mayores de 50 años. (3) Sin embargo, a diferencia de las fracturas de cadera, muchos factores limitan la disponibilidad de información fiable sobre su epidemiología: de dos tercios a tres cuartos de las fracturas vertebrales son clínicamente silentes (4, 5) y menos del 10% requieren ingreso hospitalario (6).

Incluso cuando hay una fractura vertebral en la radiografía de columna vertebral, puede pasar inadvertida para el radiólogo, rara vez se observa en los registros médicos, y solo en ocasiones se solicita tratamiento preventivo (7). La interpretación de los hallazgos encontrados en las imágenes radiográficas depende en la mayoría de las ocasiones, de la preparación y habilidad del observador, y no existe un patrón oro que defina la fractura vertebral.

Figura 1. Calificación visual semi-cuantitativa de fracturas vertebrales

Grado 0: normal, vértebra no fracturada



Grado 1: fractura leve con 20-25% de reducción en altura anterior, media y posterior en relación con las vértebras adyacentes o iguales.



Grado 2: fractura moderada con 20-40% de reducción en altura anterior, media y posterior en relación con las vértebras adyacentes o iguales.



Grado 3: fractura severa con >40% de reducción en altura anterior, media y posterior en relación con las vértebras adyacentes o iguales.



Figura 1. Imagen obtenida de un resumen ejecutivo de la International Osteoporosis Foundation (3).

Las fracturas vertebrales son potentes predictores de futuras fracturas de cadera y columna, por ello es esencial un diagnóstico preciso e información clara sobre este tipo de fracturas.

Ensayos clínicos a gran escala han demostrado que las terapias para la osteoporosis pueden aumentar entre un 4-12% la densidad mineral del hueso de la columna (DMO) y reducir la tasa de fracturas vertebrales entre un 40-70% (7, 8).

1.3 DENSITOMETRIA ÓSEA – ABSORCIOMETRÍA DUAL DE RAYOS X (DXA)

La densitometría ósea constituye el método más extendido en la actualidad para medir la densidad ósea. Dentro de sus indicaciones figura la historia de fracturas no traumáticas. Esta técnica se basa en la **absorciometría de rayos X de energía dual** (DEXA o DXA).

El principio físico básico de la DXA es la medición de la transmisión a través del cuerpo, de rayos X a dos niveles diferentes de energía (alta y baja). La fuente genera un haz de rayos X, que consiste en partículas de fotones transportadas a través de la energía electromagnética. El haz de rayos X se atenúa durante el paso a través de los tejidos. Esta atenuación se ve influenciada por la intensidad de la energía, y la densidad y el grosor de los tejidos humanos. A medida que aumenta la energía de los fotones, la atenuación del haz de rayos X disminuye.

Los materiales de baja densidad (tejidos blandos) permiten el paso de un mayor número de fotones, por lo que atenúan el haz de rayos X menos que los materiales de alta densidad como el hueso. La diferencia en la atenuación de los dos picos de energía de rayos X es específica para cada tejido. (9)

Con la DXA se obtienen los siguientes valores: **densidad mineral ósea en g/cm²** (DMO), **contenido mineral óseo en g** (BMC), **área** (cm²), **altura** (cm) y **grosor** (cm) del área explorada. Posteriormente proporciona los valores de referencia de la DMO en función de la edad en una gráfica en la que se representan tres líneas:

1. La de referencia
2. +1 desviación estándar (DE)
3. -1 desviación estándar

La densidad se calcula a través de procesos matemáticos que estudian la diferencia de atenuación de los tejidos blandos y los tejidos óseos en la captación del haz de baja y alta energía y las determinaciones del área explorada (cm²) y del contenido mineral (g) de manera que con el cociente de ambos se halla la densidad por superficie (g/cm²) de cada sector de región ósea explorada.

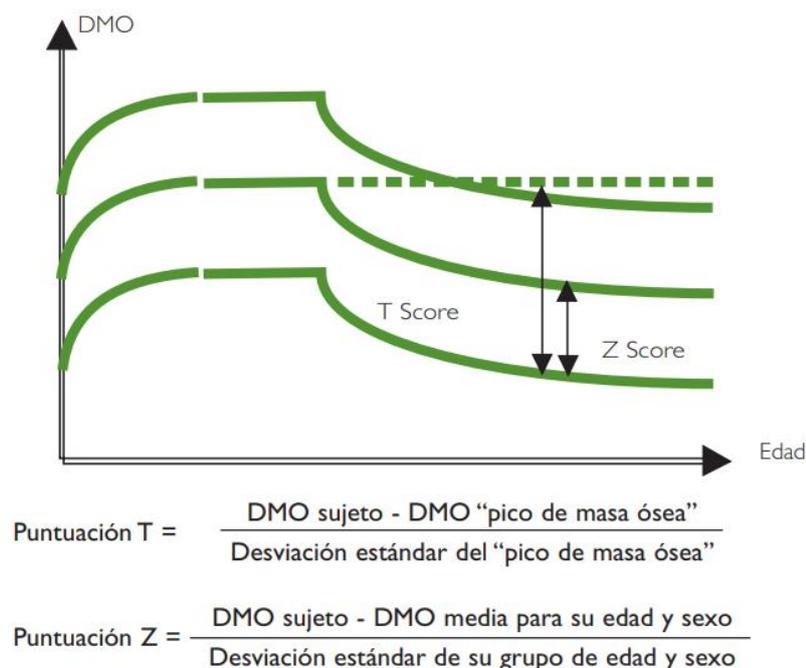


Figura 2. Obtenida de las guías de osteoporosis de la Sociedad Española de Medicina Interna. (10).

Una vez obtenida la DMO en un determinado paciente, ésta debe ser considerada en función de los valores de su población de control, bien respecto al pico de masa ósea de la **población joven sana (puntuación T)** o bien respecto a su **grupo de edad y sexo (puntuación Z)**. En ambos casos se transforma el valor de la DMO en desviaciones estándar respecto al valor medio poblacional (*Figura 2*). La estandarización debe realizarse utilizando valores poblacionales válidos, a ser posible, de la misma población estudiada (10).

Los resultados de los exámenes se dan bajo dos puntuaciones:

- **Puntuación T:** la cantidad ósea se compara con un adulto joven del mismo género y masa ósea máxima. Con esta puntuación se calcula el riesgo de desarrollar fractura y analizar la posibilidad de tratamiento. Valores mayores a -1 se consideran normales. La osteopenia se sitúa entre los valores de -1,1 y -2,4 y la puntuación menor a -2,5 nos daría la clasificación de osteoporosis.

- **Puntuación Z:** en este caso se estudia la cantidad de masa ósea en comparación con otras personas del mismo grupo de edad, misma talla y mismo género. Solo suelen ser significativas puntuaciones excepcionalmente llamativas, bien muy altas o bien muy bajas.

1.4 TC CON PROTOCOLO GSI

La Tomografía Computarizada, TC de doble energía o dual, se fundamenta en la adquisición de conjuntos de datos utilizando dos espectros diferentes de energía de rayos X. Permite caracterizar materiales diferentes sobre la base de su composición elemental.

Los estudios por medio de doble energía se han conocido desde finales de 1970. Las aplicaciones clínicas de la técnica de doble energía estaban limitadas en los primeros equipos de TC disponibles por la radiación y el tiempo prolongado de las exploraciones. La introducción de los nuevos sistemas de **TC dual** en 2006 provocó un renovado interés en aplicaciones de doble energía. Los avances tecnológicos permitían realizar estudios más rápidos y con menos nivel de radiación.

La reciente adquisición de un equipo de TC con energía dual en el servicio de Radiodiagnóstico del Hospital Clínico Universitario de Valladolid, ha permitido realizar este estudio. El equipo de TC permite gracias a la novedosa **aplicación GSI** (*Gemstone Spectral Imaging*) obtener imágenes de densidad de diferentes materiales y realizar estudios cuantitativos.

Gemstone Spectral Imaging (GSI) es una aplicación original de energía dual que emplea cambios rápidos de voltaje y genera datos de densidad del material que se pretende estudiar. Se pueden realizar estudios comparativos de materiales, por ejemplo agua-hidroxiapatita (11).

El principio físico sobre el que se sustenta esta tecnología es la diferente atenuación de los fotones de rayos X de los materiales a distintos kilovoltajes durante un estudio de TC. El efecto fotoeléctrico se produce cuando un material emite electrones tras incidir sobre él una radiación electromagnética.

En la TC de energía dual, se utilizan para escanear al paciente, dos haces a menor y mayor voltaje. El equipo de TC que se ha utilizado durante el estudio utiliza 140 kV y 80 kV en un campo de visión completo de 50 cm, con un registro anatómico casi perfecto. Los niveles de dosis de radiación son similares a los de una única adquisición estándar (11).

Una característica muy importante de la tecnología GSI es que se puede utilizar como un método de estudio rutinario mientras que ofrece paralelamente información anatómica y funcional que permite agilizar y facilitar otros diagnósticos más precisos. Es importante el postprocesado de las imágenes que se realiza en estaciones de trabajo específicas. El procesado de las imágenes obtenidas permite comparación detallada y rigurosa de la atenuación entre los valores de alto y bajo kilovoltaje. Los valores característicos son generados por vóxels individuales permitiendo de este modo que materiales específicos sean codificados en distintos colores.

2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

La hipótesis nula dice que los valores de DMO obtenidos mediante DEXA no se correlacionan con los valores obtenidos mediante TC-GSI.

El objetivo es negar esta hipótesis nula y encontrar una correlación estadísticamente significativa entre las mediciones obtenidas con las diferentes técnicas. Demostrando la utilidad y beneficios de la TC – GSI para medir densidad ósea respecto al *patrón oro* actual (densitometría ósea).

3. PACIENTES, MATERIALES Y MÉTODOS

Se trata de un estudio **observacional, prospectivo, consecutivo**. El protocolo llevado a cabo ha sido aprobado por el Comité Ético de Investigación Clínica del Hospital Clínico Universitario de Valladolid.

3.1 PACIENTES:

Se incluyeron en el estudio aquellos pacientes que acudieron al Servicio de Traumatología entre octubre de 2018 y abril de 2019 por fractura vertebral o aquellos que se encontraban en seguimiento por osteoporosis y precisaban según criterios médicos valoración de densidad mineral ósea, así como realización de TC.

3.2 MATERIALES



Figura 3. Imagen del equipo TC del HCUV con tecnología GSI (*Gemstone Spectral Image*)

Los estudios fueron realizados con un equipo GSI (*Gemstone Spectral Image*) spectral CT Revolution de General Electric, Healthcare.

La adquisición se realizó con técnica GSI (*Gemstone Spectral Image*) con el protocolo establecido en el equipo con los siguientes parámetros:

- Voltaje del tubo: entre 80 y 140 kvp,
- Miliamperaje: 195 mA,
- Tiempo de rotación: 0,6 seg
- Pitch: 0,992.

3.3 MÉTODOS

Las imágenes se analizaron en estación de trabajo SERVER General Electric. Se realizaron reconstrucciones multiplanares y volumétricas de los niveles lumbares a estudio. En la estación de trabajo se procesan mediante protocolo estandarizado de GSI para el estudio de edema óseo, comparando densidades de materiales por pares (hidroxiapatita HAP versus agua WATER).

Realizamos mediciones en cuerpos vertebrales diana, mediante diferentes ROI (regiones de interés) obteniendo múltiples datos cuantitativos de densidad mineral ósea.

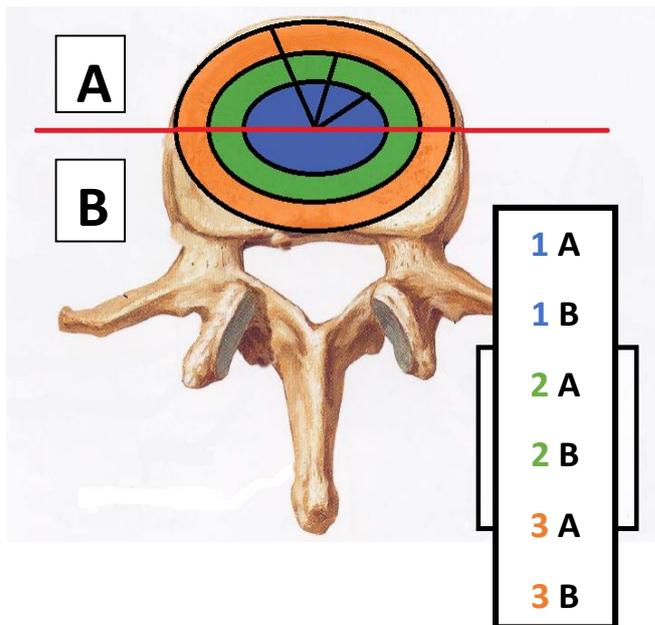


Figura 4. Dibujo esquema de regiones de interés (ROI) en la vértebra.

3.3.1. Recogida de datos:

La recogida inicial de datos se basó en el siguiente algoritmo que fue presentado en la sesión clínica del Servicio de Traumatología del HCUV:



Asimismo, se recogieron los datos del *patrón de oro* de la medición de DMO, la densitometría ósea. A razón de poder establecer la comparativa de los datos que nos ofrece respecto a los que nos indica la TC-GSI.

Diríamos que el método fue: reclutamiento de los pacientes que cumplían criterios de inclusión. Se les ofreció participar en el estudio y tras su aceptación, se realizaron la densitometría ósea y la TC con protocolo GSI. Igualmente se recogieron los datos de carácter demográfico.

3.3.2. Análisis de los datos:

Las variables cuantitativas se presentan con la media y desviación típica y las cualitativas según su distribución de frecuencias. El test de normalidad utilizado ha sido el de **Shapiro-Wilk**. La comparación de los valores cuantitativos para los dos grupos a estudio se ha realizado con la prueba **T de Student** o la prueba **U de Man Whitney**

según el caso. Se han calculado la correlación **Rho de Spearman** de las dos técnicas analizadas en este estudio.

Considerando la clasificación establecida para la densitometría se ha realizado una curva ROC con el objetivo de conocer el punto de corte más adecuado para la TC. Los resultados han sido obtenidos con el programa estadístico IBM SPSS versión 24.0. Los valores de $p < 0,05$ han sido considerados estadísticamente significativos.

4. RESULTADOS

4.1 IMÁGENES

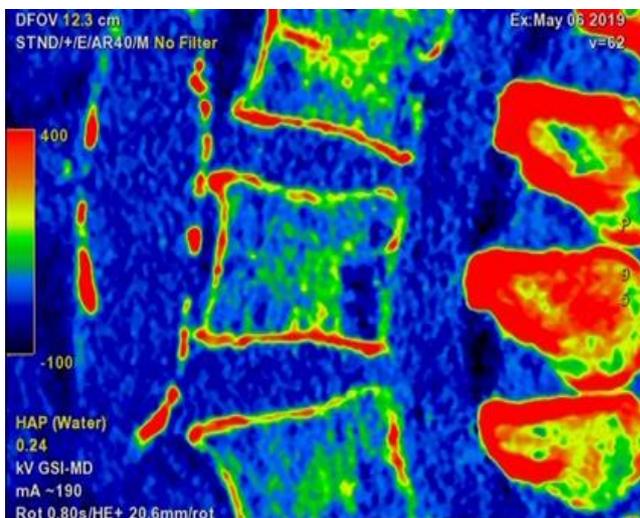


Figura 5. Proyección sagital de TC-GSI formato de imagen en arco iris, comparativa de materiales HAP (hidroxiapatita-agua).

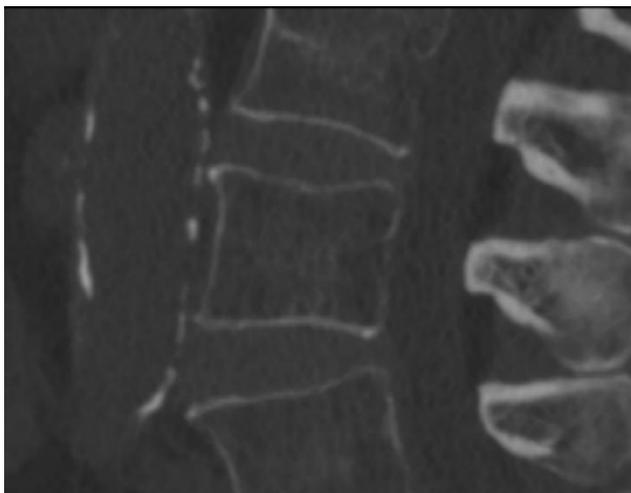


Figura 6. Proyección sagital, formato de imagen en escala de grises.

4.2 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Se estudiaron un total de **11 pacientes**, 7 mujeres (63,6%) y 4 varones (36,4%). Las **lesiones observadas** correspondieron en un 18,2% a fracturas en L1, L2 y L3 respectivamente, un 9,1% se produjeron en L5 y otro tanto en T11. Un 27,3% se produjeron en L4, siendo ésta la localización más frecuente.

La **edad** media de los pacientes estudiados se sitúa en 79,55 años, una desviación estándar de 5,803 y un mínimo y máximo de 71 y 87. Observándose una asimetría de -0,271.

Respecto a **la talla**, el valor medio se sitúa en 1,609 m con un valor mínimo de 1,47m y un máximo de 1,87m, una desviación estándar de 0,12227 y una asimetría de 1,021.

El **peso** medio se sitúa en 69,500 kg, con valores mínimos y máximos de 48,0 y 85,0. Desviación estándar de 11,8047 y asimetría de -0,495.

El **IMC** medio se encuentra en el valor de 26,7054 siendo sus valores máximos y mínimos de 19,2277 y 37,7700. Desviación estándar del 5,1089 y asimetría de 0,794.

Siguiendo la misma dinámica, los datos que nos arrojan los resultados de la **densitometría** son los siguientes:

Fémur cuello:

	DMO (g/cm³)	T- Score	Z- Score
MEDIA	0,7594	- 2,045	-0,136
MÍNIMO	0,5970	-3,6	-1,7
MÁXIMO	1,038	-0,2	1,6
ASIMETRÍA	0,785	0,002	-0,105
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,12589	1,051	1,0063

Tabla 1. Estadística descriptiva de DEXA de Fémur Cuello (Fc).

Fémur total:

	DMO (g/cm³)	T- Score	Z- Score
MEDIA	0,7924	-1,9454	-0,373
MÍNIMO	0,5760	-4,00	-2,6
MÁXIMO	1,143	0,40	1,8
ASIMETRÍA	1,130	0,363	-0,177
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,1527	1,1518	1,1350

Tabla 2. Estadística descriptiva de DEXA de Fémur Total (Ft).

Columna vertebral:

	DMO (g/cm³)	T- Score	Z- Score
MEDIA	1,006	-1,560	0,240
MÍNIMO	0,7510	-3,60	-1,2
MÁXIMO	1,2630	0,40	2,1
ASIMETRÍA	0,131	0,065	0,392
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,1812	1,400	0,9264

Tabla 3. Estadística descriptiva de DEXA de Columna Vertebral (CV).

Los resultados obtenidos por parte de la **TC-GSI** son los siguientes:

	DENSIDAD TC GLOBAL (mg/cm³)	TC 1A	TC 1B	TC 2A	TC 2B	TC 3A	TC 3B
MEDIA	80,41	71,6754	81,0145	60,5054	65,5918	84,1572	65,9755
MÍNIMO	49,37	28,28	28,90	20,17	29,68	46,87	31,91
MÁXIMO	128,10	162,50	178,30	119,20	103,80	158,80	115,70
ASIMETRÍA	0,661	1,582	1,502	0,805	0,388	1,817	0,804
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	25,514	36,6080	40,2809	26,9422	23,2844	28,773	27,882

Tabla 4. Estadística descriptiva de TC-GSI

Aplicando estudio de **Curva ROC** utilizando como variable resultado de contraste la **densidad de la TC global** (mg/cm^3) se obtuvo como punto de corte para definir entre los términos de osteoporosis y osteopenia al valor de **65,5350** con una sensibilidad del **85,7%** y una especificidad del **100%**. Por lo que a todos los pacientes que **no** tienen osteoporosis, el estudio de la TC-GSI los clasifica bien en todos los casos y un 15% de los que **sí** la tienen podrían perderse. Con un área bajo la curva de 0,905 y una significación estadística de 0,053. (Ver ANEXO I).

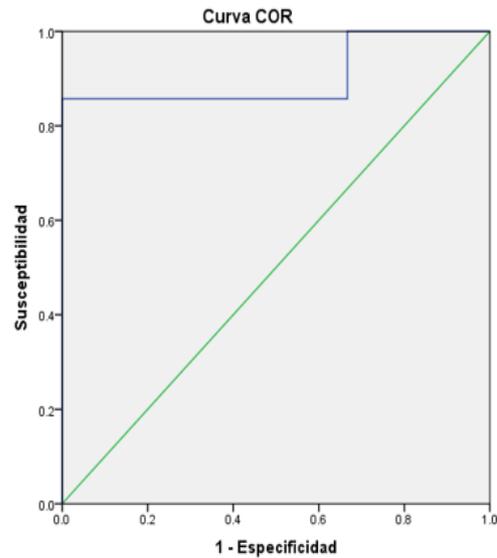


Figura 7. Curva ROC

Coordenadas de la curva		
Variables resultado de contraste: DENSIDAD TAC GLOBAL (mg/cm^3)		
Positivo si es mayor o igual que	Sensibilidad	1 - Especificidad
48,370000	1,000	1,000
51,565000	1,000	,667
57,575000	,857	,667
61,475000	,857	,333
65,535000	,857	0,000
72,410000	,714	0,000
75,860000	,571	0,000
86,155000	,429	0,000
98,250000	,286	0,000
114,350000	,143	0,000
129,100000	0,000	0,000

Figura 8. Coordenada de la Curva ROC. Variable resultado: Densidad TC global.

Los datos estadísticos descriptivos ofrecidos por la TC donde clasifica a los pacientes en osteopenia u osteoporosis nos ofrecen como resultado saber que aquellos con valores mayores a 61,56 **no** sufren osteoporosis y que aquellos con valores menores a 53,76 **sí** sufren osteoporosis. (VER ANEXO I).

4.2 CORRELACIONES

En cuanto al resumen del **procesamiento de casos**, la TC consiguió clasificar de manera correcta en osteoporóticos u osteopénicos al 90,9% de los pacientes <10> estando 6 de ellos en rango de osteopenia y 4 en rango de osteoporosis a diferencia de

lo marcado por la densitometría de columna que indicaba un total de 7 pacientes osteopénicos y 3 osteoporóticos.

La potencia κ es del 78,3% situándose como una medida de concordancia clasificada como **buena** (en límite alto), cercana a la consideración de **muy buena**. (Ver ANEXO II).

En cuanto a las **correlaciones no paramétricas** resulta destacable que en el estudio de la *rho de Spearman* las correlaciones establecidas entre los datos aportados por las diferentes secciones de la TC y las diferentes densitometrías, se haya observado correlación significativa ($p < 0,05$) entre los datos de la TC y la densitometría de columna (a excepción de las secciones de TC 1B y 2A que han establecido correlación significativa con los valores de la densitometría de fémur total y su T-score).

5. DISCUSIÓN

El *patrón de oro* de la medición de la DMO es la densitometría ósea (DEXA) debido a su accesibilidad, facilidad de uso e interpretación; un tiempo corto de adquisición de datos en alta resolución con una gran fiabilidad y una muy baja radiación. Entonces ¿qué motivos pueden provocar buscar nuevas tecnologías para la medición de la DEXA?:

- Es particularmente susceptible a las distorsiones de imagen secundarias a estructuras superpuestas.
- Susceptible también a distorsiones secundarias a patología osteodegenerativa de columna vertebral. Esta técnica de detección se vería muy afectada por las imágenes osteoscleróticas de hiperostosis, que pueden conducir a la distorsión de los datos de medición en cierta medida. Teniendo en cuenta que la prevalencia de osteoporosis precisamente se da en su gran mayoría en pacientes mayores donde la patología degenerativa es común, las distorsiones que sufre la DEXA podrían limitar su sensibilidad y especificidad en la medición.
- Modalidad de imagen **bidimensional**.

Si tenemos en cuenta que existe una actividad metabólica distinta entre el hueso cortical y el trabecular, cabe pensar que una modalidad de imagen 3D centrada en las áreas de alta actividad metabólica proporcionaría una evaluación más precisa ya que las alteraciones en el hueso durante la osteoporosis temprana ocurren inicialmente en el hueso esponjoso. Por lo tanto, la densitometría puede no detectar la osteoporosis temprana originada en el hueso esponjoso de las vértebras y aumentar así el tiempo de diagnóstico.

Como alternativa a las imágenes bidimensionales de la DEXA surgió la idea de usar la TC cuantitativa para este tipo de estudios.

Las imágenes proporcionadas por la **TC cuantitativa** fueron inicialmente viables ya que aportaban datos de una verdadera **densidad volumétrica**. La TC cuantitativa se puede usar para medir la DMO volumétrica real, descartando completamente los efectos del tamaño del hueso, mientras que también puede medir las densidades de los huesos corticales y esponjosos, así como determinar con mayor precisión los parámetros morfológicos (15). Por lo tanto, las mediciones por TC cuantitativa pueden reflejar los cambios tempranos en la masa ósea vertebral.

Sin embargo debido a varios inconvenientes entre los que se destaca una radiación efectiva de entre 1-3 mSv y un método de análisis complejo se ha ido limitando mucho el uso de este tipo de tomografía computarizada.

De forma teórica, la técnica ideal para la medición de la DMO sería la exploración por **TC de energía dual**. A pesar de implicar un par de niveles de energía, la dosis de radiación administrada al paciente se divide entre dos, lo que resulta en un total de radiación hacia el paciente menor en comparación a la TC estándar/cuantitativa. En cuanto a la colimación, ambas usan un punto focal y dosis igual; teniendo por tanto la misma resolución espacial. Respecto al tiempo de toma de imágenes, la tecnología dual no ocasiona un aumento de tiempo sustancial siempre que los protocolos se hayan creado y definido previamente de manera correcta.

No obstante, este método requiere escaneo duplicado y, por lo tanto, está limitado por la falta de coincidencia de la imagen y las altas dosis de radiación. Además, es una técnica complicada sin un software correspondiente disponible, por lo que sus aplicaciones clínicas son limitadas (16).

En este punto es cuando llegamos a la **TC-GSI** que puede lograr imágenes espectrales mediante el cambio instantáneo de energía dual a través de una única bombilla, utilizando tecnologías únicas de separación física y determinación cuantitativa de la densidad del material, midiendo las densidades hidroxapatita y agua-hidroxapatita del hueso esponjoso vertebral. Puesto que con la TC-GSI podemos suplir las desventajas del resto de tecnologías de tomografía computarizada y hallar aparte del análisis de la densidad mineral ósea (centro de nuestro estudio), la detección de ácido úrico en las imágenes, detección de edema en médula ósea, el análisis de colágeno en ligamentos, tendones y discos intervertebrales o detección de metástasis, parece obvio que sea una tecnología sobre la que investigar y tener en cuenta de cara al futuro.

La **TC-GSI**, aúna la posibilidad de medir la DMO con ciertas ventajas respecto a la DEXA como evitar pruebas complementarias y ser un método de estudio capaz de obtener imágenes multiplanares y volumétricas.

Por lo tanto sería interesante seguir evaluando su capacidad como método de medida de la DMO ya que se podría diagnosticar y evaluar el tratamiento de los pacientes con una sola prueba. A todos los pacientes que llegan a Urgencias se les realiza una TC y posteriormente se les cita para la densitometría (y en la mayoría de ocasiones para pruebas complementarias como la resonancia magnética). Agruparlo todo en una sola prueba representaría un ahorro significativo, una disminución de la sobrecarga de listas de espera y una comodidad mayor para los pacientes que además recibirían menos dosis de radiación.

Con los datos obtenidos en este estudio, sabemos que la TC nos ha ofrecido como resultado saber que aquellos con valores mayores a 61,56 **no** sufren osteoporosis y que aquellos con valores menores a 53,76 **sí** sufren osteoporosis. El rango *problema* se sitúa entre **53,76** (valor mínimo del grupo osteopenia) y **61,56** (valor máximo del grupo osteoporosis) donde no podemos saber si estamos ante un paciente de un grupo u otro.

Dentro de las limitaciones de nuestro estudio se encuentra el contar con una “n” pequeña. A pesar de ello, la potencia estadística es fuerte y abre una ventana a seguir investigando sobre estas correlaciones para encontrar mayor significación estadística. Nuestros objetivos futuros son realizar nuevos estudios en esta línea con una muestra de pacientes mayor (n del trabajo=11) así como, obtener datos de población sana de referencia o a los que se realicen exploraciones con TC por otros motivos distintos a la osteoporosis, de manera que se obtengan unos valores de clasificación en base a desviaciones estándar en la TC-GSI similar a los que se usan en las densitometrías.

6. CONCLUSIONES

Tras el análisis de resultados y la discusión de los mismos; podemos concluir de manera clara sobre tres puntos principales:

- Conseguimos rechazar la hipótesis nula, que establecía que los valores de DMO obtenidos mediante DEXA no se correlacionaban con los valores obtenidos mediante TC-GSI.
- Encontramos una correlación con significación estadística entre los datos de DMO detectados por la TC y la DEXA de columna vertebral.
- La TC-GSI puede evitar la realización de pruebas adicionales como la DEXA, disminuyendo costes y evitando trastornos y radiación a los pacientes.

La TC - GSI y su aplicación en el estudio de densidad mineral ósea representan un avance prometedor en la evaluación de osteoporosis puesto que existen numerosos estudios sobre esta TC en relación con otras patologías, sobre todo oncológicas y vasculares, pero no así como método de estudio de la DMO.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gallo F.J, Giner V, León F, Mas X, Medina M.D. Osteoporosis Manejo: Prevención, diagnóstico y tratamiento. (13 ed.). [Online] Barcelona: Sociedad Española de Medicina de Familia y Comunitaria; 2014. [Accessed 15 de Noviembre 2018]. Disponible en: https://www.semfyc.es/wp-content/uploads/2016/03/Libro_Osteoporosis14_Def.pdf
2. Hermoso de Mendoza MT. Clasificación de la osteoporosis: Factores de riesgo. Clínica y diagnóstico diferencial. Anales del Sistema Sanitario de Navarra. 2003;26:29-52.
3. Bouxstein, M.L, Genant, H.K. Fracturas Vertebrales. Buenos Aires, Argentina: International Osteoporosis Foundation; 2010.
4. Kanis JA, Odén A, McCloskey EV, Johansson H, Wahl DA, Cooper C, et al. A systematic review of hip fracture incidence and probability of fracture worldwide. Osteoporos Int. septiembre de 2012;23(9):2239-56.
5. Fink HA, Milavetz DL, Palermo L, Nevitt MC, Cauley JA, Genant HK, et al. What proportion of incident radiographic vertebral deformities is clinically diagnosed and vice versa? J Bone Miner Res. julio de 2005;20(7):1216-22.
6. Gehlbach SH, Bigelow C, Heimisdottir M, May S, Walker M, Kirkwood JR. Recognition of vertebral fracture in a clinical setting. Osteoporos Int. 2000;11(7):577-82.
7. Eastell R, Cedel SL, Wahner HW, Riggs BL, Melton LJ. Classification of vertebral fractures. J Bone Miner Res. marzo de 1991;6(3):207-15.
8. European Journal of Radiology [Internet]. ResearchGate. [citado 4 de febrero de 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/journal/0720-048X_European_Journal_of_Radiology
9. Bazzocchi A, Ponti F, Albisinni U, Battista G, Guglielmi G. DXA: Technical aspects and application. Eur J Radiol. Agosto de 2016;85(8):1481-92.
10. Corral Gudino L, Del Pino Monte J, Díaz Curiel M, Díaz López B, Díez Pérez A, Garcés Puentes MV, Gómez Alonso C, Gómez de Tejada MJ, González Macías J. 2002; Sociedad Española de Medicina Interna. Protocolos de Osteoporosis 4: 50-54

11. CT Revolution GSI [Internet]. Disponible en: http://www3.gehealthcare.es/es-es/productos/categorias/tomografia_computarizada/revolution_gsi
12. Mallinson PI, Coupal TM, McLaughlin PD, Nicolaou S, Munk PL, Ouellette HA. Dual-Energy CT for the Musculoskeletal System. *Radiology*. Diciembre de 2016;281(3):690-707.
13. Gómez Alonso C., Díaz López J.B. Métodos de determinación de la densidad mineral ósea. Servicio de Metabolismo Óseo y Mineral. Instituto Reina Sofía de Investigación. Hospital Universitario Central de Asturias. Universidad de Oviedo. España. *Rev Clin Esp*. 2009;209 Supl 1:15-22
14. Shao W-G, Liu D-M. Gemstone spectral imaging for measuring adult bone mineral density. *Exp Ther Med*. octubre de 2016;12(4):2773-7.
15. Yue D, Li Fei S, Jing C, Ru Xin W, Rui Tong D, Ai Lian L, et al. The relationship between calcium (water) density and age distribution in adult women with spectral CT: initial result compared to bone mineral density by dual-energy X-ray absorptiometry. *Acta Radiol*. junio de 2019;60(6):762-8.
16. Lewiecki EM. Bone density measurement and assessment of fracture risk. *Clin Obstet Gynecol*. diciembre de 2013;56(4):667-76.
17. Bazzocchi A, Spinnato P, Fuzzi F, Diano D, Morselli-Labate AM, Sassi C, et al. Vertebral fracture assessment by new dual-energy X-ray absorptiometry. *Bone*. abril de 2012;50(4):836-41.
18. Ibáñez R. Técnicas de medida de densidad de masa ósea. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*. 2003;26:19-27.
19. Galovich, L.A, Arboleya, L, Badía, X, Blanch i Rubió, J. La Fractura Vertebral en la Práctica Clínica. Madrid: FHOEMO;2005.
20. Ramos RML, Armán FJA, Galeano NA, Merino JA, Parra MDL, Batlle JA. DEXA para radiólogos. Guía práctica. [Internet]. 2012 [citado 4 de junio de 2019]. Disponible en: https://posterng.netkey.at/esr/viewing/index.php?module=viewing_poster&task=viewsection&pi=111156&ti=364498&si=1146&searchkey

- 21.** Ryan PJ, Blake GM, Herd R, Parker J, Fogelman I. Distribution of bone mineral density in the lumbar spine in health and osteoporosis. *Osteoporos Int.* marzo de 1994;4(2):67-71.
- 22.** Löffler MT, Jacob A, Valentinitzsch A, Rienmüller A, Zimmer C, Ryang Y-M, et al. Improved prediction of incident vertebral fractures using opportunistic QCT compared to DXA. *Eur Radiol.* 21 de febrero de 2019;
- 23.** Ballane G, Cauley JA, Luckey MM, El-Hajj Fuleihan G. Worldwide prevalence and incidence of osteoporotic vertebral fractures. *Osteoporos Int.* 2017;28(5):1531-42.
- 24.** Medidas de concordancia: el índice Kappa [Internet]. [citado 30 de mayo de 2019]. Disponible en: <https://www.fisterra.com/mbe/investiga/kappa/kappa.asp>

ANEXOS

ANEXO I: ESTUDIO ESTADÍSTICO COMPLETO

ANEXO II: CLASIFICACIÓN DE POTENCIA ESTADÍSTICA

ANEXO I: ESTUDIO ESTADÍSTICO COMPLETO

Tablas de contingencia

Resumen del procesamiento de los casos

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Osteoporosis según TAC * Clasificación_CV	10	90,9%	1	9,1%	11	100,0%

Tabla de contingencia Osteoporosis según TAC * Clasificación_CV

			Clasificación_CV		Total
			Osteopenia	Osteoporosis	
Osteoporosis según TAC	Osteopenia	Recuento	6	0	6
		% del total	60,0%	0,0%	60,0%
	Osteoporosis	Recuento	1	3	4
		% del total	10,0%	30,0%	40,0%
Total		Recuento	7	3	10
		% del total	70,0%	30,0%	100,0%

Medidas simétricas

		Valor	Error típ. asint.	T aproximada	Sig. aproximada
Medida de acuerdo	Kappa	,783	,201	2,535	,011
N de casos válidos		10			

Correlaciones no paramétricas

Correlaciones

			DENSIDAD TAC GLOBAL (mg/cm ²)	TAC 1A	TAC 1B	TAC 2A	TAC 2B	TAC 3A	TAC 3B
Rho de Spearman	DMO Fc (g/cm ²)	Coefficiente de correlación	,364	,087	,460	,422	,269	-,105	-,064
		Sig. (bilateral)	,270	,800	,154	,196	,424	,759	,852
		N	11	11	11	11	11	11	11
	T-score Fc	Coefficiente de correlación	,284	-,037	,422	,331	,193	-,183	-,083
		Sig. (bilateral)	,397	,915	,196	,320	,570	,589	,809
		N	11	11	11	11	11	11	11
	Z-Score Fc	Coefficiente de correlación	,236	-,027	,345	,228	,300	-,009	,055
		Sig. (bilateral)	,484	,937	,298	,501	,370	,979	,873
		N	11	11	11	11	11	11	11
	DMO Ft	Coefficiente de correlación	,455	,518	,791	,838	,400	,127	-,100
		Sig. (bilateral)	,160	,102	,004	,001	,223	,709	,770
		N	11	11	11	11	11	11	11
	T-score Ft	Coefficiente de correlación	,464	,345	,755	,679	,300	,082	-,145
		Sig. (bilateral)	,151	,298	,007	,022	,370	,811	,670
		N	11	11	11	11	11	11	11

Z-Score Ft	Coefficiente de correlación	,294	,262	,598	,482	,340	,023	-,101
	Sig. (bilateral)	,380	,436	,052	,134	,306	,947	,767
	N	11	11	11	11	11	11	11
DMO CV	Coefficiente de correlación	,758	,818	,418	,450	,830	,697	,673
	Sig. (bilateral)	,011	,004	,229	,192	,003	,025	,033
	N	10	10	10	10	10	10	10
T-Score CV	Coefficiente de correlación	,766	,809	,444	,457	,809	,681	,663
	Sig. (bilateral)	,010	,005	,199	,184	,005	,030	,037
	N	10	10	10	10	10	10	10
Z-Score CV	Coefficiente de correlación	,815	,535	,347	,189	,869	,681	,760
	Sig. (bilateral)	,004	,111	,327	,601	,001	,030	,011
	N	10	10	10	10	10	10	10

Curva COR

Resumen del proceso de casos

Clasificación CV	N válido (según lista)
Positivo	7
Negativo	3
Perdido	1

Área bajo la curva

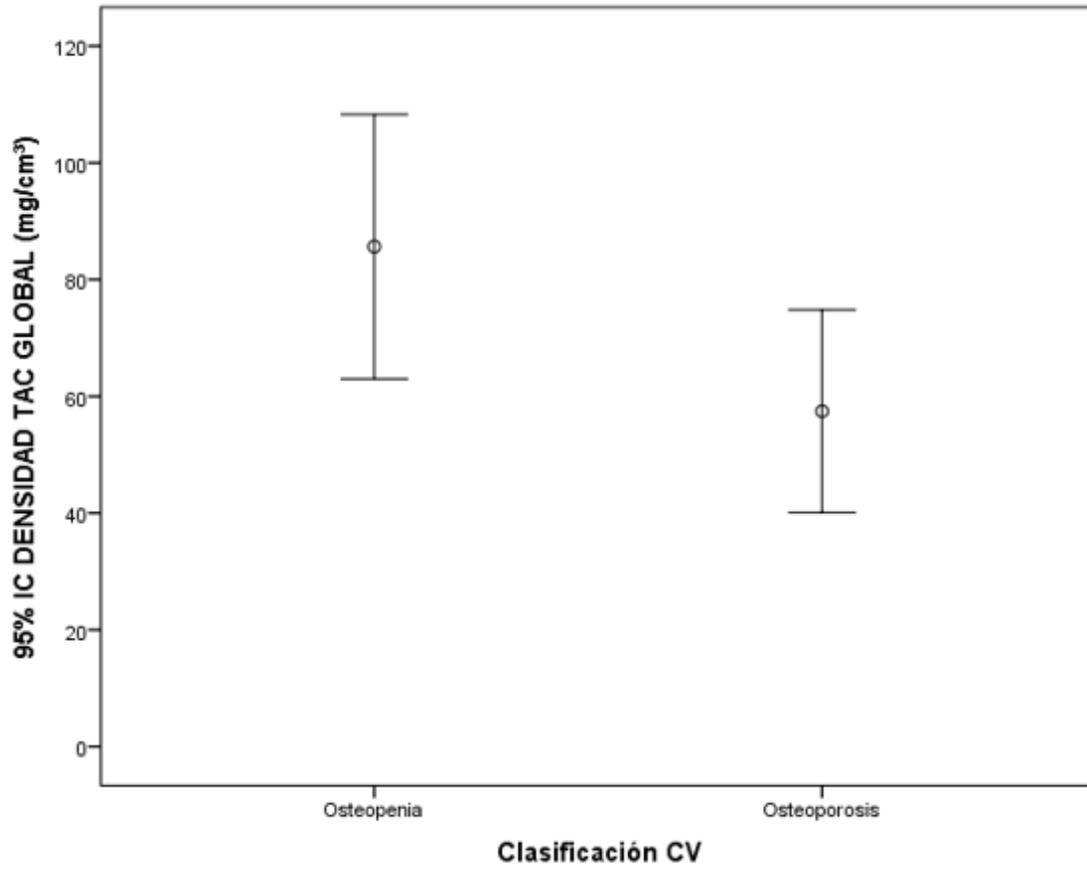
Variables resultado de contraste: DENSIDAD TAC GLOBAL (mg/cm³)

Área	Error típ.	Sig. asintótica	Intervalo de confianza asintótico al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
,905	,103	,053	,703	1,000

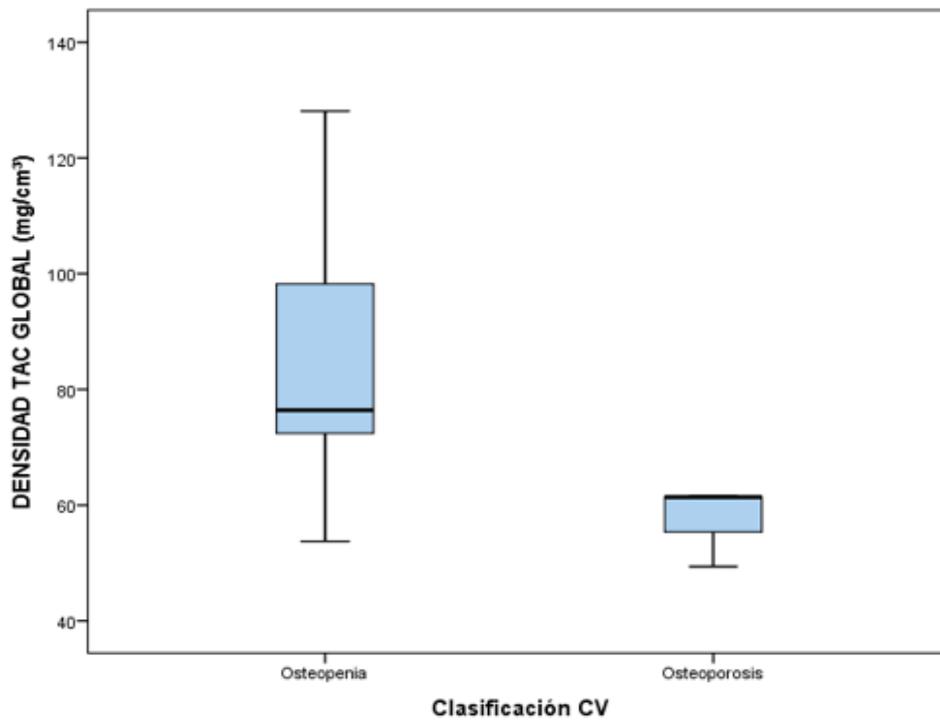
Coordenadas de la curva

Variables resultado de contraste: DENSIDAD TAC GLOBAL (mg/cm³)

Positivo si es mayor o igual que	Sensibilidad	1 - Especificidad
48,370000	1,000	1,000
51,565000	1,000	,667
57,575000	,857	,667
61,475000	,857	,333
65,535000	,857	0,000
72,410000	,714	0,000
75,860000	,571	0,000
86,155000	,429	0,000
98,250000	,286	0,000
114,350000	,143	0,000
129,100000	0,000	0,000



DENSIDAD TAC GLOBAL (mg/cm³)



Tablas de contingencia

Resumen del procesamiento de los casos

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Osteoporosis según TAC * Clasificación_CV	10	90,9%	1	9,1%	11	100,0%

Tabla de contingencia Osteoporosis según TAC * Clasificación_CV

			Clasificación_CV		Total
			Osteopenia	Osteoporosis	
Osteoporosis según TAC	Osteopenia	Recuento	6	0	6
		% del total	60,0%	0,0%	60,0%
	Osteoporosis	Recuento	1	3	4
		% del total	10,0%	30,0%	40,0%
Total		Recuento	7	3	10
		% del total	70,0%	30,0%	100,0%

Medidas simétricas

		Valor	Error típ. asint.	T aproximada	Sig. aproximada
Medida de acuerdo	Kappa	,783	,201	2,535	,011
N de casos válidos		10			

Pruebas no paramétricas

Prueba de Mann-Whitney

Estadísticos de contraste

	DENSIDAD TAC GLOBAL (mg/cm ²)
Sig. asintót. (bilateral)	,053

Prueba T

Estadísticos de grupo

Clasificación_CV	N	Media	Desviación típ.
DENSIDAD TAC GLOBAL (mg/cm ²) Osteopenia	7	85,655714	24,4960275
Osteoporosis	3	57,440000	6,9893419

Prueba de muestras independientes

	Prueba T para la igualdad de medias			
	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
			Inferior	Superior
DENSIDAD TAC GLOBAL (mg/cm ²)	,094	28,2157143	-5,9972646	62,4286932

Clasificación_CV

Resumen del procesamiento de los casos

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Clasificación_CV						
DENSIDAD TAC GLOBAL (mg/cm ²) Osteopenia	7	100,0%	0	0,0%	7	100,0%
Osteoporosis	3	100,0%	0	0,0%	3	100,0%

Descriptivos

Clasificación CV				Estadístico
DENSIDAD TAC GLOBAL (mg/cm ³)	Osteopenia	Media		85,655714
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	63,000667
			Límite superior	108,310761
		Media recortada al 5%		85,069683
		Mediana		76,410000
		Varianza		600,055
		Desv. típ.		24,4960275
		Mínimo		53,7600
		Máximo		128,1000
		Rango		74,3400
	Amplitud intercuartil		31,0900	
	Asimetría		,672	
	Curtosis		,339	
	Osteoporosis	Media		57,440000
		Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	40,077512
			Límite superior	74,802488
		Media recortada al 5%		
		Mediana		61,390000
		Varianza		48,851
Desv. típ.			6,9893419	
Mínimo			49,3700	
Máximo			61,5600	
Rango			12,1900	
Amplitud intercuartil				
Asimetría		-1,731		
Curtosis				

ANEXO II: CLASIFICACIÓN DE POTENCIA ESTADÍSTICA

Valoración del Índice Kappa	
Valor de k	Fuerza de la concordancia
< 0.20	Pobre
0.21 – 0.40	Débil
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Buena
0.81 – 1.00	Muy buena

Tabla de Medidas de concordancia: el índice Kappa. Disponible en:
<https://www.fisterra.com/mbe/investiga/kappa/kappa.asp> (24)