

La osteoporosis es un problema de salud en hombres y mujeres

En noviembre de 2005, investigadoras del Instituto Nacional de Rehabilitación hicieron contacto con la doctora Margarita Navarrete Montesinos del II UNAM con el propósito de estudiar conjuntamente la determinación del índice de calidad ósea en varones.

La osteoporosis es un problema de salud pública. Se estima que alrededor del mundo esta enfermedad afecta a una de cada tres mujeres y a uno de cada ocho hombres, de más de 50 años. Los estudios demográficos indican que la osteoporosis alcanzará proporciones epidémicas en los países en desarrollo en 2050. En México, de los 10 millones de mujeres mayores de 50 años que habitan el país, el 16 % la padece. La osteoporosis ha sido considerada como una enfermedad de mujeres, por los cambios hormonales después de la menopausia. Sin embargo, a partir de 1990 se ha determinado que los hombres también la padecen y su incidencia está incrementándose. Por tanto es ineludible realizar investigación básica cuyos resultados se apliquen a la clínica, para encontrar indicadores que ayuden a interpretar la *calidad ósea* en los varones mexicanos y correlacionarlos con parámetros como: la cantidad de masa ósea, macrocomponentes (estructura ósea), distribución de microcomponentes y el desgaste de los huesos.

La osteoporosis es una enfermedad del sistema esquelético que lo hace frágil y víctima de frecuentes fracturas debido a bajos niveles de masa ósea, y deterioro de su microarquitectura.

Esta investigación presenta los resultados de la *calidad ósea* evaluada mediante la medición de las propiedades mecánicas correlacionadas con la concentración de minerales: Ca^{2+} , P, Mg^{2+} , Zn^{+} , y Na^{+} y la densidad ósea. Las técnicas empleadas para la caracterización son: ultrasonido, microscopía electrónica y tomografía. Las muestras utilizadas en el estudio son de la vértebra lumbar tres, extraídas de cadáveres masculinos de entre 20 y 70 años de edad. Dichas muestras fueron cortadas y acondicionadas para el estudio. La fig 1 muestra las señales ultrasónicas típicas obtenidas de hueso trabecular y el arreglo experimental usado como una muestra típica.

La determinación del índice de la calidad ósea en varones se inició con la caracterización mecánica de las vertebrae lumbares de tres cadáveres. La idea era desarrollar los estudios para determinar el índice de la *calidad ósea* tomando en cuenta las propiedades del tejido óseo desde los aspectos: *estructural* (micro-macro componentes), de los *materiales* (minerales, colágeno, proteínas no colágenas y microfracturas), y de la *dinámica de la remodelación ósea* así como sus

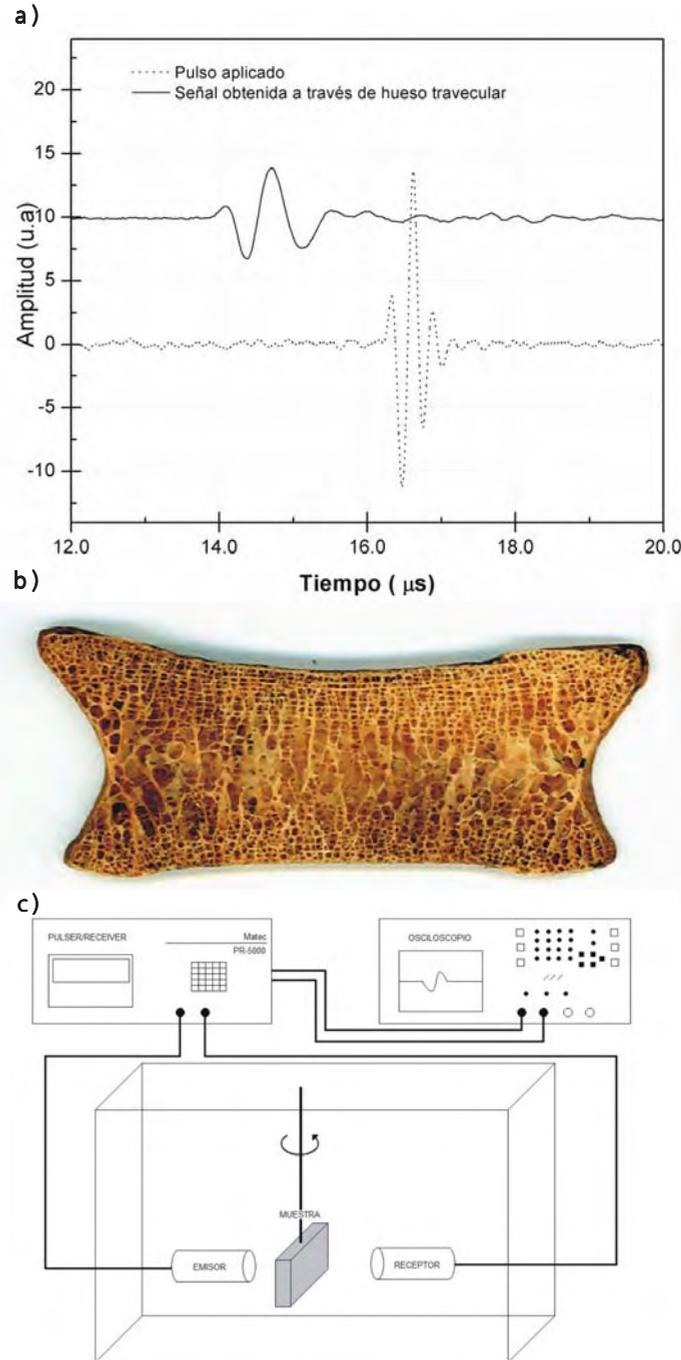


Fig 1. a) Señales ultrasónicas
b) muestra L3, hueso trabecular solo
c) arreglo experimental

interrelaciones; con la posibilidad de ser usado en el diagnóstico temprano de la osteoporosis. Para la caracterización de la estructura y material del tejido óseo se hace uso de las técnicas y equipos más avanzados disponibles en las dos instituciones participantes.

Los estudios realizados comprendieron la caracterización de las *propiedades del material óseo*: a) *minerales*, siguiendo la evolución y distribución espacial de las concentraciones de Ca^{2+} , P, Mg^{2+} , Zn^{+} y Na^{+} por microscopía electrónica de barrido ambiental equipado con espectrofotómetro de dispersión de rayos X, tomografía axial computarizada, espectrofotometría de absorción atómica; b) *colágeno*, especificando su porcentaje de entrecruzamiento usando espectroscopía infrarroja de transmisión (FTIR) y micro-Raman dispersivo y de absorción; c) *proteínas no colágenas*; especificando su porcentaje y composición en general micro-Raman dispersivo y de absorción. Los resultados de las tres caracterizaciones se correlacionarán con densitometría ósea estándar.

También se determinaron las *propiedades estructurales del material óseo*: a) *macro*: estudios morfológicos generales; peso, densidad, porcentaje de macro y micro-fracturas, porcentajes de hueso cortical y trabecular, relaciones de forma y tamaño y pruebas mecánicas estándar (pruebas de tensión, compresión y de corte con extensometría (medición de desplazamientos en función de la carga) en máquina Instron; b) *micro arquitectura*: propiedades mecánicas (módulo elástico, módulo de cortante y relación de Poisson) del hueso cortical y trabecular midiendo velocidades de sonido (longitudinal, transversal y de Rayleigh) por ultrasonido láser.

Para el análisis de resultados experimentales se desarrollarán correlaciones entre diferentes caracterizaciones y se confrontarán con los datos publicados. A partir de lo anterior se seleccionarán los indicadores que nos van a revelar mejor la calidad ósea. Se aplican métodos estadísticos, correlación simple y cruzada (en tiempo y frecuencia, usando programas desarrollados en Matlab y Matemática), así como modelos analíticos preestablecidos.

También se hace el desarrollo de modelos de hueso cortical y trabecular con elemento finito usando los datos de los parámetros morfológicos y las constantes elásticas encontradas en la caracterización mecánica.

Se aplicarán modelos analíticos y numéricos desarrollados anteriormente por el grupo de trabajo de la UNAM, en los cuales se considerará al tejido óseo como material compuesto. Estos modelos se basan en el método de homogeneización asintótica y están programados en Matlab. Se calculan las propiedades globales mecánicas del compuesto con los datos experimentales encontrados (porcentaje de hueso cortical, trabecular, colágeno, proteínas no colágenas, y sus propiedades mecánicas) y se confrontan con las propiedades obtenidas con las pruebas mecánicas estándar a la vértebra completa y los valores encontrados en la literatura.

Los resultados se presentan en las gráficas del proceso evolutivo de la vértebra L3 de varones de entre 20 y 70 años donde se observa la trayectoria: a) normal, b) osteopenia, c) osteoporosis, en función de las propiedades mecánicas correlacionándolas con la concentración de minerales y la densidad ósea obtenida por tomografía axial computarizada.

El proyecto no se ha terminado, pues falta apoyo por parte de algún patrocinador. En esta investigación colaboran por el II UNAM, la doctora Margarita Navarrete Montesinos y el estudiante José Rogelio Valdés Herrera (Fac de Ingeniería) y, por el INR, la doctora Hilda Villegas Castrejón y las maestras Lilia Solís Arrieta y Ma del Rosario Neri Basurto.

Tratamiento de efluentes para reúso en pequeñas granjas porcinas de México

En México la porcicultura es la tercera actividad pecuaria más importante, después de la de bovinos y aves de corral. Durante 2005 la producción total de carne de puerco fue de 1 100 000 ton, de las cuales sólo 3.5 % fue para exportación, y el consumo interno *per capita* fue de 15.3 kg (SAGARPA, 2007).

Aunque ésta es una actividad muy lucrativa, su contribución al producto interno bruto es solamente 0.3 %, y tiene un impacto negativo muy importante sobre el medio ambiente, especialmente en el agua. Las granjas porcinas requieren grandes cantidades de agua para su proceso de producción; las aguas residuales resultantes llevan elevadas concentraciones de materia orgánica, sólidos suspendidos y disueltos, turbiedad, color y microorganismos patógenos, por lo que deben desecharse de manera que no arriesguen la salud

humana o de los animales domésticos, ni contaminen los sitios de descarga final, como suelos, ríos, lagos y embalses. Alrededor de 38 % de las granjas porcinas, sobre todo las pequeñas, desechan sólidos y líquidos, sin ningún tratamiento, directamente en los cuerpos de agua y suelos, debido a las limitaciones económicas y de espacio para construir y operar sistemas convencionales de tratamiento para tales propósitos, como son lagunas de oxidación aerobias, anaerobias y facultativas, humedales artificiales, etc.

Por estas razones, se propuso una investigación para desarrollar un sistema de tratamiento de los desechos que fuera económico, no requiriera mucha área y fuera fácil de operar, haciendo factible el reciclado del agua dentro de las instalaciones de la granja. Así se ahorran volúmenes importantes de agua de primer uso, y se promueve el desarrollo sostenible reduciendo la contaminación de agua y suelos.

Las aguas residuales para la experimentación se recolectaron en el efluente de un tanque de sedimentación instalado en una granja porcina del municipio de Otumba, Edo Méx. La granja produce principalmente lechones y está diseñada para una población de 120 hembras. En ella se producen entre 37 y 40 m³ de agua residual por semana, cuyas características y composición media aparecen en la tabla 1.

La experimentación se realizó en un sistema de tres reactores (columnas) secuenciales de lecho fijo, empacados con tezontle previamente tamizado, con flujo descendente y recirculación (fig 1). Los reactores se inundaron con el agua sedimentada y permanecieron así por siete días, para permitir la formación de biomasa en el



Granja porcina. Área de maternidad



Área de destete . Lechones

material empacado. Posteriormente, los reactores se operaron bajo una carga hidráulica superficial (CHS) de 4 m³ m⁻² h⁻¹, con recirculación continua, durante diez días, tiempo en que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) alcanzó las condiciones cuasiestacionarias en el efluente. En este punto se consideró que la biomasa estaba estabilizada y se iniciaron las corridas experimentales, alimentando, por la parte superior del primer reactor, el agua residual sedimentada, usando subsecuentes CHS de 1, 3 y 5 m³ m⁻² h⁻¹, que corresponden a tiempos de retención hidráulicos de 0.1, 0.03 y 0.02 días y a cargas orgánicas superficiales de 28.1, 38.23 y 55.63 kg DBO₅ m⁻²d⁻¹, respectivamente.

El tiempo de operación de cada corrida se determinó cuando se observaron las condiciones cuasiestacionarias en las concentraciones de DBO₅ (fig 2) en el efluente del sistema. Al empezar la operación de cada corrida,

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN DEL AGUA RESIDUAL USADA EN LOS EXPERIMENTOS

Parámetro	Valor medio	Ámbito	Núm de muestras
pH	8.30	8.08 - 8.44	3
Turbiedad (UNT)	1,909.66	712 - 2,946	3
Color (Pt-Co)	5,127.33	3,120 - 7,392	3
DQOT (mg/L)	2,997.33	2,146 - 4,119	3
DBO ₅ (mg/L)	1,694.66	1,173 - 2,318	3
DBO ₅ / DQOT	0.564	0.546 - 0.584	3
ST (mg/L)	3,400	2,925 - 3,965	3
SVT (mg/L)	1,510	1,215 - 1,885	3
SFT (mg/L)	1,890	1,710 - 2,080	3
SST (mg/L)	975.20	245 - 2,125	3
SSV (mg/L)	629.66	155 - 1,367	3
SSF (mg/L)	345.63	90 - 758	3
SDV (mg/L)	880.43	518 - 1,063.30	3

realizaron mediante los Métodos Estandarizados (1995) y, cuando fue necesario, con un equipo HACH-DR/2010.

Los resultados obtenidos (tabla 2) muestran que los reactores de lecho fijo de flujo descendente, con recirculación (como los utilizados en este estudio) son una opción viable para reducir eficientemente ($\eta > 97\%$) el material orgánico suspendido y disuelto de las aguas residuales sedimentadas provenientes de granjas porcinas.

Este sistema de tratamiento tiene la capacidad de amortiguar las variaciones de la carga orgánica superficial en el influente ($28.15 - 55.63 \text{ kg DBO}_5 \text{ m}^{-2}\text{d}^{-1}$), sin disminuir la eficiencia del tratamiento. El efluente resultante tiene la calidad suficiente para permitir su reúso dentro de la

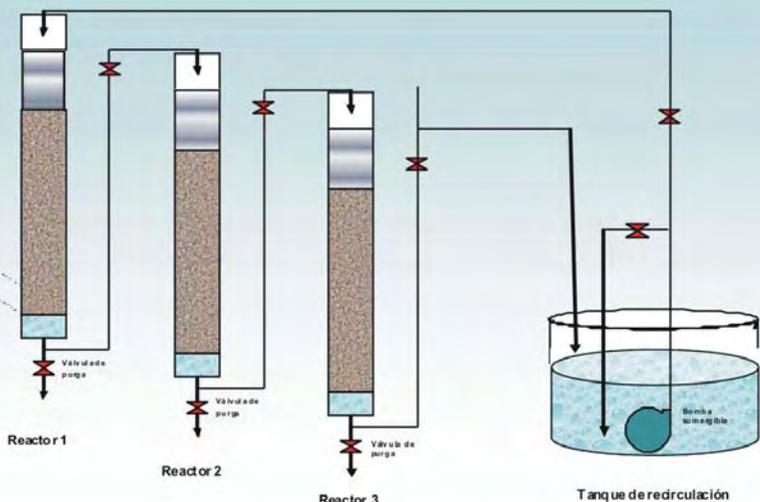


Fig 1. Reactores de lecho fijo con flujo descendente

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL TRATADA									
Parámetro	Carga hidráulica superficial, $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$								
	1			3			5		
	Inicial	Final	η (%)	Inicial	Final	η (%)	Inicial	Final	η (%)
pH	8.44	8.79	-	8.08	8.77	-	8.40	8.99	-
Turbiedad (UNT)	712	108	84.83	2071	67	96.76	2946	57	98.0
Color (Pt-Co)	3120	836	73.20	4870	764	84.31	7392	630	91.4
DQOT (mg/L)	2146	326	84.80	2727	343	87.42	4119	302	92.6
DBO_5 (mg/L)	1173	28	97.61	1593	43	97.30	2318	25	98.9
$\text{DBO}_5 / \text{DQOT}$	0.546	0.085	-	0.584	0.125	-	0.562	0.082	-
ST (mg/L)	2925	1568	46.39	3310	1936	41.51	3965	1957.6	50.6
SVT (mg/L)	1215	448	63.12	1430	516	63.91	1885	746.92	60.3
SFT (mg/L)	1710	1120	34.50	1880	1420	24.46	2080	1480.7	28.8
SST (mg/L)	245	14.19	94.20	555.6	13.57	97.55	2125	9	99.5
SSV (mg/L)	155	13.54	91.26	367	12.85	96.49	1367	7	99.4
SSF (mg/L)	90	0.64	99.28	188.9	0.71	99.62	758	2	99.7
SDT (mg/L)	2680	1553.8	42.02	2754.4	1922.4	30.20	1840	1948.6	-5.90
SDV (mg/L)	1060	434.46	59.01	1063.3	503.15	52.68	518	469.92	9.28
SDF (mg/L)	1620	1119.3	30.90	1691.1	1419.2	16.07	1322	1478.7	-11.8
$T_{operación}$ (d)	16			20			27		
η : Eficiencia de remoción									

granja, en la limpieza de los cerdos y las porquerizas, lavado de los patios, etc. Esto permite además la liberación de los correspondientes volúmenes de aguas de primer uso, lo que favorece el manejo sostenible y disminuye la consecuente contaminación de suelos y cuerpos de agua receptores durante su disposición final.

Con este estudio se establecen los elementos básicos para el diseño e instrumentación de sistemas de tratamiento en otras granjas con características similares a la estudiada.

El proyecto fue patrocinado por la UNAM, el responsable es el doctor Jorge de Victorica, investigador del II, y colaboran con él Matilde Galván (QFB), técnica académica, y Rodrigo Ayala, tesista de maestría. Agradecen al señor Cruz Bautista Muñoz, propietario de la granja, las facilidades prestadas.

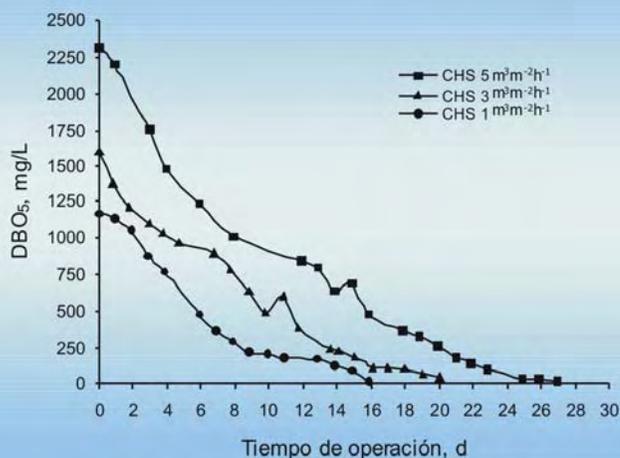


Fig 2. Comportamiento de la DBO_5 con respecto a la carga hidráulica superficial

se determinaron los siguientes parámetros del efluente: pH, turbiedad, color, DQOT, DBO_5 no filtrada, sólidos totales (ST), sólidos volátiles totales (SVT), sólidos fijos totales (SFT), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos suspendidos volátiles (SSV) y sólidos suspendidos fijos (SSF). Durante las corridas todos estos parámetros se determinaron únicamente en el efluente del sistema. Sin embargo, la temperatura (T) se determinó siempre en el influente y en el efluente. Todos los análisis se