



# **Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

Dirección General de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y  
Geográfica  
Unidad de Posgrado

## **“Efectos de la exposición crónica a campos magnéticos de niveles existentes en la ciudad de Lima sobre la salud reproductiva de ratones machos”**

### **TESIS**

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias  
Ambientales

### **AUTOR**

Víctor Manuel CRUZ ORNETTA

### **ASESOR**

Carlos Francisco CABRERA CARRANZA

Lima, Perú

2016

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue investigar los efectos de los campos magnéticos de niveles ambientales existentes en la ciudad de Lima sobre la salud reproductiva de ratones machos. En primer lugar se revisó la información sobre los niveles de los campos magnéticos (CM) de líneas de energía eléctrica medidos en el Perú y otros países así como los límites de exposición de la Comisión Internacional de Protección contra los Campos Electromagnéticos (ICNIRP) para poder definir los niveles a los cuales se expondría al material biológico.

La muestra biológica fueron 64 ratones machos (*Mus musculus*) de 10 semanas de edad, de la cepa Balb C, provenientes del Bioterio de la Universidad Cayetano Heredia y acondicionados en el Bioterio de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UNMSM con los cuales se conformaron ocho grupos experimentales de 8 ratones cada uno incluyendo dos grupos control, dos con exposición ficticia (sham), dos grupos expuestos a CM de 50  $\mu$ T y dos expuestos a 500  $\mu$ T, de los cuales un grupo de cada tipo fue sacrificado a los 35 días y otro fue sacrificado a los 70 días. Se evaluaron el peso de los testículos y epidídimos. El recuento espermático se realizó en una cámara de Neubauer (hemocitometro) y la movilidad espermática de acuerdo al método recomendado por la Organización Mundial de la Salud, mientras la fragmentación del ADN espermático fue evaluada por la técnica TUNEL. La evaluación de los embriones incluyó tanto el estadio del desarrollo como la degradación de la calidad embrionaria de acuerdo a los criterios de Vecck.

El sistema de exposición se basó en 04 bobinas de Helmholtz midiéndose el CM de cada bobina mediante el analizador de campos electromagnéticos Narda EFA 300 y el monitoreo durante la ejecución del estudio se realizó cada dos semanas utilizándose el mismo analizador.

Los resultados fueron evaluados usando el paquete estadístico SPSS 22 para Windows. Mediante las pruebas de Shapiro- Wilk y Leneve para la normalidad de los datos y las pruebas Anova y Kruskal Wallis (según los datos tuvieron distribución normal o no) para conocer si los grupos de cualquier variable tienen medias iguales o no.

Los resultados demuestran que en términos generales la exposición crónica a los CM con niveles existentes en lugares cercanos a las líneas de alta tensión en la ciudad de Lima no afectó el peso de los órganos reproductivos ni la fragmentación del ADN espermático pero sí afectó la concentración espermática y la movilidad espermática. En el caso de las generaciones futuras se encontró que en los grupos expuestos a los CM por un lado se incrementa el número de embriones retardados en su desarrollo y por otro lado dentro de los grupos expuestos se diferencian claramente individuos muy resistentes con más del 50 % de embriones fecundados buenos y otros pocos resistentes con menos del 50 % de embriones buenos.

En conclusión el estudio demostró que para los niveles de exposición crónica a CM evaluados sí hay afectación de la salud reproductiva de los ratones Balb C macho expuestos y de las generaciones futuras de los padres expuestos.

Palabras clave: Campo magnético, fertilidad masculina, redes de energía eléctrica, campos de energía eléctrica, concentración espermática, viabilidad espermática, movilidad espermática, calidad de embriones.

## ABSTRACT

The objective of this study was to investigate the reproductive health effects on male mice from magnetic fields whose levels were the same as environmental levels in Lima city. First of all, it was revised not only the data on magnetic fields MF levels from measurements carried out in Perú and abroad but also the limits of the International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP ) in order to define the exposure levels for the biological material.

The biological sample were 64 male Balb C mice ten weeks old (*Mus musculus*) from the animal breeding laboratory of the Universidad Cayetano Heredia which were prepared at the animal breeding laboratory of the Faculty of Biological Sciences of the UNMSM which were divided in eight groups of eight mice each group including two control groups, two sham groups, two group which were exposed to 50  $\mu$ T and two which were exposed to 500  $\mu$ T, one group of each type were sacrificed after 35 days and other were sacrificed after 70 days. There were assessed the weight of testis and epididymis. The spermatic count was carried out inside a Neubauer camera (hemocitometre), spermatic motility was measured according to the method recommended by the World Health Organization (WHO) and the DNA fragmentation was evaluated by the TUNEL technique. The embryo assessment included developmental phase and degradation of embryo quality according to Vecck's criteria.

The exposure system was based on 04 Helmholtz coils measuring the MF form each coil using an electromagnetic field analyzer Narda EFA 300 and the monitoring during the study was performed every two weeks with the same analyser.

The results were processed using the statistical software for Windows carrying out the Shapiro- Wilk and Leneve tests in order to know if the data is normally distributed or not and the Anova and Kruskal Wallis tests (whether the data were normally distributed or not) to know if the exposure group for any variable have the same mean or not.

In general the results showed that chronic exposure to MF with the same levels of the ones existing near high power lines in Lima city didn't affect reproductive organ weights but affected the sperm count, sperm motility and sperm DNA. With regard next generations health it was found that in the groups exposed to MF on the one hand it was increased the number of embryos with delayed development and on the other hand within the exposed groups they were clearly observed very resilient individuals with more than 50 % of good quality embryos and less resilient individuals with less than 50 % of good embryos.

In conclusion the study showed for chronic exposure to MF at evaluated levels there was effects on reproductive health of exposed male Balb C mice and for next generation from exposed fathers.

Key words: Magnetic field, male fertility, power energy networks, power energy fields, sperm concentration, sperm viability, sperm motility, embryo quality