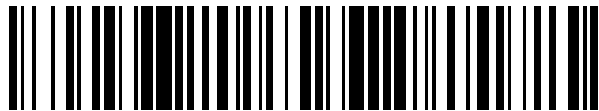


19



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 536 575**

21 Número de solicitud: 201431711

51 Int. Cl.:

**A61B 10/00** (2006.01)  
**G06F 19/24** (2011.01)  
**G06T 7/40** (2006.01)  
**G01N 21/95** (2006.01)  
**G06K 9/80** (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

**20.11.2014**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**26.05.2015**

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD DE LEÓN (100.0%)**  
**Avda. de la facultad, 25**  
**24071 León ES**

72 Inventor/es:

**ALEGRE GUTIÉRREZ, Enrique;**  
**GARCÍA-OLALLA OLIVERA, Óscar;**  
**FERNÁNDEZ ROBLES, Laura;**  
**GARCÍA ORDÁS, María Teresa;**  
**GONZÁLEZ CASTRO, Víctor y**  
**FIDALGO FERNÁNDEZ, Eduardo**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

54 Título: **Procedimiento y sistema de visión artificial para la descripción y clasificación de espermatozoides según el estado de su acrosoma**

57 Resumen:

Procedimiento y sistema de visión artificial para la descripción y clasificación de espermatozoides según el estado de su acrosoma, a partir de imágenes (10) digitales tomadas de una muestra de semen (1), utilizando un patrón binario local adaptativo y características estadísticas orientadas de la imagen. El procedimiento automatizado de clasificación de cabezas (11) de espermatozoides está basado en la descripción mediante la combinación del histograma obtenido a partir del patrón binario local adaptativo y los vectores estadísticos orientados (media y desviación típica) de imágenes de los mismos. Dicho procedimiento hace uso de técnicas de manipulación de las imágenes (10) digitales capturadas para describir y clasificar las cabezas según la integridad de su acrosoma como íntegras o dañadas.

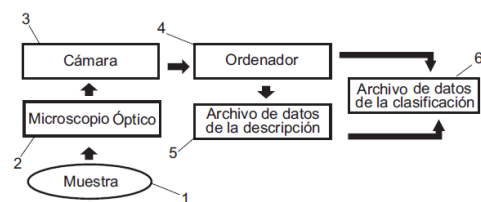


Fig. 1

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento y sistema de visión artificial para la descripción y clasificación de espermatozoides según el estado de su acrosoma

5

### OBJETO DE LA INVENCION

El objeto de la presente invención es un proceso automatizado para describir y clasificar espermatozoides en dos clases: espermatozoides con acrosoma íntegro o espermatozoides con acrosoma dañado. A partir de fotografías digitales de las cabezas de espermatozoides tomadas en escala de grises, el procedimiento obtiene y utiliza el descriptor patrón binario local adaptativo (ALBP, "Adaptive Local Binary Pattern" en sus siglas en inglés) combinado con las medias y las desviaciones típicas de los niveles de gris de los píxeles de la imagen a lo largo de diferentes orientaciones para su posterior clasificación.

10

### ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Realizar un control de calidad del semen es una tarea imprescindible en los procesos de inseminación artificial asistida, tanto humana como animal. Existe una gran cantidad de compañías interesadas en adquirir muestras de semen proveniente de empresas especializadas, que deben garantizar la mejor calidad posible de las mismas para asegurar una buena fertilización.

20

La utilización del análisis digital de imágenes en el estudio médico en general, y la valoración de las características de los espermatozoides en particular, dio comienzo a principios de siglo. Casi todos los trabajos realizados hasta el momento en este campo se limitan a estudiar los resultados obtenidos al evaluar el semen con los sistemas CASA (Computer-Assisted Sperm Analysis) existentes (C. Soler, J. J. de Montserrat, R. Gutiérrez, J. Núñez, M. Núñez, M. Sancho, F. Pérez-Sánchez, y T.G. Cooper, "Use of the Sperm-Class Analyser for objective assessment of human sperm morphology", International Journal of Andrology, Vol. 26, No. 5, 2003, pp. 262-270), o comparando las medidas obtenidas con distintos sistemas (J.-Z. Chan, W. Krause, y C. Bohring, "Computer assisted analysis of sperm morphology with the aid of lectin staining", Andrologia, Vol. 34, 2002, pp. 379-383).

25

30

35

Otros trabajos analizan la morfometría de la cabeza del espermatozoide de distintas

especies. Sin embargo, las técnicas de visión artificial basadas en la textura de la cabeza o en la morfología del acrosoma para determinar su estado, no han sido prácticamente evaluadas. En la práctica veterinaria se asume que la fertilidad de un espermatozoide está altamente relacionada con el estado de su acrosoma. La comprobación de este estado suele hacerse de manera visual, utilizando tinciones, microscopios de fluorescencia así como otro material y personal especializados, haciendo que el proceso sea muy costoso tanto en tiempo como en recursos. Por ello, resulta muy interesante desarrollar un método que permita realizar este proceso mediante imágenes en contraste de fases, que son más sencillas de obtener y tan solo requieren un microscopio convencional adherido a una cámara. El objetivo del método es clasificar las cabezas de los espermatozoides según el estado de su acrosoma como íntegras o dañadas.

#### DESCRIPCIÓN

La presente invención se refiere a un procedimiento y un sistema de visión artificial para la descripción y clasificación de cabezas de espermatozoides según el estado de su acrosoma, como íntegras o dañadas, a partir de una imagen digital inicial tomada de una muestra de semen.

El procedimiento comprende los siguientes pasos:

- 20           - segmentar la imagen mediante umbralización para detectar las cabezas de los espermatozoides;
- describir las cabezas de espermatozoides utilizando un patrón binario local adaptativo y los vectores de las medias y desviaciones típicas orientadas, obteniendo el vector de características;
- 25           - clasificar las cabezas como íntegras o dañadas en función del estado de su acrosoma utilizando el vector de características de la imagen y un algoritmo de aprendizaje supervisado.

El paso de segmentar la imagen empleando un umbral comprende preferentemente detectar por umbralización las zonas de la imagen donde se encuentran las cabezas de los espermatozoides, y recortar las regiones detectadas.

En una realización particular el paso de descripción de las cabezas de espermatozoides utilizando un patrón binario local adaptativo y los vectores de las medias y desviaciones típicas orientadas comprende:

- calcular el histograma de longitud  $P+2$  elementos utilizando el algoritmo de patrón binario local adaptativo;

- calcular el vector de medias orientadas en las  $P$  direcciones indicadas por el número de vecinos;

5           - calcular el vector de desviaciones típicas orientadas en las  $P$  direcciones indicadas por el número de vecinos;

- concatenar el histograma de patrón binario local adaptativo, el vector de medias y el vector de desviaciones típicas formando un único vector de características de  $3P+2$  elementos, usado como descriptor final de la imagen.

10

El paso de clasificación de las cabezas de espermatozoides puede también comprender entrenar un sistema de aprendizaje automático con un conjunto de entrenamiento etiquetado y con el vector de características obtenido; y clasificar los espermatozoides, con el sistema previamente entrenado, según su acrosoma representado por su vector de características sea íntegro o dañado.

15

El procedimiento puede comprender mostrar la etiqueta de la cabeza evaluada, una vez ha sido clasificada. El procedimiento además puede comprender un paso previo de preprocesamiento de la imagen digital inicial. El preprocesamiento puede comprender la conversión de la imagen original a escala de grises, y/o el estiramiento del histograma para que el rango dinámico de la imagen se corresponda con el rango estático.

20

El procedimiento puede comprender un paso de registro de imágenes para homogeneizar su tamaño y orientación. El procedimiento además puede comprender un paso de adquisición de la imagen digital inicial en escala de gris utilizando una cámara digital acoplada a un microscopio óptico.

25

El algoritmo de aprendizaje supervisado está preferiblemente basado en redes neuronales o en máquinas de vectores soporte.

30

Otro aspecto de la presente invención se refiere a un sistema de visión artificial para la descripción y clasificación de cabezas de espermatozoides según el estado de su acrosoma, como íntegras o dañadas, a partir de una imagen digital inicial tomada de una muestra de semen. El sistema comprende medios de procesamiento de datos

35

configurados para ejecutar las etapas del procedimiento. El sistema puede comprender una cámara digital acoplada a un microscopio óptico y configurada para la adquisición de la imagen digital inicial en escala de gris. Además, el sistema puede comprender unos medios de almacenamiento de datos donde se almacena un archivo de datos de la descripción y un archivo de datos de la clasificación de las cabezas de espermatozoides.

El procedimiento de la invención permite discriminar las cabezas de espermatozoides en íntegras o dañadas según el estado de su acrosoma, utilizando únicamente imágenes en escala de gris y por lo tanto disminuyendo el tiempo necesario para el análisis y mejorando su fiabilidad. Este procedimiento se puede aplicar a la industria de producción animal, donde la incorporación de controles de calidad en los principales parámetros seminales es indispensable para obtener un procesamiento eficiente y preciso de las muestras de eyaculados. El procedimiento de la invención clasifica las cabezas, previamente descritas mediante los histogramas de ALBP combinados con las medias y desviaciones típicas orientadas, y es aplicable a distintas especies animales, aunque tiene especial interés en la industria porcina, debido al alto índice de consumo de productos derivados del cerdo. Por otro lado, en el campo de la reproducción humana, el procedimiento de la invención puede ser útil para valorar la calidad seminal de los pacientes en casos que requieran reproducción asistida.

Las operaciones basadas en los tamaños de espermatozoides están condicionadas por la especie y los aumentos a los que se toma la imagen en cada aplicación concreta. Resulta evidente que no es igual el tamaño de un espermatozoide de cerdo que el de un espermatozoide humano, ni tampoco tiene el mismo tamaño la imagen de un espermatozoide de cerdo a 40x que a 100x aumentos. Por otra parte, en la presente invención se emplea de manera general el término "imagen" para hacer referencia tanto a imágenes fijas (o fotografías) como a cada una de las imágenes presentes en una secuencia (o vídeo).

El procedimiento que propone la presente invención para describir las cabezas de espermatozoides mediante una combinación de ALBP y los vectores de la media y la desviación típica orientadas, así como su clasificación en función del estado del acrosoma, como íntegras y dañadas, comprende las siguientes etapas:

- adquirir un conjunto de imágenes digitales a partir de muestras de semen

obtenidas previamente;

- cuando sea necesario, modificar el conjunto previo preprocesando dichas imágenes de manera que se facilite la posterior descripción de las mismas.
- 5 - obtener las regiones de la imagen que se corresponden con las cabezas de espermatozoides;
- obtener la descripción de las imágenes de las cabezas segmentadas;
- clasificar las cabezas de los espermatozoides como íntegras o dañadas, en función del estado de su acrosoma.

10

En la etapa de adquisición se capturan imágenes de la muestra que se desea analizar, bien como imágenes fijas, o procedentes de una secuencia de vídeo utilizando una cámara acoplada a un microscopio. Esta cámara digital está conectada a un ordenador en el cual se analiza la imagen digital adquirida. Preferentemente las imágenes se  
15 capturan en contraste de fases negativo, aunque el procedimiento funcionaría de manera análoga utilizando contraste de fases positivo. Cada imagen, por tanto, contendrá una o varias cabezas de espermatozoides, dependiendo del número de aumentos y del tamaño de los espermatozoides. Por último, se obtiene una clasificación utilizando técnicas supervisadas con un conjunto de entrenamiento de imágenes.

20

El procedimiento puede comprender una etapa de preprocesamiento de la imagen capturada con el objeto de mejorar el contraste o simplemente reducir la profundidad de color de la misma. La imagen resultante al término de esta primera etapa se denominará “imagen”, tanto si se ha realizado el preprocesamiento como si no se ha hecho.

25

La etapa de obtención de las regiones de interés mediante la segmentación de cada cabeza de espermatozoide de la imagen se realiza de manera automática. El primer paso consiste en detectar las zonas donde hay cabezas. Las cabezas aparecen con niveles de gris oscuro sobre fondo claro. Por lo tanto, mediante una segmentación basada  
30 en umbral se consigue determinar la posición de los espermatozoides. A continuación, las cabezas son recortadas obteniendo su rectángulo circunscrito.

De acuerdo con una realización preferida preferente de la invención, a continuación se registran las cabezas, redimensionándolas al mismo tamaño y rotándolas de forma que  
35 todas tengan la misma orientación.

Las imágenes resultantes al término de esta etapa se denominarán “imágenes de cabezas segmentadas”, tanto si se ha registrado la imagen como si no se ha hecho.

- 5 La etapa de descripción de las imágenes de cabezas segmentadas se realiza concatenando los histogramas resultantes de aplicar el algoritmo ALBP con las medias y las desviaciones típicas orientadas de las imágenes, creando así el vector de características.
- 10 De acuerdo con una realización preferente de la invención, los parámetros del patrón binario local adaptativo (ALBP) óptimos son 16 vecinos y un radio de 2 píxeles.

- En la etapa de clasificación de las imágenes de cabezas segmentadas según el estado de su acrosoma como íntegras o dañadas se utiliza un algoritmo de clasificación supervisada. De acuerdo con una realización preferente de la invención, los métodos de clasificación supervisada óptimos son las redes neuronales y las máquinas de vectores soporte (SVM, del inglés support vector machines).
- 15

- Por último, se entiende de la presente descripción que la invención se extiende también a programas de ordenador, particularmente los programas de ordenador que se encuentran situados sobre o dentro de una portadora, adaptados para llevar a la práctica el procedimiento descrito. El programa puede tener la forma de código fuente, código objeto, una fuente intermedia de código y código objeto, por ejemplo, como en forma parcialmente compilada, o en cualquier otra forma adecuada para uso en la puesta en práctica de los procesos según la invención. La portadora puede ser cualquier entidad o dispositivo capaz de soportar el programa.
- 20
- 25

- Por ejemplo, la portadora podría incluir un medio de almacenamiento, como una memoria ROM, una memoria CD ROM o una memoria ROM de semiconductor, una memoria Flash, una memoria de estado sólido (SSD, del inglés solid-state drive) o un soporte de grabación magnética, por ejemplo, un disco duro. Además, la portadora puede ser una portadora transmisible, por ejemplo, una señal eléctrica u óptica que podría transportarse a través de cable eléctrico u óptico, por radio o por cualesquiera otros medios.
- 30

35

Cuando el programa va incorporado en una señal que puede ser transportada directamente por un cable u otro dispositivo o medio, la portadora puede estar constituida por dicho cable u otro dispositivo o medio.

- 5 Como variante, la portadora podría ser un circuito integrado en el que va incluido el programa, estando el circuito integrado adaptado para ejecutar, o para ser utilizado en la ejecución de los procesos correspondientes.

#### BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

- 10 La Fig. 1 muestra un esquema simplificado de un sistema capaz de efectuar el procedimiento de la presente invención.

La Fig. 2 muestra una representación simple de la imagen original.

- 15 La Fig. 3 muestra la imagen original después de la detección de las cabezas de los espermatozoides utilizando técnicas de umbralización.

La Fig. 4 muestra una imagen recortada con la cabeza del espermatozoide.

- 20 La Fig. 5 muestra la imagen de la cabeza del espermatozoide después de ser registrada.

La Fig. 6 muestra el procedimiento que se utiliza para el cálculo del valor numérico del LBP (Local Binary Pattern) para un píxel cualquiera.

- 25 La Fig. 7A muestra una región de la imagen sobre la que se indican las direcciones consideradas para el caso de 8 vecinos. La Figura 7B muestra la región utilizada en los ejemplos de cálculo. Las Figuras 7C y 7D muestran dos ejemplos de cálculo del primer elemento del vector de medias y de desviaciones, para la primera dirección  $d_1$  con orientación  $0^\circ$ , y para el tercer elemento del vector de medias, con orientación  $90^\circ$ .

30

#### REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

Se describe a continuación un ejemplo de procedimiento de acuerdo con la invención, haciendo referencia a las figuras adjuntas. La Figura 1 muestra un sistema de captura que comprende a un microscopio óptico 2, que podría ser, por ejemplo, un modelo Nikon

- 35 E50i, donde se dispone la muestra de semen 1. El microscopio óptico 2 está acoplado a



una cámara digital 3, como la Basler scout sc A780, la Basler A312fc u otra, que a su vez está conectada a medios de procesamiento de datos, por ejemplo un ordenador 4, bien mediante una tarjeta digitalizadora, mediante una conexión FireWire, o bien de la forma que la cámara digital 3 requiera para que la imagen capturada llegue al ordenador 4 como una imagen digital. Un archivo de datos de la descripción 5 permite almacenar los descriptores obtenidos ALBP y los vectores de la media y la desviación estándar orientadas, y un archivo de datos de la clasificación 6 guarda los resultados obtenidos en la clasificación. A continuación se describe cada paso del procedimiento de la invención.

10

### **1. Adquisición y preprocesamiento de las imágenes**

En primer lugar, siguiendo el esquema presentado en la Figura 1, la muestra de semen 1 que se quiere analizar, se deposita en el microscopio 2 y se ilumina y enfoca apropiadamente para que la imagen aparezca nítida. El sistema se ha evaluado con imágenes y vídeos tomados a 40 aumentos en contraste de fases negativo, pero el mismo método puede funcionar con otras configuraciones. La ventaja de utilizar imágenes tomadas a 40 aumentos es que es mayor el número de cabezas existentes en la imagen con respecto a las tomadas a 100 aumentos, por lo que se tarda menos tiempo en evaluar los espermatozoides.

20

Una vez obtenidas las imágenes de contraste de fases se lleva a cabo un preprocesamiento de las mismas. Si la imagen adquirida es una imagen RGB o en color indexado, se convierte a una imagen en escala de grises. Adicionalmente, para mejorar el contraste se realiza un estiramiento del histograma de manera que el rango dinámico de la imagen se corresponda con el rango estático. Este estiramiento puede consistir en una simple ampliación del contraste, una ecualización, o cualquier otro método de ajuste del contraste que se elegirá dependiendo del contraste de las imágenes con las que se trabaje. En este ejemplo, el resultado del preprocesamiento es la imagen digital 10 representada de modo simplificado en la Figura 2, a la que se hará referencia como "imagen preprocesada".

30

### **2. Segmentación de las cabezas de espermatozoides.**

El primer paso a realizar es detectar las regiones de la imagen que contienen una cabeza 11 de espermatozoide. En principio, se puede emplear cualquier método clásico de umbralización, aunque en el procedimiento de este ejemplo el umbral para la

35

segmentación se obtiene mediante el método de Otsu. Otra opción sería calcular el umbral experimentalmente estudiando el resultado obtenido tras realizar la detección sobre algunas docenas de imágenes con distintos umbrales. Aunque podría automatizarse la búsqueda de este umbral empleando relaciones de aspecto (eje mayor/eje menor) de las regiones detectadas, para un tipo de imagen (especie animal, aumentos de la captura, contraste de la imagen), se considera que es más operativo que este umbral se establezca a priori, antes de que el sistema inicie su producción. Finalmente, se obtiene una imagen segmentada 13 con unas regiones como las mostradas en la Figura 3.

10

Una vez detectadas las regiones con las cabezas 11 de espermatozoides, se recorta la imagen, dejando como resultado final una imagen recortada 14 con la cabeza del espermatozoide por cada región detectada (Figura 4).

15

A continuación se registran estas imágenes de cabezas, de forma que todas quedan redimensionadas al mismo tamaño, que en una realización preferente de la invención es de 108x63 píxeles y rotadas para que todas tengan la misma orientación. La Figura 5 muestra la Imagen registrada 15 de una cabeza de espermatozoide 11.

20

### 3. Descripción de las imágenes de cabezas segmentadas

Una vez que las cabezas han sido rotadas y registradas, el siguiente paso es aplicar los algoritmos de descripción de la imagen para obtener un conjunto de vectores de características que las representen. El descriptor utilizado en la presente invención se basa en LBP (“Local Binary Pattern”, patrón binario local) uniforme e invariante a rotación, T. Ojala, M. Pietikäinen, y T. T. Mäenpää, “Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with Local Binary Pattern,” IEEE Trans. on PAMI 24(7), pp. 971-987, 2002.

25

30

Para cada píxel, LBP calcula un código comparando el nivel de gris de este píxel con los de sus vecinos utilizando la fórmula:

$$LBP_{P,R} = \sum_{p=0}^{P-1} s(g_p - g_c) 2^p, \quad s(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (1)$$

donde  $g_c$  es el valor del píxel central,  $g_p$  es el valor de sus vecinos, P el número total de vecinos y R el radio utilizado para determinar el vecindario.

35

La Figura 6 muestra un ejemplo del procedimiento para la obtención del valor numérico

para LBP con 8 vecinos y radio 1. El recuadro de la izquierda corresponde a los niveles de gris de un fragmento de la imagen, en concreto 9 píxeles, donde el valor en nivel de gris del pixel central  $g_c$  es 70, y el valor de los píxeles vecinos  $g_p$  es, según el índice  $p$  creciente, 3 ( $p=0$ ), 18 ( $p=1$ ), 120 ( $p=2$ ), 112 ( $p=3$ ), 72 ( $p=4$ ), 68 ( $p=5$ ), 32 ( $p=6$ ), 6 ( $p=7$ ). El recuadro central corresponde a  $s(g_p - g_c)$  y el recuadro de la derecha a  $2^p$ , de forma que multiplicando los valores de ambos recuadros según la ecuación (1) se obtiene LBP:

$$LBP = 0x1 + 0x2 + 1x4 + 1x8 + 1x16 + 0x32 + 0x64 + 0x128 = 28$$

10 El LBP uniforme e invariante a rotación examina el número de transiciones del patrón agrupando en  $P+1$  patrones uniformes diferentes cuando los patrones no presentan más de 2 transiciones y agrupando el resto de patrones no uniformes en otro grupo:

$$LBP_{P,R}^{riu2} = \begin{cases} \sum_{p=0}^{P-1} s(g_p - g_c) & \text{si } U(LBP_{P,R}) \leq 2 \\ P + 1 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

donde

$$U(LBP_{P,R}) = |s(g_{P-1} - g_c) - s(g_0 - g_c)| + \sum_{p=1}^{P-1} |s(g_p - g_c) - s(g_{p-1} - g_c)|$$

15

Por lo que finalmente se genera un histograma con  $P+2$  elementos.

En 2010, se publicó un método adaptativo utilizando LBP (Guo, Z., Zhang, L., Zhang, D., Zhang, S.: Rotation invariant texture classification using adaptive LBP with directional statistical features. In: Image Processing (ICIP), 2010 17th IEEE International Conference on. (2010) 285-288) que se basa en introducir un nuevo parámetro  $\omega$  a la fórmula inicial del LBP para conseguir minimizar la variación de la media y la desviación típica en las distintas direcciones de la imagen. Este parámetro se obtiene utilizando la fórmula:

20

$$\omega_p = \arg \min_{\omega} \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M |g_c(i, j) - \omega \cdot g_p(i, j)|^2 \right\}$$

25

donde  $N$  y  $M$  son el número de filas y de columnas de la imagen respectivamente.

Así pues, para obtener el descriptor de una imagen utilizando este método adaptativo

basado en LBP (ALBP), se usa:

$$ALBP_{p,R} = \sum_{p=0}^{P-1} s(g_p * \omega_p - g_c) 2^p, \quad s(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

Una vez obtenido el ALBP para cada imagen, se obtienen los vectores de las medias y las desviaciones típicas orientadas cuya dimensión será igual al número de vecinos escogidos para la obtención del histograma. Para ello, es necesario obtener las diferencias del valor de gris para las distintas orientaciones a lo largo de toda la imagen. En la Figura 7A se muestra una región de la imagen sobre la que se indican las direcciones d1-d8 consideradas para el caso de 8 vecinos. En el caso de la media, la fórmula a utilizar es:

$$\mu_p = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \frac{d_p(i, j)}{M \cdot N}$$

donde:

N y M son el número de filas y de columnas de la imagen,

$$d_p(x_c, y_c) = |g_c - g_p|$$

15 y las coordenadas de  $g_p$  se definen como:

$$(x_p, y_p) = \left( x_c + R \cos\left(\frac{2\pi p}{P}\right), y_c - R \sin\left(\frac{2\pi p}{P}\right) \right)$$

siendo "P" el número de direcciones elegidas, que coincide con el número de vecinos, y "p" el valor correspondiente a esa dirección, que será 1, 2, ..., P

20 Análogamente, para calcular la desviación típica de las diferentes orientaciones se utiliza la fórmula:

$$\sigma_p = \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (d_p(i, j) - \mu_p)^2 / (M \cdot N)}$$

La Figura 7B muestra la región utilizada en los ejemplos de cálculo de las Figuras 7C y 7D. La Figura 7C muestra un ejemplo de cálculo del primer elemento del vector de medias y de desviaciones, para la primera dirección d1 con orientación 0° (media=25, desviación=29). La Figura 7D muestra un ejemplo de cálculo para la tercera dirección d3

con orientación  $90^\circ$  (media=18, desviación=20).

El descriptor final de cada imagen está formado por la concatenación del histograma de  $P+2$  elementos obtenido utilizando ALBP y de los vectores de medias y desviación típicas de las diferentes orientaciones, dando como resultado un vector de  $3P+2$  características.

Su forma para 8 direcciones será:

Descriptor:  $\text{albp1}, \dots, \text{albp10} + \mu_1, \dots, \mu_8 + \sigma_1, \dots, \sigma_8$

donde el signo “+” indica concatenación.

#### 10 4. Clasificación de las imágenes de cabezas segmentadas.

A continuación, el descriptor calculado en la fase anterior, se clasifica utilizando algún algoritmo de aprendizaje supervisado entrenado previamente. Esta clasificación devuelve para cada vector de características un valor 0 o 1 que determina si el estado del acrosoma del espermatozoide correspondiente es íntegro o dañado.

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la descripción y clasificación de cabezas de espermatozoides según el estado de su acrosoma, como íntegras o dañadas, a partir de una imagen (10) digital inicial tomada de una muestra de semen (1), caracterizado por que comprende los siguientes pasos:
- segmentar la imagen (10) mediante umbralización para detectar las cabezas (11) de los espermatozoides;
  - describir las cabezas (11) de espermatozoides utilizando un patrón binario local adaptativo y los vectores de las medias y desviaciones típicas orientadas, obteniendo el vector de características;
  - clasificar las cabezas como íntegras o dañadas en función del estado de su acrosoma utilizando el vector de características de la imagen y un algoritmo de aprendizaje supervisado.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que el paso de segmentar la imagen empleando un umbral comprende:
- detectar por umbralización las zonas de la imagen donde se encuentran las cabezas de los espermatozoides.
  - recortar las regiones detectadas.
3. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el paso de descripción de las cabezas (11) de espermatozoides utilizando un patrón binario local adaptativo y los vectores de las medias y desviaciones típicas orientadas comprende:
- calcular el histograma de longitud  $P+2$  elementos utilizando el algoritmo de patrón binario local adaptativo;
  - calcular el vector de medias orientadas en las  $P$  direcciones indicadas por el número de vecinos;
  - calcular el vector de desviaciones típicas orientadas en las  $P$  direcciones indicadas por el número de vecinos;
  - concatenar el histograma de patrón binario local adaptativo, el vector de medias y el vector de desviaciones típicas formando un único vector de características de  $3P+2$  elementos, usado como descriptor final de la imagen.

4. Procedimiento según la reivindicación 3, caracterizado por que el paso de clasificación de las cabezas (11) de espermatozoides comprende:

- entrenar un sistema de aprendizaje automático con un conjunto de entrenamiento etiquetado y con el vector de características obtenido;

5 - clasificar los espermatozoides, con el sistema previamente entrenado, según su acrosoma representado por su vector de características sea íntegro o dañado.

5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que además comprende el paso de mostrar la etiqueta de la cabeza evaluada, una vez ha sido clasificada.

10

6. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que además comprende un paso previo de preprocesamiento de la imagen (10) digital inicial.

15

7. Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado por que el preprocesamiento comprende alguna de las siguientes operaciones:

- conversión de la imagen original a escala de grises, o

- estiramiento del histograma para que el rango dinámico de la imagen se

20 corresponda con el rango estático.

8. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que además comprende un paso de registro de imágenes para homogeneizar su tamaño y orientación.

25

9. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que además comprende un paso de adquisición de la imagen (10) digital inicial en escala de gris utilizando una cámara digital (3) acoplada a un microscopio óptico (2).

30 10. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el algoritmo de aprendizaje supervisado está basado en redes neuronales o en máquinas de vectores soporte.

35 11. Sistema de visión artificial para la descripción y clasificación de cabezas de espermatozoides según el estado de su acrosoma, como íntegras o dañadas, a partir de

una imagen (10) digital inicial tomada de una muestra de semen (1), caracterizado por que comprende medios de procesamiento de datos (4) configurados para:

- segmentar la imagen (10) mediante umbralización para detectar las cabezas (11) de los espermatozoides;

5 - describir las cabezas (11) de espermatozoides utilizando un patrón binario local adaptativo y los vectores de las medias y desviaciones típicas orientadas, obteniendo el vector de características;

10 - clasificar las cabezas como íntegras o dañadas en función del estado de su acrosoma utilizando el vector de características de la imagen y un algoritmo de aprendizaje supervisado.

12. Sistema según la reivindicación 11, caracterizado por que además comprende una cámara digital (3) acoplada a un microscopio óptico (2) y configurada para la adquisición de la imagen (10) digital inicial en escala de gris.

15

13. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 11 a 12, caracterizado por que además comprende unos medios de almacenamiento de datos donde se almacena un archivo de datos de la descripción (5) y un archivo de datos de la clasificación (6) de las cabezas (11) de espermatozoides.

20



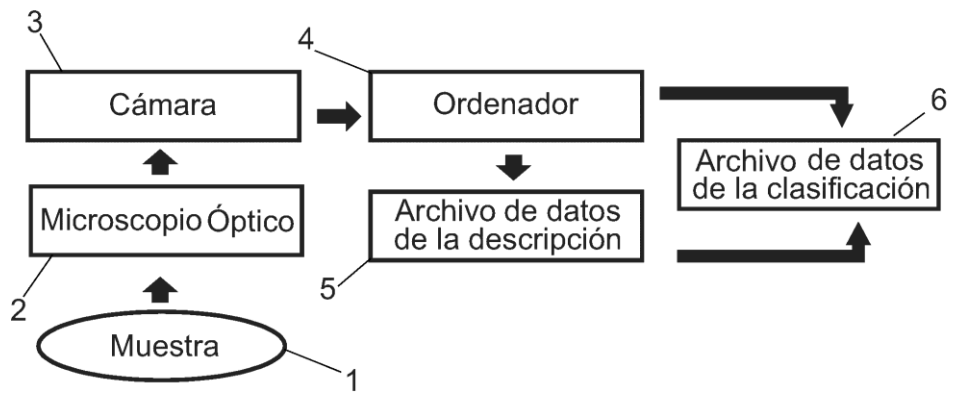


Fig. 1

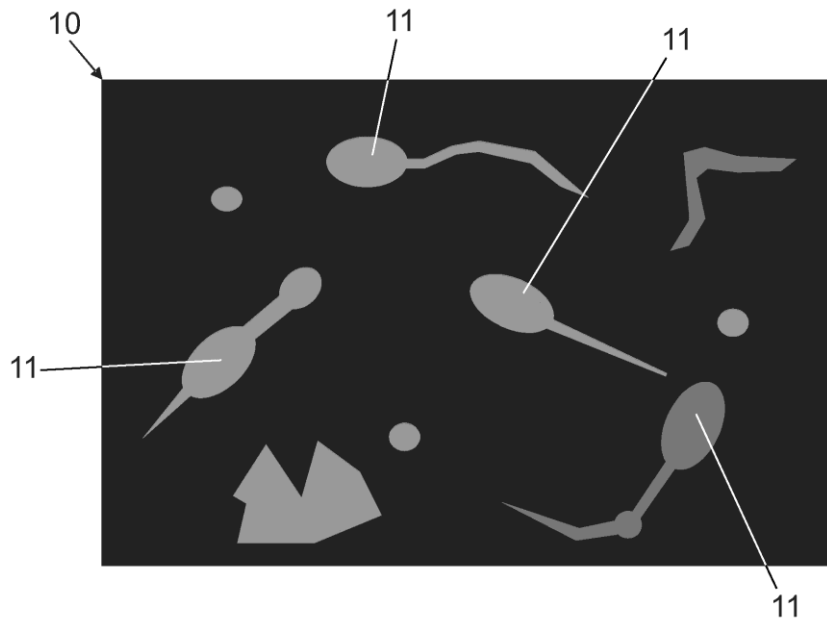


Fig. 2

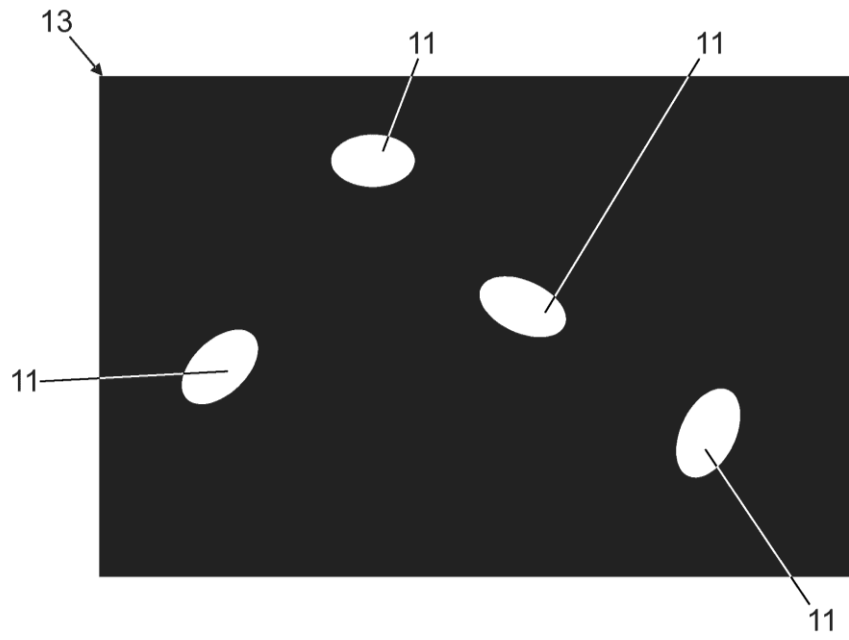


Fig. 3

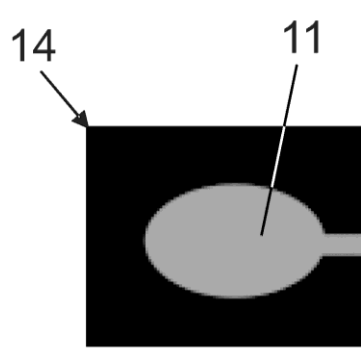


Fig. 4

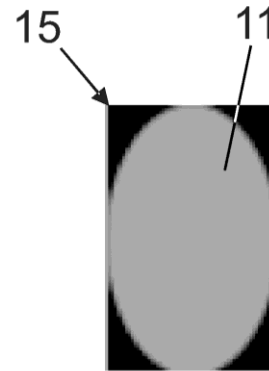


Fig. 5

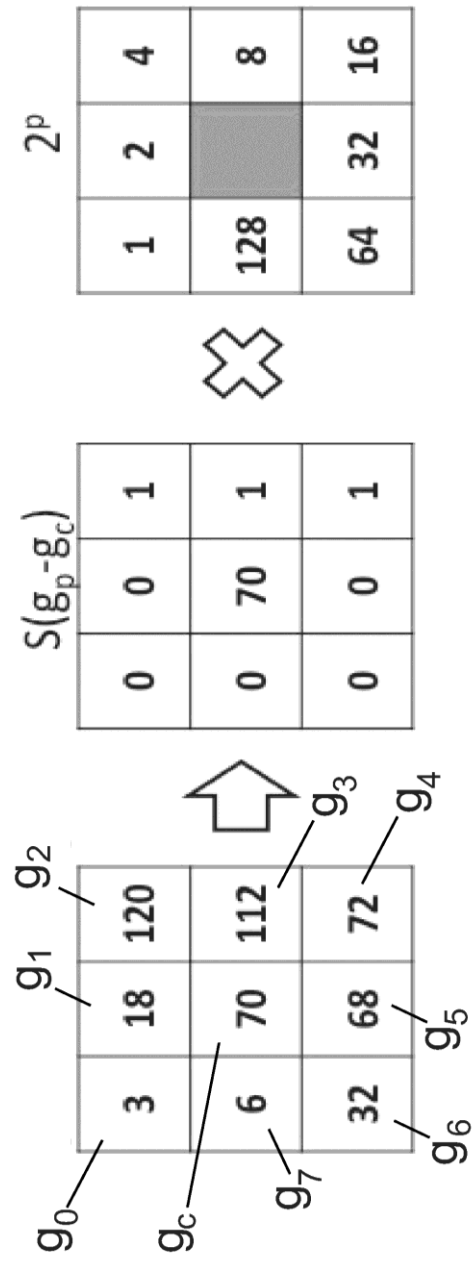


Fig. 6

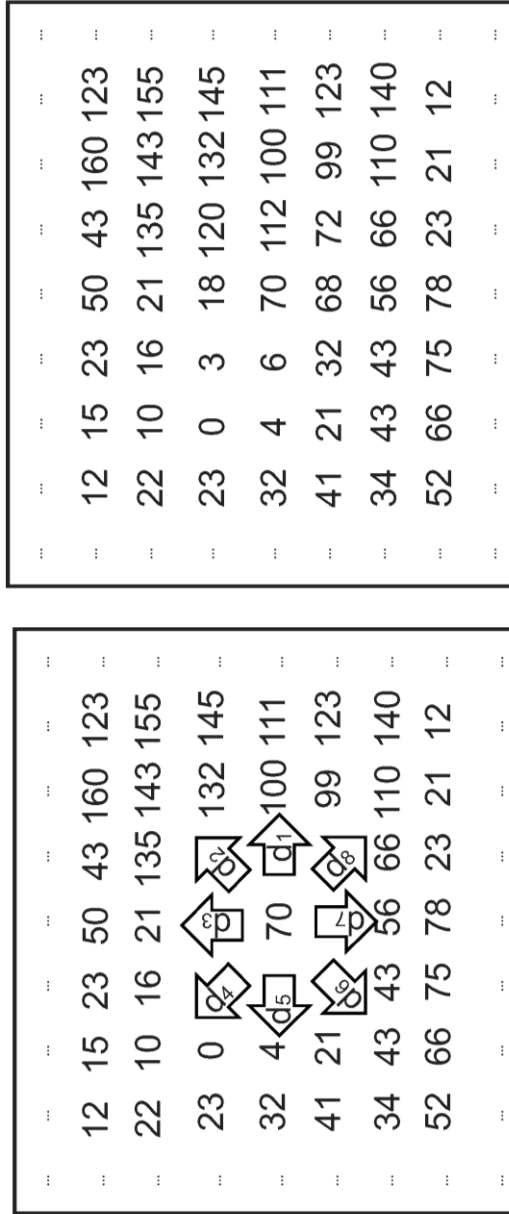


Fig. 7A

Fig. 7B

...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	5	7	29	92	17	...
...	...	...	...	10	13	3	15	11	...
...	...	...	...	4	3	52	8	32	...
...	...	...	...	17	26	2	40	1	...
...	...	...	...	22	11	12	6	11	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Fig. 7D

...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	6	5	114	8	12	...
...	...	...	...	3	15	102	12	13	...
...	...	...	...	2	64	42	12	11	...
...	...	...	...	11	36	4	27	24	...
...	...	...	...	0	13	10	44	30	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Fig. 7C



②① N.º solicitud: 201431711

②② Fecha de presentación de la solicitud: 20.11.2014

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	O. GARCIA-OLALLA et al. "Local oriented statistics information booster (LOSIB) for texture classification". IEEE 22ND International Conference on Pattern Recognition (ICPR), páginas 1114-1119 [en línea], agosto 2014 [recuperado el 08.05.2015]. Recuperado de Internet: < http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6976911&tag=1 > <DOI: 10.1109/ICPR.2014.201 > Apartados I-IV; referencias [10]-[11],[15].	1-13
A	O. GARCÍA-OLALLA et at. "Vitality assessment of boar sperm using an adaptive LBP based on oriented deviation". Computer Vision-ACCV 2012 Workshops, páginas 61-72 [en línea], Noviembre 2012 [recuperado el 08.05.2015]. Recuperado de Internet: < http://pitia.unileon.es/varp/sites/default/files/ACCV2012.pdf > <ISBN: 978-3-642-37410-4 > Todo el documento.	1-13
A	Z. GUO et al. "Rotation invariant texture classification using adaptive Lbp with directional statistical features". IEEE 17th International Conference on Image Processing (ICIP), páginas 285-288 [en línea], Septiembre 2010 [recuperado el 08.05.2015]. Recuperado de Internet: < http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5652209&tag=1 > <DOI: 10.1109/ICIP.2010.5652209 > Apartados 2-3.	1-13
A	M. GONZÁLEZ et al. "Acrosome integrity classification of boar spermatozoon images using DWT and texture descriptors". Conference on Computational Vision and Medical Image Processing: VipIMAGE [en línea], Octubre 2007. [recuperado el 08.05.2015]. Recuperado de Internet: < http://pitia.unileon.es/varp/sites/default/files/PublicationPDF/Acrosome%20integrity%20classification%20of%20boar%20spermatozoon%20images%20using%20DWT%20and%20texture%20descriptors.pdf > Apartado 2.2.	1-13
A	ES 2453415 A1 (UNIV LEON) 07.04.2014, página 4, línea 26 – página 5, línea 37; figura 1.	1-13

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

**El presente informe ha sido realizado**

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe  
14.05.2015

Examinador  
J. M. Vázquez Burgos

Página  
1/6

## CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

**A61B10/00** (2006.01)

**G06F19/24** (2011.01)

**G06T7/40** (2006.01)

**G01N21/95** (2006.01)

**G06K9/80** (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

A61B, G06F, G06T, G01N, G06K

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, INTERNET

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 14.05.2015

**Declaración**

<b>Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)</b>	Reivindicaciones 1-13	<b>SI</b>
	Reivindicaciones	<b>NO</b>
<b>Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)</b>	Reivindicaciones	<b>SI</b>
	Reivindicaciones 1-13	<b>NO</b>

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

**Base de la Opinión.-**

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.



**1. Documentos considerados.-**

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	O. GARCIA-OLALLA et al. "Local oriented statistics information booster (LOSIB) for texture classification". IEEE 22ND International Conference on Pattern Recognition (ICPR), páginas 1114-1119 [en línea], agosto 2014 [recuperado el 08.05.2015]. Recuperado de Internet: < <a href="http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6976911&amp;tag=1">http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6976911&amp;tag=1</a> > <DOI: 10.1109/ICPR.2014.201 >	26.08.2014
D02	O. GARCÍA-OLALLA et at. "Vitality assessment of boar sperm using an adaptive LBP based on oriented deviation". Computer Vision-ACCV 2012 Workshops, páginas 61-72 [en línea], Noviembre 2012 [recuperado el 08.05.2015]. Recuperado de Internet: < <a href="http://pitia.unileon.es/varp/sites/default/files/ACCV2012.pdf">http://pitia.unileon.es/varp/sites/default/files/ACCV2012.pdf</a> > <ISBN: 978-3-642-37410-4 >	06.11.2012
D03	Z. GUO et al. "Rotation invariant texture classification using adaptive Lbp with directional statistical features". IEEE 17th International Conference on Image Processing (ICIP), páginas 285-288 [en línea], Septiembre 2010 [recuperado el 08.05.2015]. Recuperado de Internet: < <a href="http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5652209&amp;tag=1">http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=5652209&amp;tag=1</a> > <DOI: 10.1109/ICIP.2010.5652209 >	29.09.2010
D04	M. GONZÁLEZ et al. "Acrosome integrity classification of boar spermatozoon images using DWT and texture descriptors". Conference on Computational Vision and Medical Image Processing: VipIMAGE [en línea], Octubre 2007 [recuperado el 08.05.2015]. Recuperado de Internet: < <a href="http://pitia.unileon.es/varp/sites/default/files/PublicationPDF/Acrosome%20integrity%20classification%20of%20boar%20spermatozoon%20images%20using%20DWT%20and%20texture%20descriptors.pdf">http://pitia.unileon.es/varp/sites/default/files/PublicationPDF/Acrosome%20integrity%20classification%20of%20boar%20spermatozoon%20images%20using%20DWT%20and%20texture%20descriptors.pdf</a> >	19.10.2007
D05	ES 2453415 A1 (UNIV LEON)	07.04.2014

**2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración**

La invención reivindicada divulga un procedimiento y un sistema para, a partir de una imagen digital inicial de una muestra de semen, detectar las cabezas de los espermatozoides, describirlas con un vector de características y clasificarlas como íntegras o dañadas con ayuda de un algoritmo de aprendizaje supervisado. El vector se obtiene de la concatenación de los descriptores provenientes de un modelo de patrón local lineal (LBP) concatenado con estadísticos direccionales de primer nivel (media y desviación típica).

El documento del estado de la técnica más próximo a la invención es D01 y divulga un procedimiento de mejora de los descriptores de textura en procedimientos basados en procesamiento de imágenes por ordenador, entre ellos el análisis espermático. Dicho procedimiento se basa en potenciar los descriptores (que pueden provenir de un modelo LBP) con la media orientada. El documento referencia soluciones ya existentes que tienen en cuenta la desviación típica.

**Reivindicación 1**

Seguidamente se reproduce el texto de la reivindicación 1, independiente y de procedimiento, utilizando en ella exclusivamente referencias al documento D01. Aquellas partes del documento que pudieran no estar incluidas en D01 se indicarían entre corchetes y en negrita.

Procedimiento para la descripción y clasificación de cabezas de espermatozoides según el estado de su acrosoma, como íntegras o dañadas, a partir de una imagen digital inicial tomada de una muestra de semen (apartado I, párrafo 4 de D01; apartados 1, 2.1 de la referencia [10] de D01), caracterizado por que comprende los siguientes pasos:

- segmentar la imagen mediante umbralización para detectar las cabezas de los espermatozoides (apartado 1, párrafos 3-4 de la referencia [10] de D01);
- describir las cabezas de espermatozoides utilizando un patrón binario local adaptativo y los vectores de las medias y desviaciones típicas orientadas, obteniendo el vector de características (apartados 1, 2.2-2.4, 3.1, 3.3 párrafo 7 de la referencia [10] de D01; apartados II, IV de D01);
- clasificar las cabezas como íntegras o dañadas en función del estado de su acrosoma utilizando el vector de características de la imagen y un algoritmo de aprendizaje supervisado (apartados 1, 2.4, 3.2 de la referencia [10] de D01; apartado IV de D01).

D01 incluye una referencia (la número [10]), que, como todas sus referencias, se considera parte del mismo y que, para mayor comodidad de identificación, se ha adjuntado como documento D02. Dicha referencia propone un método de evaluación de acrosomas, basado en un descriptor denominado ALBPS, consistente en concatenar los descriptores LBP con la desviación típica orientada (apartado 4; ecuación (4)). En esta referencia también se presenta el concepto (apartado 2.3) de utilizar, como parte de los descriptores, los estadísticos de primer orden orientados, en lugar de en el proceso de comparación (*matching*) como proponían trabajos anteriores, en concreto la referencia [11] de D01, adjuntada como documento D03. Esencialmente el mismo contenido que la referencia [10] de D01 se encuentra también en la referencia [15] del mismo documento, si bien esta última adopta un enfoque ligeramente más general, al proponer el descriptor ALBPS para la clasificación de texturas en general, mencionando la aplicación a la vitalidad espermática como un caso concreto de uso.

El documento D01 no describe un procedimiento como tal de clasificación de los acrosomas espermáticos, pero sí una mejora y potenciación de una de las técnicas utilizadas para ello, mediante la concatenación con descriptores locales de un vector de medias orientadas (ecuación (3); apartado III.C último párrafo, apartado IV), entre otras posibilidades. Entre los descriptores locales del estado de la técnica anterior a la propuesta de D01, este cita expresamente el de la referencia [10] (apartado I, párrafo 4) y el de la [15] (apartado I, párrafo 5). Aunque las bondades de esta solución no se evalúan en D01 con relación a una aplicación de valoración morfológica acrosomial, ni sobre el descriptor de la referencia [10], estos dos factores no afectarían al hecho de que D01 divulga la posibilidad de combinar un descriptor local como el ALBP de la referencia [10], aunque no analice las ventajas concretas de ese caso, puesto que en el apartado IV se menciona que el potenciador se desarrolla con el fin de mejorar tanto los descriptores globales como locales. Esto es, se presenta la posibilidad, pero no se cuantifican sus beneficios en el caso específico de la aplicación de la media orientada al ALBPS.

Por todo ello, se concluye que en D01 se contienen las siguientes ideas:

- a) Introducción de los estadísticos orientados de primer orden en los descriptores, en lugar de en el proceso de comparación.
- b) Generación de un descriptor local adaptativo ALBPS, mediante la concatenación de un descriptor LBP con la desviación típica orientada.
- c) Posibilidad de concatenación de la media orientada con descriptores locales en un procedimiento de clasificación de imágenes por ordenador, donde los descriptores locales pueden incluir a los de la propuesta b).

A la vista de ellas, se considera que un experto en la materia no necesitaría recurrir a la actividad inventiva para establecer un método de descripción y clasificación de cabezas de espermatozoides según el estado de su acrosoma, basado en la concatenación de un descriptor LBP con la desviación típica y la media orientadas. El documento D04 ejemplifica un caso de uso conjunto de ambos estadísticos como parte de un descriptor.

Por lo tanto a la luz de D01, la invención reivindicada en 1 carece de actividad inventiva tal como se define este requisito en el artículo 8 de la Ley de Patentes de 1986.

#### Reivindicaciones 2 a 10

Los pasos objeto de 2 estarían incluidos en la referencia [10] de D01 (apartado 3.1), lo mismo que los de 4 (apartados 3.1 y 3.2), 6-9 (apartado 3.1) y 10 (apartado 3.2). El documento D05 contiene también ejemplos de las técnicas objeto de 2 y de 7 aplicadas a la valoración de vitalidad espermática.

Con respecto a los pasos reivindicados en 3, la referencia [10] de D01 contiene un procedimiento que genera un vector de  $2P+2$  características, que incluiría el primero y tercer paso del procedimiento reivindicado en 3, mientras que D01 (apartado II.A y II.D) incluiría el segundo, siendo obvio que la concatenación de un vector ALBP como el de la referencia [10] con el de la media orientada con un radio de 1, tiene  $3P+2$  elementos. Aunque, siguiendo un razonamiento como el realizado para la reivindicación 1, de D01 se desprendería un procedimiento con un orden diferente al contenido en 3 (con el paso 3 anterior al 2), un experto en la materia no requeriría de actividad inventiva para diseñar un procedimiento como el reivindicado en 3 a partir del derivado de D01, toda vez que además no existiría un efecto técnico nuevo o sorprendente que se desprenda de la mencionada alteración en el orden de los pasos, puesto que los efectos técnicos del procedimiento estarían ligados a la presencia en el vector de los estadísticos, que no al orden en que aparecen.

El paso objeto de 5 se considera sinónimo de la presentación de la clasificación obtenida por el sistema de aprendizaje, una técnica sobradamente conocida que resulta obvia para un experto en la materia.

Por lo tanto, se concluye que, a la luz de D01 y teniendo en cuenta las correspondientes relaciones de dependencia, las invenciones reivindicadas en 1 a 10 no reúnen el requisito de actividad inventiva, tal y como este se define en el artículo 8 de la Ley de Patentes de 1986.

Reivindicación 11

Seguidamente se reproduce el texto de la reivindicación 11, independiente y de sistema, utilizando en ella exclusivamente referencias al documento D01. Aquellas partes del documento que pudieran no estar incluidas en D01 se indicarían entre corchetes y en negrita.

Sistema de visión artificial para la descripción y clasificación de cabezas de espermatozoides según el estado de su acrosoma, como íntegras o dañadas, a partir de una imagen digital inicial tomada de una muestra de semen, caracterizado por que comprende medios de procesamiento de datos (referencia [10] de D01, apartado 1, párrafos 3-4; apartado 3.1) configurados para:

- segmentar la imagen mediante umbralización para detectar las cabezas de los espermatozoides (apartado 1, párrafos 3-4 de la referencia [10] de D01);
- describir las cabezas de espermatozoides utilizando un patrón binario local adaptativo y los vectores de las medias y desviaciones típicas orientadas, obteniendo el vector de características (apartados 1, 2.2-2.4, 3.1, 3.3 párrafo 7 de la referencia [10] de D01; apartados II, IV de D01);
- clasificar las cabezas como íntegras o dañadas en función del estado de su acrosoma utilizando el vector de características de la imagen y un algoritmo de aprendizaje supervisado (apartados 1, 2.4, 3.2 de la referencia [10] de D01; apartado IV de D01).

De nuevo, la referencia [10] de D01 (documento D02) se considera parte del mismo.

La mención en la referencia [10] de D01 a los medios de procesamiento se considera implícitamente recogida dentro de la realizada en su apartado 1 a los sistemas CASA (*Computer Assisted Sperm Analysis*). El documento D05 muestra un ejemplo de este tipo de sistemas.

Teniendo en cuenta lo anterior y los razonamientos seguidos para la reivindicación 1, se concluye que, a la luz de D01, la invención reivindicada en 11 carece de actividad inventiva tal como se define este requisito en el artículo 8 de la Ley de Patentes de 1986.

Reivindicaciones 12 y 13

Los elementos reivindicados en 12 estarían comprendidos en D01 (apartado 3.1). Asimismo, el objeto de 13 se considera una técnica sobradamente conocida con respecto a los sistemas basados en ordenadores, obvia para un experto en la materia.

Por lo tanto, se concluye que, a la luz de D01 y teniendo en cuenta las correspondientes relaciones de dependencia, las invenciones reivindicadas en 12 y 13 no reúnen el requisito de actividad inventiva, tal y como este se define en el artículo 8 de la Ley de Patentes de 1986.