(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 685 220**

(21) Número de solicitud: 201700447

(51) Int. CI.:

G06T 7/00 (2007.01)

(12) SOLICITUD DE PATENTE A2

(22) Fecha de presentación:

30.03.2017

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

05.10.2018

(71) Solicitantes:

UNIVERSIDADE DE VIGO (100.0%)
Campus Universitario s/n
36310 Vigo (Pontevedra) ES

(72) Inventor/es:

SÁNCHEZ BERMÚDEZ, Ángel Manuel;
TOURIÑO ANDRADE, Bran;
CANCELA CARRAL, María Ángeles;
SALGUEIRO FERNÁNDEZ, José Luis y
PÉREZ RIAL, Leticia

(54) Título: **Método para la estimación del crecimiento microalgal**

(57) Resumen:

La presente invención consiste en un método para la estimación del crecimiento microalgal de un cultivo de una manera precisa, rápida y poca costosa, evitando problemas derivados de sistemas de conteo convencionales (tiempo consumido, necesidad de una misma persona para los conteos visuales o equipo costoso). La metodología objeto de la invención se basa en la captura y posterior tratamiento de imágenes para la determinación de la densidad celular o número de células de un cultivo para la producción industrial de microalgas, que comprende las etapas:

a) Capturar y adquirir imágenes digitales de cultivo de microalgas.

b) Procesar las imágenes digitales a fin de extraer los parámetros medibles mediana, media y moda de cada imagen.

c) Correlacionar los valores modales, medianos y promedio extraídos de los distintos modelos de color, con la densidad celular o canteo obtenidos experimentalmente.

d) Selección de la función representativa del crecimiento algal.

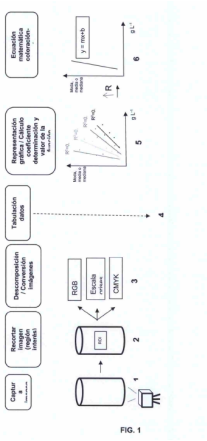

FIG. 1

ES 2 685 220 A2

DESCRIPCIÓN

MÉTODO PARA LA ESTIMACIÓN DEL CRECIMIENTO MICROALGAL

SECTOR DE LA TÉCNICA

La presente invención se refiere a una metodología a seguir para la estimación del crecimiento microalgal, en términos de número de células o densidad celular, mediante la toma de fotografías digitales de cultivos y su posterior tratamiento. La invención es aplicable a cualquier laboratorio, centro de investigación o empresa que lleve a cabo cultivos de microalgas y que pretenda controlar el crecimiento de los mismos de una manera económica, sencilla, precisa y rápida. Mediante el uso de esta técnica se podría conocer de manera más exacta y ágil la fase en la que se encuentra un cultivo.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

En la actualidad existen dos sistemas convencionales que son los más utilizados para llevar a cabo el conteo celular: el hematocitómetro o cámara de Neubauer y el contador Coulter.

El hematocitómetro o cámara de Neubauer está basado en el conteo visual, tratándose de una placa de cristal gruesa con forma de portaobjetos, de unos 30x70 mm y unos 4 mm de grosor que se encuentra dividida en 3 partes. En la mayor parte de los casos, la parte central de la placa cuenta con 2 zonas de conteo (cámara doble) una superior y otra inferior al eje longitudinal de la cámara. Para realizar un conteo con este sistema es necesario coger una muestra del cultivo (10 µL aproximadamente) y depositarlo encima de la cámara cubriendo con un cubreobjetos. Este montaje se lleva a un microscopio y se procede al conteo visual. Los grandes inconvenientes de este sistema es que los conteos debe realizarlos siempre la misma persona (en caso contrario tendría lugar errores en la medición) y que se trata de una técnica que consume gran cantidad de tiempo.

En cuanto a los contadores Coulter, son equipos basados en microcanales que conectan dos cámaras llenas de una solución electrolítica sobre las cuales se aplica una diferencia

de potencial. La solución es forzada a fluir de una cámara a otra, arrastrando consigo las partículas que se encuentran en suspensión. El contador detecta los cambios en la resistencia eléctrica y en base a ello determina el número de células presentes en un volumen definido de fluido. La principal problemática está asociada a los elevados precios de estos equipos.

En los últimos años se han desarrollado también otras metodologías cuyo propósito es proporcionar sistemas más fiables, rápidos y económicos que los métodos tradicionales citados.

El documento CN103955937(A) recoge un método de conteo automático basado en el procesamiento digital de imágenes. En él se lleva a cabo la realización de fotografías a través de un microscopio que posteriormente son ampliadas para ser tratadas y convertidas a escala de grises, mejorando después el contraste de las imágenes y realizando un filtrado a través de la mediana utilizando métodos estadísticos basados en la varianza.

El documento FR3002355(A1) recoge un método para la determinación de la densidad celular de microorganismos fotosintéticos de acuerdo con una componente de crominancia y de luminancia mediante fotografías realizadas a los cultivos y posterior tratamiento y cálculo de la derivada de la evolución temporal de la componente color con el tiempo.

El documento CN101694724(A) se centra en un método para la localización de microalgas únicamente con estructura circular a partir de la captura de microimágenes gracias a un dispositivo de toma de micrografías y a la creación de una base de datos. Sin embargo si el alga presente en la micrografía posee una forma distinta a la circular, ésta no sería tenida en cuenta por el sistema propuesto.

El documento CN101604330(A) recoge un método para la determinación únicamente de microalgas circulares en base a la textura de la superficie de las mismas mediante toma de imágenes microscópicas. Al igual que el documento anterior, este método solo valdría para identificar microalgas circulares.

A la vista de los documentos citados, la presente invención tiene por objeto la estimación

del crecimiento microalgal en términos de densidad celular o del número de células existentes únicamente mediante la realización de fotografías y posterior tratamiento de las mismas gracias a la relación existente entre la coloración del cultivo y la densidad celular del mismo, no influyendo la forma de las microalgas presentes y no siendo necesario equipos tales como un microscopio.

EXPLICACIÓN DE LA INVENCIÓN

En la presente invención se entiende por "conteo" al método seguido para estimar el número de células microalgales presentes en un determinado volumen de cultivo y se suele expresar como cell/µL. Para poder realizar dicha determinación se utilizan los sistemas convencionales anteriormente citados (cámara de Neubauer o contador Coulter). Por otro lado, se entiende por "densidad celular" a la cantidad de biomasa algal presente en un determinado volumen de cultivo y se suele expresar como g/L. Para poder realizar dicha determinación se extrae un determinado volumen de cultivo a partir del cual la biomasa es separada (mediante filtración, centrifugación, etc) y posteriormente es secada hasta peso constante.

Con el fin de alcanzar los objetivos y evitar los inconvenientes mencionados en los apartados anteriores, la invención propone una metodología para la determinación de la densidad celular o número de células existentes en un cultivo para la producción industrial de microalgas, gracias a la captura de imágenes digitales en color y posterior tratamiento de las mismas. Se trata de un método sencillo y económico que comprende las siguientes etapas:

a) Capturar y adquirir de imágenes digitales de cultivo microalgas;
b) Procesar las imágenes digitales a fin de extraer los parámetros medibles mediana, media y moda de cada imagen que permitan correlacionar la coloración con los valores de densidad celular o conteo medidos directamente del cultivo microalgas;
c) Correlacionar los valores modales, medianos y promedio extraídos de los distintos modelos de color, con la densidad celular o conteo obtenidos experimentalmente, con el fin de obtener la pendiente de la función que relacione a ambos.
d) Obtención de la función representativa del crecimiento algal como aquella

función que mejor se ajuste a los valores experimentales obtenidos, en concreto la estimación de crecimiento algal corresponderá con la función que presente un mayor coeficiente de determinación (R^2) y un menor error, de entre todas las funciones obtenidas para la media, moda y mediana en la descomposición de imágenes.

Una realización preferente, la captura de imágenes de color se debe realizar en las mismas condiciones a lo largo de los días de cultivo (misma posición, inclinación, iluminación y distancia). Las imágenes tomadas deben comprender una resolución mínima de 4608x2592 píxeles.

Otra realización preferente, la etapa b) de procesado imágenes comprende a su vez las siguientes etapas:

i) Cargar y recortar imágenes obtenidas en la etapa a);

ii) Descomponer las imágenes en sus colores primarios (RGB);

iii) Transformar las imágenes a escala de grises;

iv) Convertir los valores de descomposición RGB (rojo, verde y azul) a valores de descomposición en el modelo de impresión CMYK (cian, magenta, amarillo y negro);

en donde las etapas ii), iii) y iv) se realiza una extracción de valores medibles de mediana, media y moda para cada descomposición de imagen.

Otra realización preferente, es que extracción de valores medibles de mediana, media y moda para cada descomposición de imagen de las etapas ii) y iii) anteriores deben estar comprendidos entre 0 y 255.

Con esta invención se evitan los habituales errores que tienen lugar cuando se realiza un conteo visual mediante microscopio, no siendo necesario que sea la misma persona la encargada de tomar las fotografías como ocurre en el conteo visual. Su principal uso es que sirve para el conteo de todo tipo de microalgas independientemente de la forma o tamaño de las mismas. Además, se reduce el tiempo requerido para llevar a cabo un conteo o la determinación de la densidad celular, no siendo necesario el tratamiento inmediato de las imágenes. Por otro lado, la utilización de la presente invención supondría un ahorro con respecto a cualquiera de los métodos citados anteriormente puesto que únicamente es necesario un dispositivo para la toma de imágenes y un

ordenador.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra un diagrama que ilustra los pasos que se deben seguir para la realización de la metodología a patentar.

Figura 2.- Muestra una ilustración a modo de ejemplo de la media obtenida de una imagen que se ha descompuesto a RGB con sus respectivos coeficientes de determinación para cada canal.

Figura 3.- Muestra una ilustración a modo de ejemplo de la mediana obtenida de una imagen que se ha descompuesto a RGB con sus respectivos coeficientes de determinación.

Figura 4.- Muestra una ilustración a modo de ejemplo de la moda obtenida de una imagen que se ha descompuesto a RGB con sus respectivos coeficientes de determinación.

Figura 5.- Muestra una ilustración a modo de ejemplo de la media obtenida de una imagen que se ha descompuesto a CMYK con sus respectivos coeficientes de determinación.

Figura 6.- Muestra una ilustración a modo de ejemplo de la mediana obtenida de una imagen que se ha descompuesto a CMYK con sus respectivos coeficientes de determinación.

Figura 7.- Muestra una ilustración a modo de ejemplo de la moda obtenida de una imagen que se ha descompuesto a CMYK con sus respectivos coeficientes de determinación.

Figura 8.- Muestra una ilustración a modo de ejemplo de la media, mediana y moda

obtenida de una imagen que se ha descompuesto a escala de grises, y presenta sus respectivos coeficientes de determinación.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCIÓN

Como se ha indicado, el método para la estimación del crecimiento microalgal objeto de la invención, en su realización preferente, comprende los siguientes pasos:

1. CAPTURA Y ADQUISICIÓN DE IMÁGENES DIGITALES.

La toma de imágenes se lleva a cabo mediante una cámara digital (1) la cual debe de permanecer fija o colocarse siempre en una misma posición de manera que permita la toma de imágenes en las mismas condiciones a lo largo de los días de cultivo (misma posición, inclinación, iluminación y distancia). Las imágenes tomadas deben realizarse con una resolución mínima de 4608x2592 píxeles.

2. PROCESAMIENTO IMÁGENES

Para el procesado de las imágenes digitales tomadas se puede utilizar la herramienta de software Matlab ver. R2016a. A partir de dicho software, se realizan las siguientes funciones:

- Cargar las imágenes tomadas por la cámara.
- Recortar las imágenes en regiones de interés (2).
- Descomposición de imágenes en sus colores primarios RGB (3).
- Transformación de las imágenes a escala de grises (3).
- Conversión del modelo RGB al modelo CMYK (3).
- Extracción de valores medibles de las descomposiciones (5).

- Cargar imágenes tomadas por la cámara:

Se activa la toolbox *Image Processing* y se escribe el código para cargar el directorio de las imágenes. Matlab considera las imágenes como matrices en las cuales cada punto de la matriz está compuesto por cada pixel de la imagen y por tanto, la matriz tendrá un tamaño de 4608x2592.

Resulta recomendable cargar las imágenes en formato .jpeg en el modelo RGB.

- Recortar las imágenes en regiones de interés (2):

Cada imagen tomada se recorta de manera que el área de interés quede reducida a una región rectangular (ROI) de 120 filas y 60 columnas, constituyendo un total de 7200 píxeles de RGB que abarcaba la sección del equipo donde se encuentra el cultivo objeto de medición.

- Descomposición de imágenes en sus colores primarios RGB (3):

Una vez definida la región ROI y para que el proceso de descomposición sea más rápido se reduce la precisión de las imágenes. Posteriormente se ejecutan los siguientes comandos para obtener los planos R, G y B reducidos de las imágenes y a su vez la matriz de cada imagen es transformada en un vector:

```
red{k} = single(reshape(crop{k}(:,:,1),1,[])).
green{k} = single(reshape(crop{k}(:,:,2),1,[])).
blue{k} = single(reshape(crop{k}(:,:,3),1,[])).
```

Donde "k" se representa como la variable que define al conjunto *n* imágenes de la especie estudiada en su proceso de crecimiento.

- Conversión del modelo RGB al modelo CMYK.

Para la conversión del modelo RGB al modelo CMYK es necesario emplear un valor CMY intermedio puesto que las escalas de ambos modelos son distintas. Mientras que en el modelo RGB su escala varía de 0 a 255 en el modelo CMYK su escala varía de 0 a 1. Para ello, los pasos a seguir son los siguientes:

Primero, se varía la escala de los valores de las descomposiciones R (rojo), G (verde) y B (azul) obtenidas en Matlab. Para ello es necesario dividir los valores de mediana, media y moda recogidos entre el máximo valor de la escala (255) y así obtener unos valores en escala de 0 a 1:

$$R' = \frac{R}{255} \qquad G' = \frac{G}{255} \qquad B' = \frac{B}{255}$$

Donde R representa el componente rojo de una imagen de color, G representa el componente verde de una imagen de color y B representa el componente azul de una imagen de color. R´, G´ y B´ representan los nuevos valores de las descomposiciones R, G, B pasadas a escala del modelo CMYK.

El componente negro de una imagen de color identificado como K, del modelo CMYK, equivale a la diferencia entre el valor máximo posible en la escala de trabajo (1) menos el valor máximo del vector formado por los valores R', G', B' anteriormente calculado:

$$K = 1 - máx(R', G', B')$$

Una vez obtenido este valor "K", ya se puede llevar a cabo la conversión de los valores CMY de este nuevo modelo de la siguiente manera:

$$C = \frac{(1 - R' - K)}{(1 - K)} \qquad M = \frac{(1 - G' - K)}{(1 - K)} \qquad Y = \frac{(1 - B' - K)}{(1 - K)}$$

Donde C representa el componente cian de una imagen de color, M representa el componente magenta de una imagen de color, Y representa el componente amarillo de una imagen de color, K representa el componente negro de una imagen de color y R´, G´ y B´ representan los nuevos valores de las descomposiciones R, G, B pasadas a escala del modelo CMYK.

- Transformación de las imágenes a escala de grises:

Se introduce el siguiente comando:

```
gray{k} = single(reshape(rgb2gray(crop{k}),1,[])).
```

- Extracción de valores medibles de las descomposiciones (5):

Es necesaria la extracción de parámetros medibles que permitan correlacionar las imágenes tomadas con los valores de densidad celular o conteo medidos directamente del cultivo. Los parámetros utilizados en este diseño son: mediana, media y moda de cada imagen.

Los comandos utilizados para obtener los valores de la media en la descomposición

RGB, escala de grises y CMYK son:

```
meanred{k} = mean(red{k});
meangreen{k} = mean(green{k});
meanblue{k} = mean(blue{k});
meangray{k} = mean(gray{k});
meancyan{k} = mean(cyan{k});
meanmagenta{k} = mean(magenta{k});
meanyellow{k} = mean(yellow{k});
meanblack{k} = mean(black{k});
```

Los comandos a emplear para conseguir los valores de la mediana son:

```
medianred{k} = median(red{k}).
mediangreen{k} = median(green{k}).
medianblue{k} = median(blue{k}).
mediangray{k} = median(gray{k}).
mediancyan{k} = median(cyan{k}).
medianmagenta{k} = median(magenta{k}).
medianyellow{k} = median(yellow{k}).
medianblack{k} = median(black{k}).
```

Por último, los comandos usados para obtener el valor correspondiente a la moda son los siguientes:

```
modered{k} = mode(red{k});
modegreen{k} = mode(green{k});
modeblue{k} = mode(blue{k});
modegray{k} = mode(gray{k});
modecyan{k} = mode(cyan{k});
modemagenta{k} = mode(magenta{k});
modeyellow{k} = mode(yellow{k});
modeblack{k} = mode(black{k});
```

Matlab devuelve un único valor de mediana, media y moda para cada descomposición de imagen.

3. CORRELACIÓN DEL CRECIMIENTO MICROALGAL

Una vez realizado todo el procesamiento digital de imágenes, se realiza una comparativa entre los valores de conteo o densidad celular medidos directamente del cultivo y los valores modales, medianos y promedio de cada descomposición de imágenes obtenidas, de forma que al correlacionarlos obtenemos las pendientes de una serie de funciones, como se pueden observar en la figura 2, figura 3, figura 4,

figura 5, figura 6, figura 7 y figura 8, que se proporcionan a modo de ejemplo demostrativo.

4. OBTENCIÓN DE LA FUNCIÓN REPRESENTATIVA DEL CRECIMIENTO MICROALGAL

Una vez obtenidas las distintas funciones de media, mediana y moda de los modelos de color, se analizan los coeficientes de determinación (R^2), de manera que el crecimiento microalgal será caracterizado por la función que menor error presente. En el ejemplo proporcionado, en función del coeficiente de determinación (R^2), el crecimiento microalgal se ajusta tanto a la función mediana (curva 10) del canal G (Green) del modelo de color RGB (figura 3) como a la mediana (curva 21) del canal K (Black) del modelo de color CMYK (figura 6).

Actualmente no se conoce que ninguna metodología similar esté implantada a nivel estatal en ningún tipo de industria dedicada al cultivo de microalgas. Este hecho ha conllevado un análisis de la problemática existente con los actuales sistemas de conteo y de determinación de densidad celular permitiendo desarrollar la metodología objeto de invención. Los resultados experimentales obtenidos a lo largo del proyecto de investigación han permitido validar la presente metodología.

REIVINDICACIONES

1. Método para la estimación del crecimiento microalgal que comprende las siguientes etapas:
   a) Capturar y adquirir de imágenes digitales de cultivo de microalgas;
   b) Procesar las imágenes digitales a fin extraer los parámetros medibles mediana, media y moda de cada imagen que permitan correlacionar la coloración con los valores de densidad celular o conteo medidos directamente del cultivo microalgas;
   c) Correlacionar los valores modales, medianos y promedio extraídos de los distintos modelos de color, con la densidad celular o conteo obtenidos experimentalmente, con el fin de obtener la pendiente de la función que relacione a ambos.
   d) Obtención de la función representativa del crecimiento algal como aquella función que mejor se ajuste a los valores experimentales obtenidos, en concreto la estimación de crecimiento algal corresponderá con la función que presente un mayor coeficiente de determinación (R^2) y un menor error, de entre todas las funciones obtenidas para la media, moda y mediana en la descomposición de imágenes.

2. Método según reivindicación 1, en el que la etapa a) de captura de imágenes se caracteriza por que las imágenes capturadas deben comprender una resolución mínima de 4608x2592 píxeles.

3. Método según reivindicación 1, está caracterizado porque que la etapa b) de procesado imágenes comprende a su vez las siguientes etapas:
   v) Cargar y recortar imágenes obtenidas en la etapa a);
   vi) Descomponer la imágenes en sus colores primarios (RGB);
   vii) Transformar las imágenes a escala de grises;
   viii) Convertir los valores de descomposición RGB (rojo, verde y azul) a valores de descomposición en el modelo de impresión CMYK (cian, magenta, amarillo y negro);

   en donde las etapas ii), iii) y iv) se realiza una extracción de valores medibles de mediana, media y moda para cada descomposición de imagen.

4. Método según reivindicación 3, caracterizado por que los valores de mediana,

media y moda para cada descomposición de imagen de las etapas ii) y iii) deben estar comprendidos entre 0 y 255.

5. Método según reivindicación 3, está caracterizado porque en la etapa iv) la conversión de los valores RGB a valores CMYK pasa por el empleo de un valor CMY intermedio que a su vez comprende las siguientes etapas:

- Dividir los valores de mediana, media y moda recogidos entre el máximo valor de la escala (255) y así obtener unos valores en escala de 0 a 1 caracterizado por que se obtiene según las siguientes ecuaciones:

$$R' = \frac{R}{255} \qquad G' = \frac{G}{255} \qquad B' = \frac{B}{255}$$

Donde R representa el componente rojo de una imagen de color, G representa el componente verde de una imagen de color y B representa el componente azul de una imagen de color. R´, G´ y B´ representan los nuevos valores de las descomposiciones R, G, B pasadas a escala del modelo CMYK.

- Calcular el componente negro de una imagen de color identificado como K, del modelo CMYK está caracterizado por que se obtiene según la siguiente ecuación:

$$K = 1 - máx(R', G', B')$$

- Conversión de los valores CMY al nuevo modelo caracterizado por las siguientes ecuaciones:

$$C = \frac{(1 - R' - K)}{(1 - K)} \quad M = \frac{(1 - G' - K)}{(1 - K)} \quad Y = \frac{(1 - B' - K)}{(1 - K)}$$

Donde C representa el componente cian de una imagen de color, M representa el componente magenta de una imagen de color, Y representa el componente amarillo de una imagen de color, K representa el componente negro de una imagen de color y R´, G´ y B´ representan los nuevos valores de las descomposiciones R, G, B pasadas a escala del modelo CMYK.

6. Uso del método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que se usa el conteo de todo tipo de microalgas independientemente de la forma o tamaño de las mismas.

5

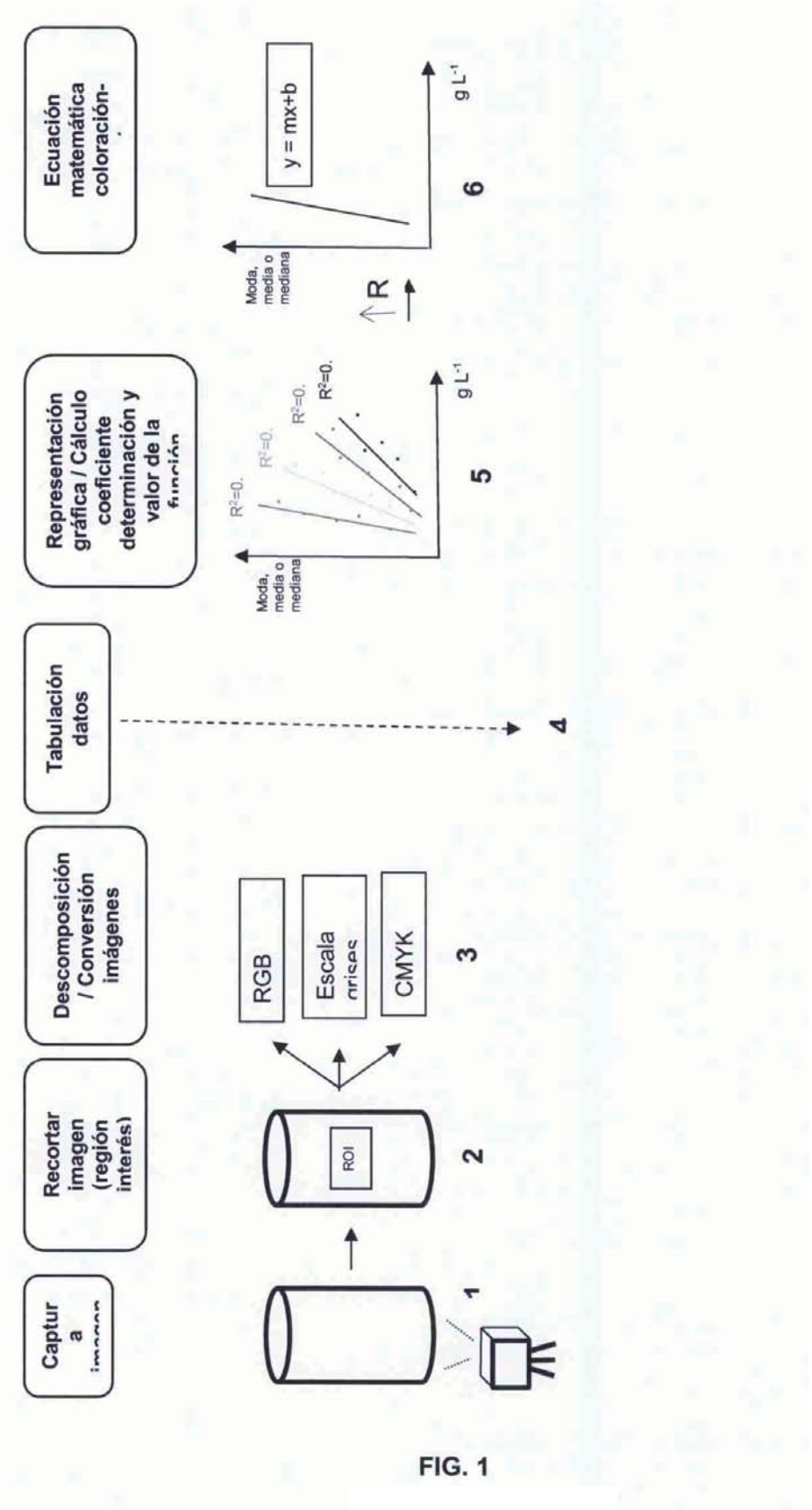
Captur a
Recortar imagen (región interés)
Descomposición / Conversión imágenes
Tabulación datos
Representación gráfica / Cálculo coeficiente determinación y valor de la
Ecuación matemática coloración-
1
2
ROI
RGB
Escala
CMYK
3
4
Moda, media o mediana
R²=0.
R²=0.
R²=0.
R²=0.
g L-1
5
Moda, media o mediana
R
y = mx+b
g L-1
6

FIG. 1

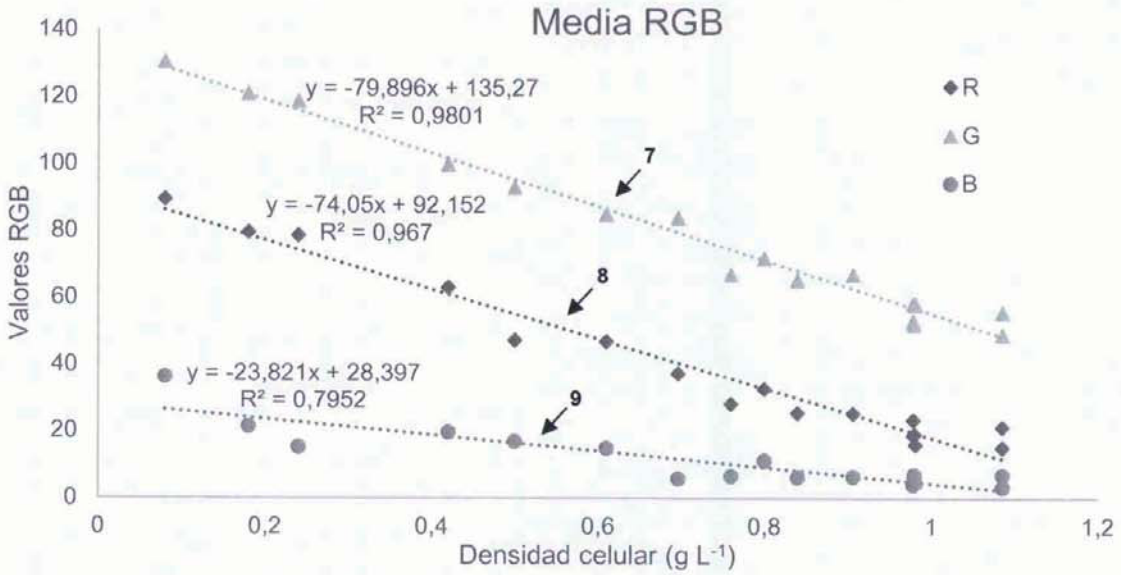
Media RGB
y = -79,896x + 135,27
R² = 0,9801
y = -74,05x + 92,152
R² = 0,967
y = -23,821x + 28,397
R² = 0,7952
7
8
9
R
G
B
Valores RGB
Densidad celular (g L-1)
0
20
40
60
80
100
120
140
0,2
0,4
0,6
0,8
1
1,2

FIG. 2

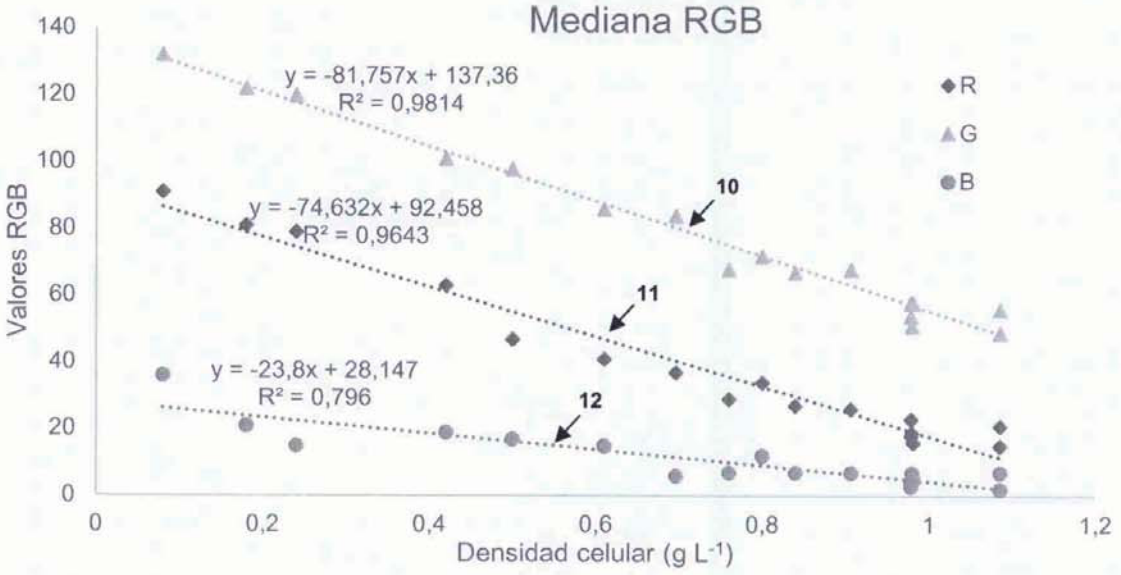
Mediana RGB
y = -81,757x + 137,36
R² = 0,9814
y = -74,632x + 92,458
R² = 0,9643
y = -23,8x + 28,147
R² = 0,796
10
11
12
R
G
B
Valores RGB
Densidad celular (g L-1)
0
20
40
60
80
100
120
140
0,2
0,4
0,6
0,8
1
1,2

FIG. 3

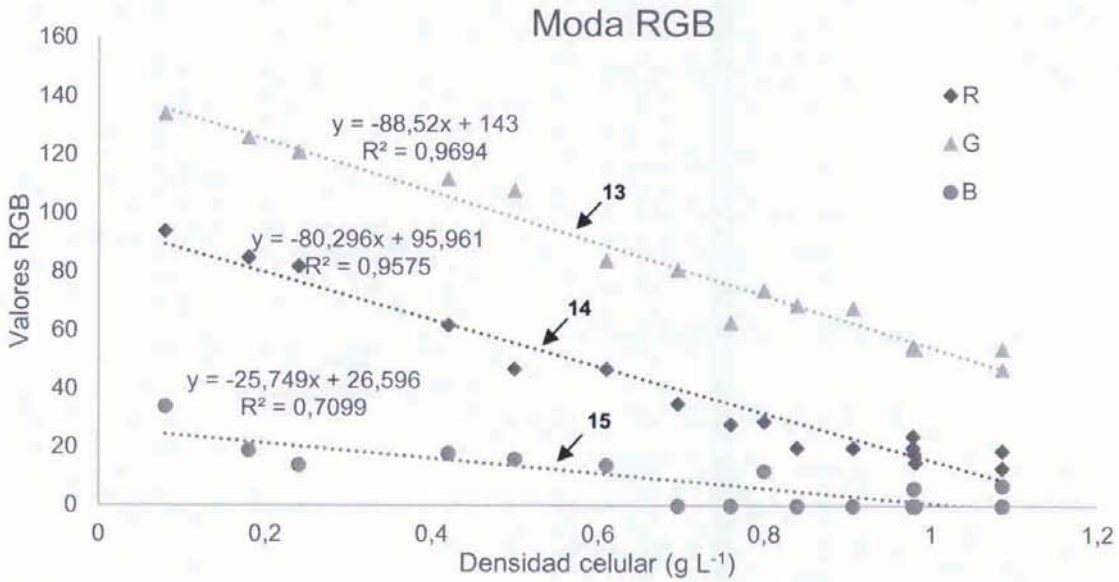
Moda RGB
Valores RGB
Densidad celular (g L-1)
y = -88,52x + 143
R² = 0,9694
y = -80,296x + 95,961
R² = 0,9575
y = -25,749x + 26,596
R² = 0,7099
13
14
15
R
G
B
0
20
40
60
80
100
120
140
160
0,2
0,4
0,6
0,8
1
1,2

FIG. 4

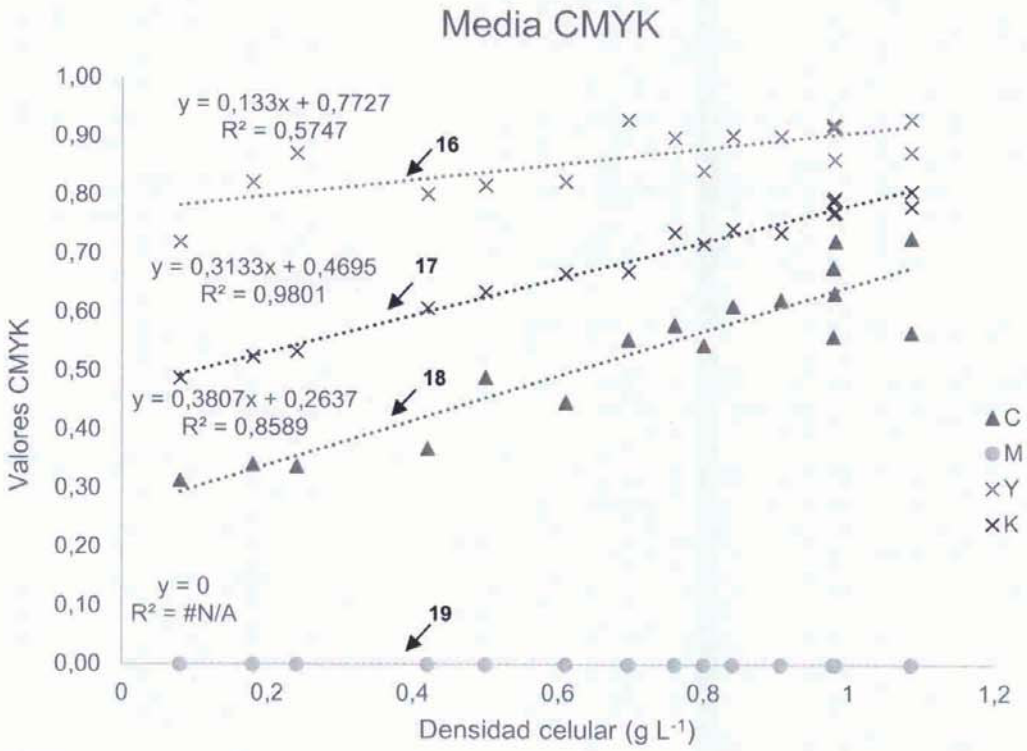
Media CMYK
Valores CMYK
Densidad celular (g L-1)
y = 0,133x + 0,7727
R² = 0,5747
y = 0,3133x + 0,4695
R² = 0,9801
y = 0,3807x + 0,2637
R² = 0,8589
y = 0
R² = #N/A
16
17
18
19
C
M
Y
K
0,00
0,10
0,20
0,30
0,40
0,50
0,60
0,70
0,80
0,90
1,00
0,2
0,4
0,6
0,8
1
1,2

FIG. 5

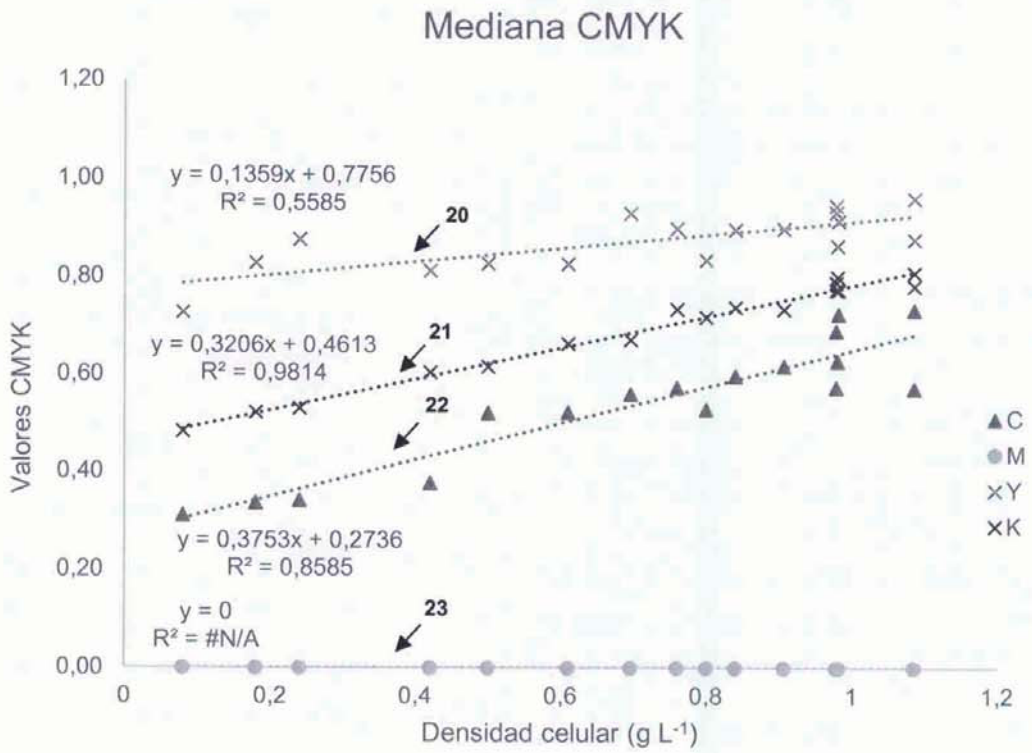
Mediana CMYK
Valores CMYK
Densidad celular (g L-1)
y = 0,1359x + 0,7756
R² = 0,5585
y = 0,3206x + 0,4613
R² = 0,9814
y = 0,3753x + 0,2736
R² = 0,8585
y = 0
R² = #N/A
20
21
22
23
C
M
Y
K

FIG. 6

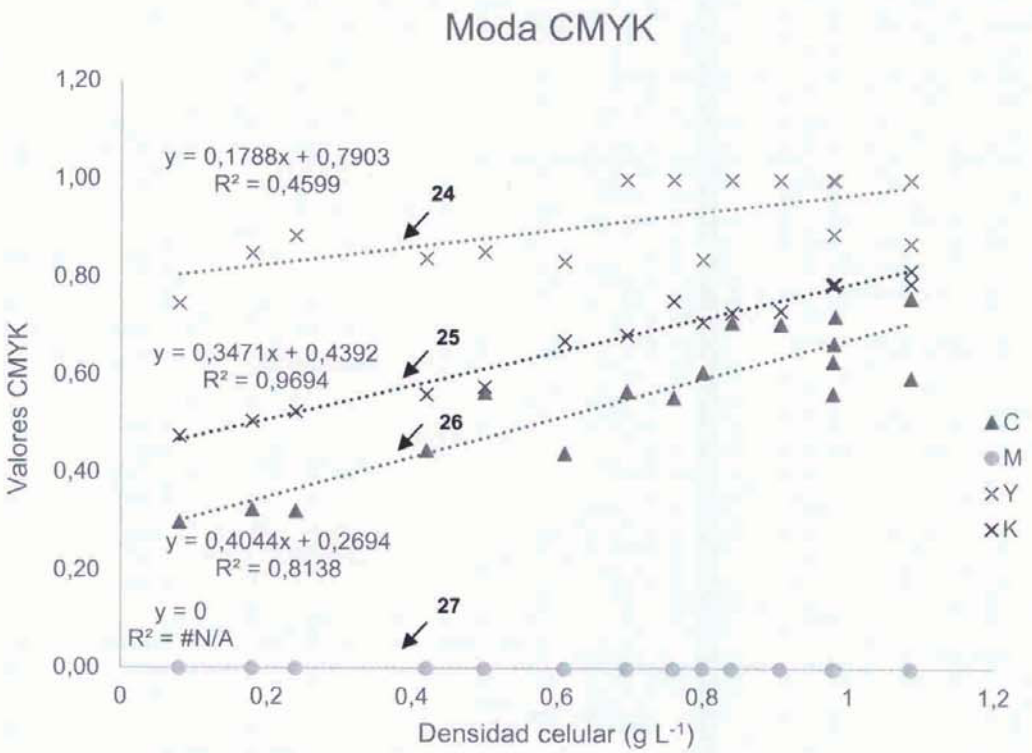
Moda CMYK
Valores CMYK
Densidad celular (g L-1)
y = 0,1788x + 0,7903
R² = 0,4599
y = 0,3471x + 0,4392
R² = 0,9694
y = 0,4044x + 0,2694
R² = 0,8138
y = 0
R² = #N/A
24
25
26
27
C
M
Y
K

FIG. 7

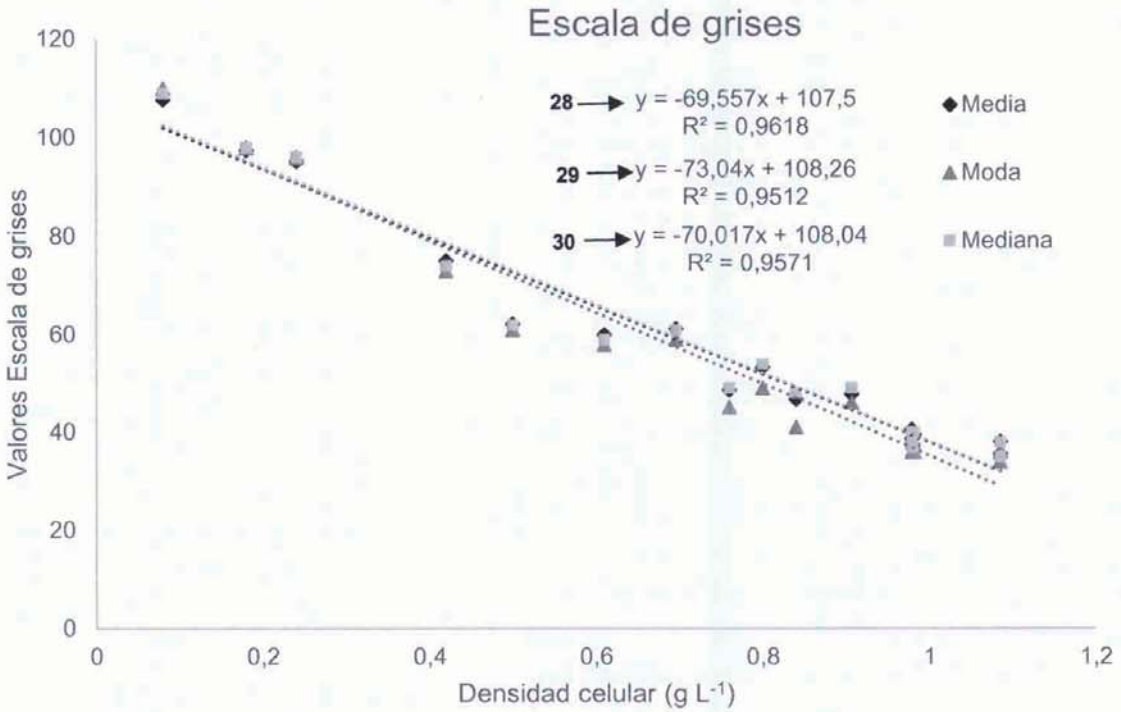
Escala de grises
28 → y = -69,557x + 107,5
R² = 0,9618
29 → y = -73,04x + 108,26
R² = 0,9512
30 → y = -70,017x + 108,04
R² = 0,9571
Media
Moda
Mediana
Valores Escala de grises
Densidad celular (g L-1)
120
100
80
60
40
20
0
0
0,2
0,4
0,6
0,8
1
1,2

FIG. 8