

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
DIRECCIÓN DE POSTGRADO**



**“EFECTOS DEL CALOR Y RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA SOBRE
ALGUNOS PARÁMETROS DEL SEMEN EN USUARIOS DE NOTEBOOK”**



TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN SALUD REPRODUCTIVA

AUTOR: LEONARDO FLORES GARCÉS
PROFESOR GUÍA: HERIBERTO ARANEDA C.

2011



Agradecimientos

Deseo dar las gracias a todos aquellos que colaboraron de una u otra forma al desarrollo de este proyecto, a los voluntarios que su espíritu científico participaron desinteresadamente, a mi profesor guía Heriberto Araneda por enseñarme que “el elefante se come por partes”, a Rodrigo Fuentes por su asesoría en Física, a la profesora Angélica Avendaño por facilitarnos las instalaciones de la Unidad de Telemedicina, a mi familia y muy especialmente a mi mujer Luisa Rivas por su apoyo estadístico y su amor infinito.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Páginas
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
MARCO TEÓRICO	4
• Fisiología del proceso espermático	4
• Computadoras personales	6
• Transferencia de calor	8
• Conectividad inalámbrica	9
• Asociación de hipertermia con infertilidad	12
HIPÓTESIS	20
OBJETIVOS	21
MATERIAL Y MÉTODO	22
• Determinación del tamaño muestral	22
• Criterios de inclusión de los participantes	23
• Criterios de exclusión de los participantes	23
• Diseño experimental	24
• Sub-experimento de temperatura escrotal	25
• Fases del experimento	26
• Materiales	27
RESULTADOS	28
DISCUSIÓN	45
CONCLUSIONES Y PROYECCIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	51
ANEXOS	60



• Consentimiento informado	61
• Cuestionario básico de antecedentes clínicos	63
• Información al postulante	64
• Procedimientos utilizados en la investigación	65
• Información básica sobre el proyecto entregado a los participantes	66
• Hoja de registro diario	68
• Datos y parámetros analizados en un espermograma	69
• Acta de aprobación del Comité ético	76



ÍNDICE DE TABLAS, GRÁFICOS E ILUSTRACIONES

	Página
Ilustración N°1: Evolución del proceso espermático alterado por fiebre	17
Ilustración N° 2: Posición de uso del computador portátil.	26
Ilustración N° 3: Esquema de los participantes que finalmente completaron el estudio	28
Tabla N°1: Descripción de los participantes que terminaron el estudio	29
Tabla N° 2: Marcas y procesadores más frecuentes de computadores portátiles evaluados y sus respectivos rangos de temperaturas	30
Tabla N° 3: Temperatura escrotal versus temperatura del procesador	31
Gráfico N° 1: Experimento de temperatura escrotal vs temperatura del procesador	32
Gráfico N° 2: Experimento de temperatura escrotal	33
Tabla N° 4: Resumen de todos los parámetros del espermiograma evaluados	34
Gráfico N° 3. Comparación de la concentración espermática antes y después de la exposición	35
Gráfico N° 4. Comparación del recuento total de espermatozoides antes y después de la exposición.	36
Gráfico N° 5. Comparación del porcentaje de movilidad de los espermatozoides antes y después de la exposición.	37
Gráfico N° 6. Comparación del porcentaje de espermios inmóviles antes y después de la exposición.	38
Gráfico N° 7. Comparación del parámetro de movilidad rápida y progresiva antes y después de la exposición.	39
Gráfico N° 8. Comparación del parámetro de movilidad 0 ó espermatozoides inmóviles antes y después de la exposición.	40
Gráfico N° 9. Comparación del porcentaje de morfología espermática	41

con rangos normales antes y después de la exposición.

Gráfico N° 10. Comparación de la cantidad de formas inmaduras de espermatozoides por mililitro en la muestra antes y después de la exposición. **42**

Gráfico N° 11. Comparación de la cantidad de glóbulos blancos por ml en la muestra de semen antes y después de la exposición. **43**

Gráfico N° 12. Comparación del porcentaje de participantes con aglutinación inespecífica en la muestra de semen antes y después de la exposición. **44**



Resumen

La utilización de nuevas tecnologías debe efectuarse de forma segura. En la actualidad se han masificado los dispositivos con tecnologías inalámbricas como lo es el computador portátil, el cual disipa calor y radiación electromagnética (Wi-Fi). El problema radica en que es habitual colocarlo sobre las piernas para trabajar o entretenerse, pero a diferencia de lo que sucede con el teléfono celular, en donde la utilización es durante un par de minutos, el tiempo de uso del notebook generalmente es de horas, y debido a la proximidad con el testículo, éste podría experimentar cambios que no se comprenden completamente si se mantienen estas condiciones de uso.

Objetivo: Analizar el efecto del calor y la radiación electromagnética (Wi-Fi) absorbido por la gónada sobre algunos parámetros del líquido seminal en usuarios expuestos al uso del computador portátil sobre las piernas.

Material y Método: Estudio prospectivo experimental, que incluyó veinte voluntarios los cuales fueron expuestos durante al menos 60 minutos continuados diarios por un periodo de 20 días seguidos usando el computador sobre las piernas. Antes, durante y después del experimento se analizó las características del semen mediante un estudio de líquido seminal, para contrastar los efectos de la temperatura y radiación electromagnética sobre el líquido seminal y posteriormente determinar el retorno a la normalidad de los parámetros alterados. El comité de ética de la Facultad de Medicina aprobó el estudio previo consentimiento informado y chequeo post experimento para evaluar los límites de normalidad en cada muestra.

Para el análisis estadístico se utilizó el test t de Student para muestras pareadas con el Software INFOSTAT.

Resultados: Del total de veinte voluntarios que participaron y terminaron el experimento, el 100% presentó alguna o varias modificaciones en los parámetros establecidos del espermograma. Se observó alteraciones en la

concentración espermática (84,1 vs 70,1 millones/ml), la movilidad total (82,5% vs 64%) , el porcentaje total de inmóviles (13,3 vs 34%), la morfología normal (82,3% vs 68,3%), las formas inmaduras (150.000 vs 290.000), los leucocitos (235.000 vs 840.000) y la aglutinación inespecífica (0% vs 65%); todos con diferencias significativas.

Conclusión: El uso del computador portátil sobre las piernas, altera algunos parámetros que incluye el estudio de líquido seminal, posiblemente debido al aumento de la temperatura gonadal por la exposición al calor y a la radiación Wi-Fi.



Introducción

En la actualidad es innegable el aumento de las tecnologías de la información mediante el uso de celulares y computadores portátiles con conectividad inalámbrica. En todo el mundo hay preocupación por los posibles efectos deletéreos sobre la salud humana en los usuarios de estos dispositivos. Un número creciente de publicaciones han centrado su interés en estudiar el efecto de la temperatura y radiación electromagnética sobre la gónada masculina, sin desconocer que algunos factores ambientales tales como: el alcohol, el tabaco, drogas, compuestos orgánicos fosforados y organoclorados, así como también algunos metales pesados, alteran la espermatogénesis. Recientemente se plantea que la transferencia de calor y el efecto de la radiación electromagnética (Wi-Fi) generada por estos equipos pudieran repercutir negativamente sobre los gametos. Es en este punto en donde nos detendremos, puesto que es habitual trabajar con el computador portátil sobre las piernas; pero a diferencia de lo que sucede con el teléfono celular, en donde la utilización es durante un par de minutos, el tiempo de uso del notebook generalmente es de horas. En este estudio nos planteamos como objetivo evaluar el efecto del calor y la radiación electromagnética emitida por el notebook y su efecto sobre los parámetros del estudio del líquido seminal.

Marco Teórico

La reproducción humana es compleja y poco eficiente comparada con otros mamíferos, además de la activa participación del sistema límbico, se describe también el importante rol de factores ambientales. En el mundo la infertilidad se estima entre un 15 a un 20% en parejas en edad fértil con libre demanda sexual; en Chile la infertilidad afecta a aproximadamente un 15% de éstas parejas (2). Cifras similares se reportan en Estados Unidos (10-15%) e Inglaterra (10%) (3,4).

La etiología de la infertilidad es muy variada, encontrándose más de una causa en un número considerable de parejas (10% a 30%) y abarcando un amplio rango de factores tanto físicos como emocionales (5, 6). No obstante, este trabajo apunta a estudiar una de las posibles causas actuales de subfertilidad masculina.



Fisiología del proceso espermático

Cada testículo dentro del escroto produce millones de espermatozoides que son expulsados en el semen. La espermatogénesis depende de la interacción de gonadotrofinas, testosterona, genes del cromosoma Y, factores autocrinos y paracrinos intratesticulares, lo que origina espermatozoides en cantidad y calidad normal, que deben encontrar una vía excretoria permeable y un medio seminal adecuado producido por las glándulas anexas (10, 11).

El esperma es un líquido que contiene en suspensión los espermatozoides los cuales se producen en el testículo en dos etapas que duran aproximadamente unos 60 a 90 días en total; y según los diferentes autores, se la puede dividir en dos etapas: la espermatogénesis, que es la producción de las espermatidas a partir de las células madre y la

espermiogénesis, que consiste en una modificación morfológica de la espermátida en espermatozoide, con formación particularmente del acrosoma y del flagelo. En los testículos, los espermatozoides son inmóviles o móviles *in situ* y no fecundantes. Estos son evacuados hacia el epidídimo por los conductos espermáticos intratesticulares (túbulos rectos, *rete testis*) y en el epidídimo se produce al mismo tiempo la reabsorción y la secreción epididimaria. Sólo aquí los espermatozoides adquieren gran parte de su movilidad progresiva y su capacidad fecundante. Como la secreción de los espermatozoides entre dos eyaculaciones es continua, son almacenados en la cola del epidídimo. En el momento de la eyaculación, el líquido del epidídimo que contiene los espermatozoides es expulsado por el conducto deferente que acaba en la ampolla deferente, después pasa por los conductos eyaculadores hasta la uretra prostática. A esta altura se añade la secreción prostática. Luego, en un segundo tiempo, al contraerse las vesículas seminales, se descarga su secreción en los conductos eyaculadores. En total, el volumen de esperma representa el 5% de la secreción epididimaria, el 30% es de secreción prostática y el 65% la secreción de las vesículas seminales (7, 8, 9, 22).

Para hacer posible la comparación de las distintas series en el mundo, la Asociación Internacional de Andrología y el Grupo de Expertos de la Organización Mundial de la Salud han recomendado utilizar una clasificación descriptiva para realizar las mediciones en un espermiograma con el objetivo de crear uniformidad y evitar confusiones en los informes finales; tales parámetros son presentados detalladamente en el ANEXO 7.

Computadoras personales

Durante los últimos años, tanto en Chile como en el mundo han experimentado un importante incremento en la adquisición y uso de las nuevas tecnologías digitales como lo es el **computador** (PC). Este aumento ha sido impulsado por las enormes ventajas y comodidades que posee en cuanto a la capacidad de ejercer una infinidad de tareas y como medio de comunicación con el resto del mundo. Es por esto que a medida que ha avanzado la tecnología, cada vez se ha hecho más imprescindible su uso llegando a ser una herramienta cotidiana de nuestras vidas y por lo mismo la necesidad de poder desplazarse con él ha generado la creciente demanda al mercado de disminuir su tamaño para poder así hacerlo lo más móvil posible, dando como resultado la introducción en la sociedad del **computador portátil** o también llamado **notebook** ó **laptop**. Éste ha tenido una importante masificación tanto que actualmente se encuentran reemplazando a los ya considerados “clásicos” computadores de escritorio o **desktops**, puesto que su gran ventaja reside justamente en la movilidad que ellos nos permiten y el poder realizar las mismas tareas que cualquier otra computadora de escritorio.

Es tal la magnitud de esta expansión digital que se calcula que durante el primer semestre del año 2008 se vendieron 12,8 millones de PC en América Latina. De este total, el 70% corresponden a desktops (8,9 millones de unidades) y el 30% a laptops (3,8 millones de unidades), registrando un crecimiento total del 25% al compararlo con el mismo período del año anterior. Según George Shiffler, director de investigación de Gartner, indicó que "el uso de la computadora personal en países en vías de desarrollo está siendo impulsado por la expansión de la banda ancha y la conectividad inalámbrica, por la caída del precio medio de venta de hardware, y por la comprensión que el PC es una herramienta fundamental

para el desarrollo". (75) Así, el número de computadoras personales en uso se elevaría a 1.000 millones en todo el planeta, según esta firma consultora.

En Chile, la masificación de notebooks de acuerdo al último estudio PC Tracker de IDC sería del 55%. Asimismo, las ventas de este artículo corresponden al 35% del volumen total del comercio de computadores en América Latina y podría llegar al 63% al año 2012 (13).

Otro artículo señala que se está efectuando la distribución masiva de computadoras gratuitas a los alumnos de varios países de América latina, la cual empezó experimentalmente hace casi tres años en Uruguay y se ha disparado en toda la región. Así, por ejemplo, en Perú se firmó un acuerdo para recibir otras 260.000 laptops del programa *Una Computadora por Niño*, del Instituto Tecnológico de Massachusetts. Este nuevo pedido elevará a 590.000 el número de laptops entregadas por el gobierno peruano a los alumnos de las escuelas primarias. Igualmente, el gobierno argentino entregó las primeras computadoras de una orden de 250.000 laptops, que serán destinadas a estudiantes de escuelas secundarias técnicas, mientras que Brasil a su vez, está por cerrar una licitación para la compra de 1,5 millones de laptops para alumnos de las escuelas primarias. Uruguay, de esta manera, se convirtió recientemente en el primer país del mundo que ha entregado a todos los niños de la escuela primaria pública un notebook con Internet inalámbrica. Asimismo, según las proyecciones del Banco Interamericano de Desarrollo, el número de escolares cubiertos por programas de *Una Computadora por Niño* en la región aumentará de 1,5 millones que existen actualmente a 30 millones en el 2015 (76).

Transferencia de calor

Es conocido que las computadoras de escritorio poseen diversos sistemas de disipación de calor debido al calentamiento de sus partes pero en general son los ventiladores que posee la Unidad de Procesamiento Central (CPU) los que las mantienen funcionando a la temperatura correcta. El funcionamiento de ciertas piezas del computador portátil, en particular, el procesador y también el disco duro, generan aumento de la temperatura, lo cual puede convertirse en una preocupación.

Una computadora portátil como todo producto electrónico se diseña para funcionar de forma óptima a cierta temperatura. Debido a la reducción del tamaño de éstas, normalmente poseen un sólo ventilador en funcionamiento, lo cual las convierte en fuentes constantes de emisión de calor. En términos generales, podemos decir que la temperatura normal de funcionamiento de un procesador oscila entre los 40° y los 60°C, pudiendo llegar esta temperatura durante periodos cortos de tiempo a los 80°C en el caso de procesadores de muy alto rendimiento, cuando se les exige toda su potencia (14). El recalentamiento del procesador puede convertirse en un peligro real y creciente cuando está funcionando además con la pantalla baja, ya que esto puede impedir una correcta disipación térmica. Los fabricantes recomiendan usar el notebook en superficies sólidas, planas y ventiladas. Aunque por supuesto, siempre podemos recurrir a instalar un disipador con un mayor poder de refrigeración en nuestro equipo. Esto es sobre todo recomendable si lo sometemos a trabajar cerca del límite de su tolerancia por periodos prolongados como es el caso de las personas que lo utilizan por ejemplo para videojuegos y descargar grandes archivos.

En física, la transferencia de calor es un proceso por el que se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. El calor se transfiere mediante convección, radiación o conducción. Aunque

estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos. Es así que, la conducción es la transferencia de calor a través de un objeto sólido, por ejemplo, es lo que hace que el asa de una varilla se caliente aunque sólo la punta esté en el fuego. La convección transfiere calor por el intercambio de moléculas frías y calientes: es la causa de que el agua de una tetera se caliente uniformemente aunque sólo su parte inferior esté en contacto con la llama. La radiación es la transferencia de calor por radiación electromagnética (generalmente infrarroja): el cual es el principal mecanismo por el que un fuego calienta la habitación. Por ejemplo, el calor se transmite a través de la pared de una casa fundamentalmente por conducción, el agua de una cafetera situada sobre un quemador de gas se calienta en gran medida por convección, y la Tierra recibe calor del Sol casi exclusivamente por radiación (15).

En el caso de los computadores portátiles, la transmisión del calor se efectuaría por dos vías: por conducción, al ser el notebook un objeto caliente que transmite su energía al usuario que lo sostiene y por radiación, al poseer esta emisión de energía en la banda infrarroja del espectro electromagnético.

Conectividad inalámbrica

Además del aporte de calor directo por el funcionamiento del computador, los usuarios también utilizan el servicio de Internet a través de la conectividad inalámbrica, llamado comúnmente *Wi-Fi*, el que en términos sencillos es un tipo específico de radiación electromagnética de alta frecuencia (2.4 Giga Hertz o más) que mantiene conectadas entre sí las señales inalámbricas de áreas locales, es decir, es energía en ondas de radio emitida entre dispositivos electrónicos inalámbricos que permite la transmisión de datos entre ellos a cortas distancias (máximo 100 metros).

Por lo que existirían dos formas en la que estaría involucrada esta radiación: una térmica y otra no térmica.

En cuanto a la primera, en física a medida que se incrementa la frecuencia, decrece la profundidad de penetración en el cuerpo de esta radiación y la absorción de energía se vuelve más superficial (efecto *skin*, que literalmente puede sentirse por el calentamiento que produce sobre la piel). Los campos de radio frecuencias (RF) de más de 10 GHz son absorbidos por la superficie de la piel (el Wi-Fi funciona en general a 2,4 Ghz), y es muy poca la energía que llega hasta los tejidos internos. Los campos de 1 Mhz a 10 Ghz penetran los tejidos y producen calentamiento debido a la absorción de energía realizada (16).

La radiación de RF y específicamente de microondas puede causar efectos por inducción de corrientes en el tejido e incrementar el movimiento molecular, los cuales provocan calentamiento. Los efectos biológicos que resultan del calentamiento del tejido por energía RF se conocen por **efectos térmicos**. El calentamiento se produce a causa de la conducción iónica y de la vibración de las moléculas bipolares del agua y las proteínas. La potencia absorbida por los tejidos producirá una elevación de la temperatura que depende de los mecanismos de refrigeración del tejido. Se sabe que la exposición a altos niveles de radiación RF pueden ser perjudiciales, dada la habilidad de la energía RF para calentar rápidamente los tejidos (al igual que en un horno microondas). El deterioro del tejido humano ocurrirá durante la exposición a altos niveles de radiación RF debido a la incapacidad del cuerpo para cubrir o disipar el excesivo calor generado. La magnitud de este calentamiento dependería de varios factores, incluyendo la frecuencia de la radiación, tamaño, forma y orientación del objeto expuesto; duración de la exposición, condiciones ambientales, eficiencia de disipación del calor del tejido y de las propiedades dieléctricas del mismo (17,18). De este modo, uno de los principales órganos afectados por esta radiación y efecto de calentamiento externo en este caso son los testículos, órgano blanco de este

estudio, debido a su proximidad con el dispositivo inalámbrico y productor de las células espermáticas (18).

En cuanto a los **efectos no térmicos**, se han realizado diversos estudios en cuanto a la radiación proveniente desde teléfonos móviles más que desde el Wi-Fi mismo. En estudios de celulares, se han reportado efectos en el conteo y morfología espermática, aparte de algunas estructuras celulares en testículos de ratas expuestas aunque las escalas de tamaños entre organismos no sean similares (70).

Las ondas electromagnéticas podrían posiblemente afectar la función reproductora a través de tres mecanismos: 1) un efecto específico de ondas electromagnéticas, 2) un efecto térmico molecular o 3) un efecto combinado de estos (71). Wang et al. (72) sugiere en sus estudios con ratones que las células de Leydig serían susceptibles a las injurias por ondas electromagnéticas y estas generarían efectos en la espermatogénesis. Estas ondas además podrían causar modificaciones en los niveles de melatonina y antioxidantes pudiendo predisponer a las células espermáticas al estrés oxidativo, puesto que se ha observado una correlación negativa entre la motilidad espermática y el daño a la cromatina espermática (73). Además otro estudio con ondas electromagnéticas ha demostrado el efecto en la motilidad por daño en el ADN (74).

En el caso de la radiación Wi-Fi, el efecto a nivel celular es probablemente debido al bloqueo irregular de los canales iónicos de las membranas celulares, causada posiblemente por los microcampos magnéticos, lo que lleva a la interrupción de la electroquímica de las células y sus funciones. Esto se refiere a que lo importante no es la potencia misma de la señal del Wi-Fi, puesto que es de baja intensidad, sino que es la modulación de la señal, que es la forma en que la intensidad de ésta sube y baja al recibir y enviar datos desde su antena interna y es esto lo que potencialmente perturba a las membranas celulares y causas algunos de los efectos nombrados. En el caso de las células espermáticas el problema es

aún más crítico, ya que éstas son haploides, lo que significa que sólo tienen un conjunto de genes y ante una injuria la célula, ésta no sería capaz de reparar la doble hebra de ADN si se rompe (69).

Asociación de hipertermia con infertilidad masculina

En los últimos 50 años y sobre todo en los países occidentales la infertilidad masculina ha ido en aumento. De eso, ya no hay dudas, estudios efectuados por organismos internacionales de salud, indican que en 1940 los varones eran capaces de producir, en promedio, 113 millones de espermios por milímetro, cifra que ha caído estrepitosamente a 66 millones hacia 1990 (19, 20).

Entre los distintos factores causales de infertilidad masculina, existen algunos en los cuales hay pleno acuerdo como por ejemplo: el síndrome de Klinefelter, el síndrome de Noonan y la fibrosis quística, pero en otros existe una gran discusión e incertidumbre sobre sus causas (22).

En la actualidad estudios han mostrado una clara declinación en la calidad del semen humano y un riesgo incrementado de subfertilidad masculina (31,33,35). Se ha planteado como posible causa de este fenómeno, la potencial acción nociva que parecen tener algunos factores ambientales sobre los órganos reproductores como: el tabaco, el alcohol, el uso de pesticidas, las radiaciones ionizantes y la temperatura elevada (21, 25).

En cuanto a los estudios sobre el efecto del calor, en los humanos, como en la mayoría de los mamíferos, la función testicular depende de la temperatura. Los testículos requieren de una temperatura entre 2 y 4° C menor que la corporal para su normal funcionamiento. La primera vez que se reportó que existe tal diferencia de temperatura fue en 1945 por Badenoch y subsecuentemente fue confirmado por varios otros autores (Harrison y

Weiner, 1949; Kitayama, 1965; Mieusset y Bujan, 1995). En resumen, la temperatura testicular es regulada a través de dos mecanismos; el escroto, el cual es el responsable del primer nivel de regulación: no posee tejido graso subcutáneo, y el área de la superficie total de esta piel cambia con la temperatura, con lo que puede disipar el calor al exterior si es apropiado. El segundo sistema de regulación está localizado en los cordones espermáticos, donde se encuentra una contracorriente entre el calor ingresado por la sangre arterial y la sangre venosa saliente, aquí existe un cambio de temperatura debido a la pérdida de calor que se escapa a través de la piel del escroto. Es así que la sangre ingresada es pre-enfriada antes de entrar al testículo (23, 36).

El análisis de los pacientes con criptorquidia, y aquellos con varicocele sugieren, que el calentamiento de la bolsa escrotal puede ser perjudicial para la producción de esperma, en parte por los efectos sobre la población de células madre, y en parte por los efectos en etapas posteriores de la espermatogénesis y la maduración de los espermatozoides. (24)

En un estudio en Egipto se compararon 40 hombres fértiles (con un promedio de 2,5 hijos) con 90 hombres de la misma fábrica pero expuestos al calor, lo cual demostró que la exposición continua a altas temperaturas durante un promedio de 8 a 10 años, generaba trastornos de la producción espermática como teratoespermia y azoespermia (31). Por lo que se puede plantear que la exposición ocupacional a altas temperaturas es factor de riesgo de infertilidad masculina, que afecta a la morfología y resulta en incapacidad en el tiempo para obtener embarazos (21-30).

Una alta temperatura del escroto es un hallazgo frecuente en pacientes infértiles y los estudios experimentales indican que los tipos específicos de exposición al calor reducen la calidad del semen. Cada día más hombres tienen una posición de trabajo sedentario, lo que aumenta la temperatura escrotal. Muestras de semen y sangre fueron tomadas a 99 hombres sanos que fueron analizados en relación con la temperatura de la

piel escrotal obtenidos durante 24 horas de seguimiento continuo. Hallándose una correlación negativa entre la temperatura escrotal alta y la producción de espermatozoides. La concentración de espermatozoides disminuyó en un 40% por cada 1°C de aumento de la temperatura media del escroto durante el día (26).

Según la OMS en un hombre normal, la temperatura escrotal no debiese superar los 33 grados. El aumento de la temperatura corporal por sobre los 38,5 °C puede suprimir la espermatogénesis. Numerosos factores externos (por ejemplo, postura, ropa, estilo de vida y estación del año) pueden afectar la diferencia de temperatura entre el cuerpo y el escroto. Estudios experimentales en animales y humanos han demostrado ya desde muchos años atrás, el rol que juega la exposición al calor exógeno en la fertilidad masculina (MacLeod y Hotchkiss, 1941; Watanabe, 1959; Waites, 1973; Zorogniotti *et al.*, 1982; Jegou *et al.*, 1983; Byers and Glover, 1984; Oldereid *et al.*, 1992; Rojansky *et al.*, 1992; Mieusset and Bujan, 1995; Parazzini *et al.*, 1995). De hecho, también estudios epidemiológicos han indicado los posibles efectos de variados tipos de exposición ocupacional en la fertilidad masculina (23).

Los testículos cuando son expuestos a altas temperaturas en forma periódica, evidencian una disminución del recuento y de la motilidad de los espermatozoides. Aunque las investigaciones aún están tratando de comprender todas las formas en que el calor afecta la producción espermatogénica, algunos de los efectos conocidos a nivel celular, realizados mayoritariamente en ratones son:

- En el núcleo de desarrollo espermático, la exposición al calor resulta en una lenta construcción del ADN (49) y la mitosis se detiene debido al calor en las células (50).
- En experimentos en ratas machos expuestas al calor se observa una reducción del 60% en la producción de inhibina. Esta hormona forma un bucle de retroalimentación negativa con la FSH, por lo que los

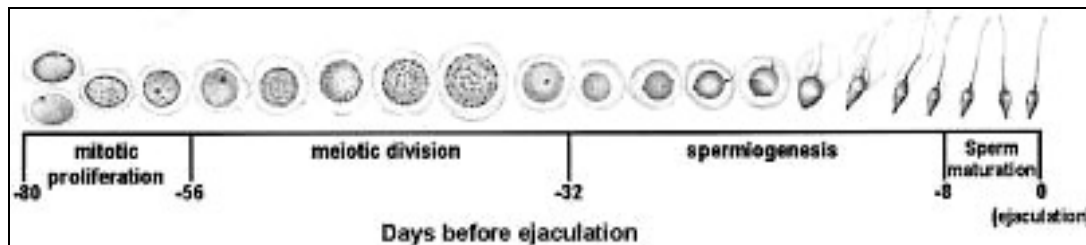
bajos niveles de la inhibina crean un aumento en los niveles de FSH, éstos a su vez activan a las células de los testículos para protegerse a sí mismos mediante la eliminación de receptores de FSH en la superficie celular (49).

- Algunas etapas del desarrollo de espermatozoides (espermatoцитos paquiténicos y espermatidas jóvenes) son particularmente susceptibles al daño por calor. Estas vías de desarrollo espermático utilizan distintas formas para la autoeliminación, algunas son similares a los mecanismos utilizados por otras células en el cuerpo, pero otras parecen ser únicas. Una de estas vías incluye que las proteínas de choque térmico no son inducidas en las células germinales masculinas en respuesta al estrés térmico, aunque sí el factor de transcripción de choque térmico 1 (**HSF1**) es activado. Utilizando ratones HSF1 nulos, se demostró que la apoptosis de espermatoцитos paquiténicos fue marcadamente inhibida en los testículos con una sola exposición al calor y también en los casos de criptorquidia, lo que indica que HSF1 promueve la muerte celular por apoptosis de espermatoцитos paquiténicos expuestos a estrés térmico. Por el contrario, HSF1 también actúa como un factor de supervivencia celular en las células germinales más inmaduras, probablemente incluyendo a las espermatogonias, en los testículos expuestos a las altas temperaturas. Estos resultados demuestran que HSF1 posee dos papeles opuestos en las células germinales masculinas, los cuales serían independientes de la activación o no de los genes de shock térmico (52). Los investigadores todavía están tratando de entender cómo las células germinales fijan sus niveles de estrés térmico más bajo que el resto de las células del cuerpo.
- Además estas células sufren muerte celular programada a tan solo 6 horas después de la exposición al calor. En estudios utilizando ratones con un gen defectuoso que impide que cierta vía de activación

apoptósica (FasL) dependiente del calor se active, se ha demostrado que la apoptosis de células germinales inducida por calor no está totalmente bloqueada, lo que prueba que existen otras vías específicas de señalización que pueden ser utilizadas para la apoptosis inducida por calor en los testículos. En resumen, estos resultados demuestran que las mitocondrias y posiblemente también el retículo endoplasmático, estarían también involucrados en las rutas de apoptosis inducida por calor en la muerte de células germinales en el testículo (53).

Un estudio realizado en Dinamarca evaluó los efectos en la espermatogénesis debido a episodios febriles en 27 hombres sanos (promedio de edad 24,4 años). Estos fueron seguidos a través de muestras de semen mensuales y un registro diario de la incidencia de episodios febriles durante un período de 16 meses. Se analizó el volumen del semen, la concentración del esperma, el porcentaje de espermatozoides inmóviles y el porcentaje de espermatozoides morfológicamente normales. Se determinó que la concentración de espermatozoides disminuyó en un 32,6% ($p < 0.01$) después de la fiebre durante la meiosis y un 35,0% después de la fiebre durante el período de postmeiótico de la espermatogénesis (espermátidas). El porcentaje de morfología espermática normal se redujo en un 7,4% y el porcentaje de espermatozoides inmóviles aumentó en un 20,4% por la fiebre durante la espermiogénesis. El número de días que los hombres experimentaron fiebre afectó significativamente sus parámetros de semen. Así, la fiebre durante la meiosis y espermiogénesis redujo la concentración espermática respectivamente en un 7,1% y 8,5% por día de fiebre. El porcentaje de espermatozoides morfológicamente normales disminuyó un 1,6% y el porcentaje de espermatozoides inmóviles aumentó un 4,5% por día de fiebre durante la espermiogénesis. Hubo, sin embargo, una gran variación en la respuesta individual a la fiebre (27). (Ver recuadro).

Ilustración N°1: Evolución del proceso espermático alterado por fiebre



Extraído de History of febrile illness and variation in semen quality (27).

Por lo tanto la concentración, la morfología y la motilidad en una muestra de semen se ven afectados negativamente por un episodio febril durante el período de postmeiosis de la espermatogénesis (espermátidas). La concentración de espermatozoides también se ve negativamente afectada por la fiebre durante el período de la meiosis, mientras que la fiebre en otros momentos durante espermatogénesis no parece afectar significativamente estos parámetros del esperma, por lo que el efecto adverso parece ser dependiente del número de días con fiebre. (27). Asimismo, en un estudio Francés del 2006, el recuento total de espermatozoides disminuyó significativamente en los días 1, 37, y 58 después de la fiebre y volvió a la normalidad, 79 días después. El porcentaje de motilidad disminuyó significativamente en los días 15 y 37 después de la fiebre y volvió a la normalidad el día 58. La puntuación de vitalidad también mostró una ligera, aunque no estadísticamente significativa disminución (57).

Recientemente Baños y cols. encontró diferencias significativas en cuanto a la morfología de los espermatozoides, la que fue más precaria en los pacientes expuestos al calor, sobre todo en los participantes que trabajaban en ambientes de cocina y panadería; lo cual adquiere un especial significado si se considera que la variable morfología espermática es menos dependiente que las variables número y motilidad. Demostrando que es mayor el riesgo de morfología espermática alterada si se está expuesto por

períodos prolongados a fuentes de alta temperatura. Lo mismo ocurre con la concentración y la motilidad, aunque en menor proporción (60).

Otro estudio ha comunicado reducción en el número de espermatozoides o en su motilidad después del sauna (54,), igualmente otros autores (55,56) ha constatado tal disminución de la motilidad de los espermatozoides, pero sin alteración significativa del volumen seminal, del recuento celular, ni de la morfología. Parámetros que retornan a sus valores originales en una semana, y que no cambian el potencial de fertilidad. También dentro del mismo estudio, se constató que en los hombres las concentraciones de testosterona y de gonadotropinas no sufren cambios, lo que sugeriría que el calor del sauna no reduciría la fertilidad (28, 29, 30).

Además, estudios en hombres normales han demostrado que la postura, las prendas de vestir, y los factores ambientales también pueden alterar el conteo de espermatozoides. Los experimentos en seres humanos con inmersión intermitente de los testículos en agua calentada, la aplicación de soportes para el atletismo, y también empujando los testículos al canal inguinal para aumentar la temperatura intratesticular muestran la disminución de la concentración de espermatozoides en el eyaculado y de la espermatogénesis realizadas en muestras obtenidas a través de biopsias. En estos estudios (58, 59), la reversibilidad se demostró después del retorno a la normalidad de la temperatura escrotal.

Un estudio realizado el año 2004 en la Universidad de Nueva York, evaluó el efecto térmico del computador sobre las piernas. Para tal efecto, se midió la temperatura escrotal derecha e izquierda en 29 voluntarios sanos (entre 21 y 35 años) durante dos sesiones separadas de 60 minutos cada una. La temperatura fue registrada cada 3 minutos, tanto con el portátil en posición sobre uno o los dos muslos, como en posición normal de trabajo. Según los resultados, se encontró que la temperatura de la superficie de los computadores *Pentium 4®* utilizados en el estudio aumentó de 31 grados centígrados a casi 40 grados tras una hora de uso. La temperatura escrotal

se vio incrementada significativamente en los lados derecho e izquierdo tanto en el grupo de trabajo con el *notebook* en las piernas (2.8 grados y 2.6 grados, respectivamente; $p < 0.0001$) como en el grupo control (2.1 grados, $p < 0.0001$). Sin embargo, la elevación de la temperatura en los individuos que utilizaron portátiles en uno o en los dos muslos fue notoriamente más alta ($p < 0.0001$). Concluyendo que el trabajo con computadores portátiles colocados sobre las piernas eleva significativamente la temperatura escrotal, causado como resultado de la exposición al calor y de los efectos relacionados con ciertas posturas (25).

Hasta el momento sólo este estudio ha realizado mediciones de temperatura en usuarios de *notebook* sobre las piernas, pero no realizó mediciones a través de espermograma a los participantes para determinar efectos en la espermatogénesis, ni tampoco consideró el uso de la tecnología de conexión inalámbrica (Wi-Fi) como agente productor de calor y radiación en estos casos; y conjuntamente un estudio realizado *in vitro* sobre radiación Wi-Fi en células espermáticas presentado en el último congreso mundial de Salud Reproductiva 2010 pero no se han publicado mayores detalles, sólo existe una versión preliminar. Por lo tanto, este estudio apunta específicamente a evaluar estas condiciones de uso y a valorar si existe o no algún grado de interferencia en el normal funcionamiento de la capacidad fecundativa del hombre.

Hipótesis

El uso del computador portátil sobre las piernas generaría alteraciones en los parámetros estudiados en el semen debido a la transferencia de calor y radiación electromagnética por el dispositivo sobre la gónada.



Objetivo general

Analizar el efecto del calor y la radiación electromagnética (Wi-Fi) absorbida por la gónada sobre los parámetros del semen en usuarios de notebook sobre las piernas.

Objetivos específicos:

- Analizar los parámetros del semen en los participantes del experimento.
- Estudiar los cambios de la temperatura escrotal por el tiempo de uso del notebook sobre las piernas.
- Analizar presencia de células inflamatorias en los participantes.



Material y Método

Se diseñó un estudio experimental prospectivo; que se realizó en las respectivas residencias de los voluntarios, en el Laboratorio de Medicina Perinatal y en la unidad de Telemedicina de la Facultad de Medicina de la Universidad de Concepción, durante los meses de diciembre del año 2009 hasta diciembre del 2010.

El diseño del estudio fue aprobado por el comité de ética de la Facultad de Medicina de la Universidad de Concepción y las muestras sólo se usaron con este propósito, los excedentes fueron eliminados. Ver ANEXO 1 y 8.

El tamaño muestral se determinó con un mínimo de 37 donantes para que las diferencias observadas tengan sustento estadístico, aunque finalmente fueron 20 los voluntarios que cumplieron los criterios de inclusión, que siguieron completamente el protocolo del experimento (Ver ANEXOS 3, 4 y 5) y aportaron las muestras de semen requeridas. Dado que el tema en estudio es relativamente nuevo el cálculo del tamaño muestral se determinó en base a un grupo piloto de voluntarios en los cuales fue registrado el incremento de la temperatura escrotal. Los líquidos seminales fueron analizados bajo el criterio de la OMS en su "Manual de laboratorio para la examinación de semen humano e interacción del moco cervical" en su edición de 1999 (Ver ANEXO 7).

Pruebas de significancia estadística

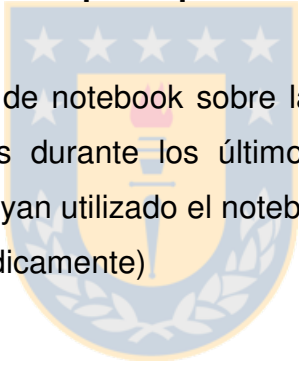
Los resultados de los espermiogramas basales y post experimento fueron transferidos a una base de datos, los que luego se analizaron con las pruebas correspondientes según sugerencia del asesor estadístico. Para tal análisis de los datos se utilizó la prueba t de Student para muestras pareadas con el programa estadístico INFOSTAT.

Criterios de inclusión de los participantes

La muestra se constituyó por voluntarios que por interés personal decidieron participar en la investigación y que no eran usuarios frecuentes del notebook sobre las piernas.

- Edad entre 18 y 35 años
- Hombres jóvenes sanos (sin antecedentes de enfermedad actual ni crónica, evaluado además por cuestionario clínico ver ANEXO 2)
- Usuario de computador portátil

Criterios de exclusión de los participantes

- 
- Usuario frecuente de notebook sobre las piernas (es decir: personas que por lo menos durante los últimos 120 días antes del primer espermograma hayan utilizado el notebook sobre las piernas de forma continua o esporádicamente)
 - Varicocele
 - Criptorquidia
 - Cirugía escrotal
 - Enfermedades de la piel
 - Espermograma previo alterado
 - Discrepancia evidente del tamaño testicular
 - Enfermedad febril reciente (últimos 90 días)
 - Exposición prolongada u ocupacional al calor (Ej. usuarios de sauna, conductores profesionales, o trabajadores expuestos a altas temperaturas)
 - Fumador (mayor a 10 cigarros diarios)

Diseño experimental

El diseño contempló un experimento autoadministrado en el cual se expone, de forma individual, a un grupo de hombres jóvenes sanos expuestos al uso de un notebook sobre las piernas. Cada participante debió utilizar su notebook por un tiempo mínimo de 60 minutos continuos diarios; ello permite que los testículos absorban parte importante del calor y la radiación electromagnética emanada desde el computador, para así comprobar cambios en los parámetros espermáticos, medidos a través de una muestra de semen.

Esta exposición se llevó a cabo durante un mínimo de 20 días continuos; tiempo de exposición mínimo necesario determinado en un estudios previos (21-27) para inducir cambios en los parámetros seminales.

Los individuos que decidieron participar en el experimento, fueron evaluados previamente mediante dos espermigramas como forma de cuantificar los parámetros del líquido seminal. Los rangos obtenidos fueron considerados valores basales. Ocho días después de haber finalizado el experimento (20 días), se les solicitó al individuo la tercera muestra de semen para confirmar o rechazar la hipótesis.

Una vez pasado un mínimo de 90 días desde el término de la exposición, el individuo accedió al análisis de una cuarta muestra de semen para corroborar el retorno a la normalidad de sus parámetros según las observaciones de otros estudios basados en la exposición a calor (58-66).

Además se visitó a algunos de los participantes para chequear el contexto de uso del computador sobre las piernas y las condiciones ambientales frecuentes de su utilización: temperatura, ropa, lugar físico y algunas otras observaciones relevantes para el autoexperimento.

Sub-experimento de temperatura escrotal

Se llevó a cabo una medición de temperatura escrotal en algunos de los participantes para medir el alza de temperatura escrotal debido al calor y la radiación electromagnética emitida por el computador portátil sobre las piernas. Esta medición se realizó en forma randomizada a 5 de los participantes, a los cuales se les pidió que ejecutaran un software libre que determina la temperatura generada por el núcleo o procesador del notebook en tiempo real, desde el instante en que se coloca el dispositivo sobre las piernas a nivel testicular; luego se les instaló un termómetro común en la zona escrotal para la determinación de la temperatura aproximada del testículo.

Las mediciones fueron realizadas en una sala especialmente habilitada para estos efectos con un promedio de temperatura de 19,5 °C, sentado (ilustración N° 2), con ropa holgada (jeans, ropa interior de algodón, polera) y una temperatura corporal estable de 36,2 °C durante el experimento. Además el computador estuvo en todo momento conectado de manera inalámbrica (Wi-Fi) al servicio de Internet descargando archivos durante los 60 minutos de exposición para simular las condiciones típicas de uso. Luego, una vez acomodados, se realizaron mediciones cada 5 minutos durante una hora para lograr obtener una gráfica del alza de temperatura tanto de la bolsa escrotal como del núcleo del computador portátil, los cuales se presentan en la sección de resultados.

Ilustración N° 2: Posición de uso del computador portátil.



Fases del experimento

1. Llamado a participar como voluntario (varones de entre 18 y 35 años).
2. Aplicación de criterios de exclusión al postulante.
3. Aplicación de criterio de inclusión (usuario de laptop y compromiso de seguimiento del estudio).
4. Toma de 2 espermogramas con tres días de separación, para corroboración de que la muestra del participante presente parámetros dentro de rango normal.
5. Comienzo de experimento autoadministrado según indicaciones de pauta y con autoregistro de minutos de uso diario del laptop en la posición deseada durante por lo menos 20 días.
6. Finalización del experimento tras los 20 días de exposición y luego de por lo menos 8 días, tras su término, toma de tercer espermograma para analizar las características tras el experimento.
7. Noventa días mínimos después de terminada la exposición, se analizó una cuarta muestra de semen para evaluar y verificar retorno a valores normales sólo si el participante no continuó utilizando el dispositivo como se le pidió y cumple nuevamente con los criterios de inclusión ya mencionados (27,30).

Materiales y equipos

1 computador portátil

1 set de termómetros análogos y digitales (corporal y ambiental)

1 red de WIFI

Laboratorio de medicina perinatal

Laboratorio de Telemedicina

Microscopio óptico

Cintas de pH

Recipientes estériles de 50 y 100 cc

Pipetas de Pasteur

Pipeta de dilución

Portaobjetos

Cubreobjetos

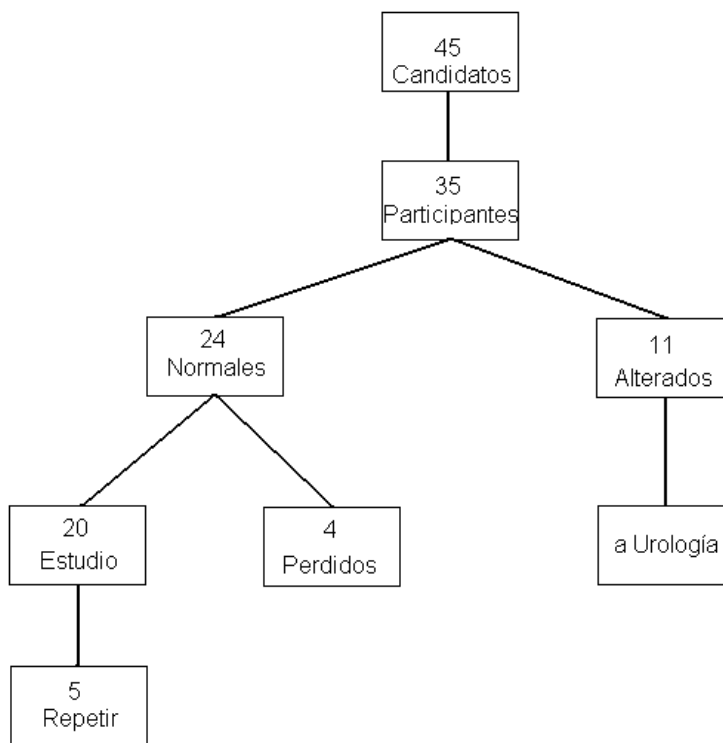
Cámara de Neubauer



RESULTADOS

1. Los hallazgos clínicos obtenidos desde la fase de experimentación son los siguientes:

Ilustración N° 3: Esquema de los participantes que finalmente completaron el estudio



Sólo 24 de los 45 participantes que fueron incluidos en el estudio cumplieron el 100% el criterio de inclusión, los cuales fueron orientados en forma individual y colectiva para seguir estrictamente el protocolo del experimento, detallado en los anexos 3 al 5.

Estadística descriptiva

Tabla N° 1: Descripción de los participantes que terminaron el estudio

Parámetro	Valor promedio
Edad	24,9 años
Peso	74,6
Altura	1,73 m
IMC	24,9
Hijos	no
Actividad	estudiante

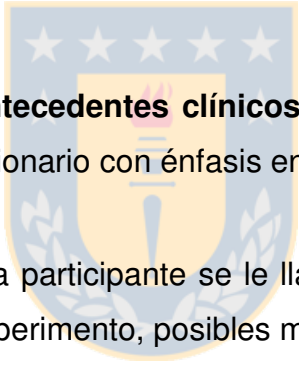
- 
- **Evaluación de antecedentes clínicos:** se evaluó estado de salud a través de un cuestionario con énfasis en los últimos 90 días.
 - **Monitoreo:** a cada participante se le llamó para evaluar el estado de avance del autoexperimento, posibles molestias y/o dudas del mismo.
 - **Tiempo real promedio de exposición diaria:** 81,9 min.
 - **Conectividad a Internet inalámbrico:** 98% del tiempo de exposición.
 - **Temperatura ambiental promedio:** 19,5 °C

Tabla N° 2: Marcas y procesadores más frecuentes de computadores portátiles evaluados y sus respectivos rangos de temperaturas

Marca del Notebook	Modelo del procesador	Rangos de temperaturas de funcionamiento del núcleo en °C
Dell	Intel Celeron	40-60
Compaq	Sempron	30-60
Apple	Macbook pro	30-50
Packard Bell	Intel Pentium dual core	40-80
HP	Sempron	40-80
Acer	Intel Celeron	45-70



Resultados del sub-experimento de temperatura escrotal

Las mediciones fueron realizadas en las condiciones previamente expresadas en la sección de metodología, las cuales se expresan en estas tablas y gráficos.

Tabla Nº 3: temperatura escrotal versus temperatura del procesador

Nº de medida	Minutos	Promedio temperatura escrotal (°C)	Promedio temperatura del procesador °C
0	0	35	45
1	5	35,7	58
2	10	35,8	62
3	15	35,8	71
4	20	36	77
5	25	36	72
6	30	36,1	72
7	35	36,3	66
8	40	36,3	68
9	45	36,5	66
10	50	36,5	66
11	55	36,5	68
12	60	36,5	68

Las distintas temperaturas fueron medidas a intervalos regulares de 5 minutos al mismo tiempo, a través del termómetro corporal y el software de medición de temperatura del procesador.

Experimento de temperatura escrotal

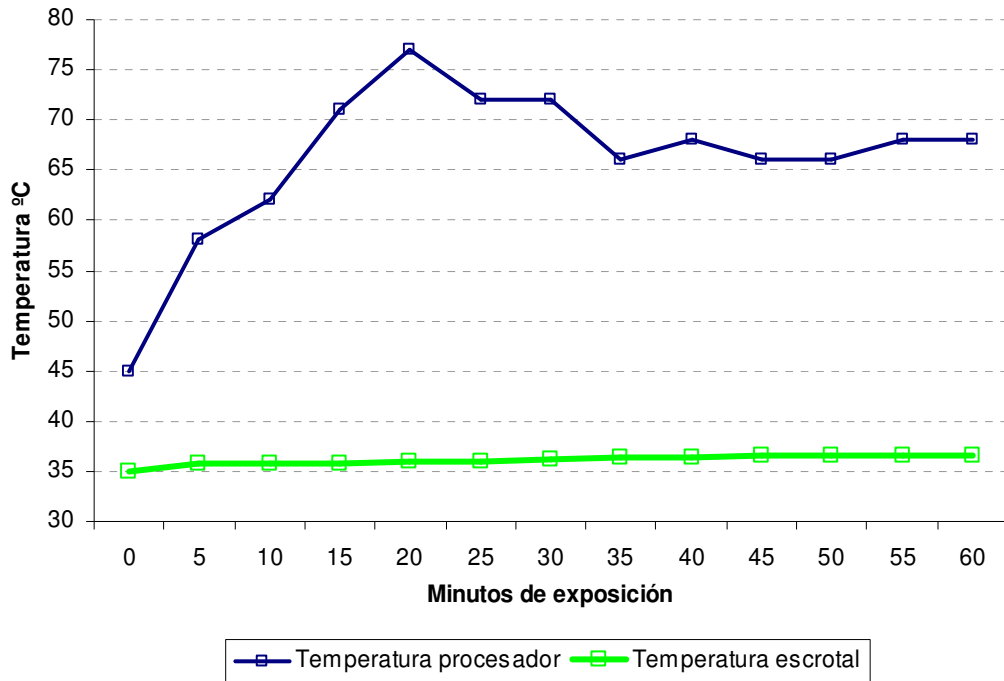


Gráfico N° 1: Experimento de temperatura escrotal vs temperatura del procesador

En la gráfica anterior se observa como va aumentando la temperatura de la bolsa escrotal a medida que sube la temperatura del procesador del computador, como se menciona anteriormente, este es un modelo simplificado que muestra de manera sencilla la relación que existe entre la temperatura aproximada del testículo y las modificaciones de los parámetros del espermiograma que se muestran más adelante en esta sección.

Experimento de temperatura escrotal

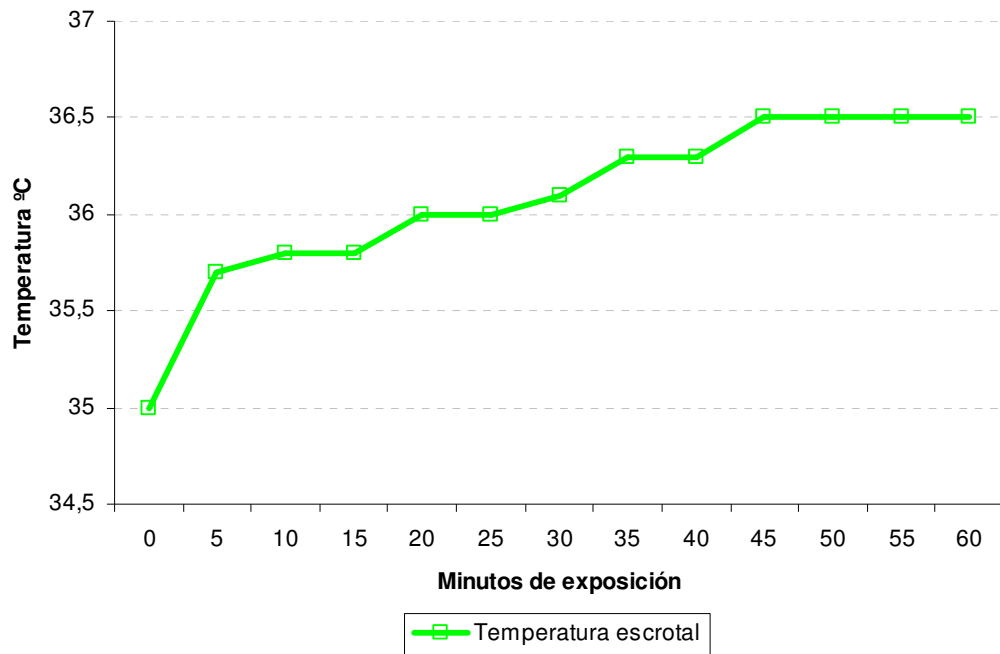


Gráfico N° 2: Experimento de temperatura escrotal

En este gráfico se muestra detalladamente el aumento progresivo de las cercanías del testículo al exponerse al calor del notebook durante 60 minutos. El aumento va desde los 35 grados centígrados hasta una meseta de 36,5 °C, con lo cual sobrepasa incluso la temperatura corporal promedio de 36,2 °C.

Tabla N° 4: parámetros evaluados en el espermiograma

Variable n: 20	Promedio Muestra de entrada	Desviación estándar	Promedio Muestra de salida	Desviación estándar	Grado de significancia
<i>Volumen</i>	3,7 ml	1,45 ml	3,75 ml	1,28	NS
<i>pH</i>	7,9	0,19	7,8	0,22	NS
<i>Concentración</i>	84,1 millones/ml	24,1 millones/ml	70,1 millones/ml	25,9 millones/ml	0,0202
<i>Eyacuado</i> <i>total</i>	296,6 millones	125,0 millones	268,1 millones	149,3 millones	NS
<i>Color</i>	Normal	—	Normal	—	—
<i>Olor</i>	Normal	—	Normal	—	—
<i>Mucólis</i>	Normal	—	Normal	—	—
<i>Viscosidad</i>	60 %	—	60 %	—	—
<i>Espermios</i> <i>móviles</i>	82,5 %	10,8%	64%	11,9%	< 0,0001
<i>Espermios</i> <i>inmóviles</i>	13,3%	6,1%	34%	12,3%	< 0,0001
<i>Motilidad</i>					
<i>Grado IV</i>	65,8%	10,0%	41,8%	9,9%	< 0,0001
<i>Grado III</i>	13,3%	5,7%	14%	6,6%	< 0,0001
<i>Grado II y I</i>	9,7%	3,7%	10,8%	2,45	NS
<i>Grado 0</i>	11,8%	6,2%	33,5%	12,3%	< 0,0001
<i>Formas Ovais</i>	82,3%	7,7%	68,3%	8,9%	< 0,0001
<i>Malformados</i>	17,6%	7,1%	31,8%	8,9%	< 0,0001
<i>Cabeza</i>	8,7%	3,1%	15,9%	4,6%	< 0,0001
<i>Segmento</i>	5,1%	2,4%	8,9%	2,2%	< 0,0001
<i>Cola</i>	3,8%	2,2%	7%	3,0%	0,0003
<i>Formas</i> <i>inmaduras</i>	150.000/ ml	76.068/ ml	290.000/ ml	116.528/ ml	0,0004
<i>Leucocitos</i>	235.000/ ml	153.125/ ml	840.000/ ml	495.665/ ml	< 0,0001
<i>Aglutinación</i>					
<i>Específica</i>	0%	—	0%	—	—
<i>Inespecífica</i>	0%	—	65%	—	< 0,0001

Los parámetros cualitativos: color, olor, mucólisis, viscosidad y aglutinación específica no sufrieron modificaciones evidentes por lo que no se efectuaron pruebas estadísticas.

Gráficas de los parámetros más importantes medidos en el espermiograma

Concentración espermática

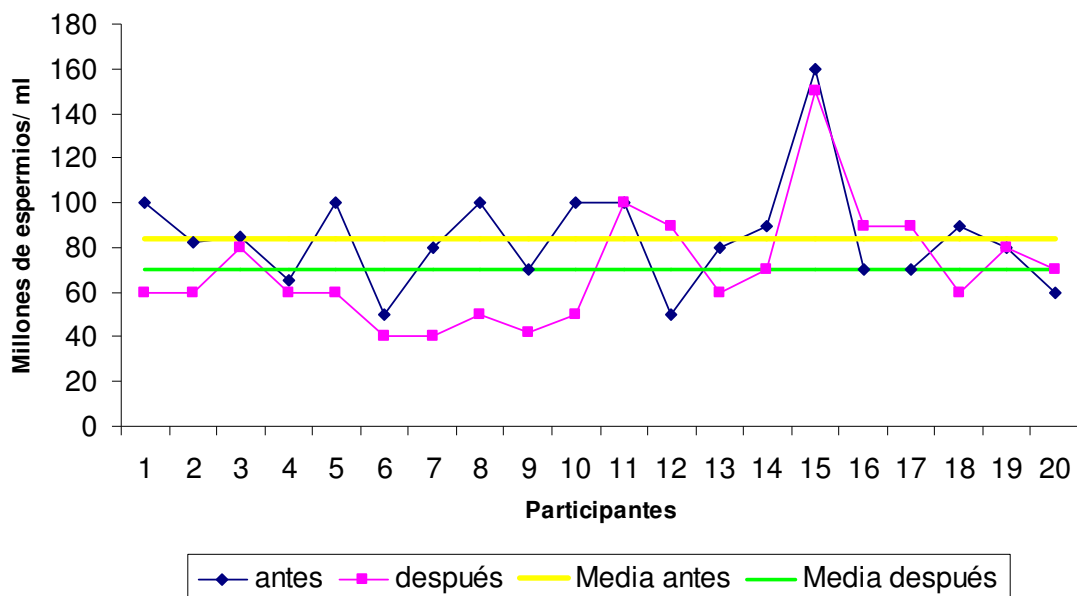


Gráfico N° 3. Comparación de la concentración espermática antes y después de la exposición.

Se observa que el promedio de concentración espermática post experimento sufre una disminución estadísticamente significativa ($p= 0,0202$) desde los 84,1 millones de espermatozoides por mililitro hasta los 70,1 millones después de los 20 días de exposición.

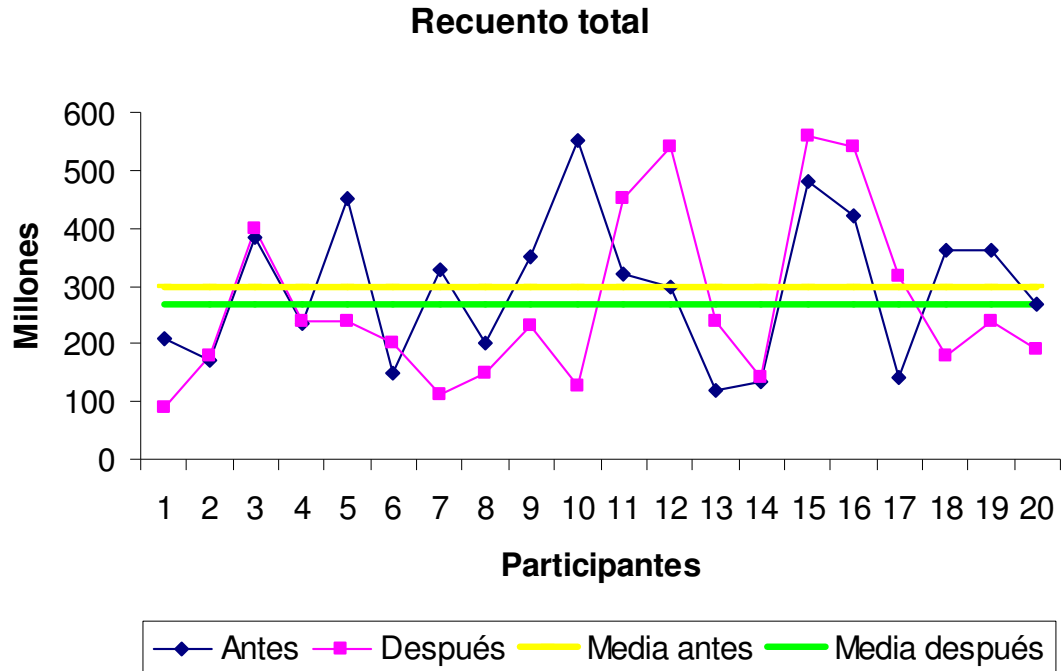


Gráfico Nº 4. Comparación del recuento total de espermatozoides antes y después de la exposición.

En el gráfico anterior se observa una disminución, aunque no estadísticamente significativa, del volumen total del eyaculado, el cual varió desde los 296,6 millones hasta los 268,1. Cabe destacar que este parámetro es muy dependiente de las condiciones físicas y psicológicas del lugar de obtención de la muestra.

Espermios móviles

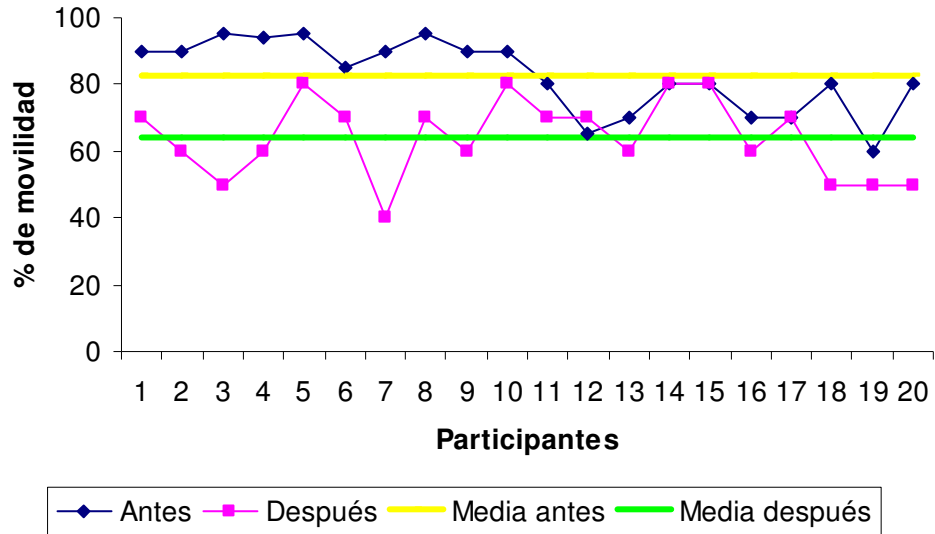


Gráfico Nº 5. Comparación del porcentaje de movilidad de los espermatozoides antes y después de la exposición.

Respecto a la movilidad de los espermatozoides, estos sufrieron una significativa baja ($p < 0,0001$). Antes del experimento poseían un promedio de movilidad del 82,5% y tras su exposición disminuyó a 64%.

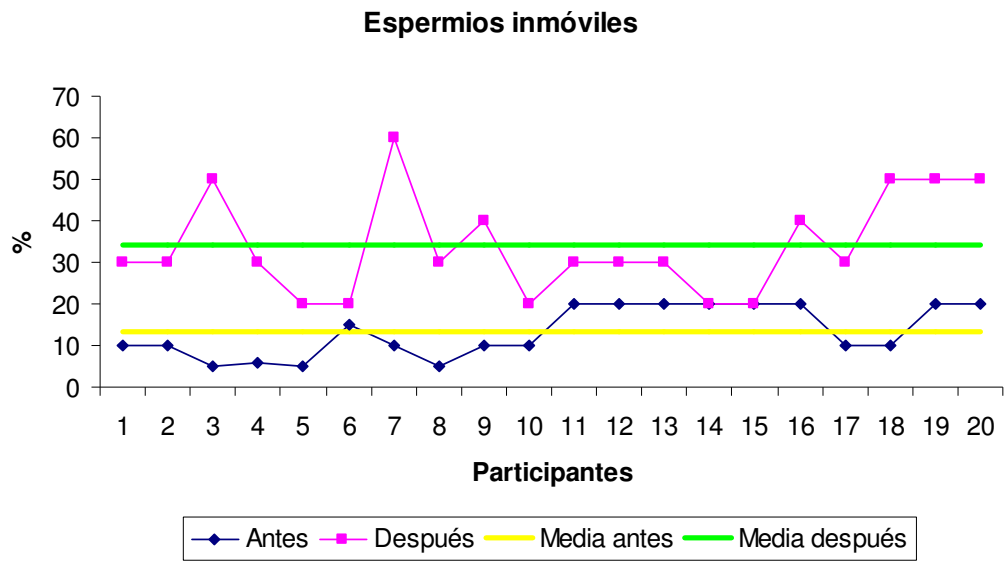


Gráfico Nº 6. Comparación del porcentaje de espermios inmóviles antes y después de la exposición.

Al comparar el porcentaje de espermatozoides totales inmóviles se encontró un significativo aumento, desde los 13,3 al 34% con diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,0001$) después de los 20 días de exposición al calor del notebook.

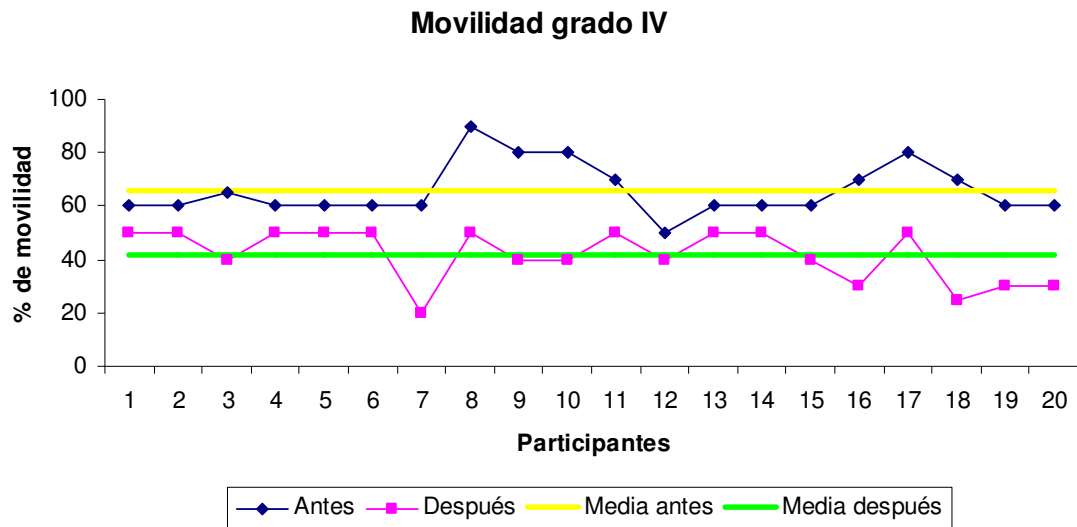


Gráfico Nº 7. Comparación del parámetro de movilidad rápida y progresiva antes y después de la exposición.

La movilidad grado IV corresponde al movimiento muy rápido y rectilíneo del espermatozoide, el cual post exposición al calor de notebook sufrió una disminución significativa desde un promedio de 65,8% a un 41,8% ($p < 0,0001$).

Movilidad Grado 0

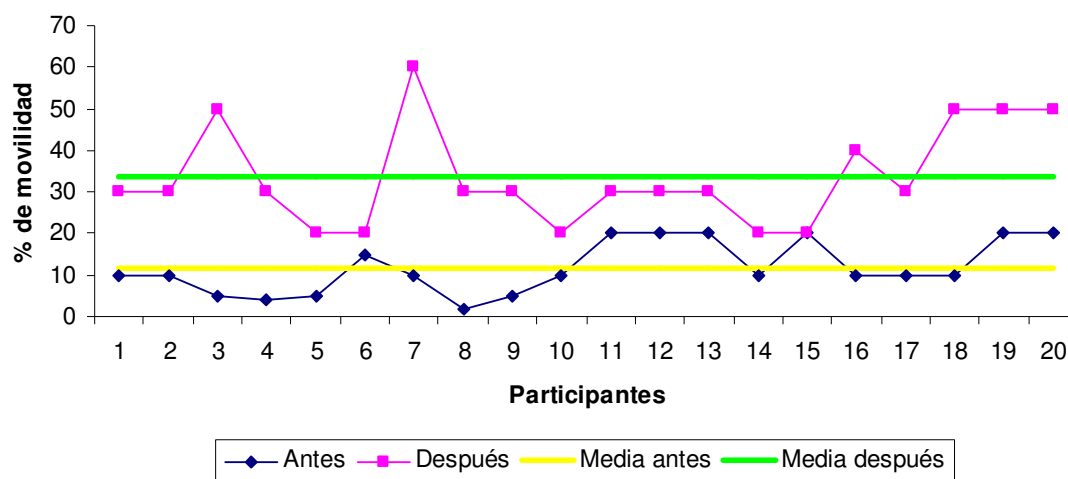


Gráfico N° 8. Comparación del parámetro de movilidad grado 0 ó espermatozoides inmóviles antes y después de la exposición.

En cuanto al análisis del porcentaje de espermatozoides absolutamente inmóviles o de grado 0, cabe destacar el aumento altamente significativo ($p < 0,0001$) desde un promedio de 11,8% en la primera muestra a un 33,5% en la muestra post experimento.

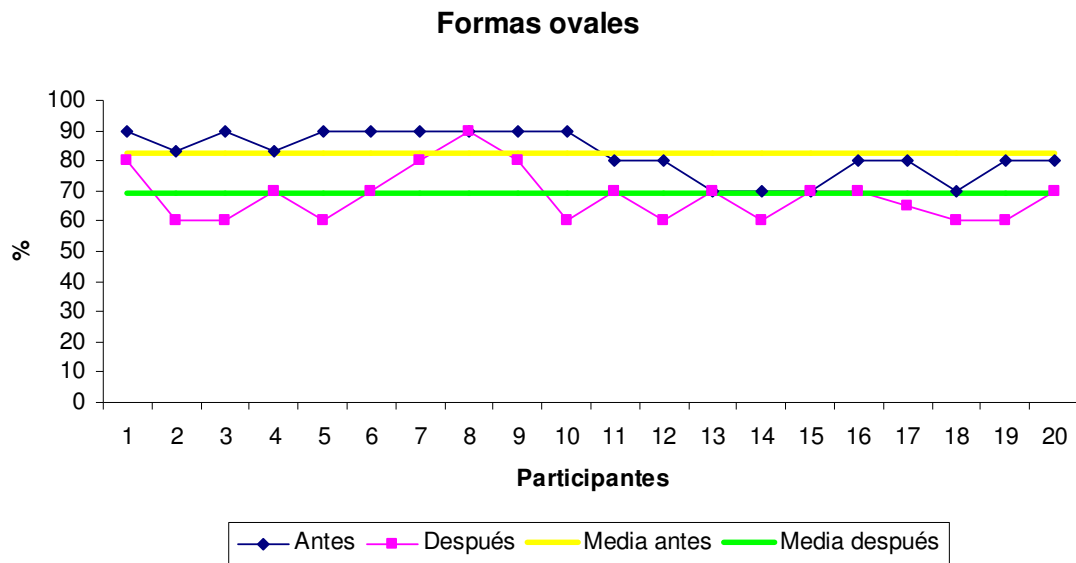


Gráfico Nº 9. Comparación del porcentaje de morfología espermática con rangos normales antes y después de la exposición.

La concentración normal de espermatozoides con morfología oval también sufrió variaciones significativas ($p < 0,0001$), con un porcentaje de entrada del 82,3% promedio antes del experimento a una disminución de 68,3% promedio después de los 20 días de exposición.

Formas inmaduras

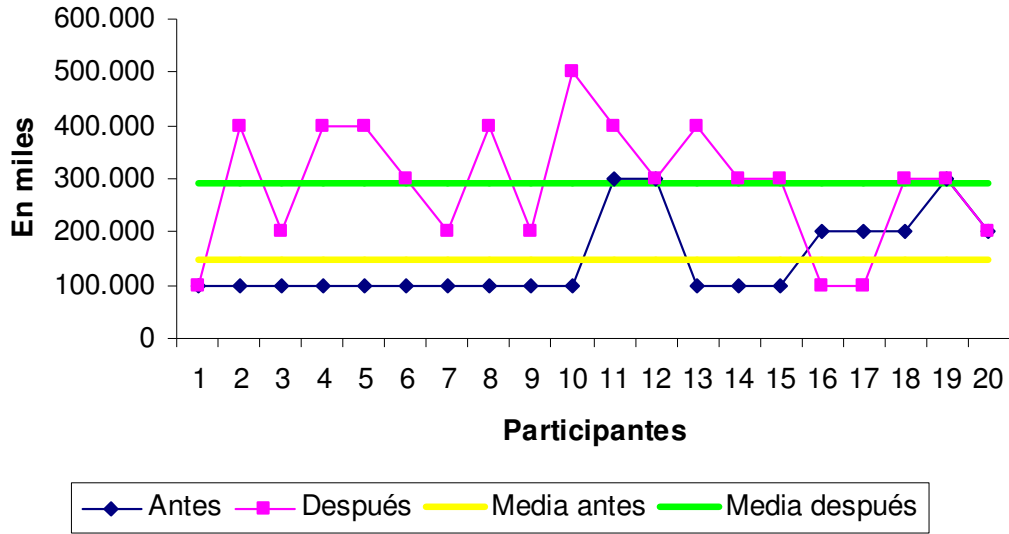


Gráfico Nº 10. Comparación de la cantidad de formas inmaduras de espermatozoides por mililitro en la muestra antes y después de la exposición.

Las formas inmaduras observadas en el espermiograma también incrementaron su concentración, con un promedio de 150 mil por ml antes del exposición a un promedio de 290 mil/ml ($p = 0,0004$).

Leucocitos

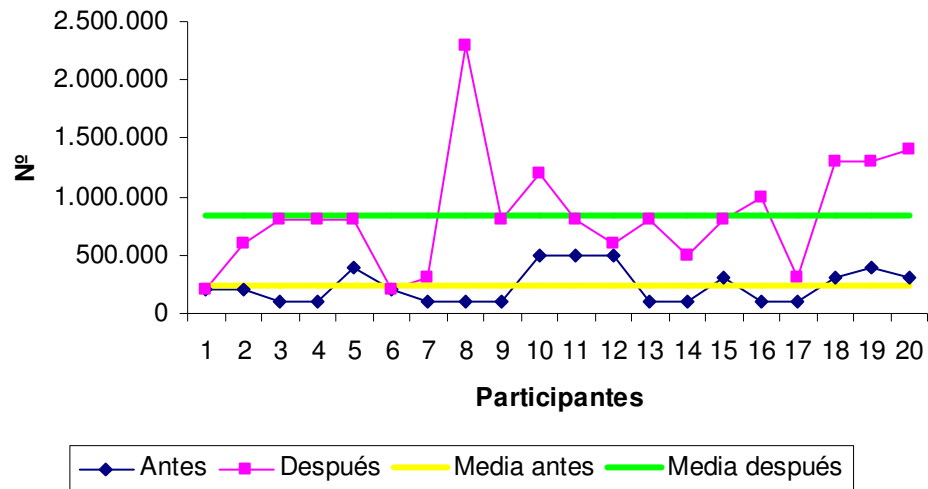


Gráfico N° 11. Comparación de la cantidad de glóbulos blancos por ml en la muestra de semen antes y después de la exposición.

El en gráfico anterior se puede notar una variación altamente significativa ($p < 0,0001$) en el recuento de leucocitos presente en la muestra posterior al experimento, observándose una media de 235 mil leucocitos por mililitro antes y un aumento promedio de 840 mil después de la exposición.

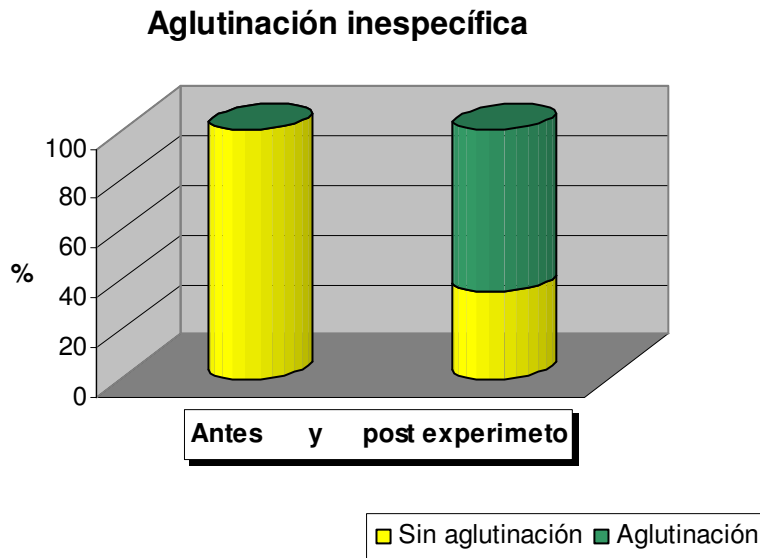


Gráfico Nº 12. Comparación del porcentaje de participantes con aglutinación inespecífica en la muestra de semen antes y después de la exposición.

El parámetro de aglutinación espermática inespecífica también se vio afectado. Como requisito básico del espermiograma basal al estudio fue no presentar esta característica, por lo tanto desde un 100% de participantes sin aglutinación inespecífica antes del experimento, se obtuvo un 65% de las muestras con esta modificación después de la exposición ($p < 0,0001$).

Discusión

La utilización de nuevas tecnologías se debe efectuar de forma segura. Ya desde algunos años se sospecha de los posibles daños a la salud por la constante exposición al calor y/o radiación electromagnética derivada de dispositivos como celulares, notebooks y la amplia variedad de aparatos con tecnología inalámbricas existentes actualmente.

Ante la escasa cantidad de trabajos sobre este tema en específico y lo relativamente nuevo de estas tecnologías, se vuelve difícil la comparación con estudios similares, por tal motivo se dispuso tomar cada resultado y contrastarlo con artículos con características equivalentes, ejemplo de ello son trabajos que evalúan los efectos de la radiación de teléfonos celulares, uno que sólo posee radiación Wi-Fi y otros en donde solamente existe exposición al calor.

En la investigación desarrollada se confirma un deterioro en la salud masculina y específicamente en su capacidad reproductora. Al analizar los resultados de los espermigramas, es posible evidenciar un cambio de las características seminales posteriores a la exposición prolongada al calor y la radiación electromagnética (Wi-Fi) que recibe la bolsa escrotal al utilizar el notebook sobre las piernas.

Los resultados obtenidos permiten establecer que del total de veinte voluntarios que participaron y terminaron el experimento, el 100% presentó alguna o varias modificaciones en los parámetros establecidos del espermograma, lo que confirma la hipótesis de que el uso continuo de este dispositivo sobre las piernas genera efectos perjudiciales en el semen. Estas consecuencias poseen características particulares derivadas aparentemente de efectos térmicos y no térmicos en conjunto. Si bien a la fecha, sólo existen algunas publicaciones sobre este tema (77,78,80), los resultados concuerdan en su mayoría con estos hallazgos.

Al analizar los datos obtenidos se observa que existe una disminución en la concentración espermática con respecto al espermiograma base, la cual podría ser atribuible directamente al alza de la temperatura escrotal, pues estudios como los de Bujan y Meusset realizados en condiciones de calor confirman una disminución en el recuento espermático al parecer debido a la activación del proceso de muerte celular programada (52).

En cuanto al pH, color, olor, mucólisis y viscosidad no existieron variaciones significativas, debido a que estos parámetros se alteran generalmente por causas infecciosas (83). Además el presentar alguna modificación evidente de estos parámetros en el espermiograma basal fue un criterio de exclusión del estudio.

Con respecto al volumen total del eyaculado, si bien no hubo diferencia significativa, este depende en gran medida de los días de abstinencia y las condiciones psicológicas y ambientales para la recolección de muestra. Si bien fue respetada la condición de 3 días mínimo de abstinencia, ésta al ser recolectada por autoestimulo en un lugar no habitual para el participante, dificulta deducir cuanto es el volumen real en condiciones normales de actividad sexual (83).

Respecto a la movilidad espermática, esta presentó una significativa disminución, la cual concuerda con los escasos trabajos realizados en esta área en particular. Es así que en el estudio *in vitro* sobre efectos no térmicos por radiación Wi-Fi de Avendaño et al. (2010), este parámetro se ve afectado en comparación con el grupo control no expuesto; por lo que en nuestro estudio existiría una consecuencia de tipo no térmica también al observarse el mismo patrón. Así, específicamente el porcentaje de espermios con movilidad progresiva o grado IV se ve afectada, desde un 65,8% a un 41,8% post experimento. Conjuntamente, en el total de espermatozoides inmóviles y con movilidad 0, existieron aumentos en sus respectivos porcentajes concordantes con el mismo estudio argentino, el cual también evaluó la tasa de fragmentación de DNA espermático encontrando diferencias significativas

con respecto al grupo control. Asimismo, otro estudio estadounidense realizado el 2008, evaluó el efecto que genera el uso prolongado del teléfono celular en las características seminales (80), tales consecuencias adversas también caben dentro de la teoría de efectos no térmicos producidos en los espermatozoides.

En cuanto a la morfología, el porcentaje de formas normales u ovoides y el total de malformados, incluidas las características específicas de cabeza, segmento y cola resultaron negativamente modificados, tal como en el estudio realizado por Agarwal et al.(2009) sobre teléfonos celulares comentado anteriormente. Estos cambios también han sido informados en trabajos relacionados con el aumento de temperatura escrotal debido a estados febriles (57) y exposición a ambientes calurosos.

Con respecto al conteo de células redondas (células inmaduras y leucocitos), éstas sufrieron un aumento similar al efecto producido por afecciones febriles, infecciones y varicocele (23-31), lo que indica un aparente proceso inflamatorio de la zona escrotal, cuya posible causa sea el calor y la radiación absorbida desde el notebook. Como consecuencia del aumento de estas células, diversos estudios (84,85,86) han confirmado que cuando existe infiltración de leucocitos en grandes cantidades dentro del eyaculado, se pueden detectar altos niveles de radicales libres y puesto que el espermatozoide es una célula altamente susceptible al daño por la liberación de éstos, debido a su escaso citoplasma, puede sufrir cambios en su fisiología, alteraciones en su motilidad, trastornos en el momento de la fecundación y alteraciones en su ADN.

Además de las características nombradas anteriormente, en un porcentaje del 65% existió aglutinación inespecífica de la muestra posterior al experimento, que generalmente se encuentra en procesos infecciosos de la glándula prostática y también en trastornos autoinmunitarios (83); esta situación, puede señalar la presencia de anticuerpos antiespermáticos, los cuales se podrían fijar al espermatozoide y así interferir en su motilidad o

impedir la fecundación (9); sin embargo este hallazgo no ha sido comentado en estudios afines.

Finalmente, si bien en la actualidad vivimos en un ambiente rodeado de microondas, éste nivel jamás había existido durante toda la historia del hombre. Es innegable que las normas de seguridad estén obsoletas, debido a la rapidez que avanzan las nuevas tecnologías, pero que además son inadecuadas con respecto a la exposición prolongada de baja intensidad que se aborda en este estudio. Ante este panorama, algunos gobiernos basándose en el **principio de precaución** (concepto que respalda la adopción de medidas protectoras cuando no existe certeza científica de las consecuencias de una acción determinada) y los esfuerzos de algunos países desarrollados; han adoptado pautas de seguridad internacionales integrales, elaboradas por organismos científicos independientes, destinados a evitar hipotéticos daños relacionados con el incremento de esta energía recibida y han definido límites de seguridad para la exposición máxima a la energía de radiofrecuencia procedente de teléfonos móviles, pero no así en cuanto a la radiación Wi-Fi. Estos límites están basados en el **SAR** (Specific Absorption Rate) o Índice de Absorción Específica el cual rige la exposición a la energía de radiofrecuencias en cuanto a los teléfonos celulares en general. Éstos están diseñados para operar dentro de límites estrictos y se emplean para frecuencias entre 100 kHz y 100 GHz, es decir, radiación no ionizante; pero este valor depende también en gran medida de la forma que tenga la zona del cuerpo expuesta al campo, así como de la ubicación exacta y geometría de la fuente de radiofrecuencia, por lo cual si nos referimos a la radiación recibida por el testículo desde el computador portátil, esta posee un valor SAR muy distinto al calculado para los teléfonos móviles.

En definitiva, los esfuerzos debiesen enfocarse en dos líneas: la primera, que se incluya expresamente una nota de precaución en el manual del usuario de computador portátil advirtiendo de los posibles daños a la salud reproductiva de los usuarios de sexo masculino al utilizarlo sobre las

gónadas; y segundo, aunque se solucione el problema del calor irradiado (ya que los nuevos dispositivos se calientan cada vez menos) lo importante es el grado de conciencia que tenga el público al poseer esta información y que hacer con ella al respecto, ignorarla como es el caso de los fumadores o prevenir la enfermedad.



Conclusiones y proyecciones

1. La utilización continua del computador portátil sobre las piernas, altera negativamente algunos parámetros del líquido seminal, posiblemente debido al aumento de la temperatura escrotal y a la exposición a la radiación Wi-Fi emanada desde el mismo.
2. Se debe seguir adelante e impulsar el *principio de precaución* y así prevenir efectos adversos en la calidad del semen por sobreexposición al aumento de la temperatura y la radiación electromagnética.
3. Las recientes investigaciones sugieren el evidente daño a la salud reproductiva y aunque los estudios epidemiológicos darán las pautas definitivas, es necesaria la realización de futuras investigaciones para dilucidar las causas de este deterioro. Estudios multidisciplinarios en los que se evalúen efectos en los tejidos y a nivel celular, realizar modelos más sofisticados con animales y otros dispositivos, además de proyecciones de efectos a largo plazo.

Bibliografía

1. Program for Appropriate Technology in Health (PATH). Infertility. Overview/lessons learned. Reproductive Health Outlook 2002. Disponible en URL:http://www.fhi.org/sp/RH/Pubs/Network/v23_2/nt2321.htm. Accessed February 11, 2010.
2. Furman R, Devoto C, Ramos R, Urmeneta N, Vantman B, Fuentes G. Estudio comparativo de los efectos psicológicos de la infertilidad en hombres y mujeres chilenos. Rev Chil Obstet Ginecol 1997; 62:6-14.
3. Jones H. The infertile couple. N Engl J Med 1993; 2:1710.
4. Burt K, Hendrick V. Infertility: psychological implications of diagnosis and treatment. Women's mental health. Burt K, Hendrick V (editores). Washington DC, American Psychiatric Press; 1997.
5. Cooper S. Treatment strategies for the infertile couple. Boston, Psychiatric disorders associated with female reproductive function; 1995.
6. Feldman E. Working with couples undergoing assisted reproductive technology. Boston, Psychiatric disorders associated with female reproductive function; 1997.
7. Jose-Miller A, Boyden J, Frey K. Infertility. Am Fam Physician. 2007; 75:894-56.
8. Lobo R. Infertility: etiology, diagnostic evaluation, management, prognosis. In: Katz VL, Lentz GM, Lobo RA, Gershenson DM eds. Comprehensive Gynecology. 5th ed. Philadelphia, Pa: Mosby Elsevier; 2007; 41.
9. Speroff L, Fitz M, eds. Clinical Gynecologic Endocrinology and Infertility. 7th ed. Philadelphia, Pa; Lippincott Williams & Wilkins; 2005.
10. Schlatt S, Meinhardt A, Nieschlag E. Paracrine Regulation of cellular interactions in the testis: Factors in search of a function. European J Endocrinology 1997; 137: 107-17.

11. Wu F. Endocrinology of male infertility and fertility in: Hargreave. TB ed. Male Infertility. Berlin Heidelberg Springer Verlag 1983: 87-111.
12. Padrón D, Fernández L, Gallardo R. Interpretación del análisis seminal. Rev Cubana Endocrinol 1998; 9:81-90.
13. Chile lidera crecimiento de ventas de notebook en América Latina Disponible en: URL: <http://www.mouse.cl/archivo/detail.asp%5Estory=2008/09/26/08/07/12/default.htm>. Accessed February 20, 2010.
14. Temperaturas de un PC: ¿cuáles son las correctas? Disponible en URL:<http://www.configurarequijos.com/doc615.html>. Accessed Enero 10, 2010.
15. Transmisión de calor. Disponible en URL: http://es.wikipedia.org/wiki/Transmisi%C3%B3n_de_calor. Accessed Enero 15, 2010.
16. Litvak E, Foster K, Repacholi M. Health and safety implications of exposure to electromagnetic fields in the frequency range 300 Hz to 10 MHz. Bioelectromagnetics 2002; 23: 68-82.
17. Gaete M. Evaluación de la dosis de radiación recibida producto del uso de teléfonos celulares y PCs. [Memoria título de Ingeniería]. Universidad de Concepción; 2001.
18. Electromagnetic fields and public health Intermediate Frequencies. Disponible en URL: http://www.who.int/peh-emf/publications/facts/intermediatefrequencies_infosheet.pdf. Accessed Enero 15, 2010.
19. Skakkebaek N, Jørgensen N, Katharina M, Rajpert-De Meyt E, Leffers H, Andersson A, et al. Is human fecundity declining? International Journal of Andrology 2006; 29:2.
20. Carlsen E, Giwercman A, Keidin N, Skakkebaek N. Evidence for decreasing quality of semen during past 50 years. BMJ 1992; 305: 609-13.
21. Guo H, Zhang HG, Xue BG, Sha YW, Liu Y, Liu RZ. Effects of cigarette, alcohol consumption and sauna on sperm morphology. Zhonghua Nan Ke Xue 2006; 12: 215-17.

22. Infertilidad. Disponible en URL: <http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/ency/article/001191.htm>. Accessed Enero 20, 2010.
23. Thonneau P, Bujan L, Multigner L, Mieusset R. Occupational heat exposure and male fertility: a review. *Human Reproduction* 1998; 13: 2122–125.
24. Ivell R. Lifestyle impact and the biology of the human scrotum. *Reprod Biol Endocrinol* 2007; 5:15.
25. Sheynkin Y, Jung M, Yoo P, Schulsinger D, Komaroff E. Increase in scrotal temperature in laptop computer users. *Hum Reprod.* 2005; 20: 452-55.
26. Hjollund N, Storgaard L, Ernst E, Bonde J, Olsen J. Impact of diurnal scrotal temperature on semen quality. *Hum Reprod* 2002; 16: 215–21.
27. Carlsen E, Andersson A-M, Petersen J, Skakkebaek N. History of febrile illness and variation in semen quality. *Hum Reprod.* 2003; 18:2089–092
28. Hannuksela M, Ellahham S. Benefits and risks of sauna bathing. *Am J Med.* 2001; 110:118- 26.
29. Press E. The health hazards of saunas and spas and how to minimize them. *Am J Public Health.* 1991; 81:1034-37.
30. Saikhun J, Kitiyanant Y, Vanadurongwan V, Pavasuthipaisit K. Effects of sauna on sperm movement characteristics of normal men measured by computer-assisted sperm analysis. *Int J Androl.* 1998; 21:358-63.
31. Momen M, Ananian F, Fahmy I, Mostaza T. Effect of high environmental temperature on semen parameters among fertile men. *Fertil Steril.* 2010; 93:1884-86.
32. WHO Laboratory Manual for the Examination of the Human Semen and Sperm-Cervical Mucus Interaction. Fourth edition. Cambridge, Cambridge University Press; 1999.

33. Olsen J. Is human fecundity declining - and does occupational exposures play a role in such a decline if it exists?. *Scand J Work Environ Health* 1994; 20:72-7.
34. Jensen T, Bonde J, Joffe M. The influence of occupational exposure on male reproductive function. *Occup Med* 2006; 56: 544-53.
35. Foster W, Neal M, Han M, Domínguez M. Environmental contaminants and human infertility: hypothesis or cause for concern?. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev* 2008; 11:162-76.
36. Glad Sořrensen H, Lambrechtsen J, Einer-Jensen N. Efficiency of the countercurrent transfer of heat and ¹³³Xenon between the pampiniform plexus and testicular artery of the bull under in-vitro conditions. *Int J Androl* 1991; 14: 232–40
37. MacLeod J, Hotchkiss R. The effect of hyperpyrexia upon spermatozoa counts in men. *Endocrinology* 1941; 28: 780–84.
38. Watanabe A. The effect of heat on human spermatogenesis. *Kyushu J. Med. Sci.* 1959; 10: 101–17.
39. Waites GM. Ambient temperature. *J Reprod Fertil*, 19 (Suppl.) 1973; 151–54.
40. Zorogniotti A, Reiss H, Toth A, Sealfon A. Effect of clothing on scrotal temperature in normal men and patients with poor semen. *Urology* 1982; 19: 176–78.
41. Jegou B, Risbridger G, De Kretser D. Effects of experimental cryptorchidism on testicular function in adult rats. *J Androl* 1983; 4: 88–94.
42. Byers S, Glover T. Effect of scrotal insulation on the pituitary–testicular axis in the ram. *J Reprod Fertil* 1984; 71: 23–31.
43. Oldereid N, Rui H, Purvis K. Life styles of men in barren couples and their relationship to sperm quality. *Int J Fertil* 1992; 37: 343–49.
44. Rojansky N, Brzezinski A, Schenker J. Seasonality in human reproduction: an update. *Hum Reprod* 1992; 7: 735–45.

45. Mieusset R, Bujan L. Testicular heating and its possible contributions to male infertility: a review. *Int J Androl* 1995; 18:169–84.
46. Parazzini F, Marchini M, Luchini L. Tight underpants and trousers and risk of dyspermia. *Int J Fertil* 1995; 18:125–28.
47. Harrison R, Weiner J. Vascular pattern of the mammalian testis and their functional significance. *J Exp Biol* 1949; 26: 304–16.
48. Kitayama T. Study on testicular temperature in man. *Acta Urol Japon* 1965; 11: 435–37.
49. Steinberger A. Effects of temperature on the biochemistry of the testis. In Zorngiotti (ed.) *Temperature and Environmental Effects on the Testes*. Plenum Press, NY; 1991.
50. Sarge K, Cullen K. Regulation of hsp expression during rodent spermatogenesis. *Cellular and Molecular Life Sciences* 1997; 53: 191-97.
51. Setchell B. The Parkes lecture: Heat and the testes. *Fertil Steril* 1998; 114: 179-94.
52. Izu H, Inouye S, Fujimoto M, Shiraishi K, Naito K, Nakai A. Heat shock transcription factor 1 is involved in quality-control mechanisms in male germ cells. *Biology of Reproduction* 2004; 70:18-24.
53. Sinha Hikim A, Lue Y, Yamamoto C, Vera Y, Rodriguez S, Yen P, et al. Key apoptotic pathways for heat-induced programmed germ cell death in the testis. *Endocrinology* 2003; 144: 3167-75.
54. Brown-Woodman P, Post E, Gass G, White I. The effect of a single sauna exposure on spermatozoa. *Arch Androl*. 1984; 12: 9-15.
55. Procope B. Effect of repeated increase of body temperature of human sperm cells. *Int J Fertility* 1965; 10: 333–39.
56. Saikhun J, Kitiyanant Y, Vanadurongwan V, Pavasuthipaisit K. Effects of sauna on sperm movement characteristics of normal men measured by computer-assisted sperm analysis. *Int J Androl*. 1998; 21:358 –63.

57. Sergerie M, Mieusset R, Croute F, Daudin M, Bujan L. High risk of temporary alteration of semen parameters after recent acute febrile illness. *Fertil Steril* 2007; 88:970.e1-7.
58. Kandeel F, Swerdloff R. Role of temperature in regulation of spermatogenesis and the use of heating as a method for contraception. *Fertil Steril* 1988; 49:1-23.
59. Mieusset R, Bujan L. Testicular heating and its possible contributions to male infertility: a review. *Int J Androl* 1995; 18: 169-84.
60. Baños I, Valdés R, Castillo I. Exposición a pesticidas y altas temperaturas. Su influencia negativa en la fertilidad masculina. *Rev Int Androl* 2007; 5:146-54.
61. Tonneau P. Occupational heat exposure and male infertility. *Human Reprod.* 1998; 13: 2122-25.
62. Yaeram J, Setchell B, Maddocks S. Effect of heat stress on the fertility of male mice in vivo and in vitro. *Reprod Fertil Dev* 2006; 18:647.
63. Karaca A. Elevated body temperature directly contributes to heat stress infertility of broiler breeder males. *Poult Sci.* 2002; 81: 1892-97.
64. Figa-Talamanca I. Fertility and semen quality of workers exposed to high temperatures in the ceramic industries. *Reprod Toxicol.* 1992; 6:517-23.
65. Figa-Talamanca I. Effects of prolonged automobile driving on male reproductive function. *Am J Indust* 1996; 30: 750-58.
66. Mieusset R. Testicular heating and its possible contribution to male infertility. *Int J Androl.* 1995; 18: 169-84.
67. Parazzini F. Tight underpants and trousers and risk of dystermia. *Int J Fertil.* 1995; 18: 125-28.
68. Thonneau P. Effects of male occupational heat exposure on time to pregnancy. *Int J Androl.* 1997; 20:274-78.

69. The Human Effects of Microwaves. Disponible en URL: http://www.safeschool.ca/Parliament_of_Canada.html. Accesed Sep tiembre 11, 2010.
70. Cairnie A, Harding R. Cytological studies in mouse testis irradiated with 2.45-GHz continuous-wave microwaves. *Radiat Res* 1981; 87:100–08.
71. Blackwell R. Standards for microwave radiation. *Nature* 1979; 282:360.
72. Wang S, Wang D, Peng R, Gao Y, Yang Y, Hu W, et al. Effect of electromagnetic pulse irradiation on structure and function of Leydig cells in mice. *Zhonghua Nan Ke Xue* 2003; 9:327–30.
73. Jung A, Schill W. Male infertility. Current life style could be responsible for infertility. *MMW Fortschr Med* 2000; 142: 31–3.
74. Agarwal A, Deepinder S, Ranga G, Li J. Effect of cell phone usage on semen analysis in men attending infertility clinic: an observational study. *Fertil Steril* 2008; 89: 124-28.
75. Ranchal J. Mil millones de computadoras personales en el mundo. *The Inquirer*. Disponible en URL: http://www.theinquirer.es/2008/06/23/1000millones_de_pcs_funcionan_en_el_mundo.html. Accesed: Julio 12, 2010.
76. Oppenheimer A. La avalancha de laptops en la región. Disponible en URL: http://www.lanacion.com.ar/nota.asp?nota_id=1246317. Accesed Mayo 23, 2010.
77. Avendaño C, Mata A, Juárez A, Martínez V, Sánchez C. Laptop expositions affect motility and induce dna fragmentation in human spermatozoa in vitro by a nonthermal effect: a preliminary report. *Fertil Steril* 2010; 4: S73.
78. Lee S, Johnson D, Dunbar K, Dong H, Ge X, et al. 2.45 GHz radiofrequency fields alter gene expresión in cultured human cells. *FEBS* 2005; 579: 4829-36.

79. Martínez-Búrdalo M, Martín A, Sanchis A, Villar R. FDTD assessment of human exposure to electromagnetic fields from wifi and bluetooth devices in some operating situations. *Bioelectromagnetics* 2009; 30:142-51.
80. Agarwal A, Deepinder F, Sharma R, Ranga G, Li J. Effect of cell phone usage on semen analysis in men attending infertility clinic: an observational study. *Fertil Steril* 2008; 1: 124-8.
81. Joseph W, Vermeeren G, Verloock L, Martens L. Estimation of whole-body SAR from electromagnetic fields using personal exposure meters. *Bioelectromagnetics* 2010; 31: 286-95.
82. Andersen J, Mogensen P, Pedersen G. Power Variations of Wireless Communication Systems. *Bioelectromagnetics* 2010; 31: 302-10.
83. Remohí J, Cobo A, De los Santos M, Pellicer A. Manual práctico de esterilidad y reproducción humana. Madrid, España: Editorial McGraw Hill; 2008. p. 1-23.
84. Villa N, Ceballos A. Radicales libres e infertilidad en el macho. *Vet zootec* 2007; 1: 87-97.
85. Aitken R, Fisher H. Reactive oxygen species generation and human spermatozoa: the balance of benefit and risk. *BioEssays* 1994; 16: 259-67.
86. Aitken R, Gordon E, Harkiss D. Relative impact of oxidative stress on the functional competence and genomic integrity of human spermatozoa. *Biology of Reproduction* 1998; 59: 1037-47.



Anexos

ANEXO 1

CONSENTIMIENTO INFORMADO DE PARTICIPACIÓN EN EL EXPERIMENTO Y DONACIÓN DE SEMEN

Resumen del proyecto.

Este estudio consiste en un experimento para probar que la producción de calor y la radiación electromagnética Wi-Fi de un computador portátil sobre las piernas de un usuario, es suficiente para generar trastornos en los parámetros seminales al aumentar el calor de los testículos dentro de la bolsa escrotal, la cual debe estar a menor temperatura que el resto del cuerpo para no interferir en su normal funcionamiento, pudiendo afectar temporalmente la capacidad fecundativa del hombre.

Beneficios de la investigación.

Aportar con la investigación científica en el conocimiento de los potenciales perjuicios derivados del calor del computador portátil para así poder prevenir al resto de la comunidad que lo utiliza bajo esas condiciones; además poder conocer los niveles espermáticos de cada participante al obtener un informe completo a través del espermiograma.

Riesgos del estudio.

Hasta el momento se sabe que los estados febriles afectan directamente la producción de espermatozoides pero de forma temporal, sin embargo la exposición prolongada a altas temperaturas durante años es capaz de disminuir considerablemente la capacidad fecundativa del hombre, por lo que los efectos del calor producido por el computador portátil sobre las piernas (si poseen efecto alguno) sólo serán pasajeros según estudios previos y hasta el momento no existe evidencia científica de efectos permanentes, de manera que el participante debiese recuperar la capacidad fértil en aproximadamente en un máximo de 90 días, para lo cual podrá

comprobar su retorno a niveles normales con otro espermiograma luego de este de tiempo.

Por lo cual, después de haber leído y comprendido lo anterior, el participante declara:

1. Comprender todo lo anteriormente expuesto en cuanto a los riesgos y beneficios del estudio en cuestión.
2. En forma voluntaria y sin ninguna presión o inducción consiente en participar en esta investigación y en donar a lo menos 3 muestras de semen, con la siguiente finalidad: 2 muestras para confirmar niveles normales de espermatozoides al comienzo de la investigación, 1 muestra para evaluar el efecto del computador portátil después de la exposición. Y una cuarta muestra 90 días mínimos en caso de ser necesario, después de haber terminado el experimento para verificar niveles normales.
3. Además, consiento en que el espécimen de semen que estoy donando sea usado únicamente con el propósito de contribuir en esta causa (sólo evaluación de las características físico-químicas de la muestra de semen sin otra utilización, por lo cual una vez observada se eliminará por métodos convencionales) y entiendo que mi propia identidad será guardada en secreto y en estricta confidencialidad, a menos que alguna corte ordene abrirla por una buena causa mostrada y puntualizada por la ley.
4. Además, me comprometo a seguir cada uno de las instrucciones especificadas en este experimento, a no omitir información ni falsear los datos obtenidos.
5. Entiendo el método para coleccionar las muestras de semen y las recogeré siguiendo estrictamente las instrucciones antes de cada donación y las proporcionaré en la fecha acordada.
6. Una vez que esté participando como donante reportaré todo cambio significativo en mi salud, especialmente en lo referente a enfermedades

febriles, y reportaré cualquier información nueva acerca de enfermedades de los cuales no hubiera tenido conocimiento durante el proceso, aunque éstos no constituyan un cambio evidente en mi estado de salud.

7. Me comprometo a tener informado al programa de los cambios de domicilio durante el desarrollo de la investigación.
8. Entiendo que puedo terminar mi participación como voluntario en cualquier momento con la apropiada notificación al encargado del proyecto y acepto que puedo ser excluido como voluntario del programa en cualquier momento.
9. Para cualquier pregunta adicional, sírvase a consultar con los investigadores:

- Dr. Heriberto Araneda, profesor guía
Hospital Guillermo Grant Benavente, 4º piso, laboratorio de medicina perinatal.
- Sr. Leonardo Flores, investigador principal, alumno postulante a Magíster. Fonos: 88631295 – 76481541 – 2739242 - **leonardoflores@udec.cl**
- Podrán enviar consultas y recibir información al correo: **espermiolaptop@hotmail.com**
- Además, se les enviará el informe del espermiograma a sus respectivos correos electrónicos durante el estudio y se les entregará un resumen de los principales resultados y conclusiones del estudio al concluir el mismo.

Con lo anteriormente expuesto:

Yo:..... Fecha:

Rut:.....

Consiento ser participante de este estudio.

Firma _____

ANEXO 2

Cuestionario básico de antecedentes clínicos

Nombre:**Fecha:**.....

Dirección: **Teléfono:**

Variable	Parámetro
Edad	
Peso	
Altura	
Ocupación	
Hijos	
Enfermedades	
Uso de medicamentos	
Hospitalizaciones	
Antecedentes familiares de importancia	
¿Consume alcohol? ¿Cuanto?	
¿Fuma? ¿Cuanto?	
Drogas ¿Cuanto?	
Actividad sexual	
Infecciones de transmisión sexual	
Radiografías recientes en zona abdominal	
Otras observaciones importantes:	

ANEXO 3

Información al postulante: criterios para la elección de la muestra de participantes

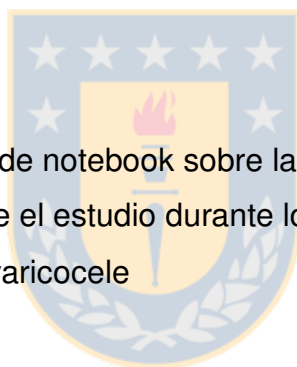
Criterios de inclusión

La muestra se constituirá por todos los hombres que deseen participar voluntariamente en la investigación.

- Edad entre 18 y 35 años
- Hombre sano (sin antecedentes de enfermedad actual ni crónica)
- Disponibilidad de un computador portátil

Criterios de exclusión

- Usuario frecuente de notebook sobre las piernas (que lo hubiesen utilizado como pida el estudio durante los últimos 90 días)
- Antecedentes de varicocele
- Criptorquidia
- Cirugía escrotal
- Enfermedades de la piel
- Subfertilidad (comprobada por estudio de espermiograma previo al comienzo de la investigación)
- Discrepancia evidente del tamaño testicular
- Enfermedad febril reciente
- Exposición prolongada u ocupacional al calor (Ej. usuarios de sauna, conductores profesionales, o trabajadores expuestos a altas temperaturas)
- Fumador (mayor a 10 cigarrillos diarios)



ANEXO 4

Procedimientos utilizados en la investigación

En el desarrollo de la investigación a cada uno de los participantes se le realizará un cuestionario con el fin de conocer su historia médica que incluye antecedentes clínicos y un examen físico general si fuese necesario.

El análisis de semen se realizará mediante el espermiograma, para lo cual se requiere de la toma de muestra de semen por autoestimulo en las condiciones que se indica a continuación.

Instrucciones para toma de muestra de espermiograma

No aplicar pomadas, ni jabón quirúrgico en el pene, al menos ocho horas antes de recoger el semen:

1. Abrir cuidadosamente el envase del frasco previamente esterilizado.
2. Recoger el semen por masturbación.
3. Recoger todo el semen, si se pierden algunas gotas o se derrama, no traerlo al laboratorio, si ocurre esto se volverá a recogerlo en otro frasco y traerlo otro día.
4. Traerlo al laboratorio dentro de la primera hora después de recogerlo.
5. Traer el frasco en posición vertical para no volcar el contenido.
6. Evite el exceso de frío o de calor, transporte la muestra a una temperatura corporal recomendablemente bajo la axila.

Cualquier pregunta adicional, favor consultar con los investigadores

Dr. Heriberto Araneda, profesor guía, Hospital Guillermo Grant Benavente, 4º piso, laboratorio de medicina perinatal.

Sr. Leonardo Flores, encargado del proyecto, alumno postulante a Magíster. Fonos: 764 815 41 - 2739242.

- Mail: leonardoflores@udec.cl, espermiolaptop@hotmail.com

ANEXO 5

Información básica sobre el proyecto entregado a los participantes

“El objeto de esta información es ayudarlo a tomar la decisión de participar o no en este proyecto”.

Resumen: este estudio consiste en un experimento para probar que la producción de calor de un computador portátil sobre las piernas de un usuario cualquiera, es suficiente para generar trastornos en las características normales del semen al aumentar el calor de los testículos dentro de la bolsa escrotal, la cual debe estar a menor temperatura que el resto del cuerpo para no interferir en su normal funcionamiento, pudiendo afectar **temporalmente** la capacidad fecundativa del hombre.

Objetivo general.

Analizar el efecto del calor y la radiación electromagnética (Wi-Fi) en las características seminales de personas expuestas al uso del computador portátil sobre las piernas.

Beneficios de la participación.

Aportar con la investigación científica y además conocer la capacidad fecundativa de cada participante a través de un espermiograma.

Riesgos del estudio.

Hasta el momento se sabe que los estados febriles afectan directamente la producción de espermatozoides pero de forma temporal, sin embargo la exposición prolongada a altas temperaturas durante años es capaz de disminuir considerablemente la capacidad fecundativa del hombre, por lo que los efectos del calor producido por el computador portátil sobre las piernas (si poseen efecto alguno) sólo serían pasajeros, ya hasta el momento

no existe evidencia científica de efectos a largo plazo, de manera que el participante debiese recuperar la capacidad fértil en aproximadamente 90 días, para lo cual podrá comprobar su retorno a niveles normales con otro espermiograma luego de este periodo de tiempo.



ANEXO 6

Hoja de Registro diario

Nombre del participante: _____

Datos del computador: Marca: _____ Procesador: _____

Fecha	Nº de días	Minutos de uso del notebook	Conectado a Internet inalámbrico (si/no)	Temperatura ambiental °C (opcional)	Observaciones (en caso de enfermedad febril)
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
	11				
	12				
	13				
	14				
	15				
	16				
	17				
	18				
	19				
	20				

Notas:

Recuerde registrar cualquier modificación diaria de su estado de salud en el ítem observaciones.

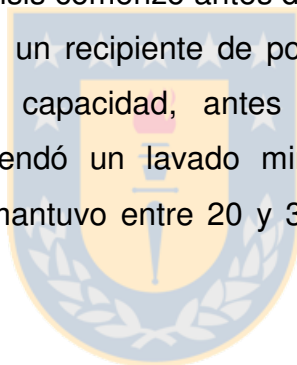
Además, por lo menos debe utilizar el notebook durante 60 minutos diarios continuos en la posición requerida y en lo posible durante al menos 20 días seguidos.

ANEXO 7

Datos y parámetros analizados en un espermiograma

Nombre paciente:	Infertilidad (años):
Fecha examen:	Hora del informe:
Edad:	Procedencia:
Nº de hijos:	Toma muestra:
Días de abstinencia:	Diagnóstico previo:

El período de abstinencia previo a la recogida de muestras fue no inferior a 3 días y su análisis comenzó antes de una hora emitido. La muestra de semen se recogió en un recipiente de polipropileno neutro, estéril boca ancha con 50 cc. de capacidad, antes de obtener la muestra por masturbación se recomendó un lavado minucioso del meato urinario y glande. La muestra se mantuvo entre 20 y 34 grados centígrados hasta el momento del análisis.



1) EXAMEN MACROSCÓPICO (FÍSICO) (VALORES DE REFERENCIA OMS/1999)

	Valores de referencia
A) Volumen:	(1,5 – 6 ml)
B) Color:	(Grisáceo amarillento)
C) Olor:	(jugo de castaña)
D) pH:	(7,1 – 8,3)
E) Mucólisis:	(15-30 min.)
F) Viscosidad:	(<2 cm)

En cuanto a estos parámetros, el **volumen** normal del eyaculado oscila entre los 1,5 a 6ml con una media de 3,3 ml, el **color** en general es grisáceo amarillento pero en personas con abstinencia sexual prolongada o que ingieren gran cantidad de alimentos que contienen flavinas en mucho más amarillento. En cuanto al **olor** normal, este es parecido al de tallos de nardos machacados o flores de castaño, y si presenta un olor pútrido o fecaloide generalmente posee infecciones, especialmente *escherichia coli*. Con referencia a la **mucólisis** o también llamada licuefacción, se produce alrededor de los 15 minutos a temperatura ambiente la cual si no sucede al cabo de los 60 minutos deberá informarse de esta circunstancia. El **pH** del semen recién eyaculado es alcalino y debe ser igual o superior a 7,1 sin embargo cuando es inferior a 7 en una muestra azoospermica, se debe pensar en una disgenesia de los vasos deferentes o en una obstrucción de los conductos eyaculadores; y finalmente respecto a la **viscosidad**, lo que se informa en realidad la filancia del semen al levantarlo con una pipeta.

2) EXAMEN MICROSCÓPICO

En el examen microscópico se valora la concentración, movilidad, morfología y aglutinación de los espermatozoides, así como la presencia de otros elementos, como los leucocitos o células germinales inmaduras. Para los análisis de muestras sin teñir, se recomienda utilizar el microscopio de contraste de fases; no obstante, se puede emplear también el de luz convencional.

La determinación exacta de la **concentración** espermática (millones de espermatozoides por mililitro de semen) y de su cantidad total en el líquido eyaculado (millones de espermatozoides por eyaculación) es muy importante; ambos parámetros se consideran fundamentales para evaluar la calidad del eyaculado; y el método mas exacto es a través de diluciones volumétricas y hemotocimetría, utilizando una dilución 1:19, se mezcla, se

colocan 10 microlitos en una cámara de Neubauer y se realiza el recuento como se detalla a continuación:

Recuento manual:

1. Lo primero que debe hacerse es la homogenización de la muestra, agitando con una varilla de vidrio hasta obtener una gota pendiente en el extremo.
2. Luego se diluye la muestra con una pipeta de Thomas de glóbulos blancos hasta la señal 0,5 y el líquido diluyente hasta la señal 11. Con ello se obtienen una dilución 1/20.
3. Se homogeniza la muestra agitando intensamente la pipeta sujeta por ambos extremos haciendo girar la bolita de su interior.
4. Se llena la cámara de recuento de Neubauer. Se desecha las 3 ó 4 primeras gotas, y se llena la cámara dejando reposar 2 minutos en una cámara húmeda para que sedimente los espermatozoides.
5. Se coloca la cámara en la platina del microscopio y con el objetivo 10x se comprueba que la distribución que es homogénea y que no hay aglutinación de espermatozoides.

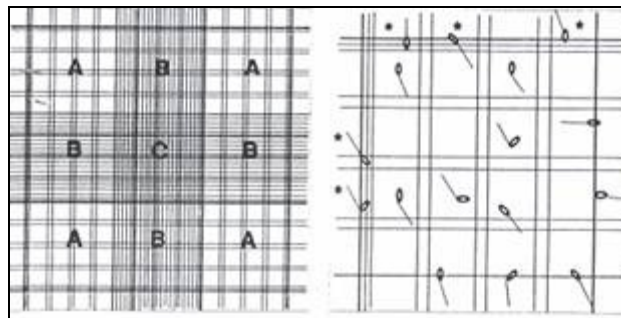


Fig. Vista microscópica de la cámara de recuento celular de Neubauer

Cálculo: estos se cuentan en 2 mm^2 , es decir, en dos cuadrados grandes de las esquinas.

Con respecto a la **movilidad**, el análisis de los espermatozoides de la muestra se realiza contando solamente los espermatozoides libres y nunca los que estén agregados entre sí o con otras células. La movilidad puede medirse mediante observación directa o con analizadores de imagen, es mucho más común la técnica de observación directa, para esto, se monta una gota de semen líquido o licuado entre porta y cubre con el portaobjeto precalentado a 37° C y se observa microscópicamente.

La movilidad se valora observando varios campos con el objetivo de 40x, contando no menos de 100 espermatozoides, primero los móviles progresivos, luego los móviles no progresivos y finalmente los inmóviles. Luego se registra en porcentaje (%), así dentro del conteo podemos distinguir 4 grados:

- *Grado 0*: cuando no se mueven en absoluto, inmóviles o movilidad nula.
- *Grado I y II*: tienen un movimiento lento pero sin desplazamiento.
- *Grado III*: tienen movimientos de vaivén o progresivos lentos y movimientos circulares.
- *Grado IV*: movimiento progresivo, rápido y rectilíneo.

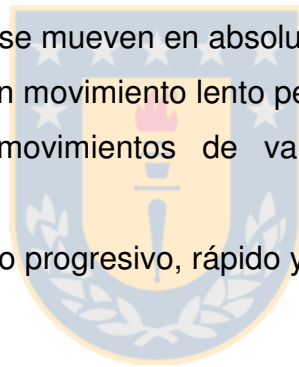
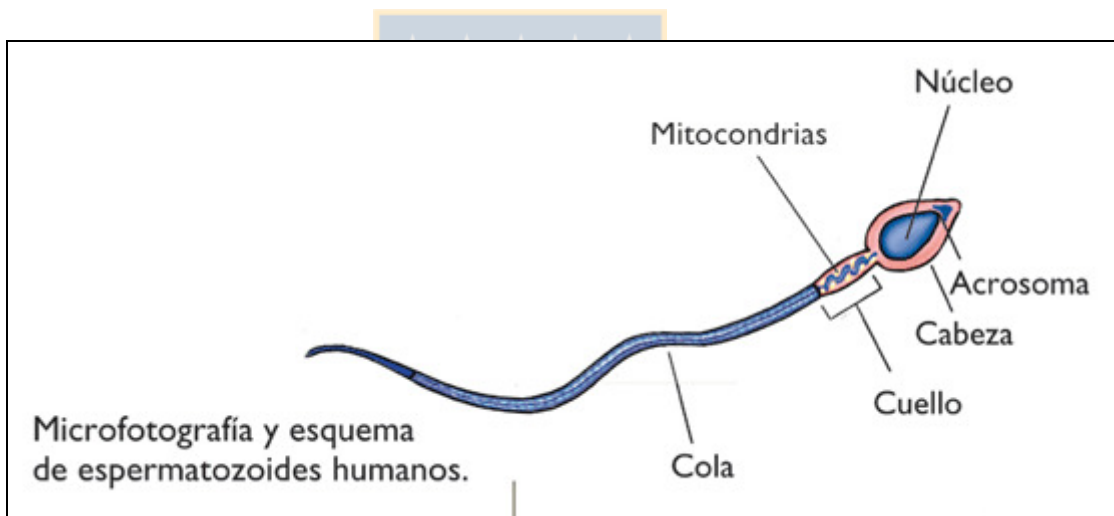


Tabla resumen

A) Examen inmediato a la hora:	Descripción general de la muestra
B) Recuento Espermático:	(20- 160 millones/ml)
C) Recuento Total:	(>40 millones/ muestra)
espermios móviles:	(>60%)
espermios inmóviles:	(<20%)
D) motilidad.	
Grado IV:	(>50%)
Grado III:	(10 – 30%)
Grado I y II:	(10 – 20%)
Grado 0:	(<30%)

3) MORFOLOGÍA

La morfología del espermatozoide se valora mediante recuentos diferenciales de los tipos de espermatozoides morfológicamente normales y anormales en extensiones teñidas generalmente. Además, se observan las células espermatogénicas inmaduras que puedan aparecer. Aunque en un eyaculado se puede encontrar una población espermática muy heterogénea en cuanto a su morfología; esto se presenta tanto en las muestras de un mismo individuo como en la de distintos. Si bien la definición de espermatozoide normal y su porcentaje ha ido evolucionando durante el tiempo se resumen en: normales u ovals, malformados o con anomalías de cabeza, del cuello o segmento intermedio y también anomalías de la cola.



En cuanto a la **aglutinación**, se considera que existe cuando los espermatozoides móviles están unidos entre sí por la cabeza o por la cola, o bien cabeza-cola, considerándose de esta forma aglutinación inespecífica.

Otras células en el semen

El semen eyaculado invariablemente contiene otras células además de los espermatozoides, entre ellas se incluyen células epiteliales de la uretra, células espermatogénicas inmaduras de distintos tipos y leucocitos. La

concentración del total de células debe medirse y dar su resultado en porcentaje; se considera normal que el eyaculado no contenga más del 5 % de estas células.

La presencia de células espermatoogénicas inmaduras (espermatogonias, espermátidas redondas, espermatoocitos) en el eyaculado es un signo de irritación del epitelio germinal, pero su presencia no es útil para establecer un diagnóstico causal ni para conocer el pronóstico.

Las células de mayor importancia son los leucocitos; se considera que en un eyaculado normal debe haber menos de 1.000.000/ml. La presencia de cantidades mayores de leucocitos se denomina **leucocitospermia** y no siempre se debe a procesos infecciosos, pero la ausencia de ellos tampoco asegura que no exista una sepsis de las vías seminales. No obstante, aunque la leucocitospermia *per se* no asegura el diagnóstico de infección sí se considera un signo de sospecha, que en asociación con otros signos seminales y clínicos confirman dicho diagnóstico como por ejemplo el de varicocele.

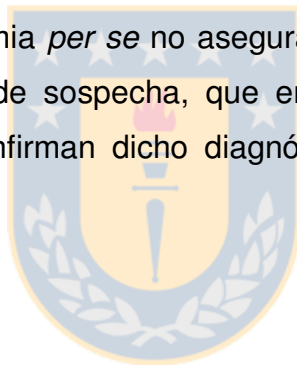


Tabla resumen

Formas ovals: %	(>60%)
Malformados: %	(<40%)
Cabeza: %	
Segmento: %	
Cola: %	
Formas inmaduras: x 10 ⁶	(< 0,5 x10 ⁶)
Leucocitos: x 10 ⁶	(< 1x 10 ⁶)
E) Aglutinación:	
Específica:	
Inespecífica:	

4) CONCLUSIONES:

Finalmente el análisis seminal se objetiva mediante un informe en función de: recuento espermático por ml, movilidad, morfología, aglutinación y células no espermáticas que presenta la muestra.

