
CAPÍTULO V: RESULTADOS.

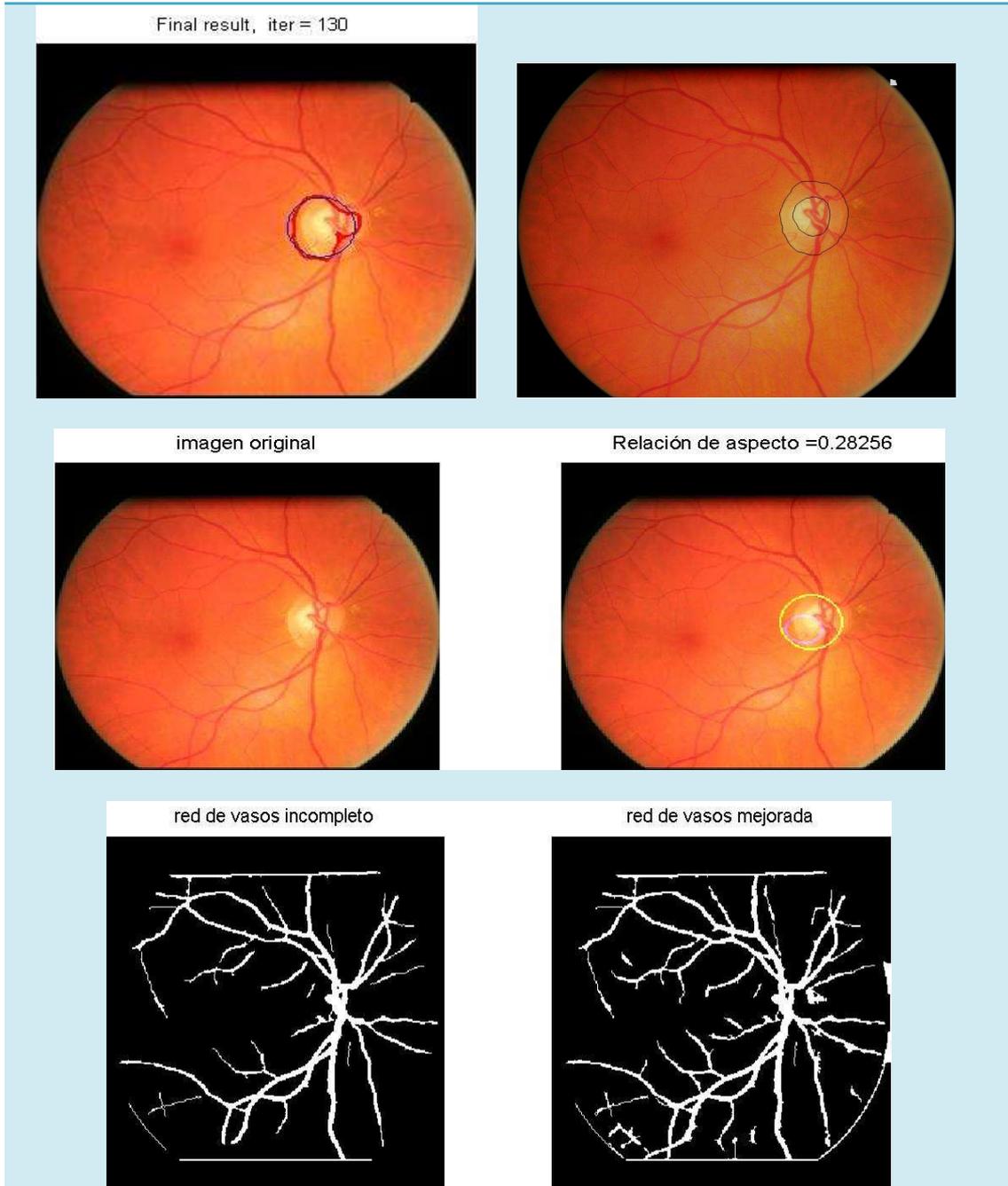
1.- RESULTADOS DE LA DETECCIÓN DEL DISCO ÓPTICO Y EXCAVACIÓN.

En este capítulo intentaremos resumir los resultados obtenidos del algoritmo propuesto sobre 50 retinografías de una base de datos privada. El estudio de resultados de este algoritmo será expuesto en el apartado siguiente de análisis estadístico, en el que también se comparará con los resultados obtenidos en anteriores proyectos [B.7] y [B10] sobre las mismas imágenes.

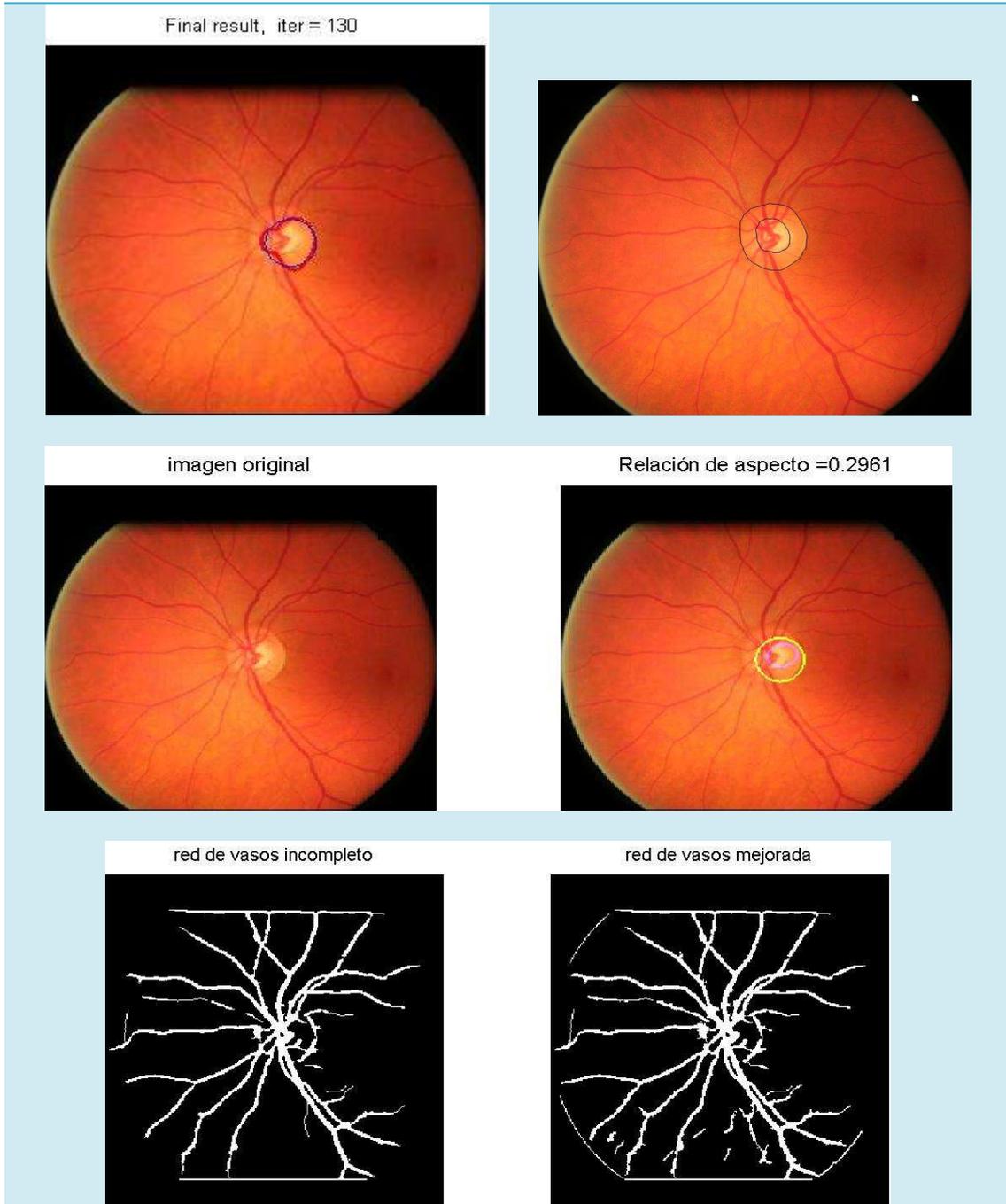
Para cada una de las imágenes de partida se elabora una ficha que presenta los siguientes campos:

- **Imagen original:** Retinografía original. (*Segunda fila izquierda*).
- **Imagen segmentada manualmente:** Retinografía en la que un especialista selecciona el contorno perteneciente al disco óptico y excavación. (*Primera fila derecha*).
- **Resultados:**
 - *Primera fila, izquierda:* Detección del disco óptico en color rojo y aproximación circular en color azul. Arriba, número de iteraciones de la función Snake.
 - *Segunda fila, derecha:* Detección de la excavación mediante el modelo cluster color CIE 94 en color violeta respecto al disco óptico en amarillo. Arriba, CDR resultante.
 - *Tercera fila, de derecha a izquierda:* Detección de vasos sanguíneos sin y con mejora propuesta.
- **Conclusiones:** Breve explicación de los resultados obtenidos. En los casos de correcta detección se expone el error teórico, diferencia entre el CDR calculado de forma automática y manualmente por un especialista.

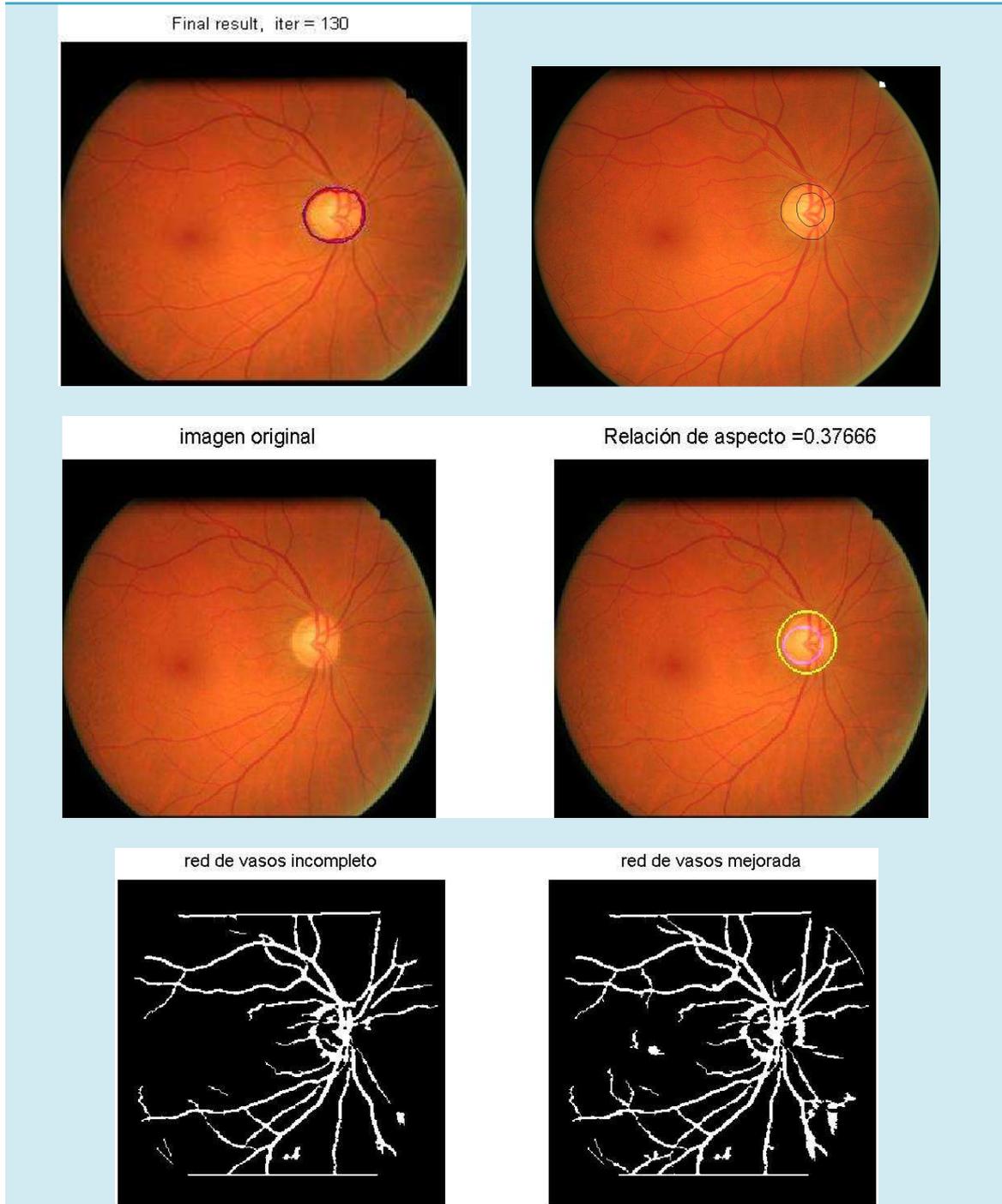
Salvo que se indique lo contrario, las dos variables del algoritmo se mantienen a unos valores constantes para todas las imágenes. Para la difusión anisotrópica, el número de iteraciones del plano L^* se inicializa a 20 y el umbral K a 12.

IMAGEN 1 - Resultados**CONCLUSIONES**

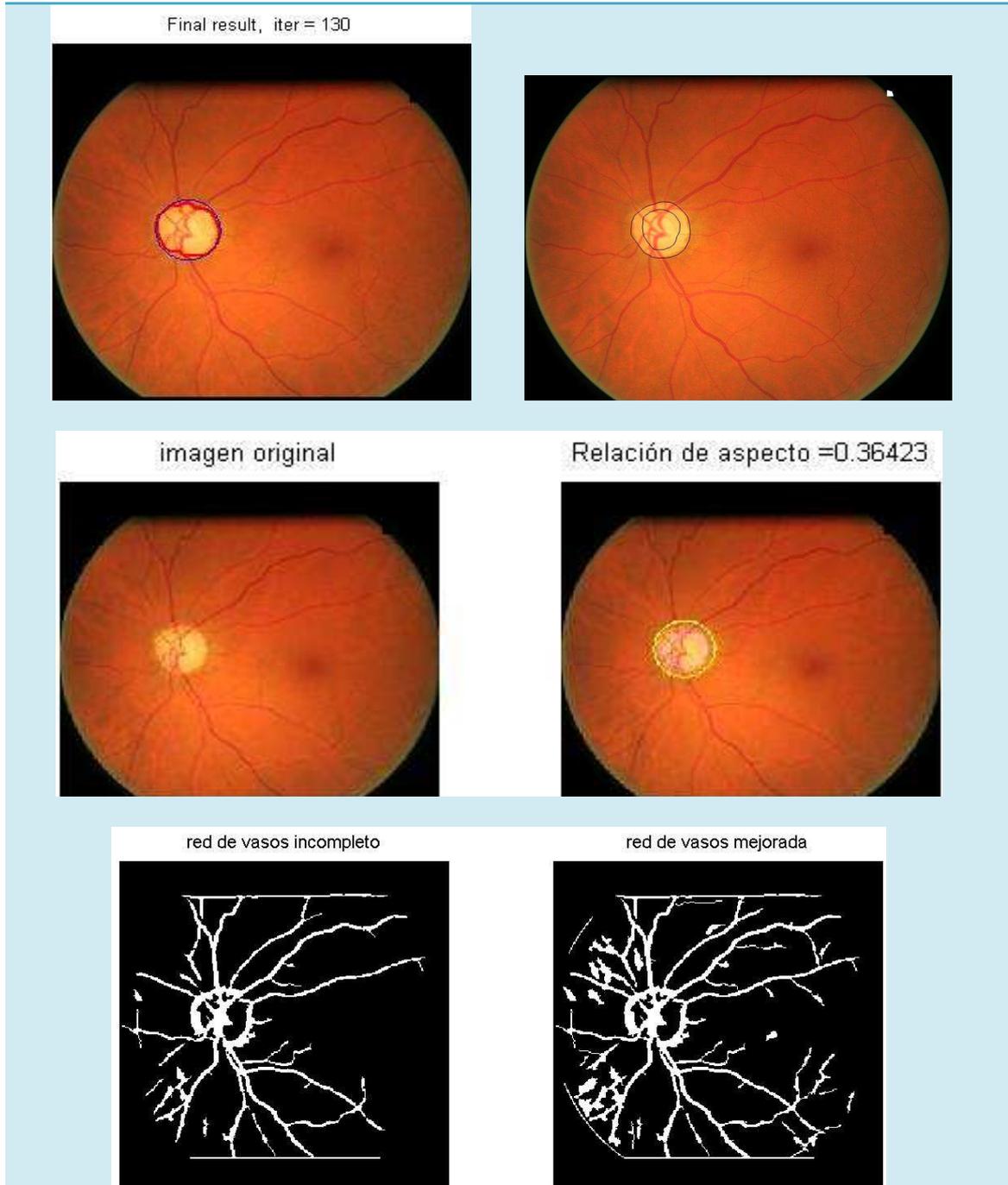
La localización del disco óptico tiene el centro movido, pero las proporciones son correctas pues la relación de aspecto tiene un error de 0,015 con respecto a la segmentación manual. La red de vasos no contiene rastros del disco y las terminaciones de los vasos se ven mejoradas respecto a la anterior versión.

IMAGEN 2 - Resultados**CONCLUSIONES**

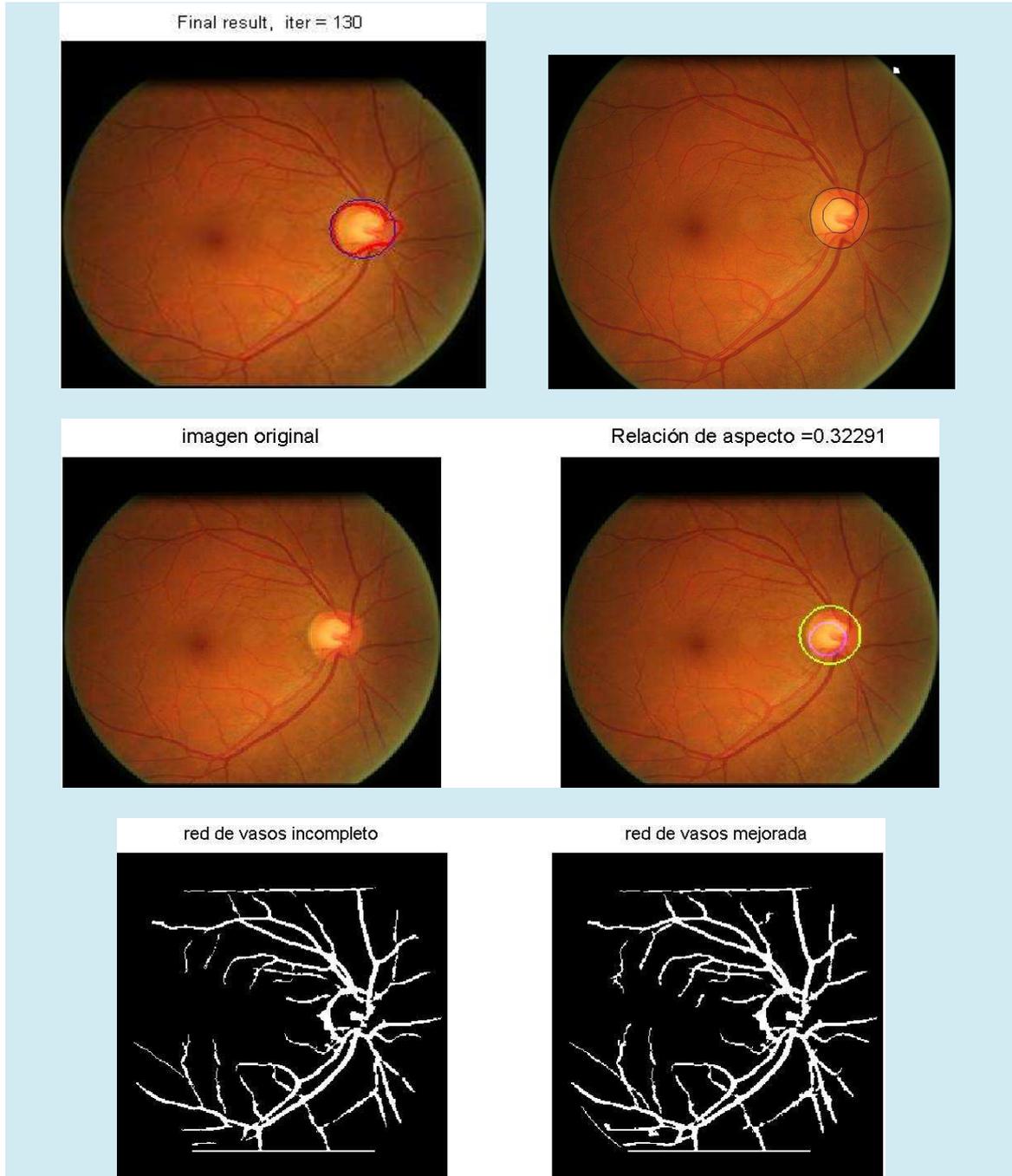
La detección del disco óptico se ve seriamente perjudicado por los vasos que salen del centro del disco. La relación de aspecto tiene un error de 0,03 con respecto a la segmentación manual.

IMAGEN 3 - Resultados**CONCLUSIONES**

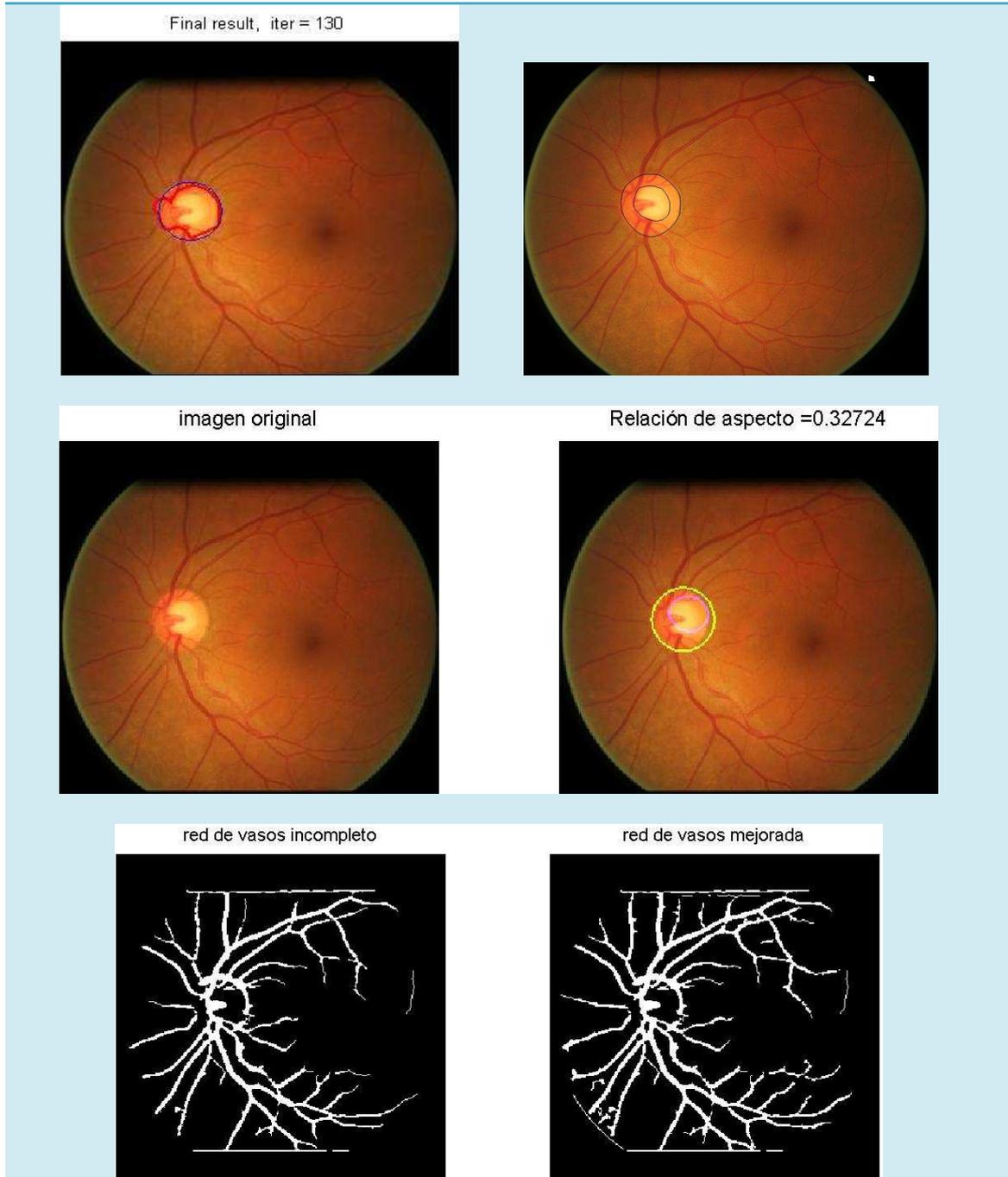
La detección del disco óptico tiene mucha precisión. La relación de aspecto tiene un error de 0,05 con respecto a la segmentación manual. La red de vasos se ve claramente mejorada, aunque también podemos ver que contiene ruido digital adicional.

IMAGEN 4 - Resultados**CONCLUSIONES**

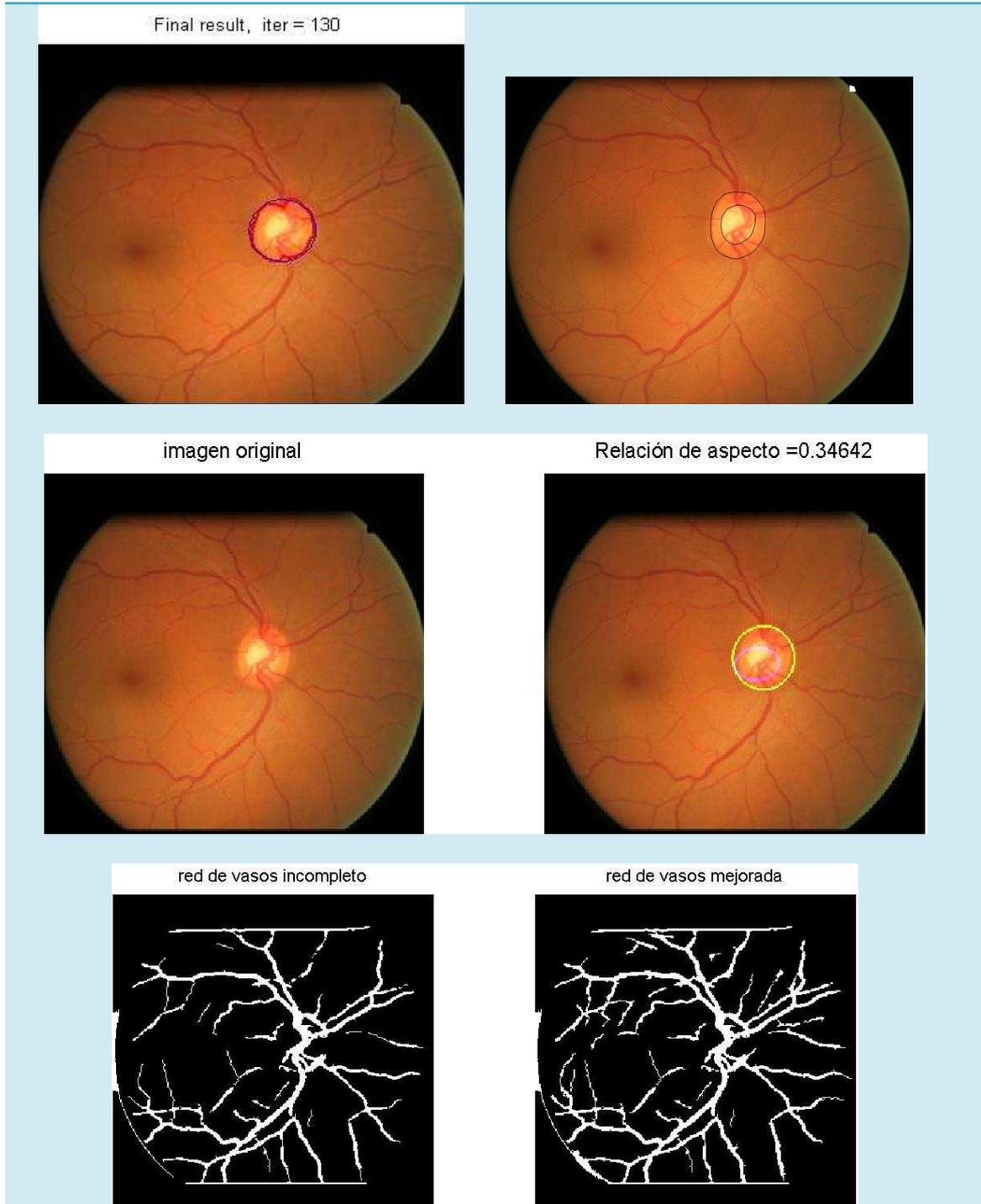
La detección del disco óptico es buena. La relación de aspecto tiene un error de 0,105 con respecto a la segmentación manual. La red de vasos contiene más información que la versión anterior, aunque sería interesante eliminar contornos que no aportan información.

IMAGEN 5 – Resultados**CONCLUSIONES**

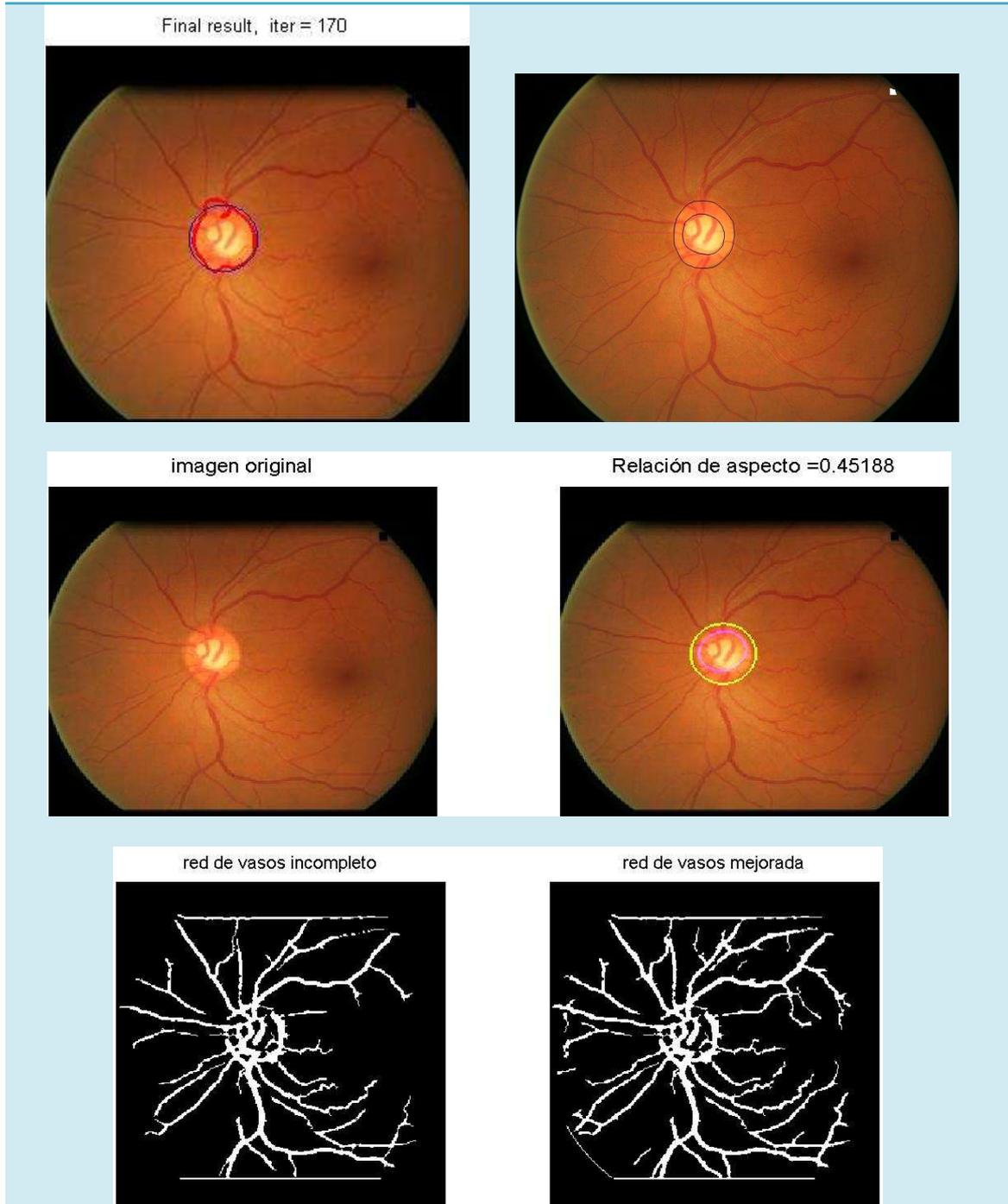
Este caso es similar a la imagen anterior en el cual la aproximación aporta una información más veraz que la obtenida por la Snake. La relación de aspecto tiene un error de 0,003 con respecto a la segmentación manual. La imagen de la red de vasos obtenida es más completa aunque no presenta grandes cambios.

IMAGEN 6 – Resultados**CONCLUSIONES**

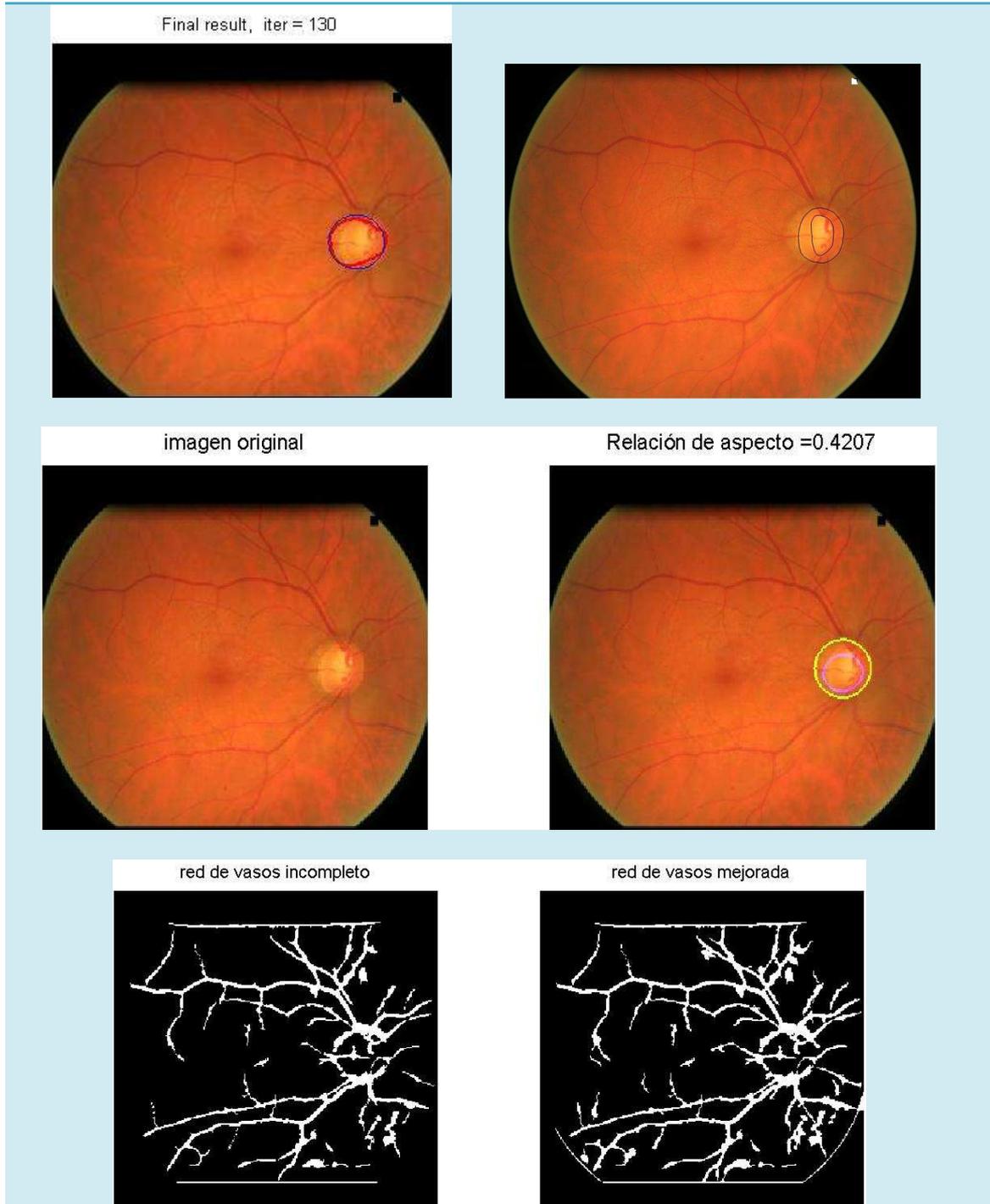
En este caso también la aproximación aporta información más veraz que la obtenida por la Snake. La relación de aspecto es bastante buena y contiene un error de 0,02 con respecto a la segmentación manual. La imagen de la red de vasos obtenida es bastante limpia.

IMAGEN 7 - Resultados**CONCLUSIONES**

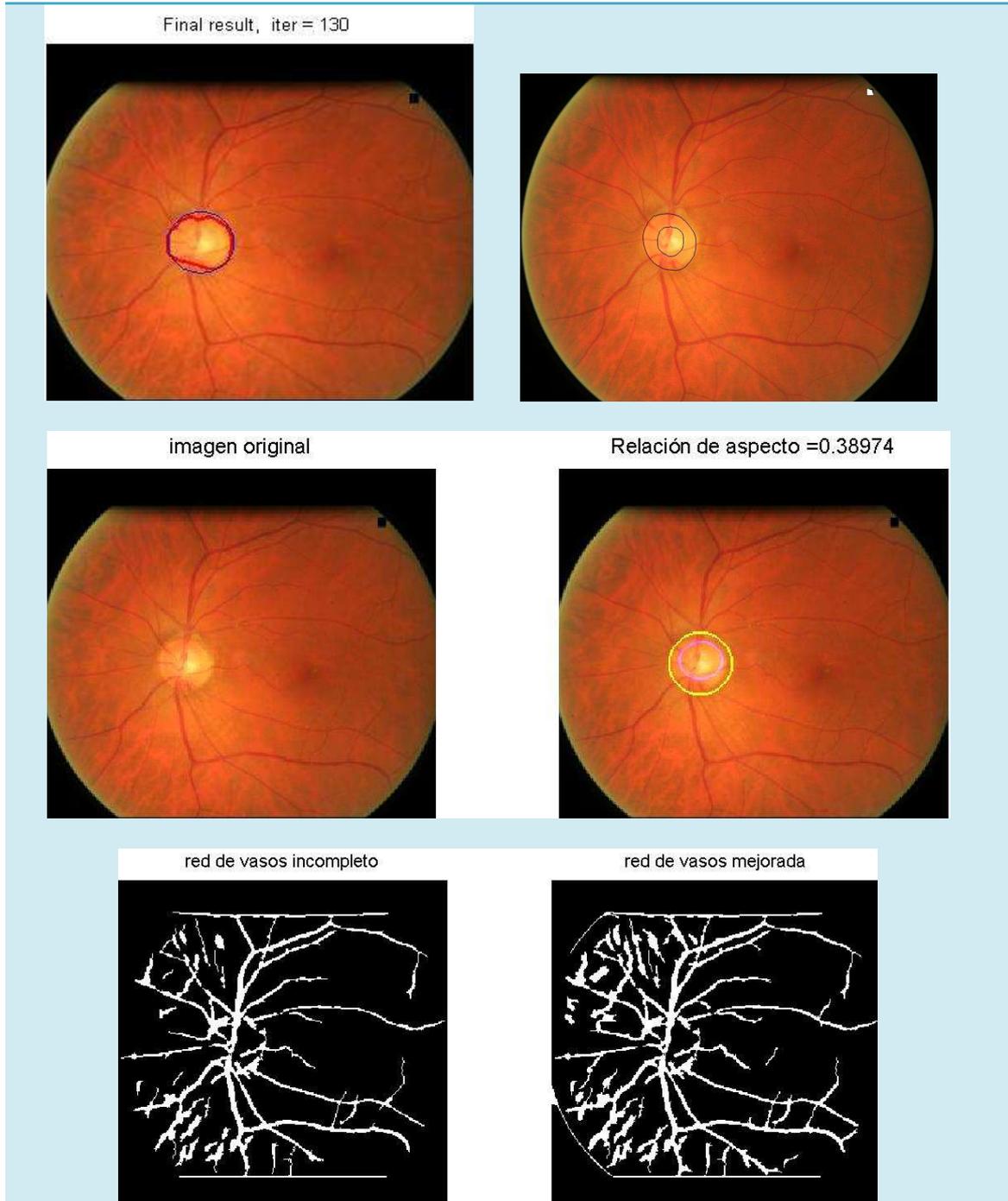
Tanto la aproximación como la obtenida del algoritmo empleado aportan una segmentación cercana a la realizada al especialista. La relación de aspecto tiene un error de 0,008 con respecto a la segmentación manual. La imagen de la red de vasos presenta más ramificaciones que en su anterior versión pero ambas contiene contornos indeseados.

IMAGEN 8 – Resultados**CONCLUSIONES**

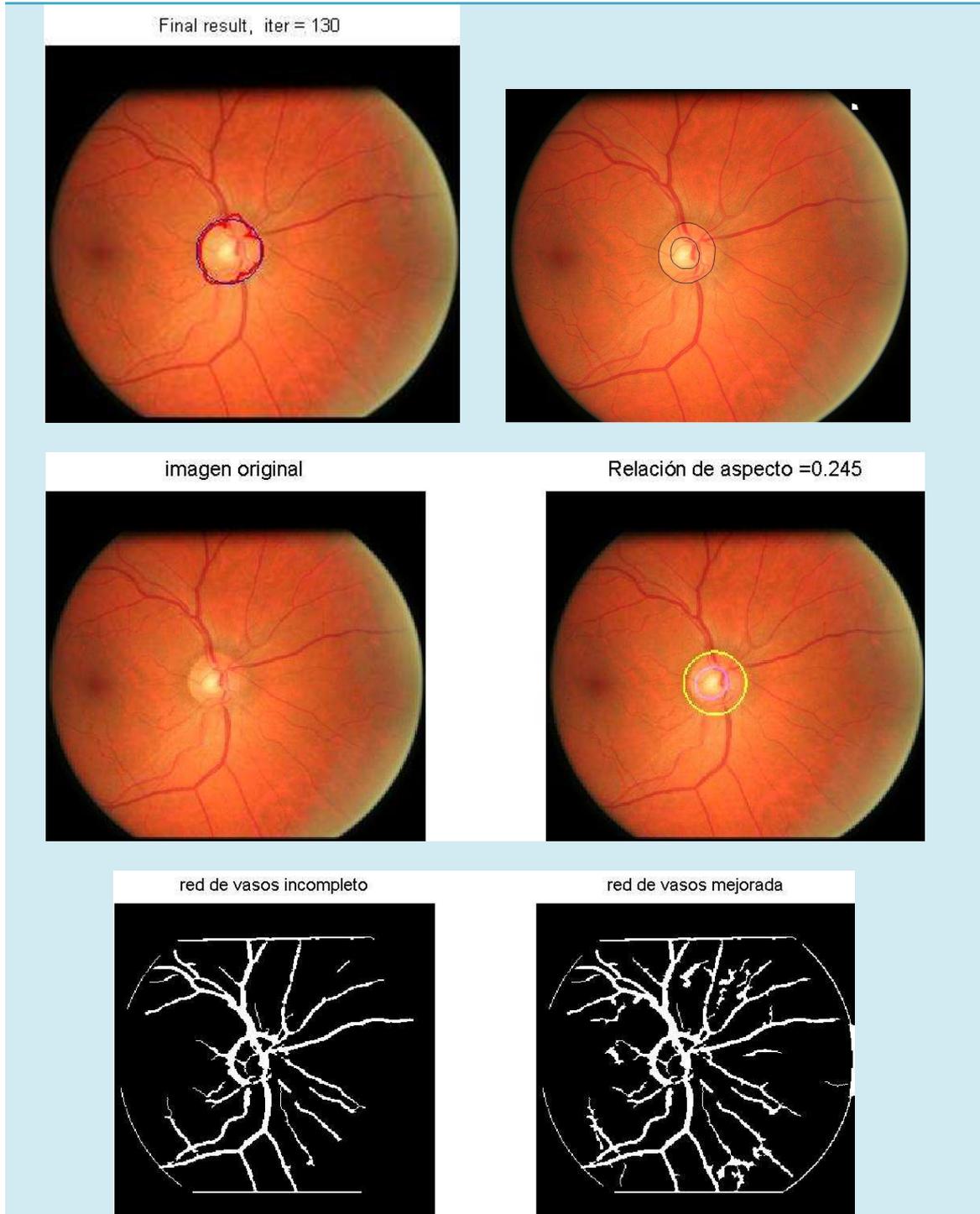
La aproximación ofrece una segmentación óptima. La relación de aspecto tiene un error de 0,08 con respecto a la segmentación manual. La imagen de la red de vasos presenta indicios de una mala eliminación del disco óptico, a pesar de ello la red vascular mejorada contiene ramificaciones que son difíciles de detectar incluso a simple vista.

IMAGEN 9 – Resultados**CONCLUSIONES**

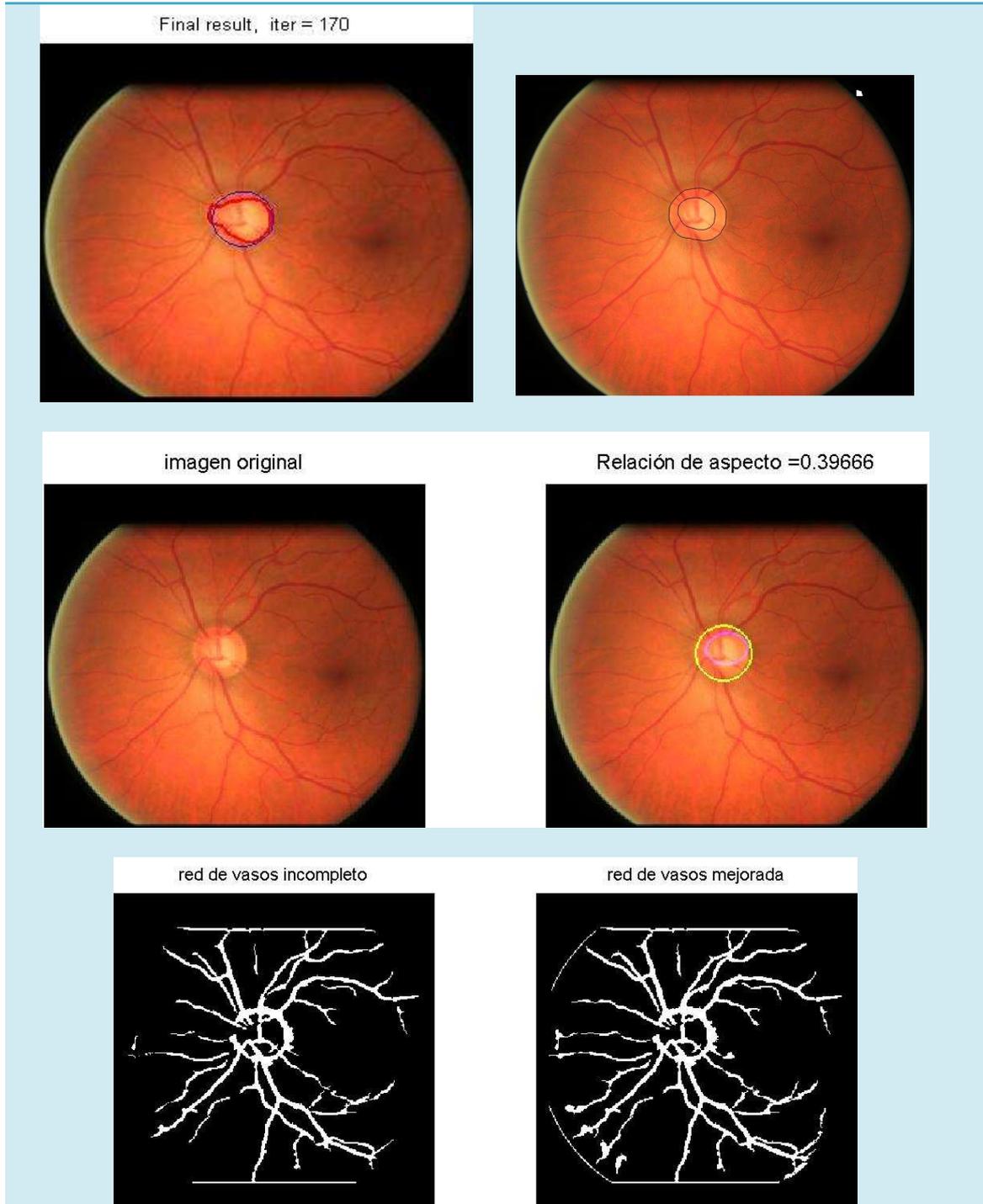
La segmentación está bien caracterizada. La relación de aspecto tiene un error de 0,055 con respecto a la segmentación manual. La imagen de la red de vasos presenta indicios de una mala eliminación del disco óptico, y no se consigue mejora los resultados de la versión anterior.

IMAGEN 10 – Resultados**CONCLUSIONES**

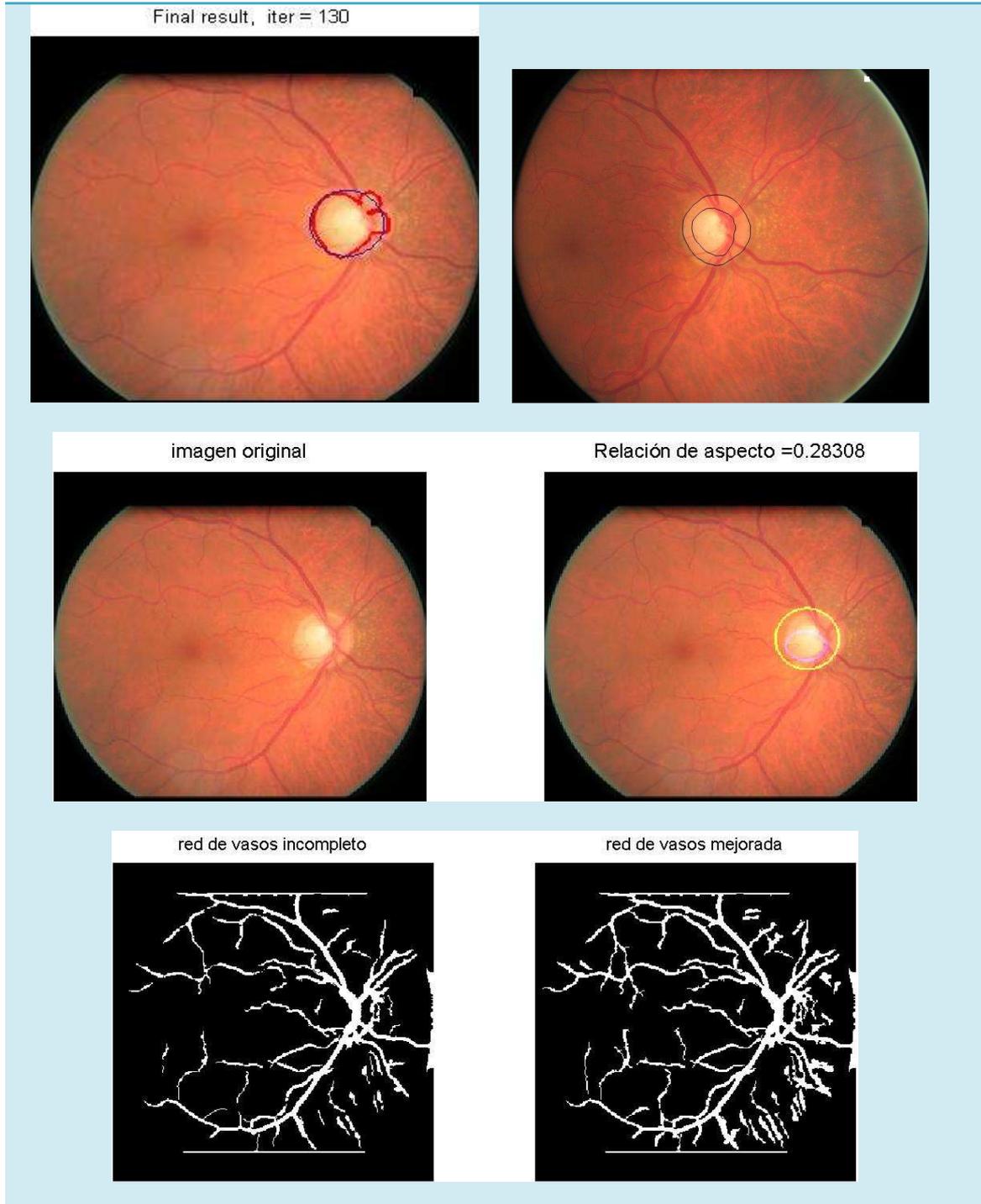
La aproximación es de muy buena calidad. A pesar de ello la relación de aspecto tiene un error que asciende a 0,13 con respecto a la segmentación manual. Aun así los peores resultados son encontrados en la imagen obtenida de la segmentación de la red de vasos, en la que se observan restos que no forman la red, producido por la pésima calidad de la imagen de fondo.

IMAGEN 11 - Resultados**CONCLUSIONES**

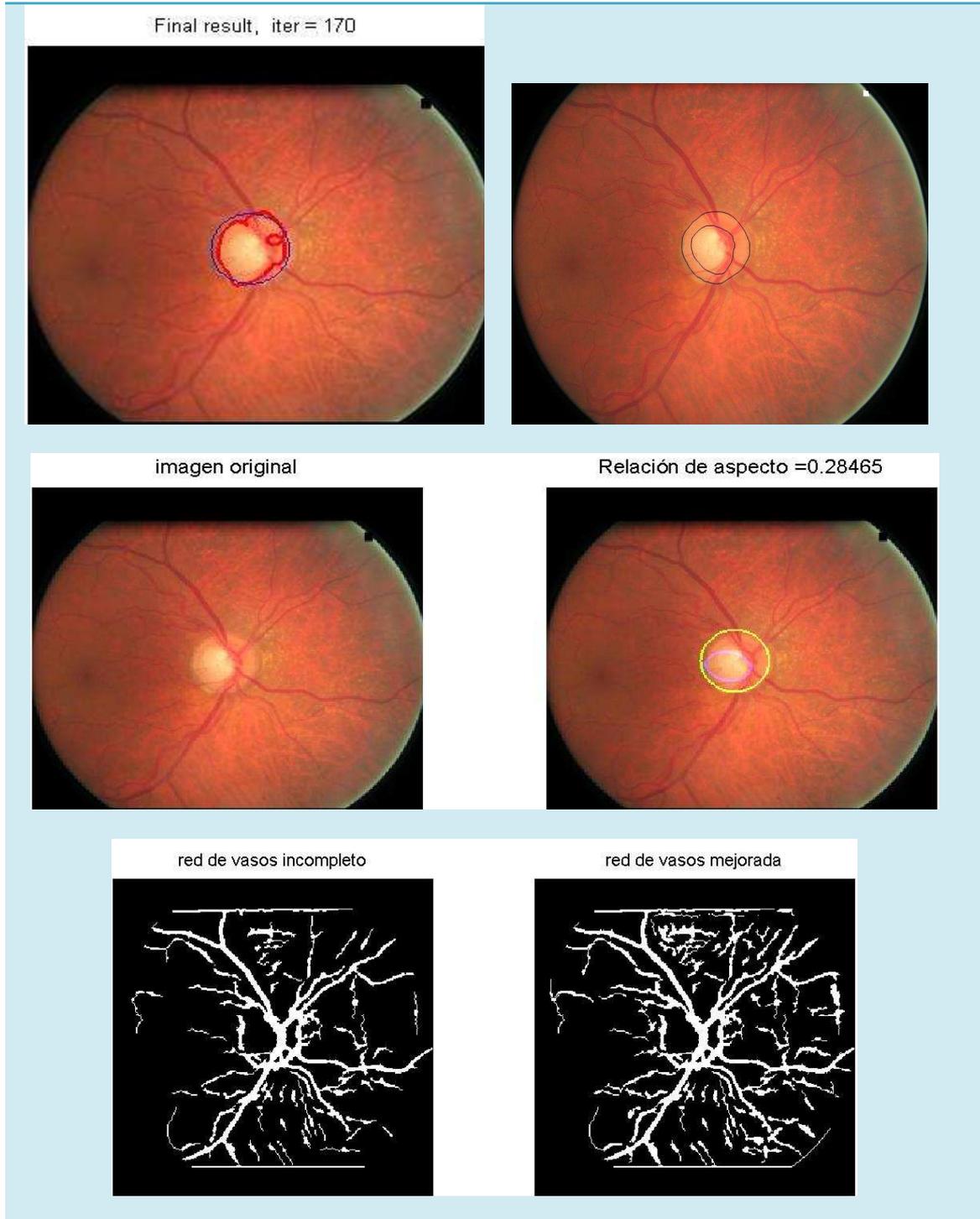
La aproximación sigue siendo muy veraz. El CDR baja a 0,006 en relación a la segmentación manual. Con respecto a la red de vasos, se observan terminaciones nuevas en las ramificaciones y ruido añadido.

IMAGEN 12 – Resultados**CONCLUSIONES**

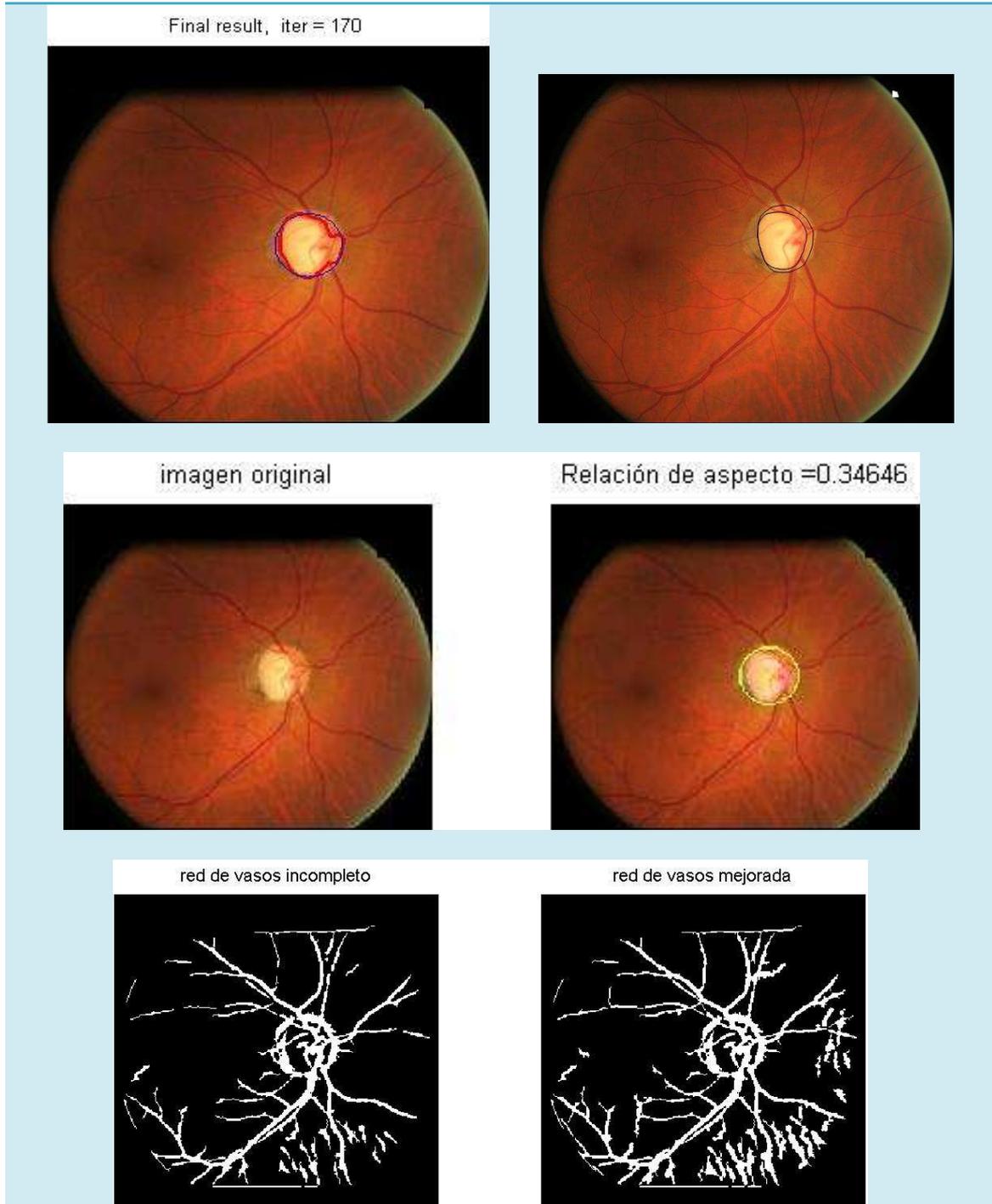
La aproximación es mejor que la alcanzada a la salida de la Snake. La relación de aspecto excavación-disco tiene un bajo error de 0,038 con respecto a la segmentación manual. En la segmentación de la red de vasos, se consigue enlazar ramas discontinuas pero una vez más se observa en ambas imágenes que no se ha conseguido eliminar el contorno del disco óptico.

IMAGEN 13 – Resultados**CONCLUSIONES**

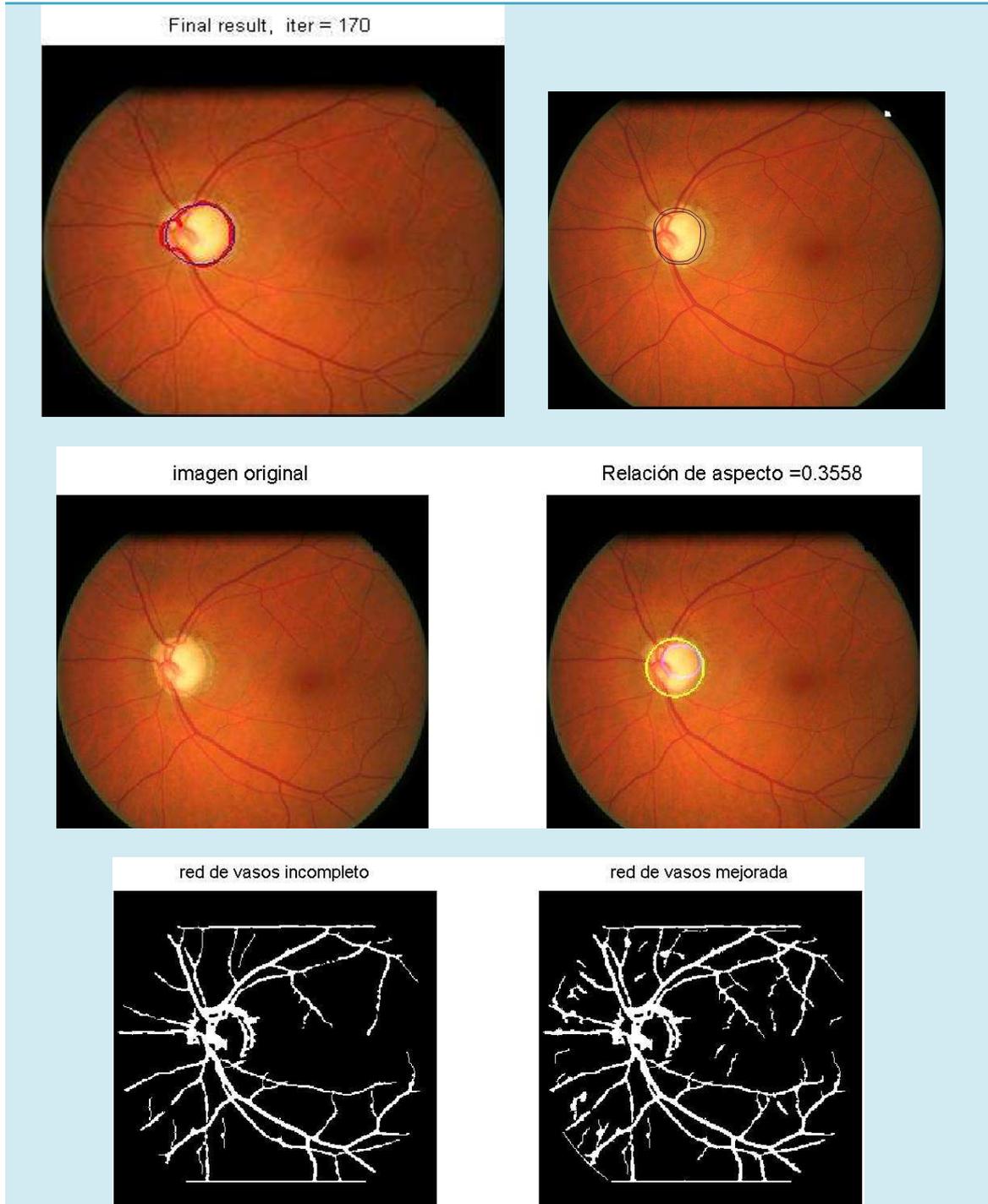
La segmentación del disco óptico está bien ubicada pero no se consigue un resultado deseado. A pesar de ello la relación de aspecto tiene solo un error de 0,04 con respecto a la segmentación manual. Los peores resultados son encontrados en la imagen obtenida de la segmentación de la red de vasos, en la que se observan restos que no forman la red, producido por la pésima calidad de la imagen de fondo.

IMAGEN 14 - Resultados**CONCLUSIONES**

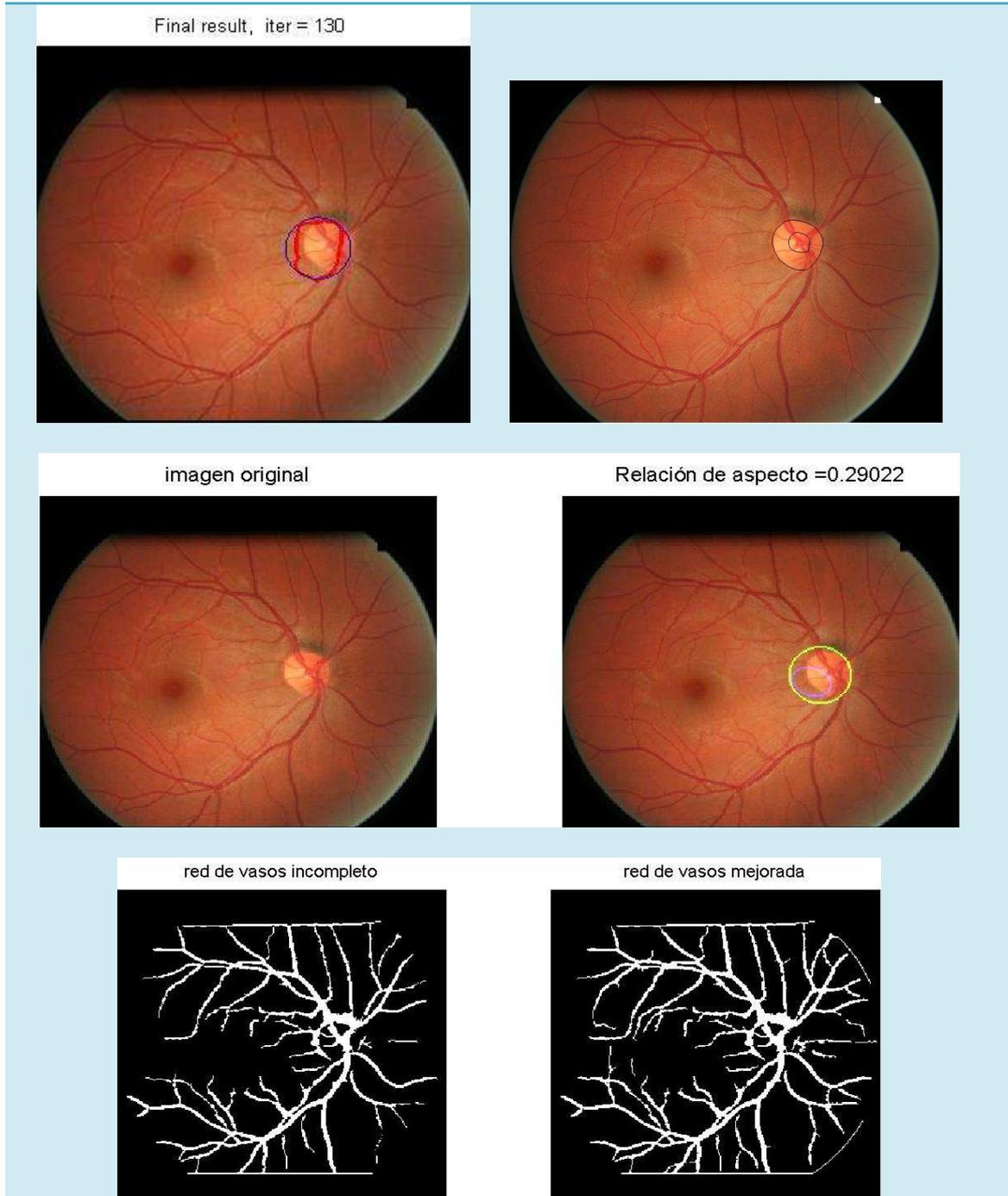
La segmentación del disco óptico tiene aparentemente buena calidad. Una vez más los peores resultados son en la imagen obtenida de la red de vasos, en la que se observan restos que no aportan información y perjudican el análisis correcto de la red vascular.

IMAGEN 15 – Resultados**CONCLUSIONES**

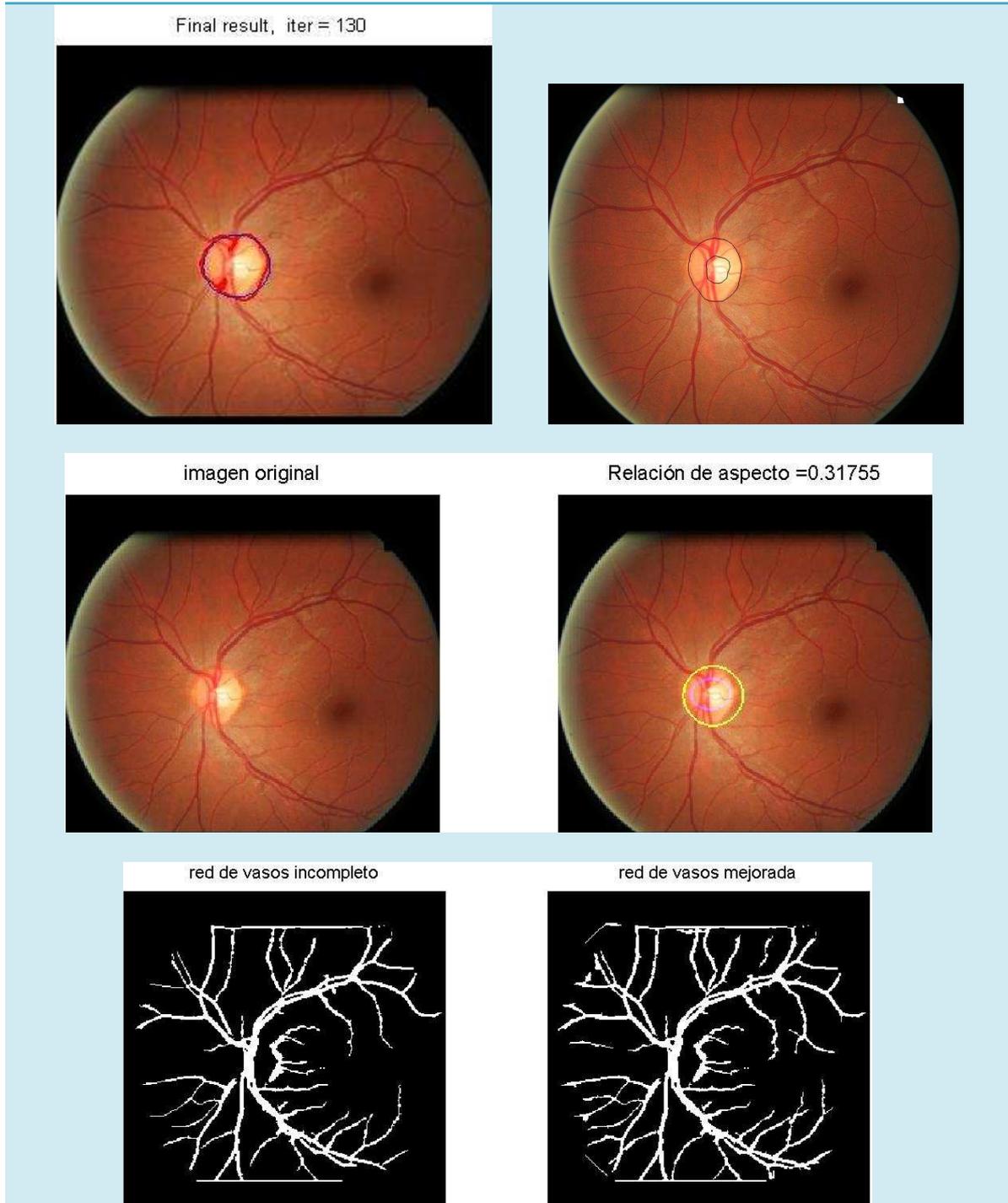
El disco óptico está bien ubicado y caracterizado. El error de la relación de aspecto es bastante alta 0,46 con respecto a la segmentación manual. En la imagen obtenida de la segmentación de la red de vasos, se observa en el sector derecho de la imagen añadidos producidos por la imagen de fondo, además vemos el disco óptico mal eliminado, sin embargo la red está completa.

IMAGEN 16 - Resultados**CONCLUSIONES**

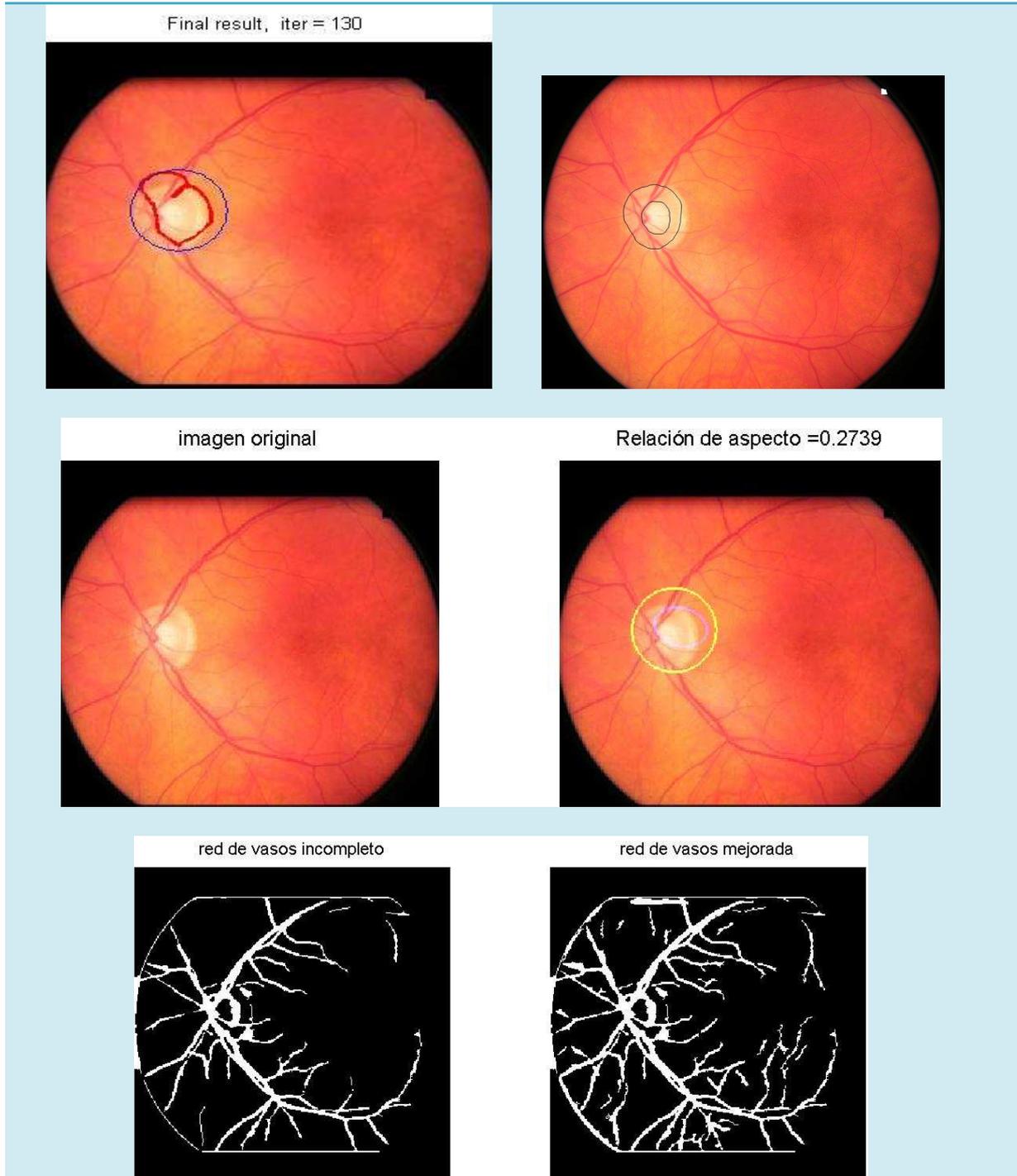
La segmentación del disco óptico está bien ubicada y el radio es prácticamente idéntico al segmentado manualmente. A pesar de ello la relación de aspecto tiene un error de 0,44 con respecto a la segmentación manual. Los resultados en la imagen obtenida de la segmentación de la red de vasos, son bastante buenos en la nueva red.

IMAGEN 17 – Resultados**CONCLUSIONES**

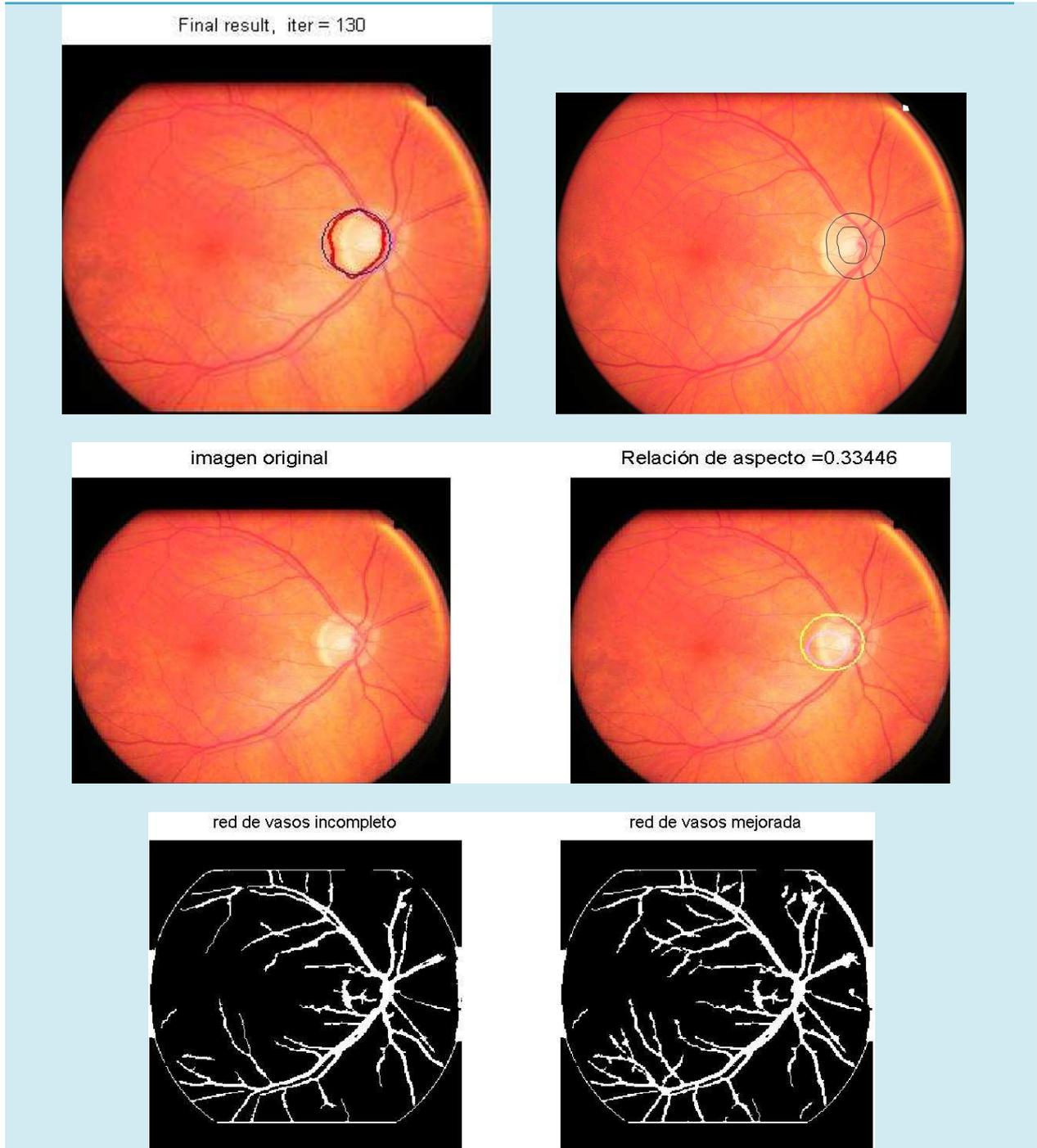
La segmentación del disco óptico no es del todo correcta, quizás debido a un exceso de iteraciones. Es por ello que la segmentación de la excavación no es correcta. En este caso la red vascular es de las mejores obtenidas hasta el momento, aunque el disco óptico no sea del todo eliminado.

IMAGEN 18 – Resultados**CONCLUSIONES**

Buenos resultados en la obtención de la excavación y del disco óptico aunque, la aproximación realizada de esta perjudique el resultado. La relación de aspecto es de 0,12 respecto a la manual. La red que se consigue es limpia y no se ven rastros del disco óptico.

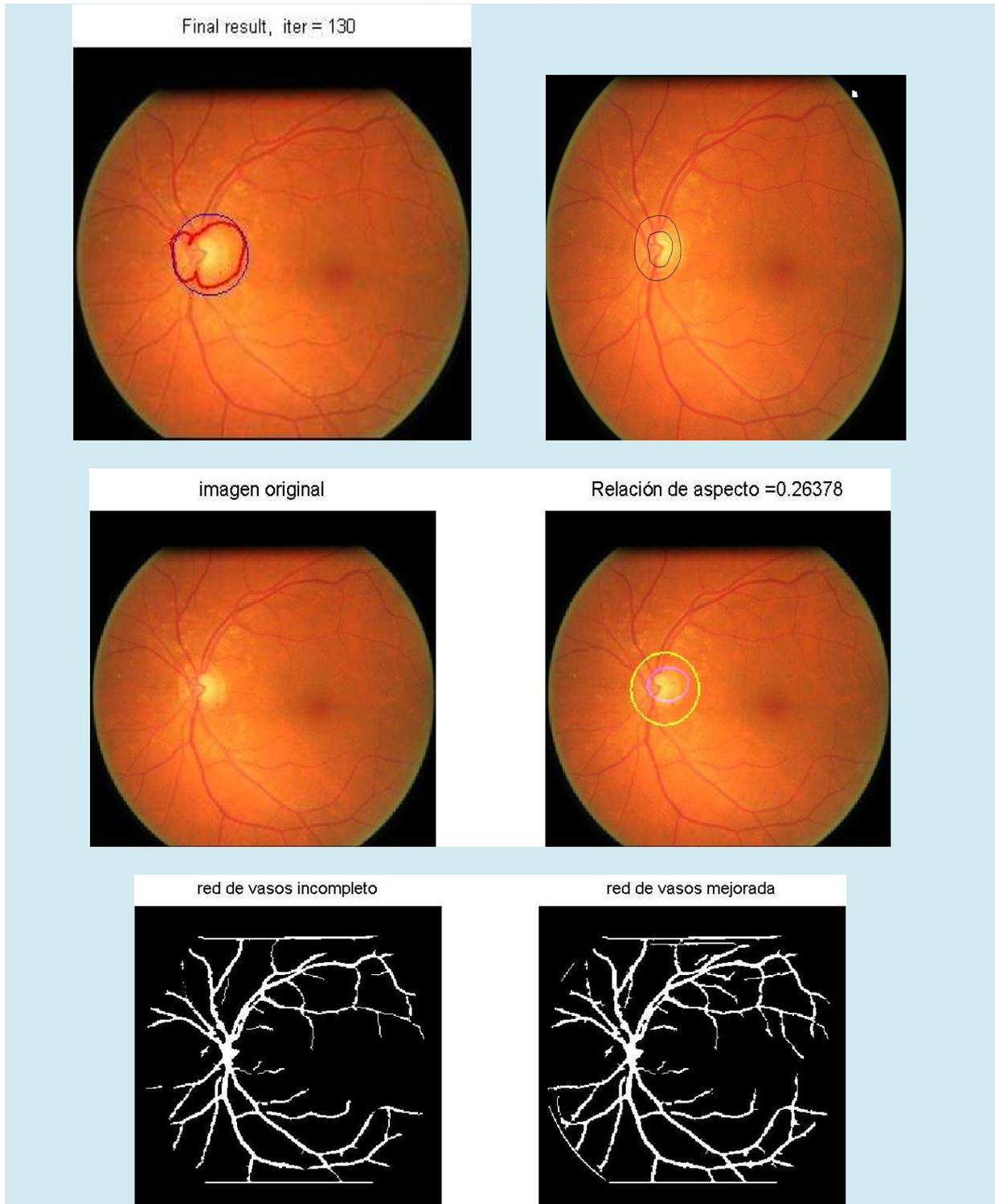
IMAGEN 19 - Resultados**CONCLUSIONES**

Al igual que ocurría en la imagen 17, los resultados son malos, la aproximación del disco óptico está muy lejos de lo esperado, la obtenida de la Snake mejora pero no llega a ser del todo correcta. Respecto a la red de vasos, se ve una gran mejora de la anterior versión.

IMAGEN 20 - Resultados**CONCLUSIONES**

La localización del disco óptico tiene el centro movido, pero las proporciones son correctas pues la relación de aspecto tiene un error de 0,039 con respecto a la segmentación manual. La red de vasos no contiene rastros del disco y las terminaciones de los vasos se ven mejoradas.

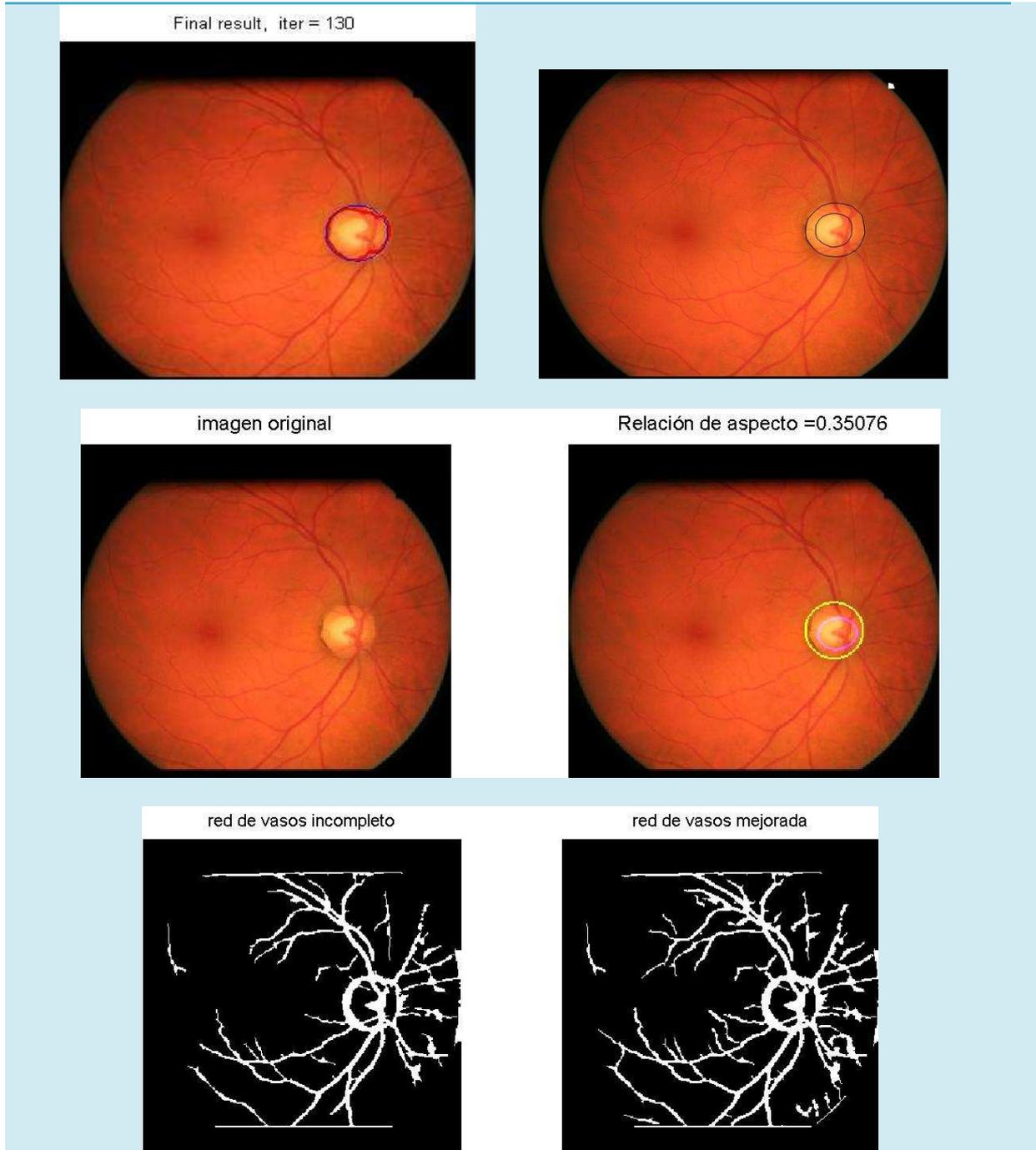
IMAGEN 21 – Resultados



CONCLUSIONES

Reduciendo el número de iteraciones en este caso, alcanzaríamos mejores resultados, a pesar de ello, no son del todo erróneos. Con un error en el cálculo CDR del 0,07 respecto al segmentado original. En estos resultados encontramos una red limpia de ruido, disco óptico y muy completo.

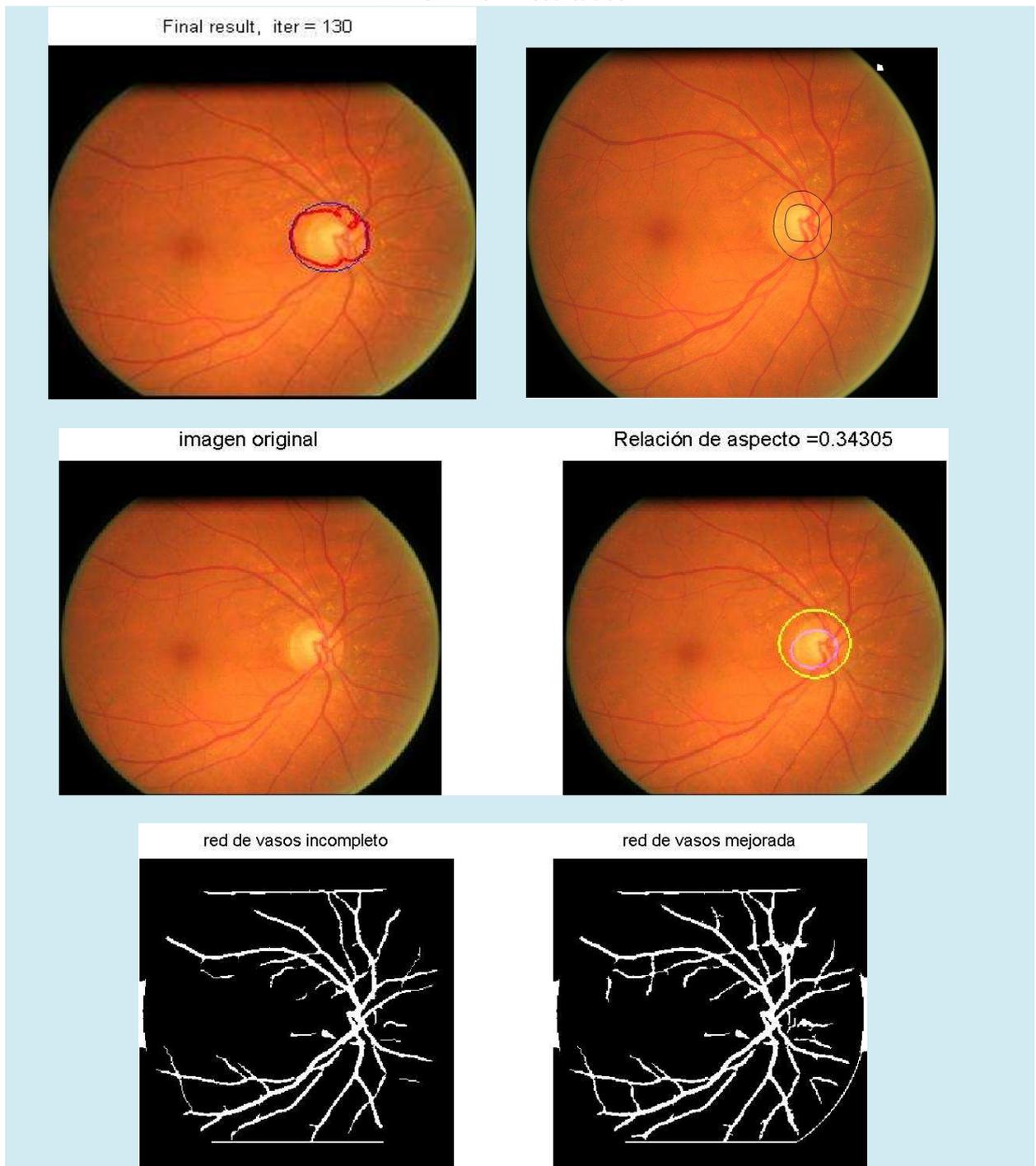
IMAGEN 22 – Resultados



CONCLUSIONES

La aproximación es mejor que la alcanzada a la salida de la Snake. La relación de aspecto excavación-disco tiene un bajo error de 0,038 con respecto a la segmentación manual. En la segmentación de la red de vasos, se consigue enlazar ramas discontinuas pero una vez más se observa en ambas imágenes que no se ha conseguido eliminar el contorno del disco óptico.

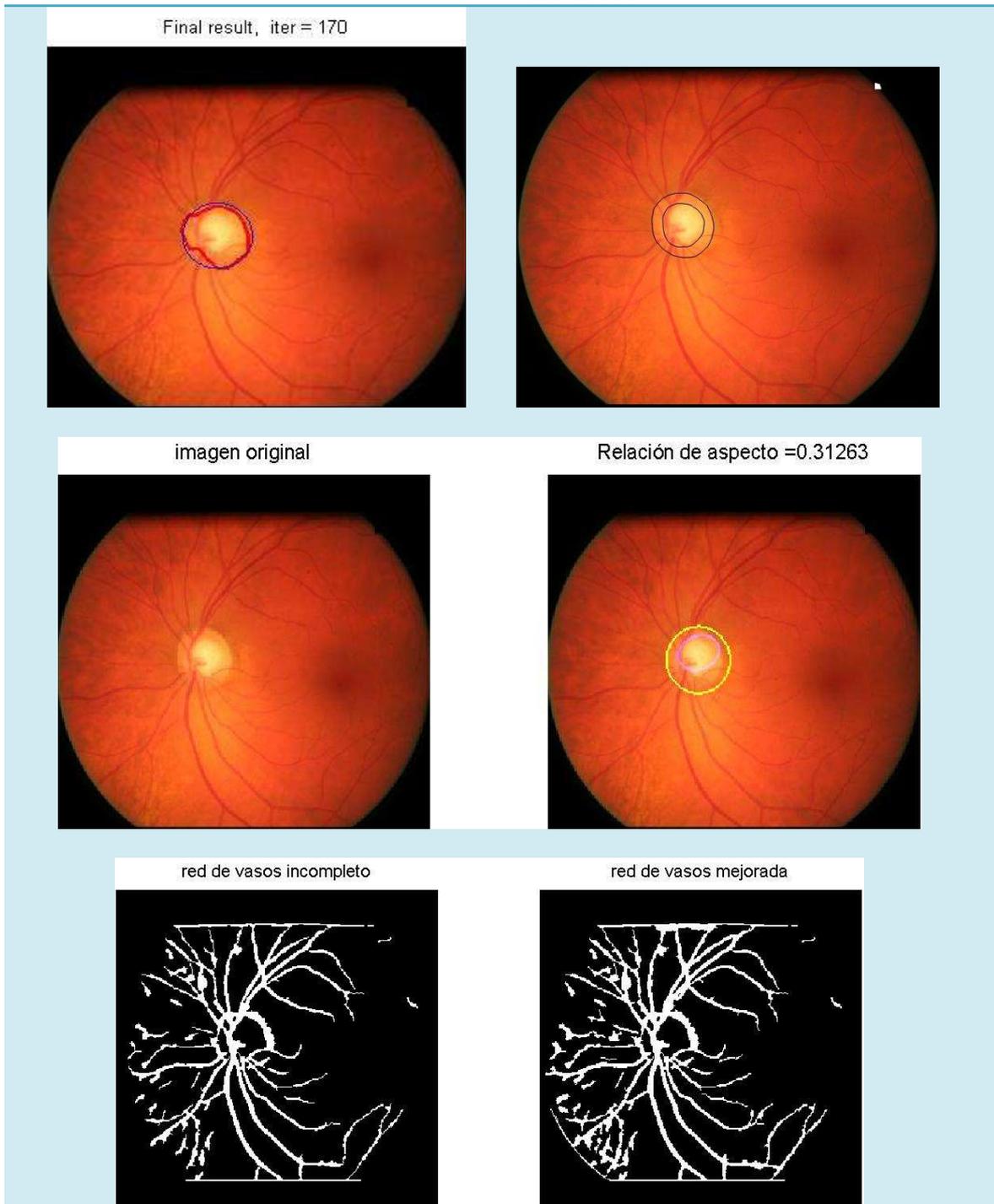
IMAGEN 23 – Resultados



CONCLUSIONES

El número de iteraciones en este caso debería ser reducido, además el centro parece desplazado. Respecto a la red de vasos, está limpia de ruido, disco óptico y muy completa.

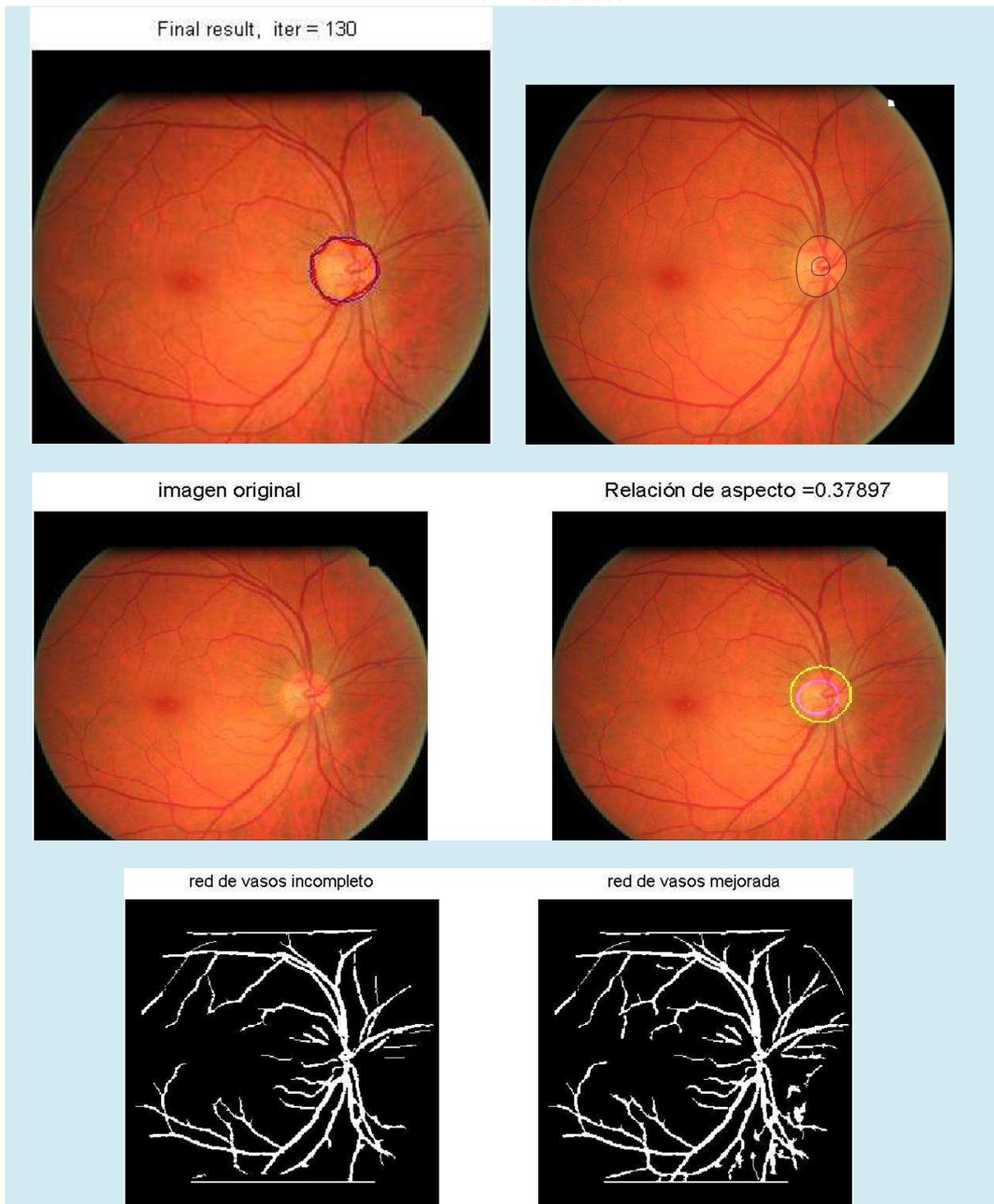
IMAGEN 24 - Resultados



CONCLUSIONES

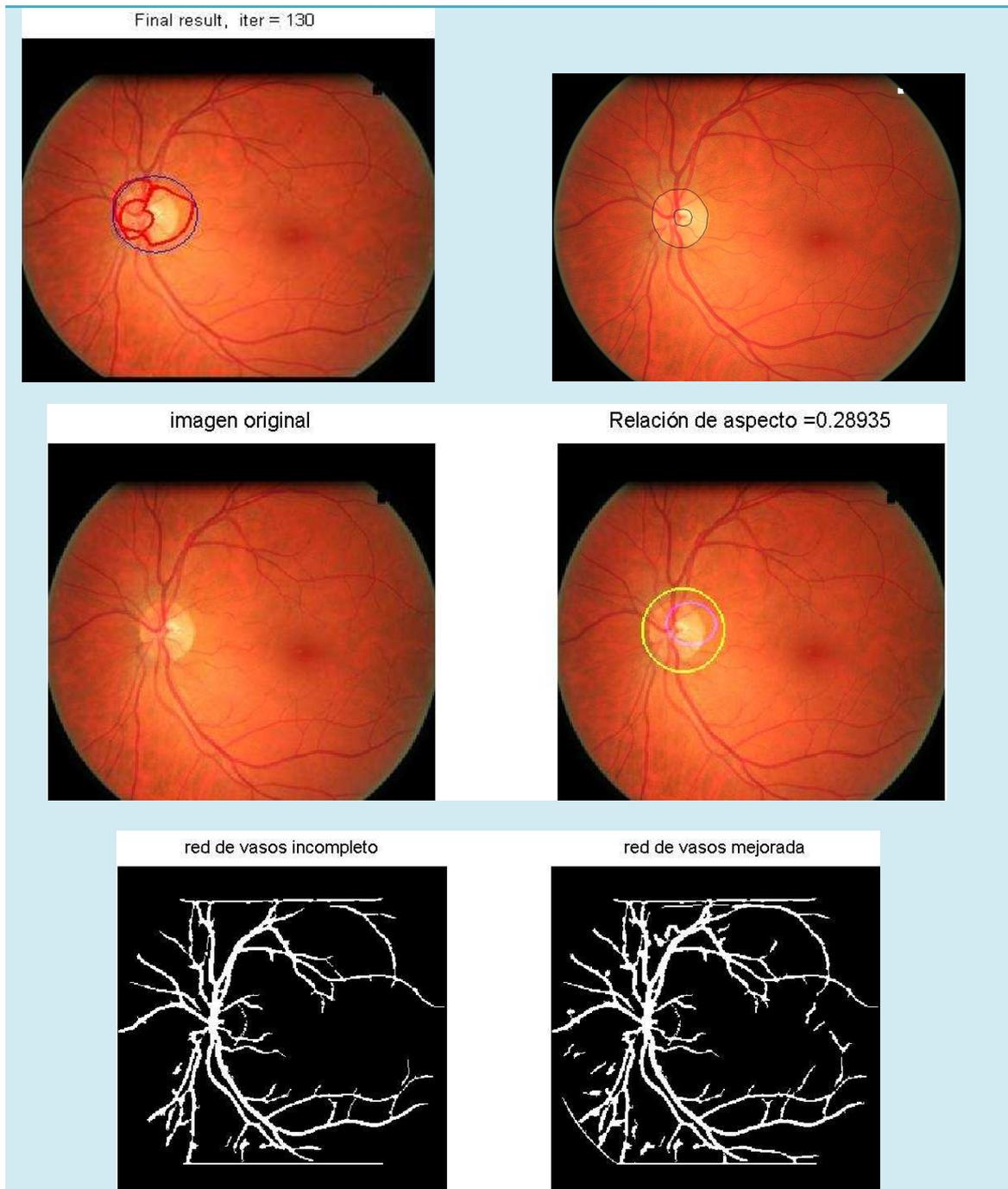
El disco óptico está bien caracterizado así como la excavación con un error de 0,14. En la imagen de la red obtenida no se ven cambios respecto a la resultante en el modelo anterior, el cual ya es bastante bueno.

IMAGEN 25 – Resultados

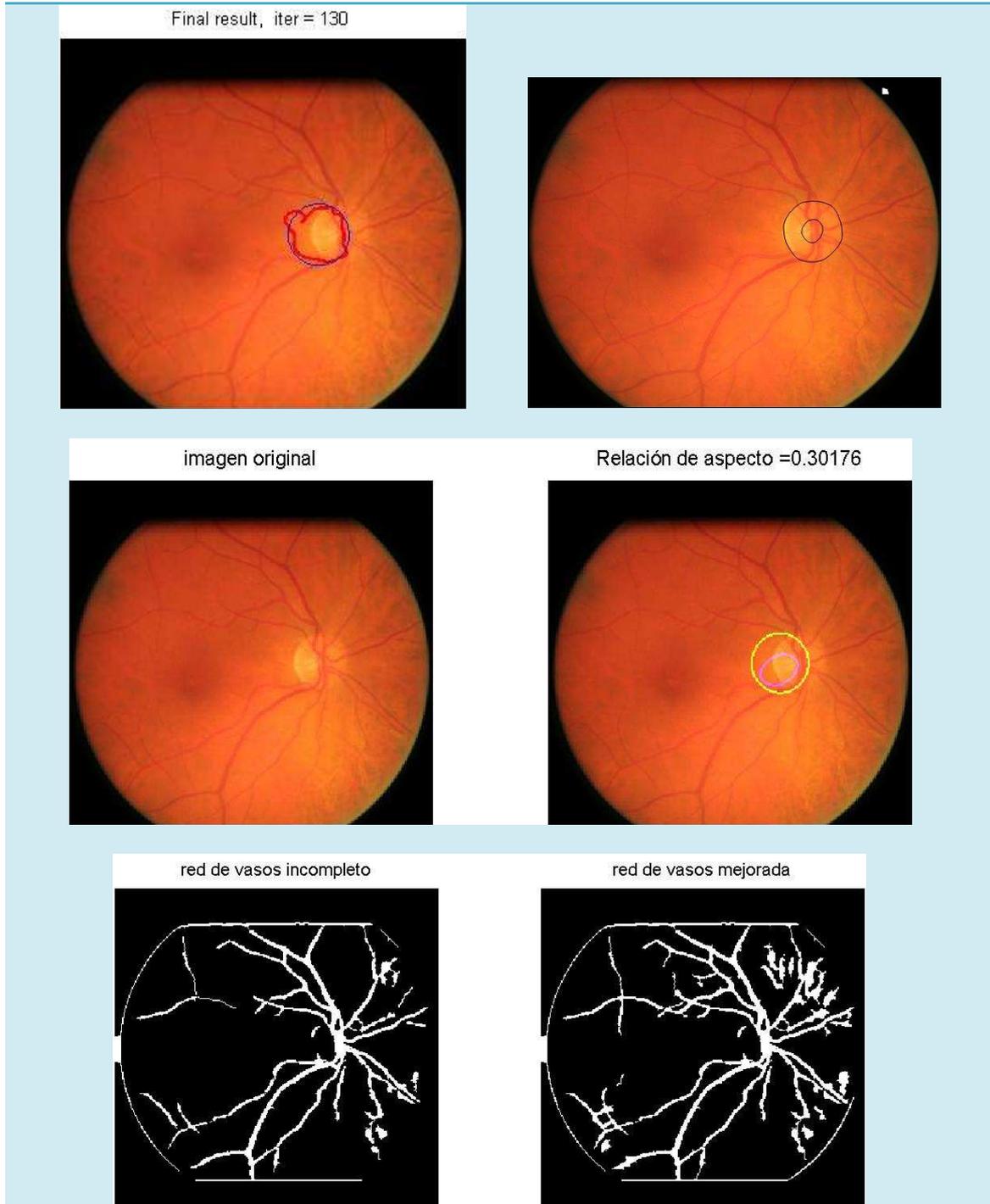


CONCLUSIONES

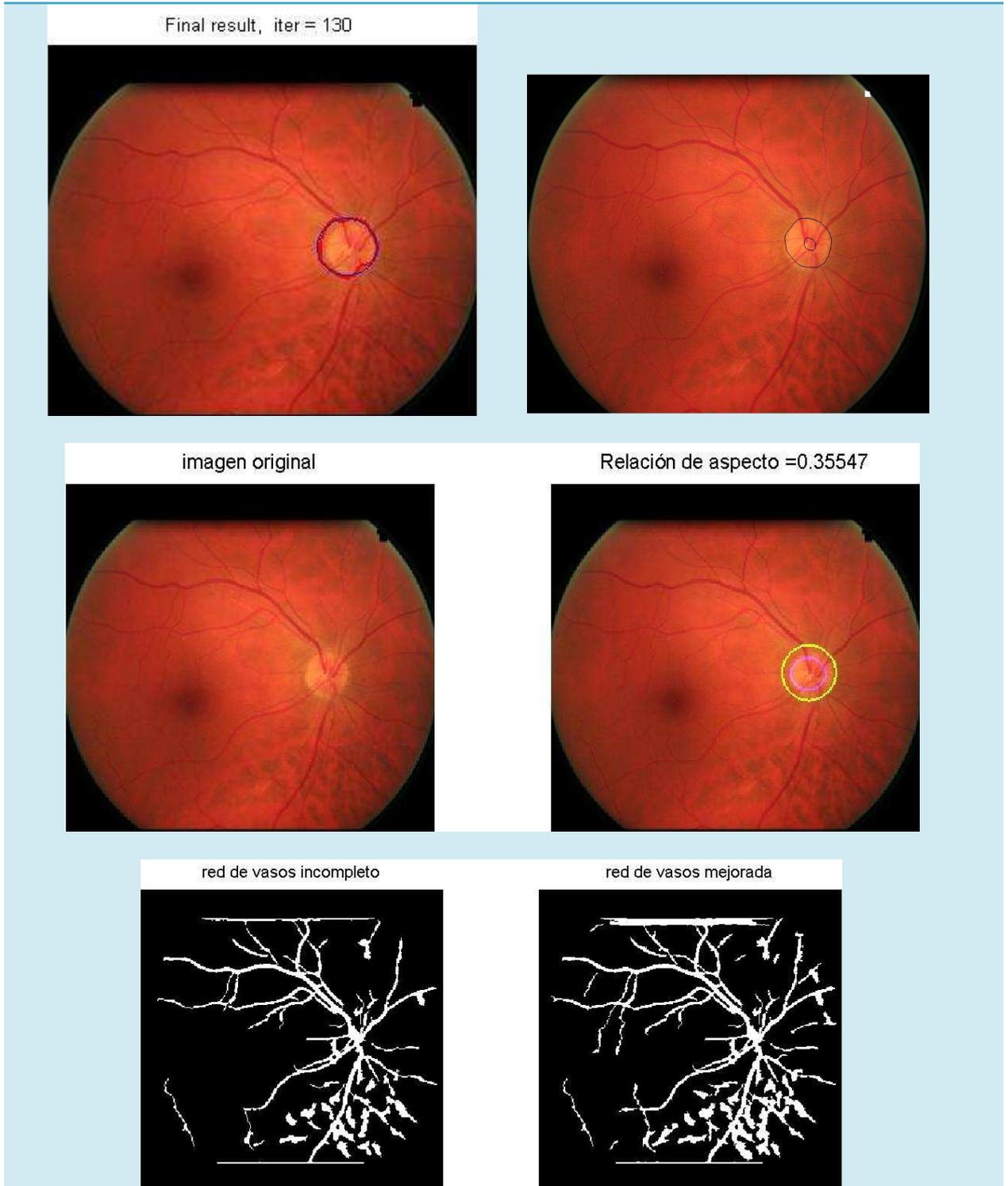
Buenos resultados obtenidos en la obtención del disco así como de la excavación. Con un error en el cálculo CDR del 0,14 respecto al segmentado original. En estos resultados también encontramos una red limpia de ruido, del contorno del disco óptico y muy completo.

IMAGEN 26 - Resultados**CONCLUSIONES**

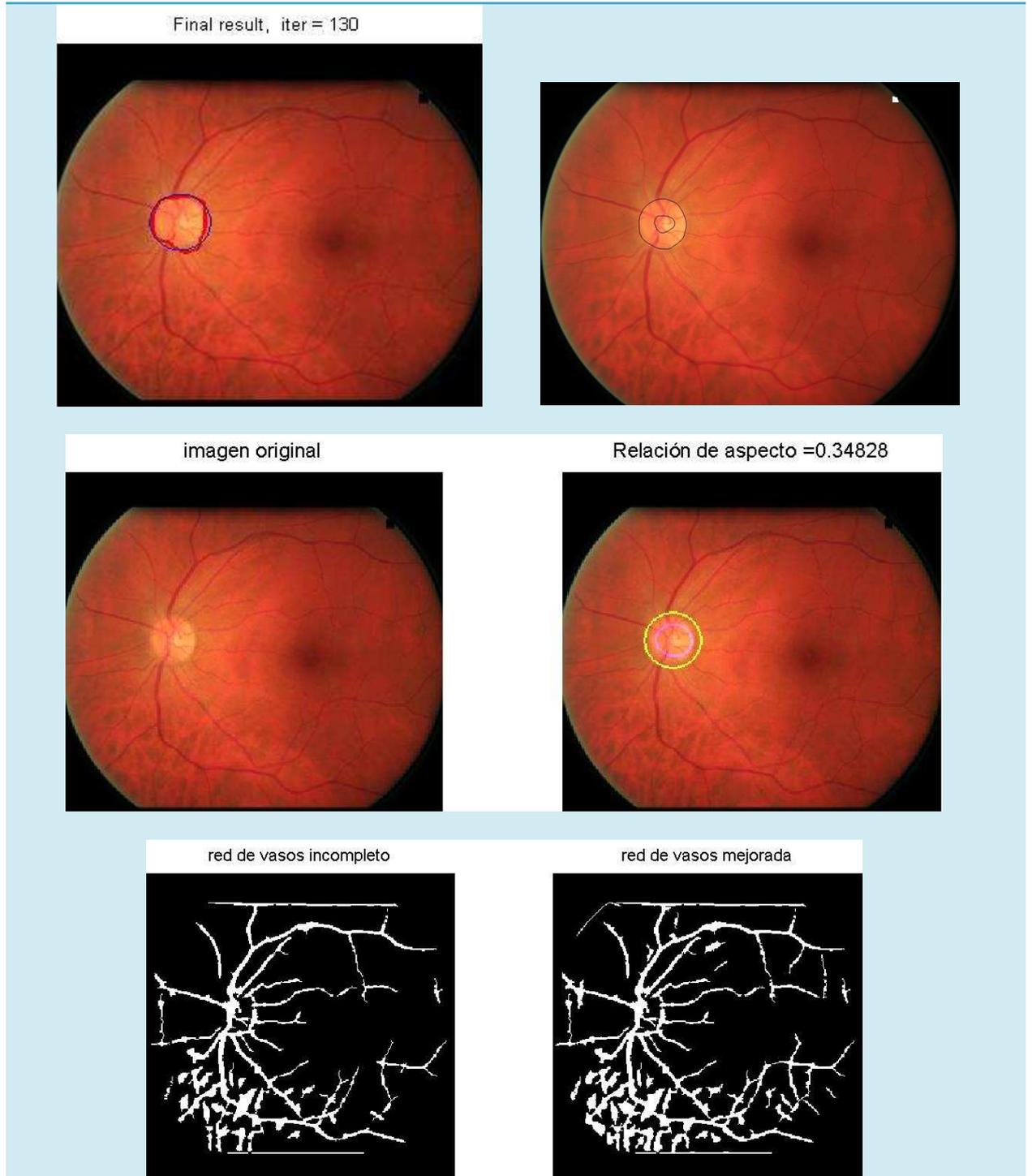
El número de iteraciones debería ser reducido, pero el centro parece bien localizado. Respecto a la red de vasos mejorada, está limpia de ruido, disco óptico y muy completa.

IMAGEN 27 – Resultados**CONCLUSIONES**

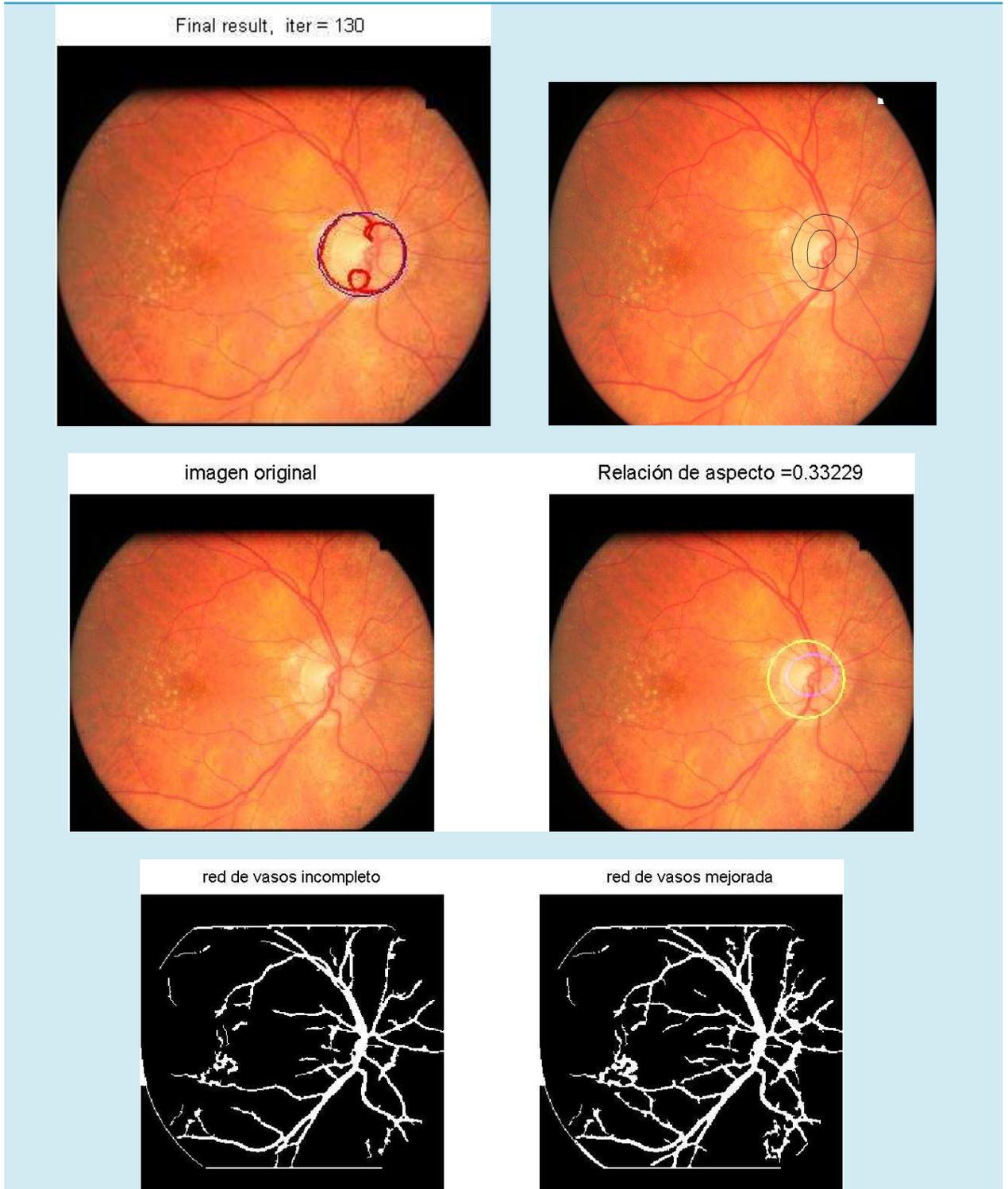
La detección del disco óptico se ve perjudica por el exceso de brillo en una zona de él, por lo que el resultado de la excavación se ve afectado. Los vasos sanguíneos están determinados por completo, incluso ayudan a percibir vasos no detectados de forma manual.

IMAGEN 28 - Resultados**CONCLUSIONES**

El disco óptico está bien caracterizado así como la excavación con un error CDR de 0,28. En la imagen de la red obtenida no se ven mejoras respecto a la resultante en el modelo anterior, se añade mayor ruido en el segundo cuadrante de la imagen.

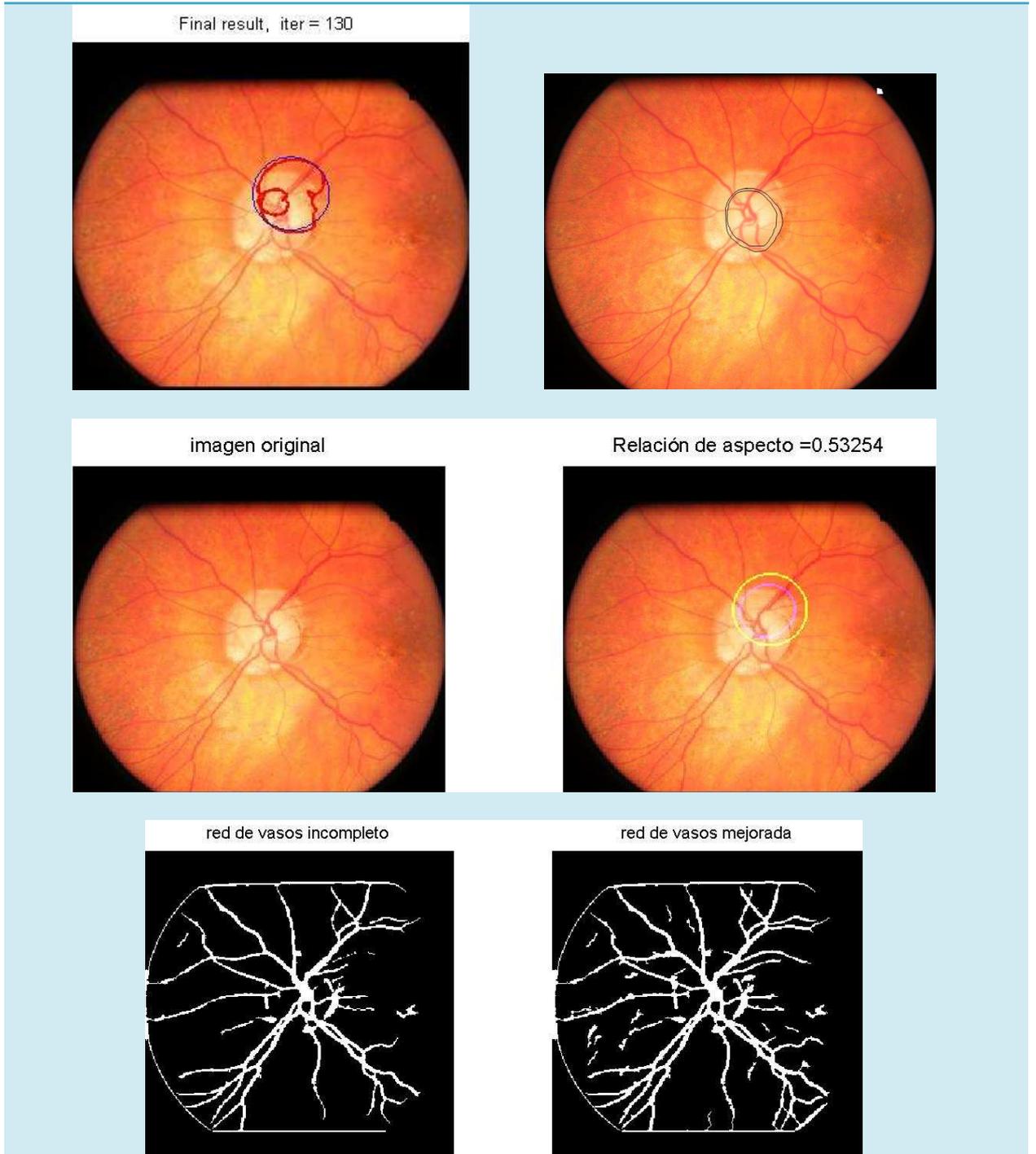
IMAGEN 29 - Resultados**CONCLUSIONES**

La segmentación del disco óptico así como la excavación es bastante buena, con un error CDR de 0,2. En la imagen de la red obtenida no se ven mejoras respecto a la resultante en el modelo anterior, se añade mayor ruido en el tercer cuadrante de la imagen.

IMAGEN 30 – Resultados**CONCLUSIONES**

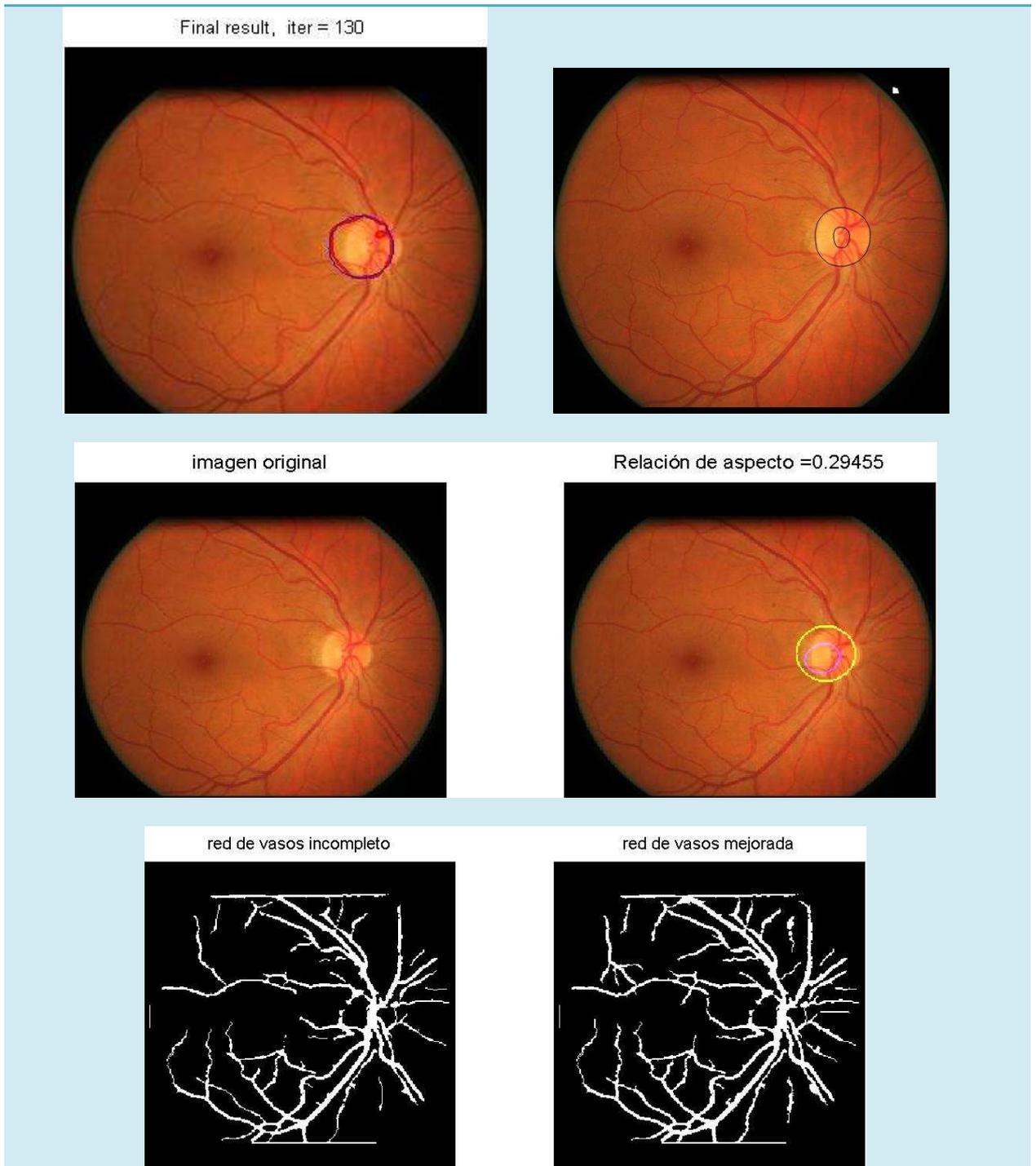
A pesar de la dificultad que supone la segmentación en este caso, los resultados son buenos de forma aproximada, el CDR es 0,12. La red de vasos está correctamente detectada y en la versión mejorada se tienen nuevas terminaciones.

IMAGEN 31 - Resultados



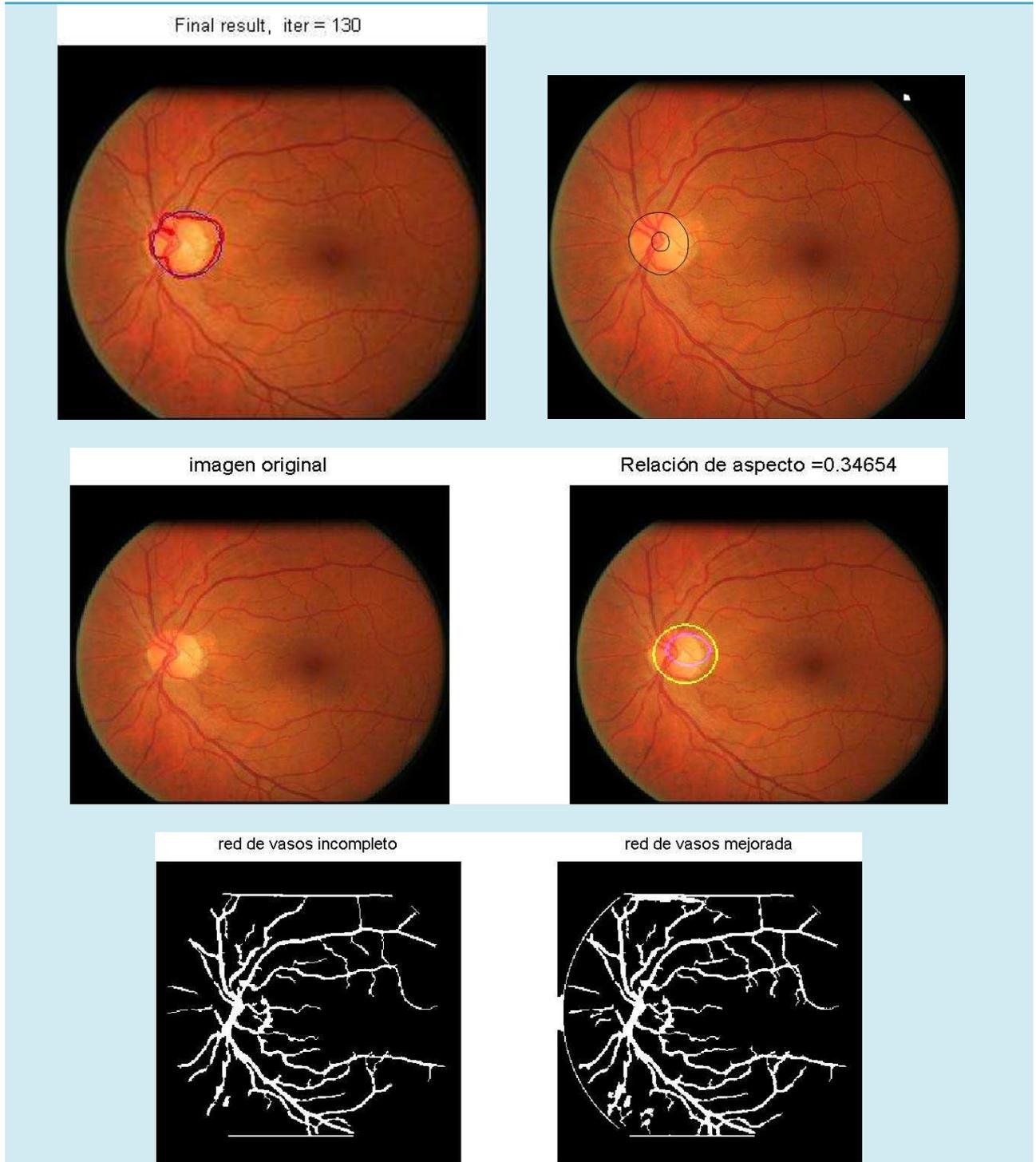
CONCLUSIONES

El número de iteraciones es correcto pero el centro se encuentra desplazado. Respecto a la red de vasos, está limpia de ruido y perfectamente segmentada.

IMAGEN 32 - Resultados**CONCLUSIONES**

El número de iteraciones es correcto pero el centro se encuentra desplazado, a pesar de ello el resultado no se aleja demasiado del obtenido manualmente. Respecto a la red de vasos, está limpia de ruido y perfectamente segmentada.

IMAGEN 33 - Resultados



CONCLUSIONES

Resultados aceptables en el caso del disco óptico pero no tan buenos con los conseguidos en la determinación de la excavación. Con un alto error en el cálculo CDR respecto al segmentado original. La red de vasos está bien definida sin ruidos añadido.

IMAGEN 34 – Resultados

Final result, iter = 130

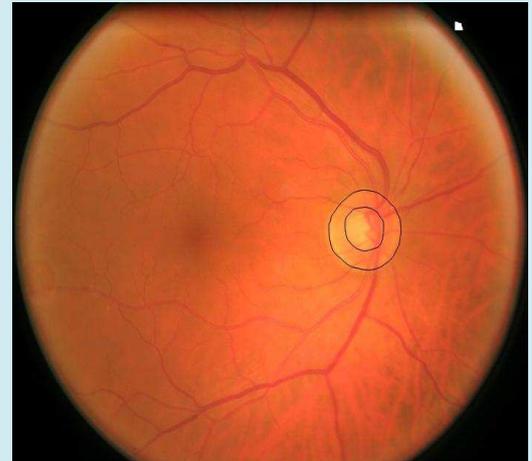
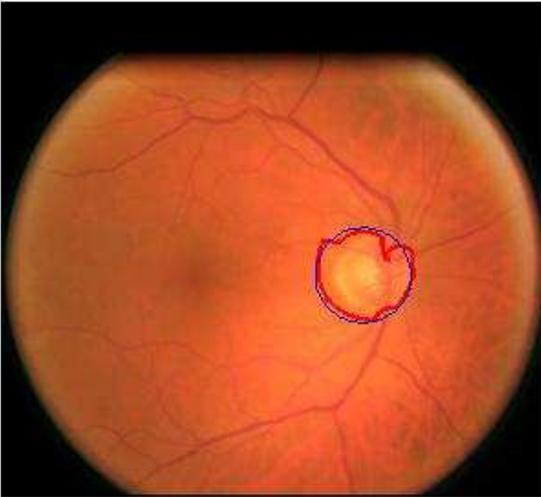
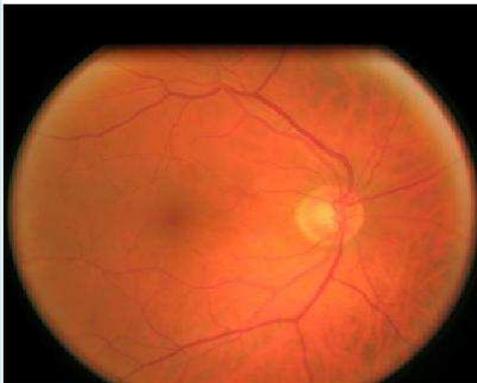
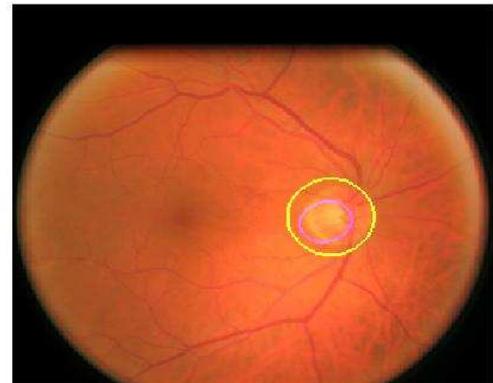


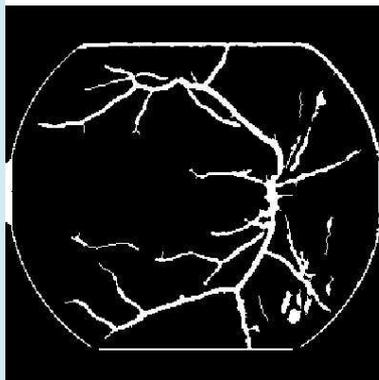
imagen original



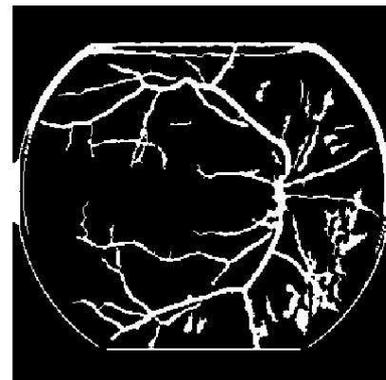
Relación de aspecto = 0.30493



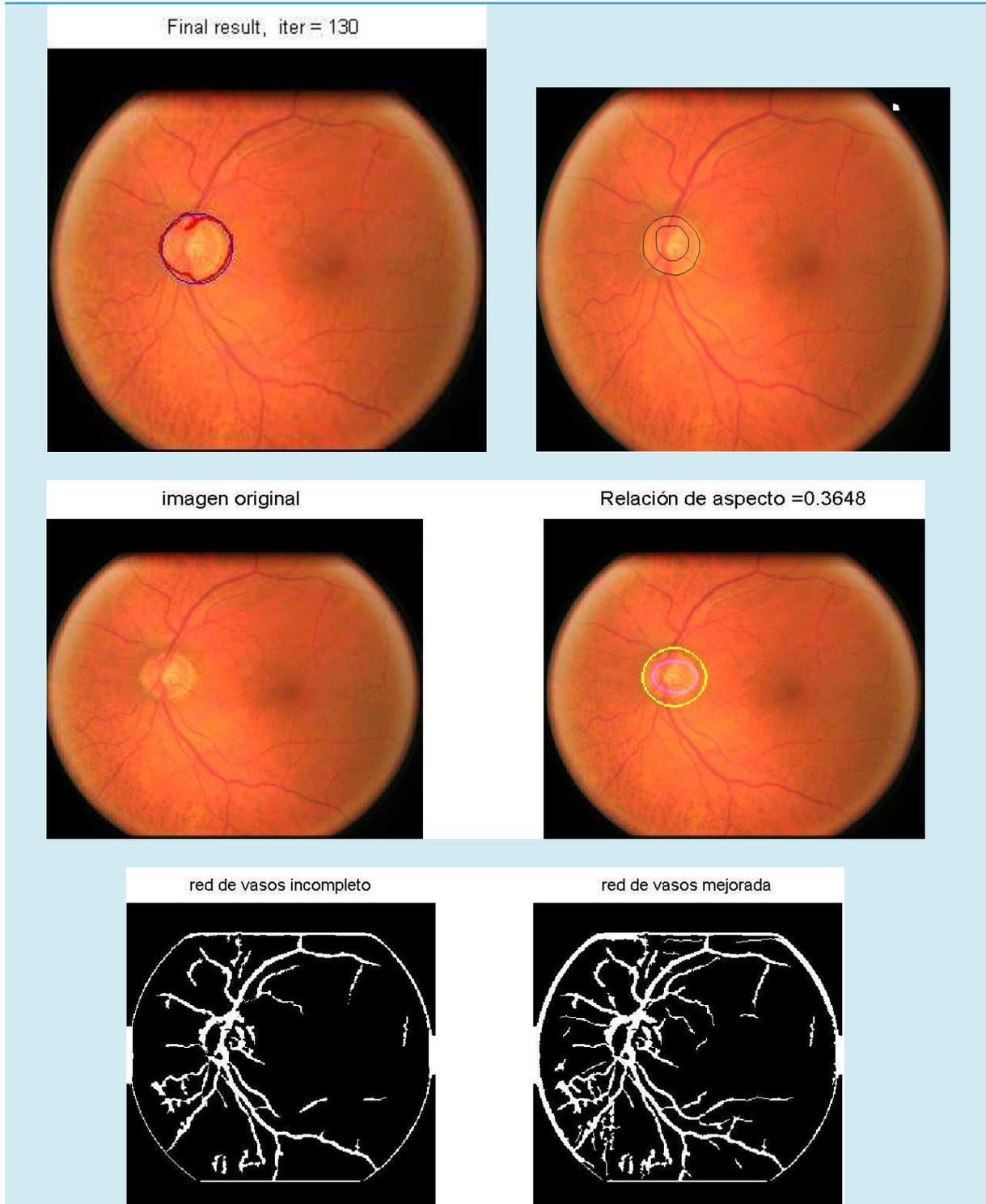
red de vasos incompleto



red de vasos mejorada

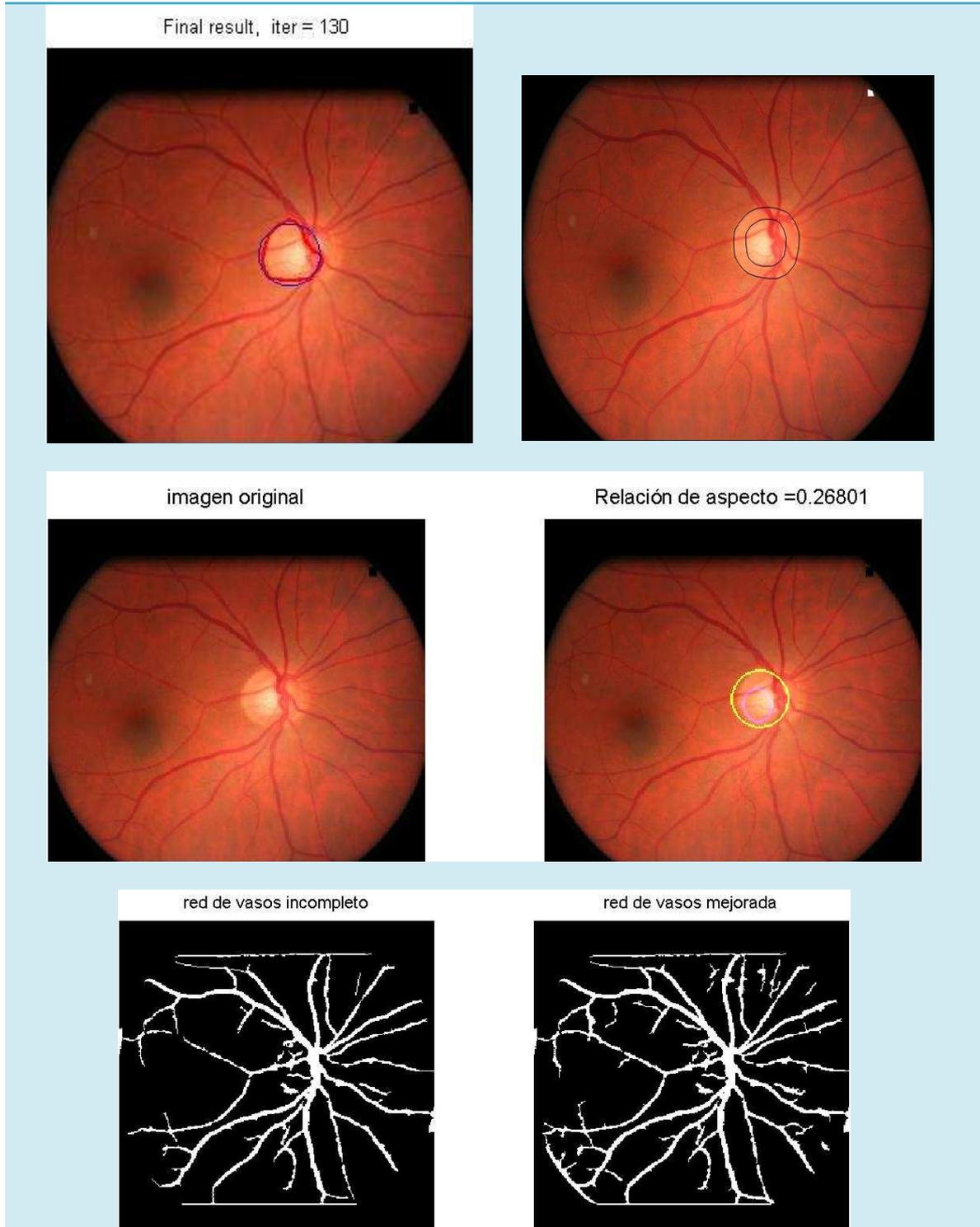
**CONCLUSIONES**

Los resultados obtenidos en la obtención del disco así como de la excavación se ven afectados por la pésima calidad de la retinografía. Es por ello que también encontramos ruido de fondo, aunque el disco óptico es eliminado por completo.

IMAGEN 35 - Resultados**CONCLUSIONES**

El contorno que se ha segmentado del disco óptico está bien ubicado, aunque excedido en radio. Aun así la segmentación de la excavación no es correcta. En el apartado de la red vascular se obtiene mejoría en los resultados aunque se mantienen rastros del disco.

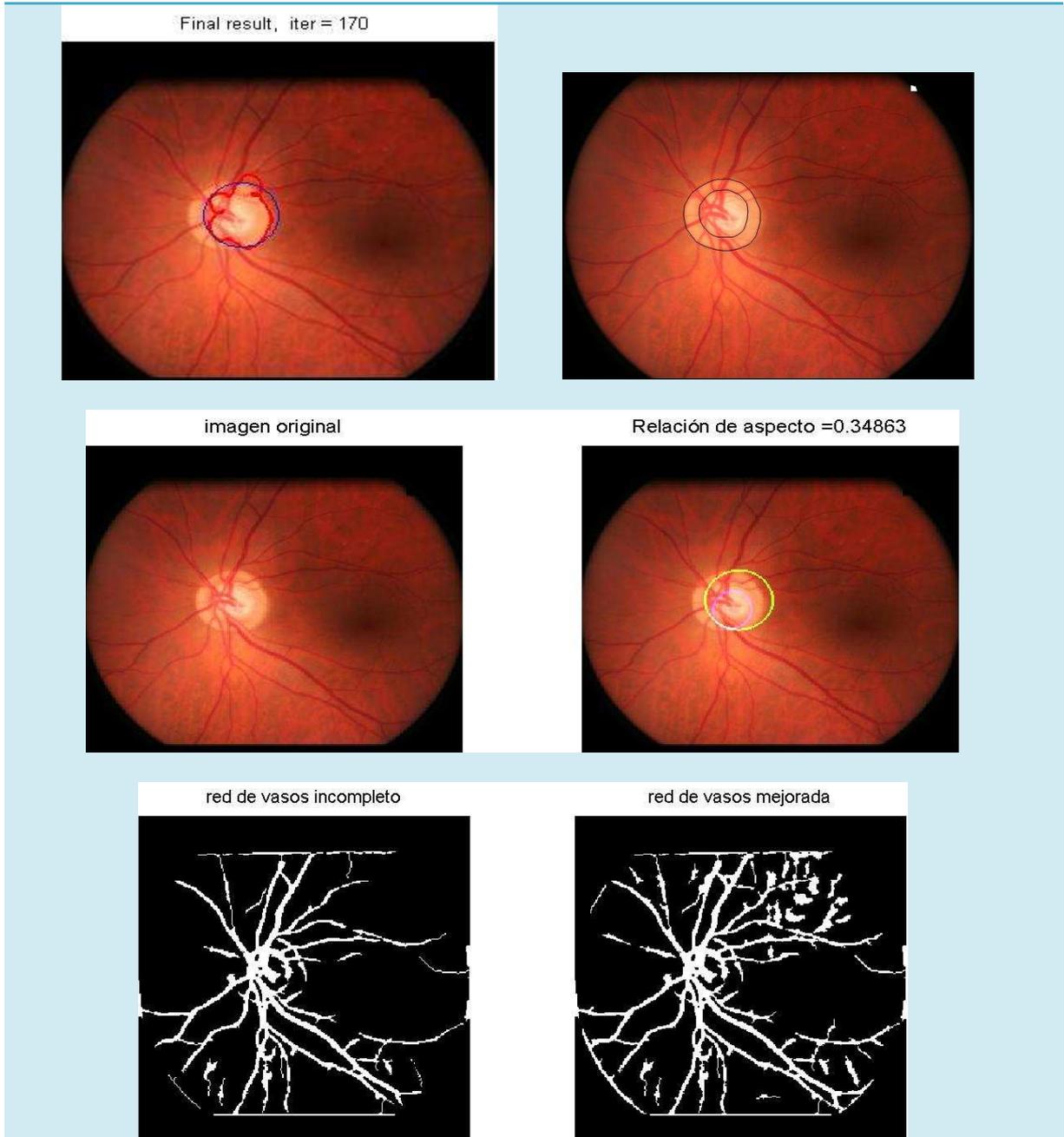
IMAGEN 36 - Resultados



CONCLUSIONES

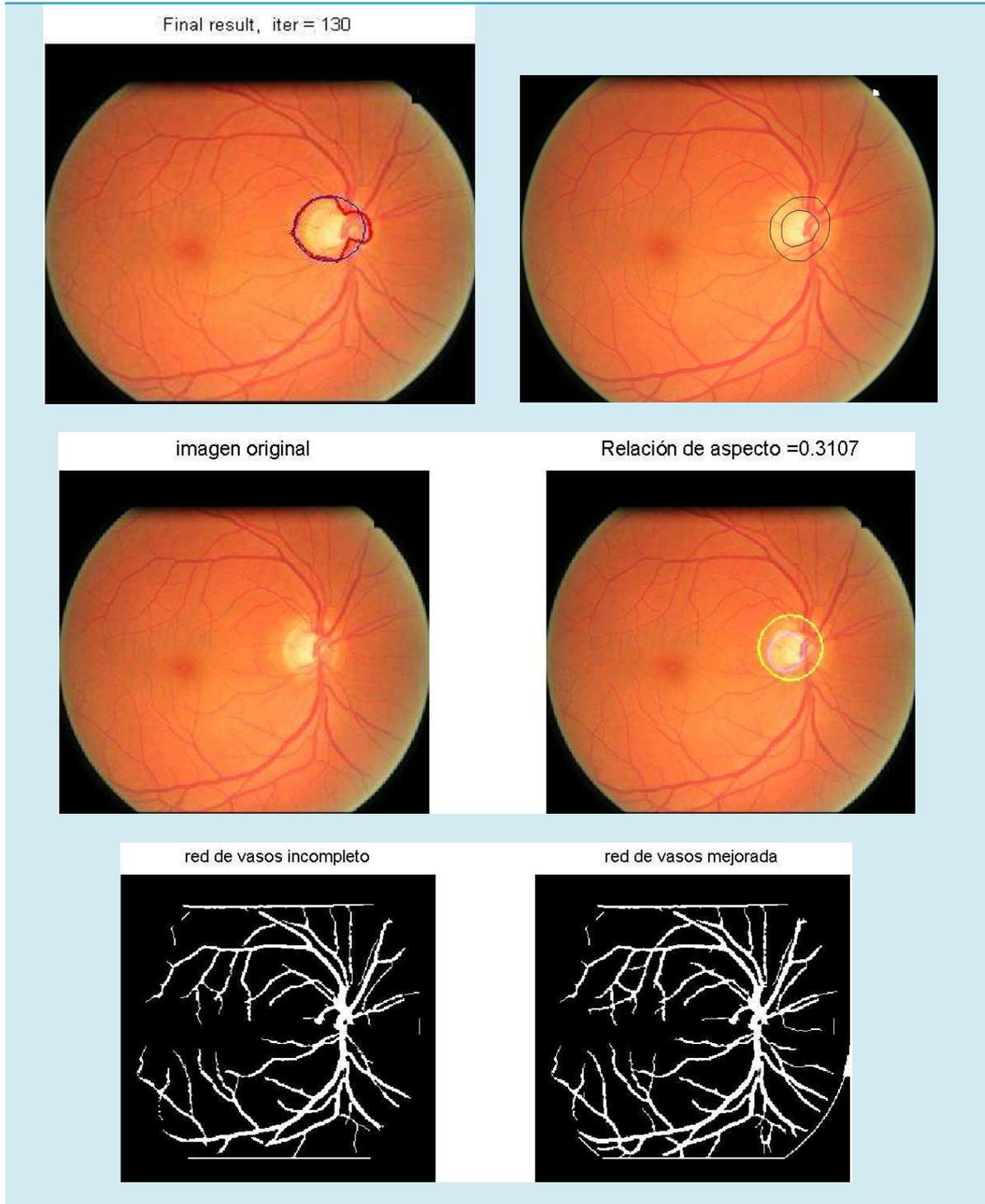
Buenos resultados obtenidos en todos los apartados. Con un error en el cálculo CDR del 0,049 respecto al segmentado original.

IMAGEN 37 - Resultados

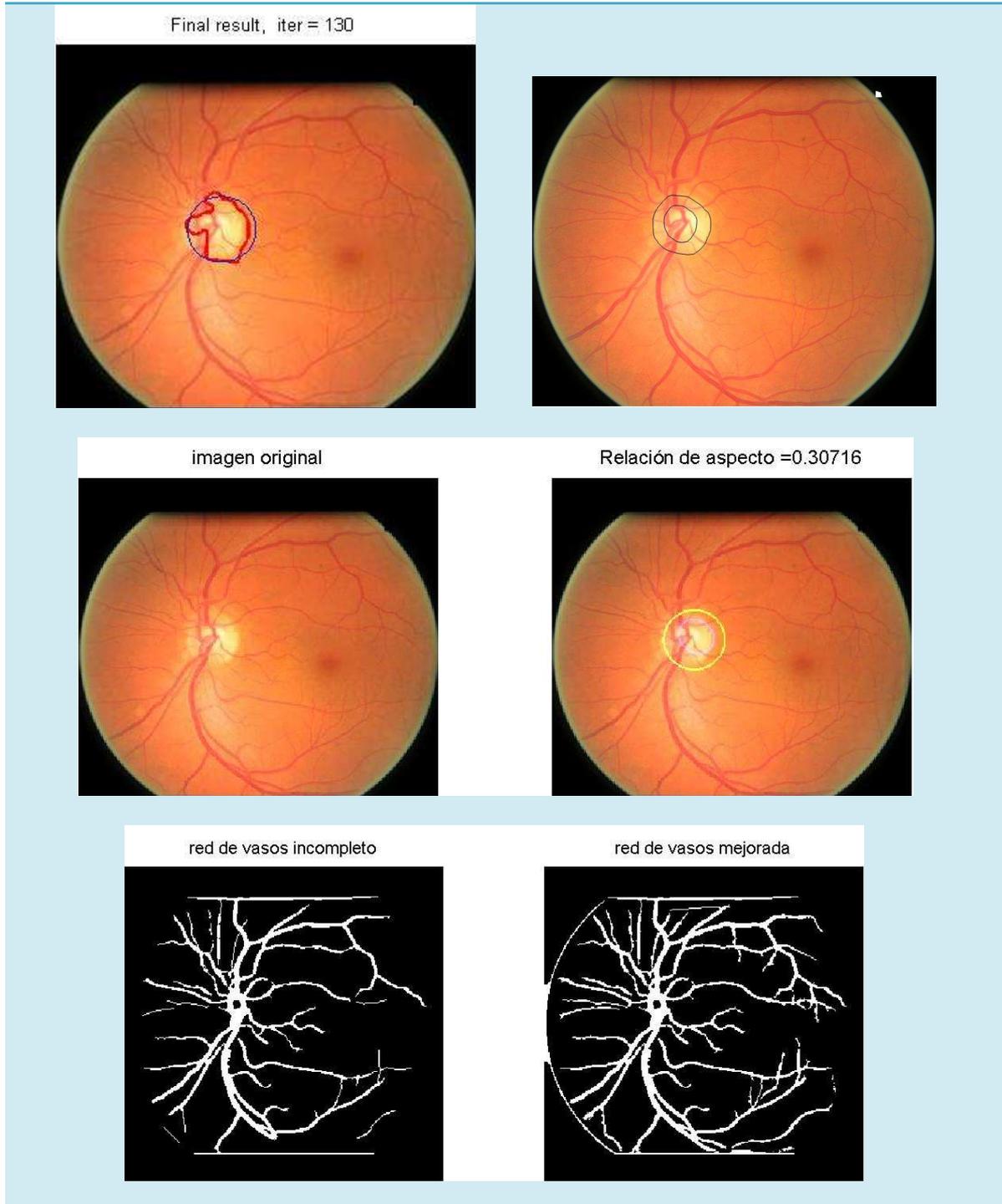


CONCLUSIONES

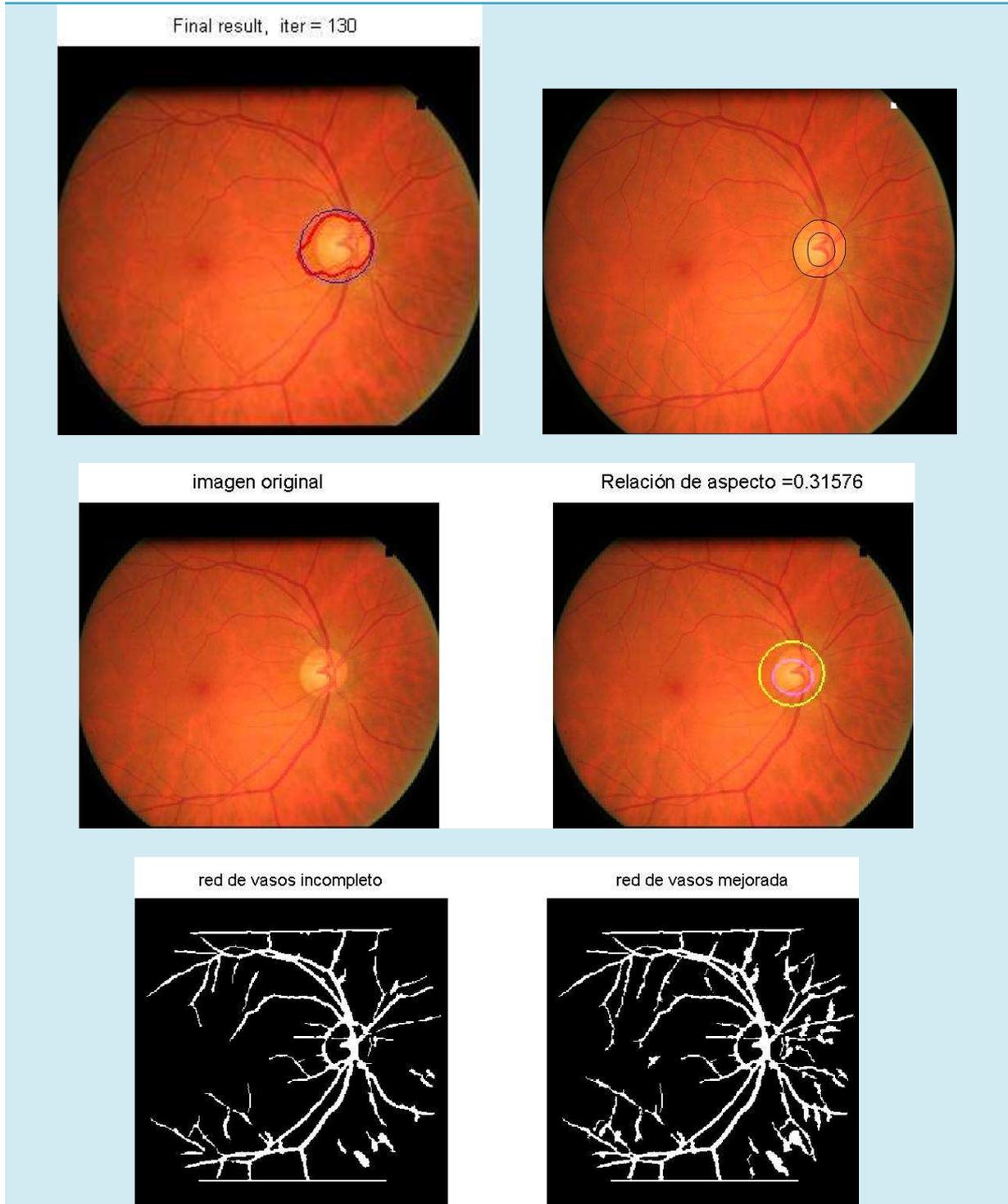
A pesar del pésimo contraste de la imagen, la detección del disco es aceptable, teniendo un radio correcto pero con un centro movido. El error de CDR calculado es de 0,005. Respecto a la red vascular se ve seriamente afectada por el contorno del disco así como de ruido.

IMAGEN 38 – Resultados**CONCLUSIONES**

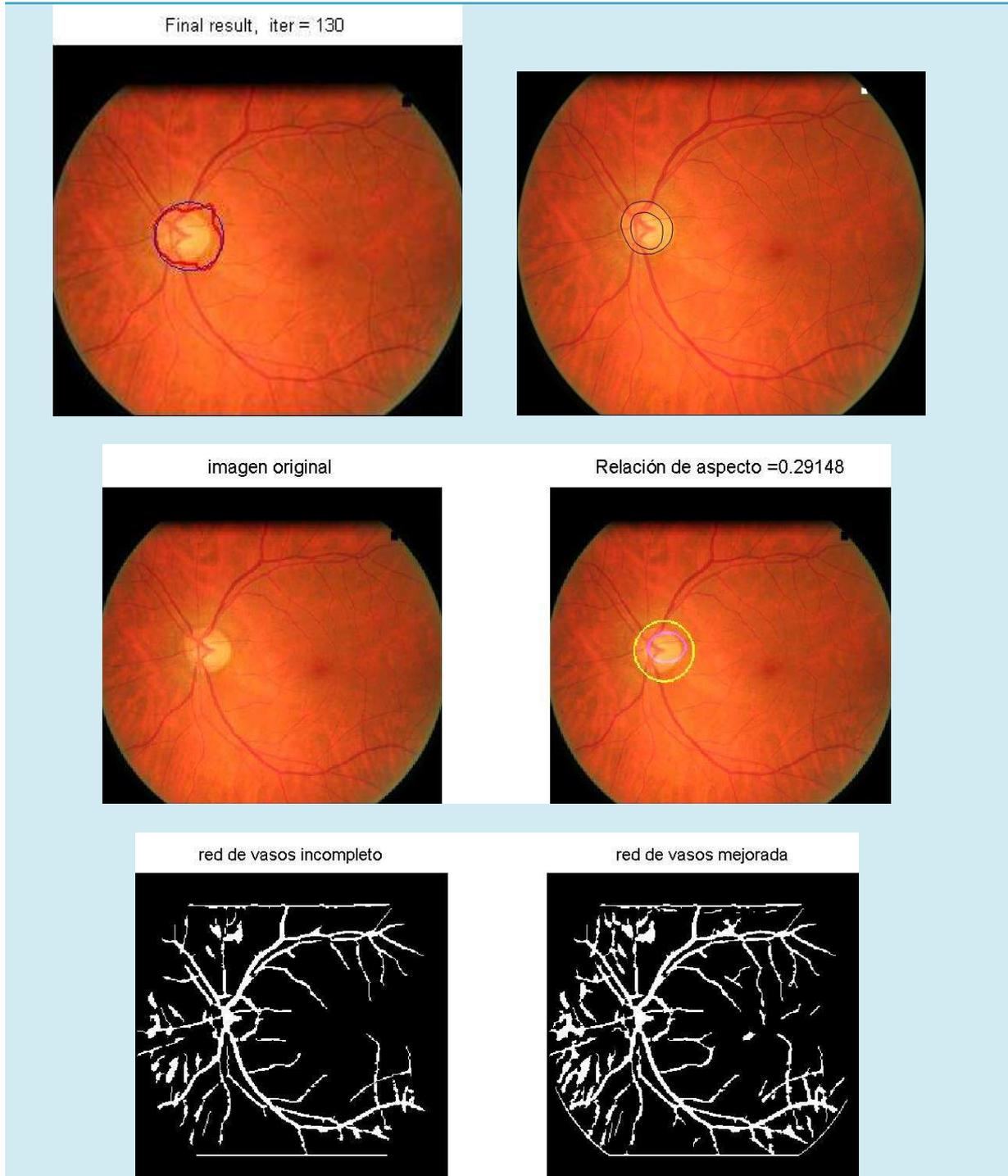
El disco óptico determinado por la Snake se ve mejorado por la aproximación circular. Con un error muy bajo en el cálculo del CDR de 0,022 respecto al segmentado original. La red de vasos está bien definida y aparentemente no se ve afectada por ruido digital.

IMAGEN 39 - Resultados**CONCLUSIONES**

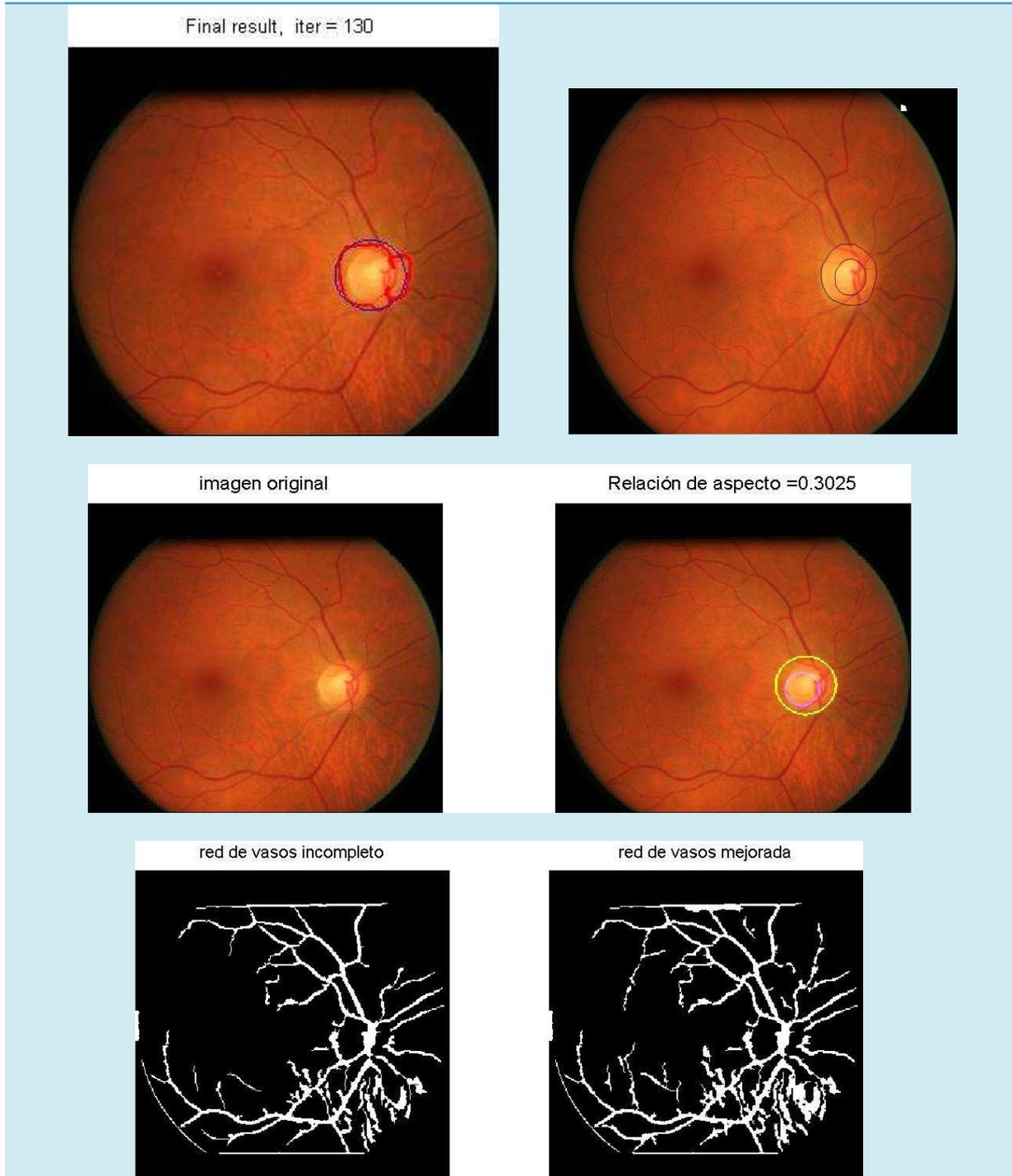
Los resultados obtenidos de la Snake se ven afectados por la red de vasos aún así el disco queda bien localizado y determinado. Con un error en el cálculo CDR del 0,026 respecto al segmentado original. La nueva versión que segmenta los vasos permite tener una visión más completa de toda la red, añade terminaciones que no aparecían y que de forma visual es difícil de determinar.

IMAGEN 40 – Resultados**CONCLUSIONES**

El disco óptico tiene un exceso de iteraciones, aunque el centro se encuentra bien localizado. Del mismo modo la excavación es correcta, con un error bajo de 0,008. En la imagen de la red de vasos mejorada se añaden nuevos vasos y terminaciones.

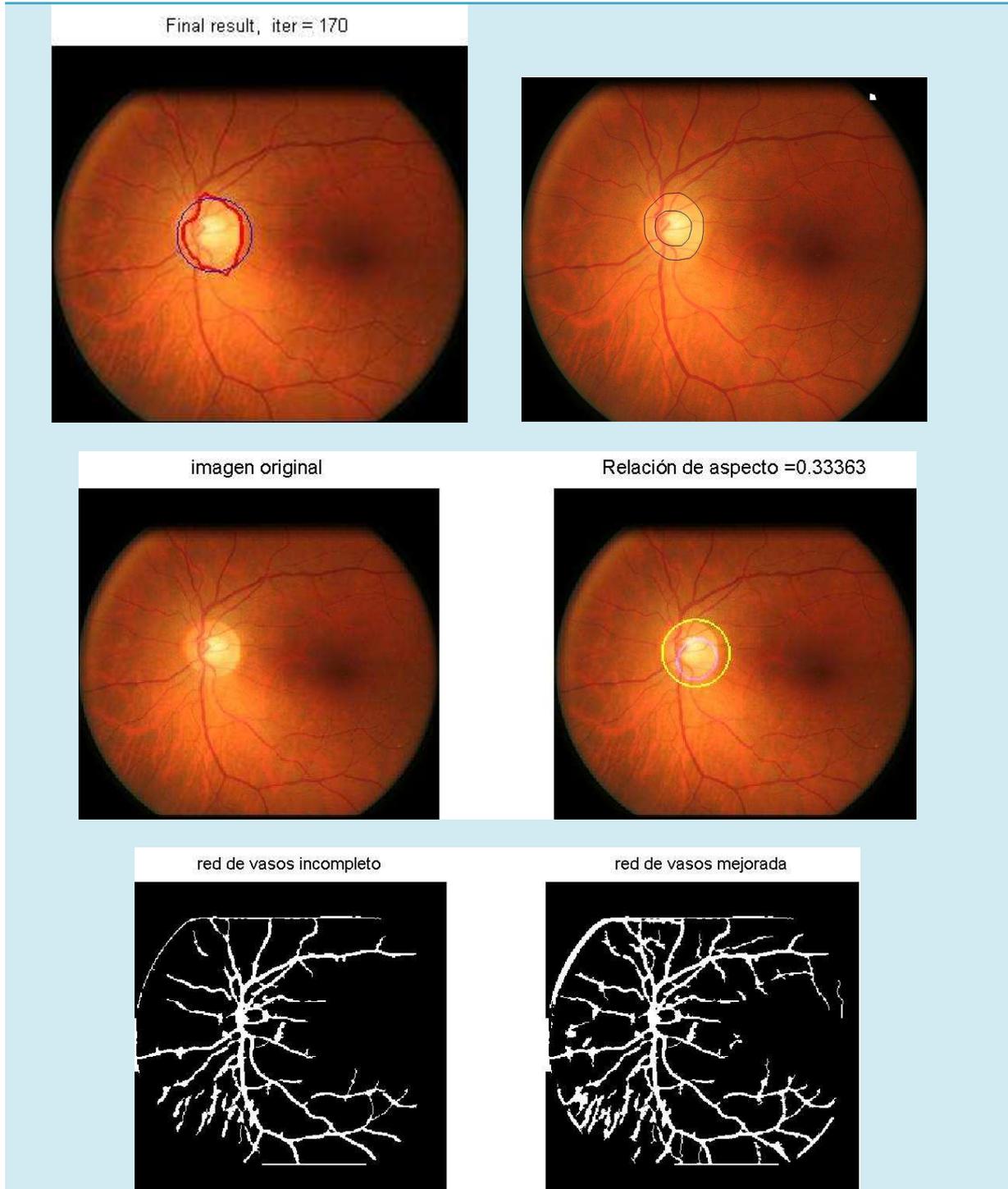
IMAGEN 41 – Resultados**CONCLUSIONES**

El disco óptico vuelve a tener un exceso de iteraciones y el centro en este caso también se encuentra bien localizado. El error aumenta al doble, valiendo 0,15. En la imagen de la red de vasos mejorada no se aporta información sino ruido.

IMAGEN 42 - Resultados**CONCLUSIONES**

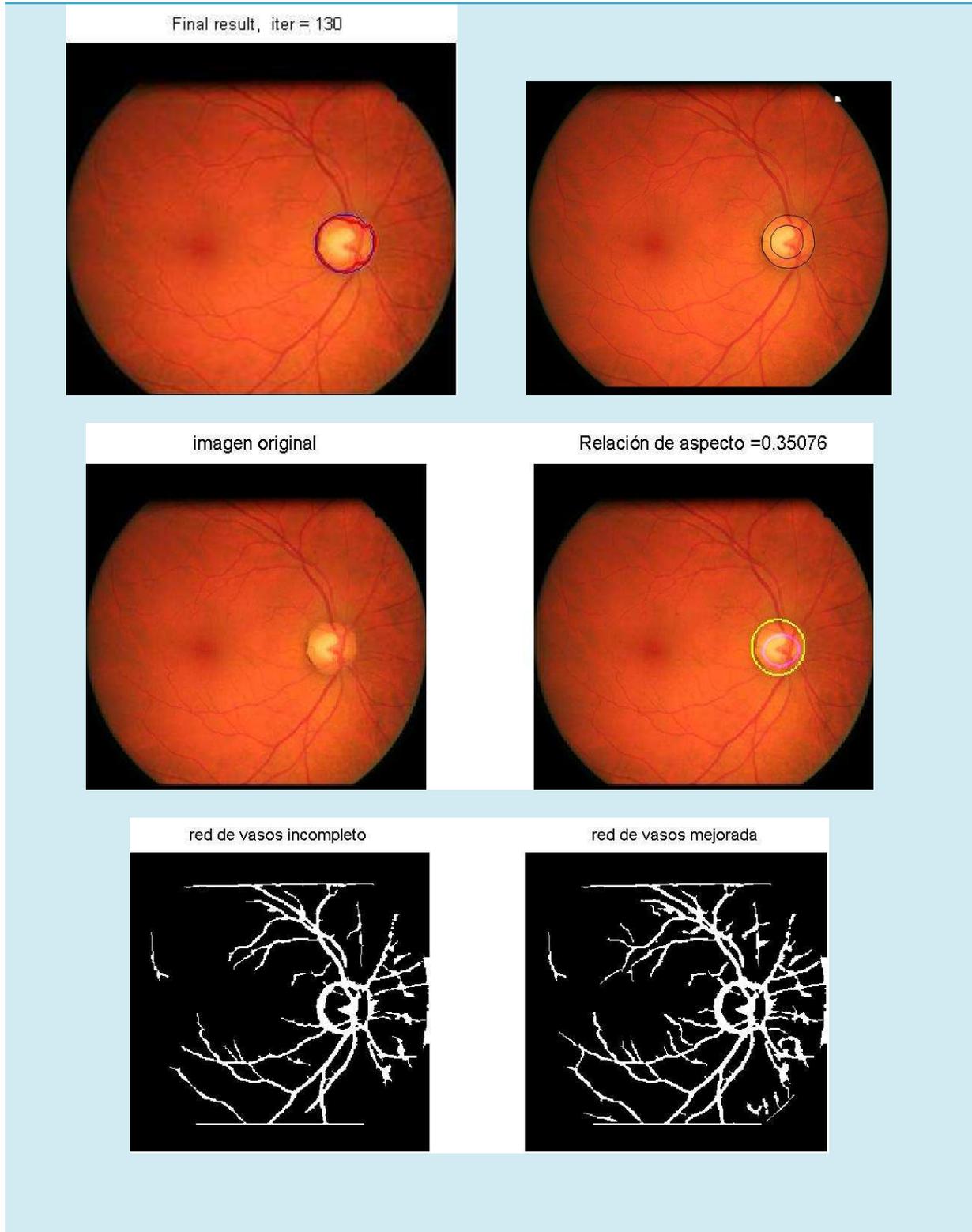
El resultado de la aproximación circular del disco es aceptable. Del mismo modo la excavación es correcta, con un error bajo de 0,001. En la imagen de la red de vasos mejorados se empeora más el ruido de fondo que tenía la versión anterior.

IMAGEN 43 - Resultados

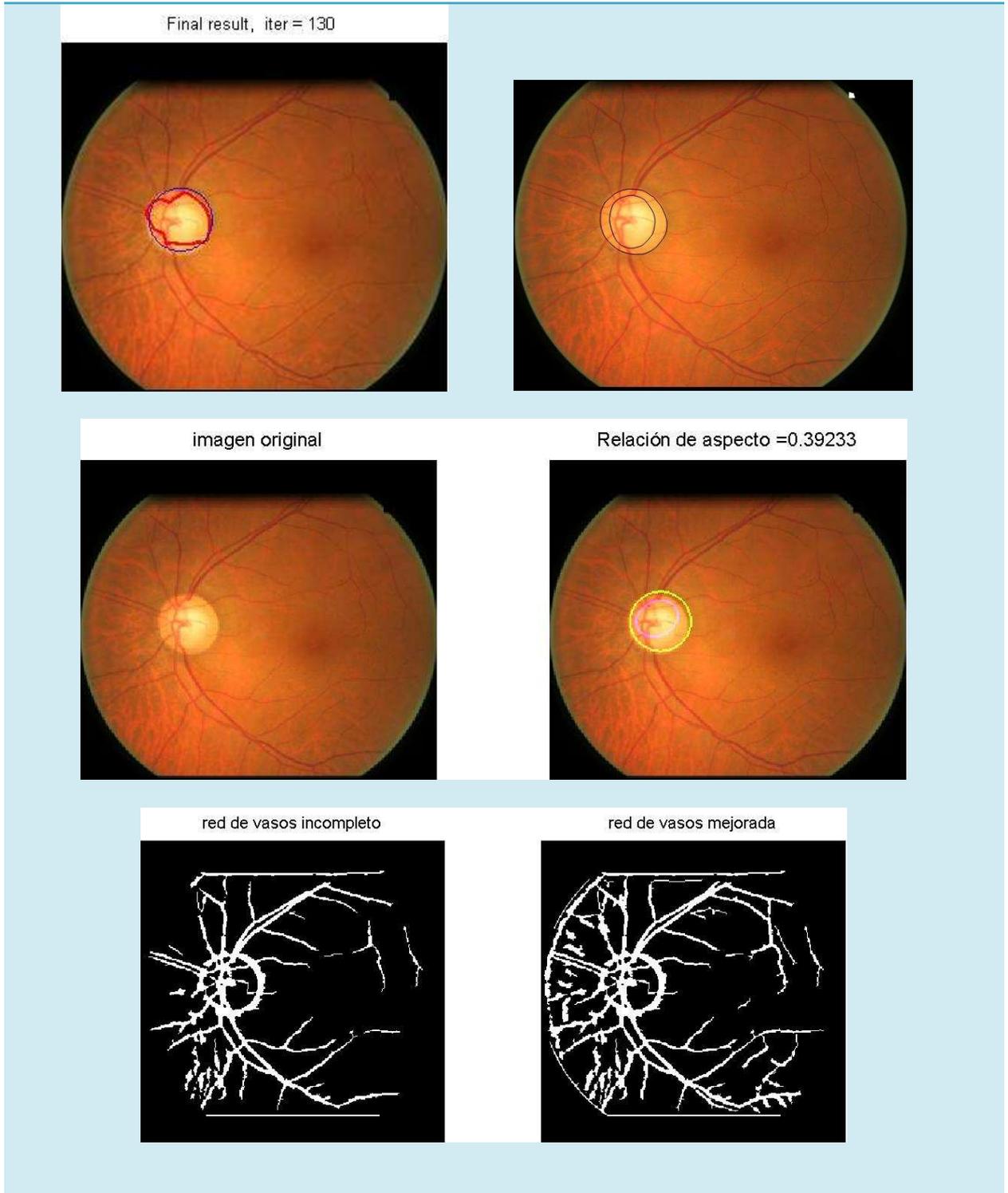


CONCLUSIONES

Detección del disco y excavación correctamente, el error calculado respecto al CDR manual es de 0,009. La red de vasos se ve muy mejorada.

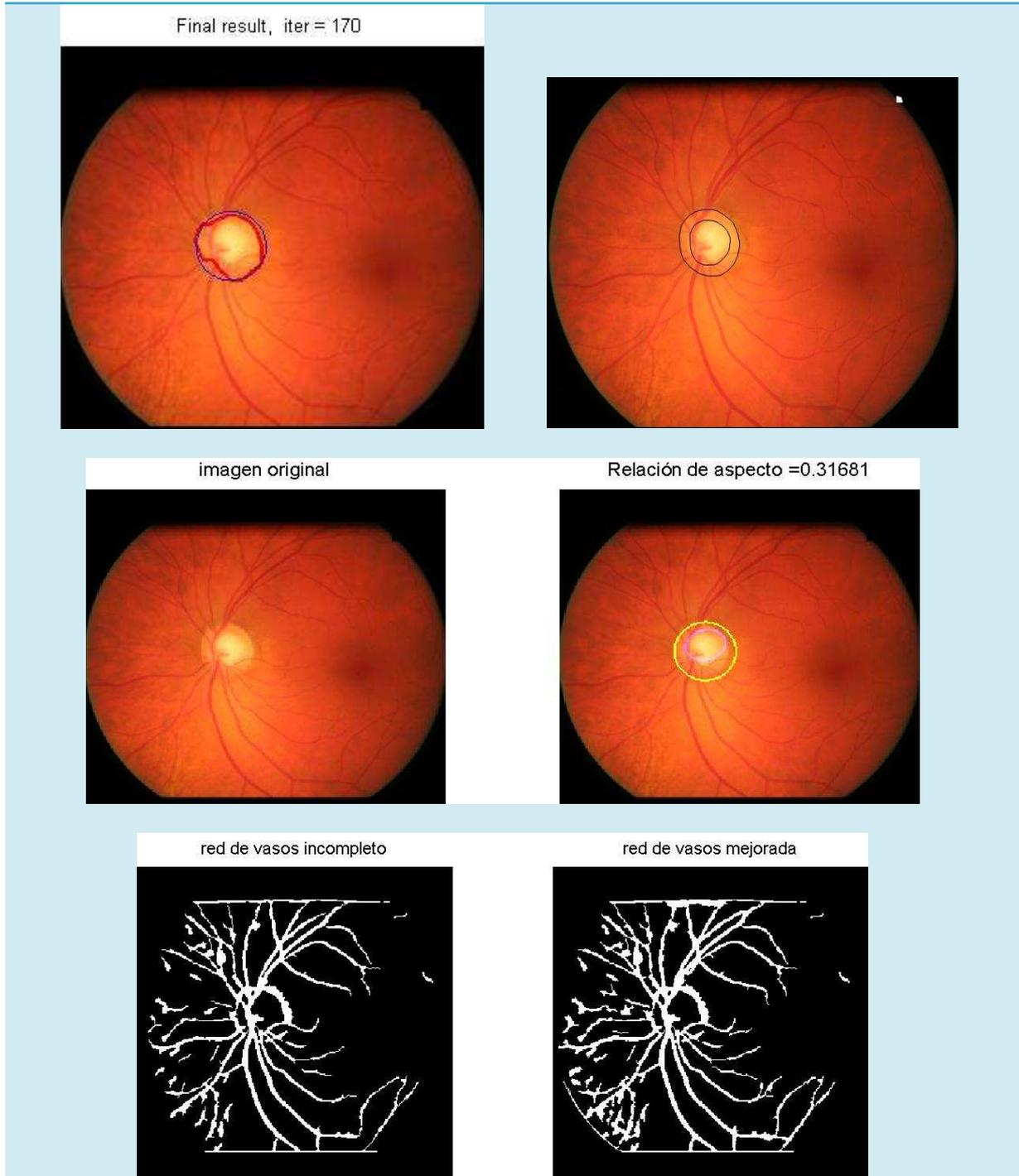
IMAGEN 44 - Resultados**CONCLUSIONES**

La detección del disco óptico es casi perfecta. La relación de aspecto tiene un error de 0,032 con respecto a la segmentación manual. La red de vasos se ve claramente mejorada, aunque existen residuos del contorno del disco óptico.

IMAGEN 45 - Resultados**CONCLUSIONES**

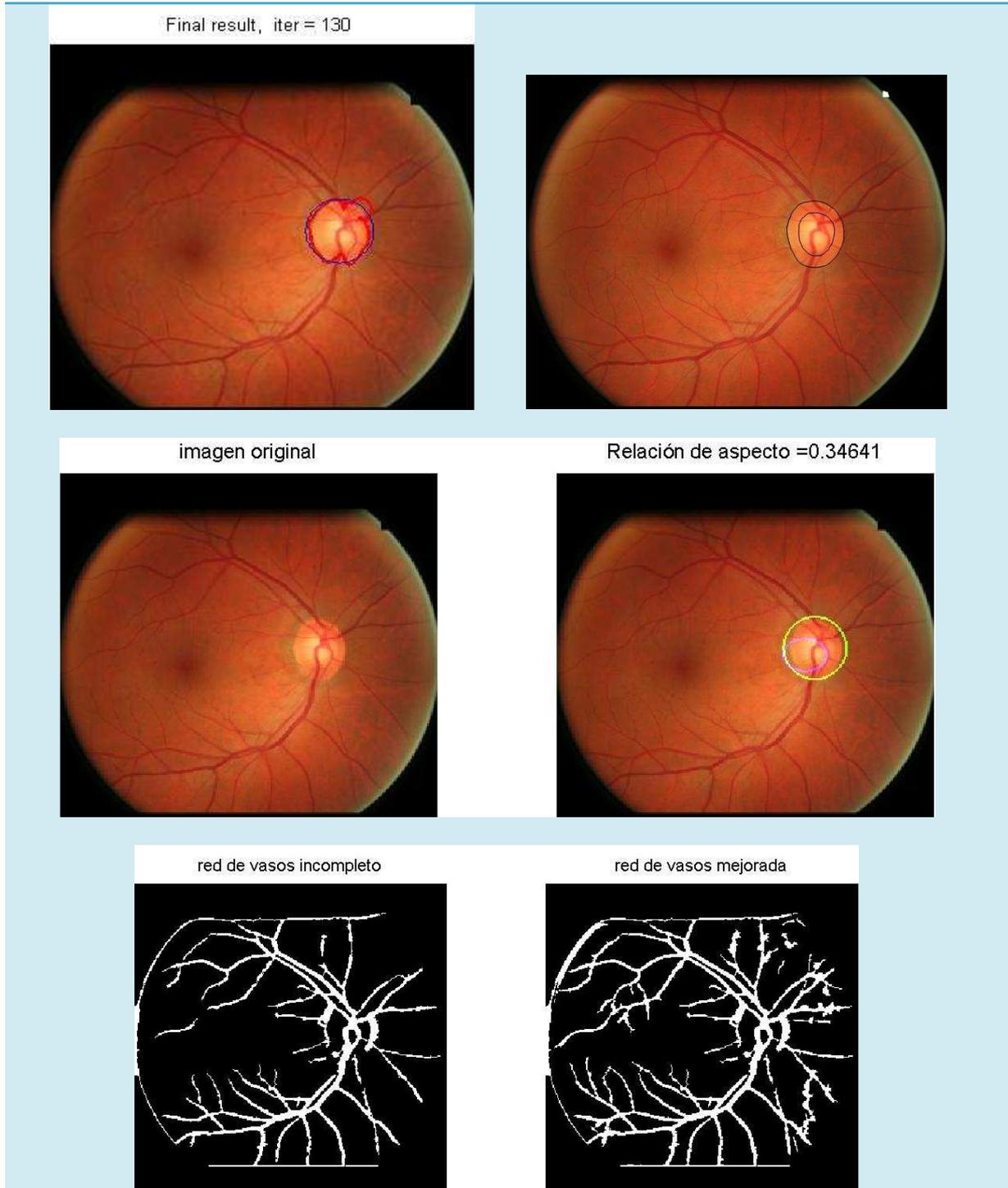
El disco óptico está bien determinado y localizado. La relación de aspecto asciende a 0,18 con respecto a la segmentación manual. La red de vasos no presenta mejoras evidentes.

IMAGEN 46 – Resultados

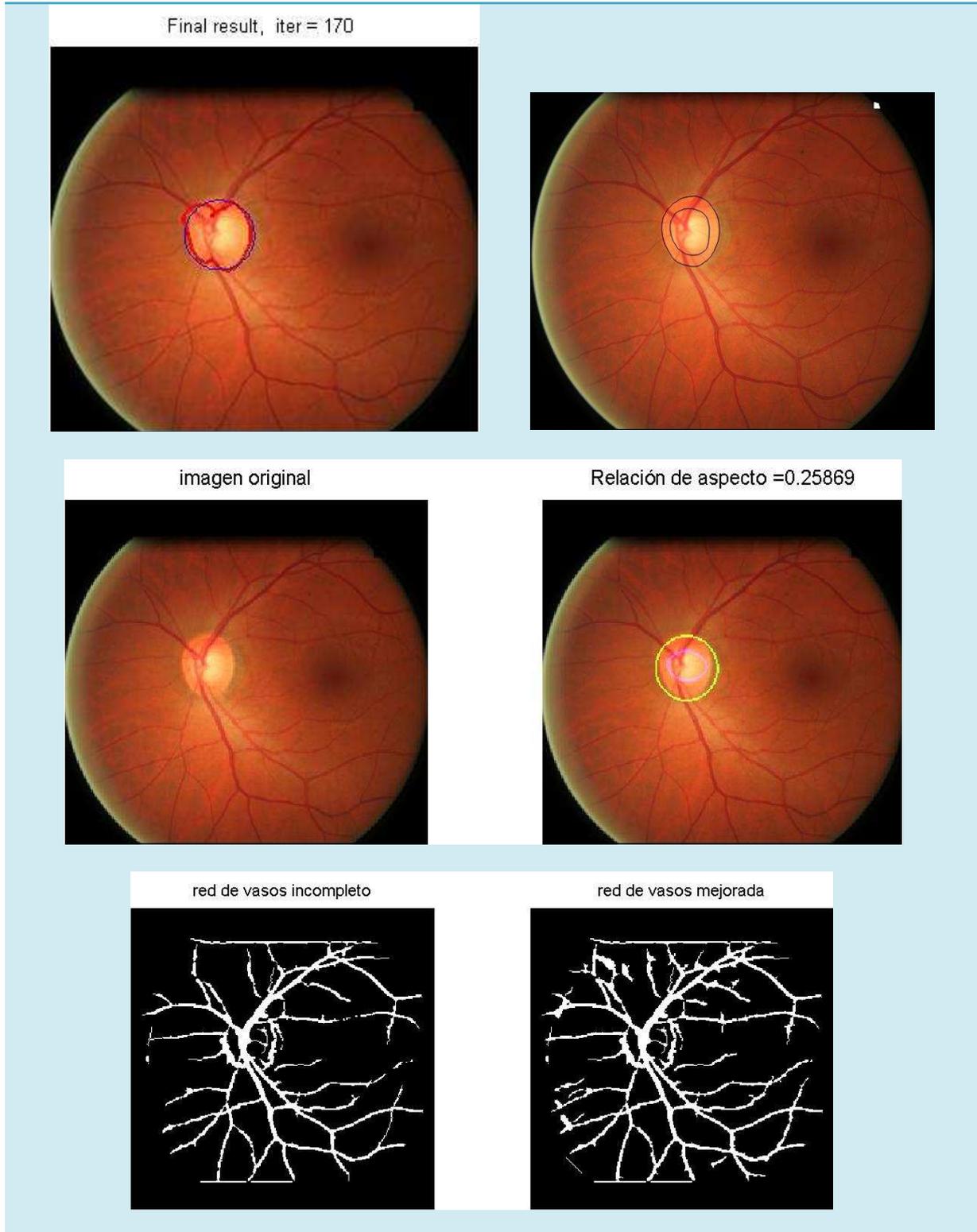


CONCLUSIONES

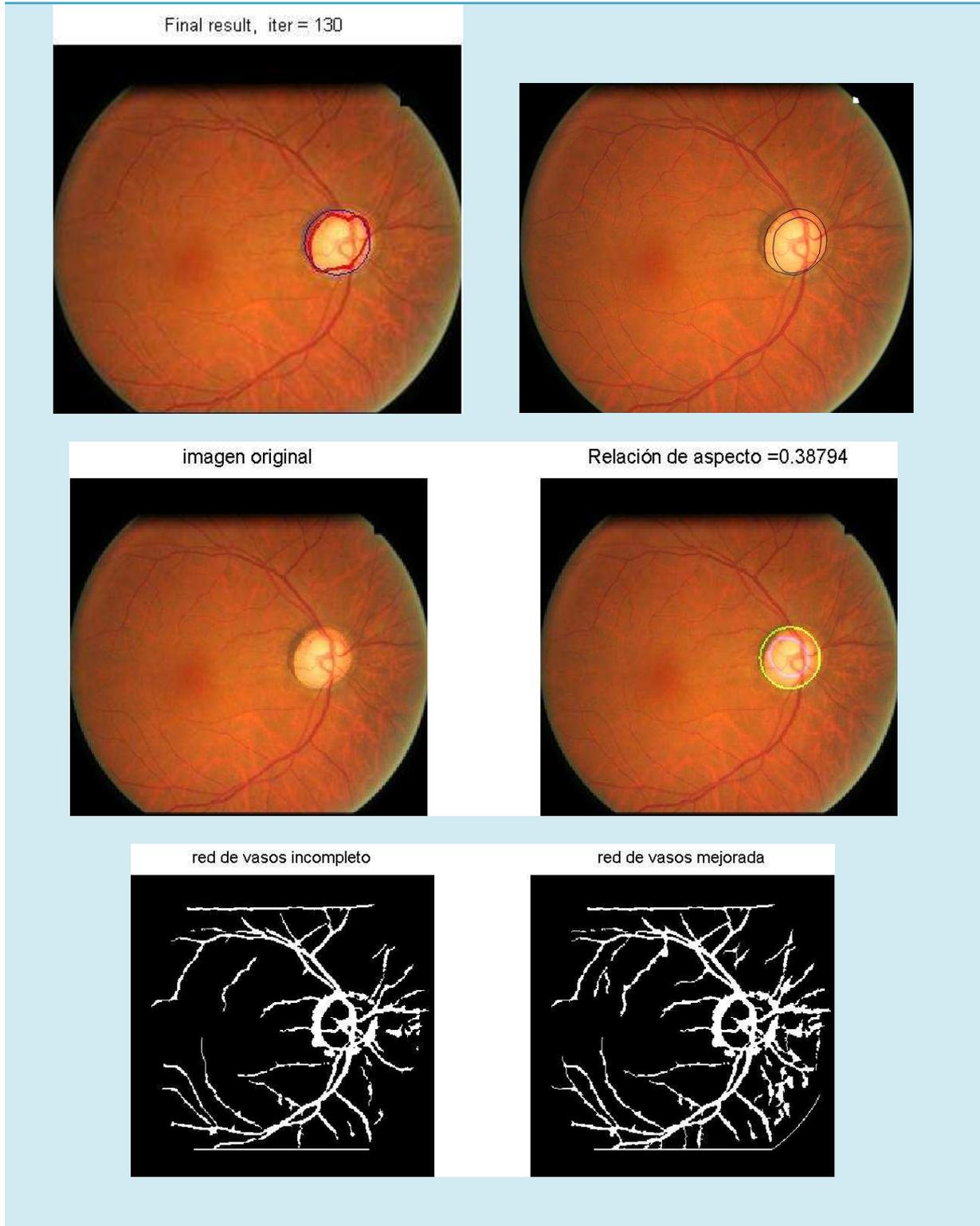
La detección del disco óptico es buena aunque la excavación no es del todo y por ello tiene un error de 0,11 con respecto a la segmentación manual. La red de vasos no presenta mejoras, sólo añade ruido digital.

IMAGEN 47 - Resultados**CONCLUSIONES**

La imagen tiene pésima calidad, sin embargo los resultados en estas condiciones son muy buenos. El error de CDR calculado si se ve afectado ya que es de 0,11. En la imagen de la red mejorada, se extiende las terminaciones de los vasos sin añadir ruido, el contorno del disco sigue presente.

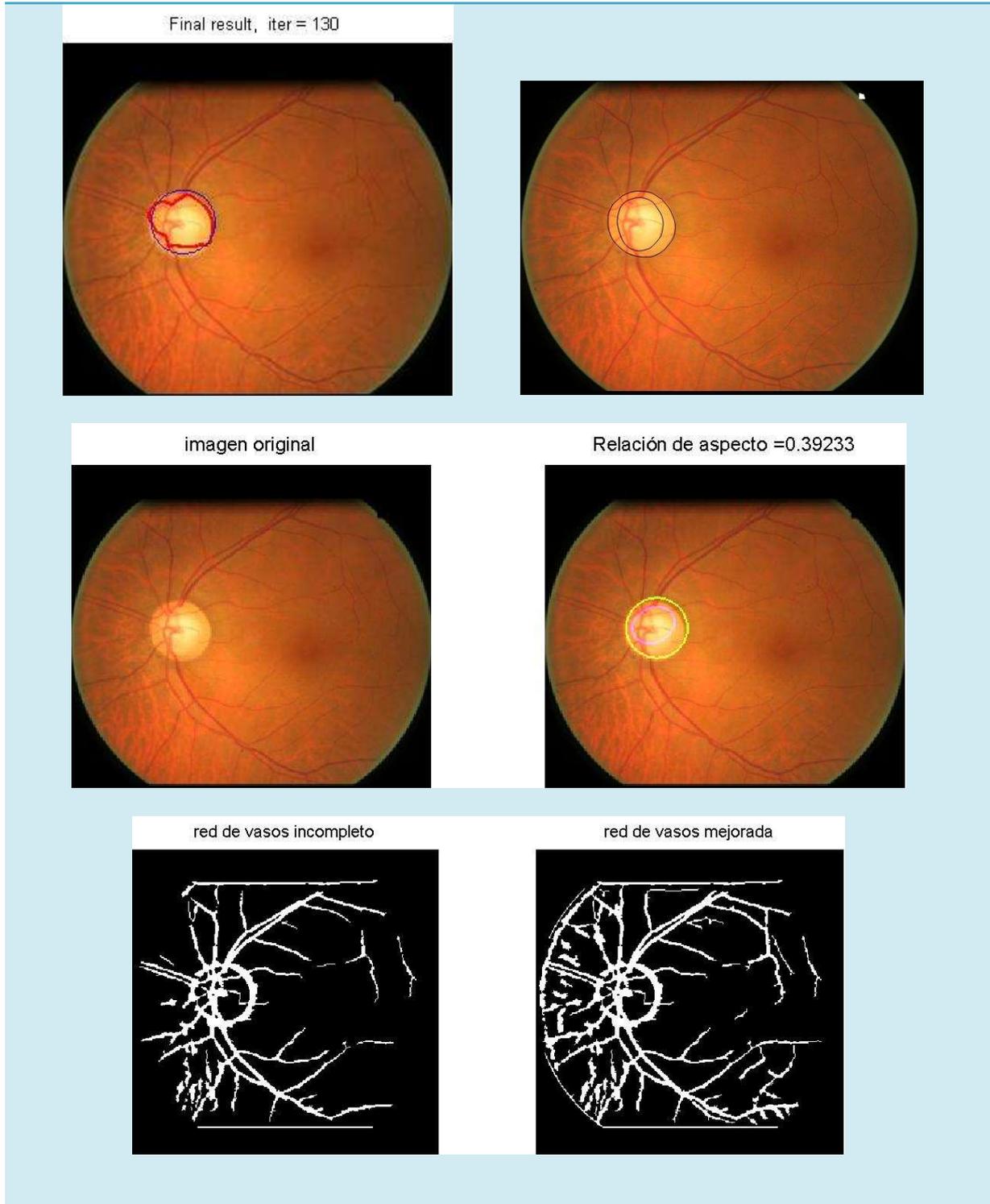
IMAGEN 48 – Resultados**CONCLUSIONES**

A pesar del pésimo contraste de la imagen, la detección del disco es aceptable, teniendo un radio correcto pero con un centro movido. El error de CDR calculado es de 0,005. Respecto a la red vascular se ve seriamente afectada por el contorno del disco así como de ruido.

IMAGEN 49 – Resultados**CONCLUSIONES**

La detección del disco óptico de forma aproximada es muy buena. Aunque la relación de aspecto tiene un error de 0,27 con respecto a la segmentación manual. La red de vasos se ve mejorada en las terminaciones nerviosas, aunque existen residuos del contorno del disco óptico y ruido digital.

IMAGEN 50 - Resultados



CONCLUSIONES

La aproximación es mejor que la alcanzada a la salida de la Snake. La relación de aspecto excavación-disco tiene un bajo error de 0,18 con respecto a la segmentación manual. En la segmentación de la red de vasos, se consigue enlazar ramas discontinuas pero una vez más se observa en ambas imágenes que no se ha conseguido eliminar el contorno del disco óptico.

2.- ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.

La papila óptica, la red vascular así como la excavación son los principales elementos de una retinografía, siendo su detección indispensable para la prevención o diagnóstico de enfermedades.

El objetivo del algoritmo desarrollado en este Proyecto Fin de Carrera es prevenir la ceguera causada por el glaucoma, usando como medida el CDR calculado. Es un servicio que se ofrece como ayuda, reduciendo el tiempo de diagnóstico e intentando mejorarlo.

Por eso evaluaremos los resultados conseguidos, comparando el CDR obtenido en tres proyectos distintos de cada una de las 50 imágenes de este capítulo.

Primeramente vamos a hacer un estudio estadístico, para ello definimos las variables que vamos a comparar:

$$\mu(E^{KJ}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E_i^{KJ} \quad (6)$$

$$\sigma(E^{KJ}) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_i^{KJ} - \mu(E^{KJ}))^2}, \quad K = 1, 2, 3, \quad J = 1, 2. \quad (7)$$

$$E_i^{KJ} = |CDR_i^{KJ} - CDR_i^{GS}|, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

Donde N es el número total de imágenes (N=50), CDR_i^{GS} es el CDR manualmente obtenido por un experto oftalmológico en la imagen i.

K=1 hace referencia al método empleado en este proyecto, K=2 el método que se usa como base de detección del disco óptico [B7] (como este método no realizaba la segmentación de la excavación, se aplica el algoritmo [B10] una vez detectado el disco) y K=3 es el método de referencia para la detección de la excavación [B10].

J=1 se refiere al modelo de detección Euclideo de la excavación y J=2 a CIE 94.

E_i^{KJ} es el error de CDR en la imagen i usando el modelo K y el sistema de detección de la excavación J, $\mu(E^{KJ})$ es la media de error y $\sigma(E^{KJ})$ es la desviación de error.

En la siguiente tabla se exponen los resultados:

	K=1, J=1	K=1, J=2	K=2, J=1	K=2, J=2	K=3, J=1	K=3, J=2
$\mu(E^k)$	0,1256	0,1157	0,1243	0,1370	0,1365	0,1536
$\sigma(E^k)$	0,1126	0,1101	0,1276	0,1447	0,1322	0,1226

Tabla1: Error de CDR en 50 imágenes segmentadas en tres proyectos.

Principalmente, habría que destacar la bajada tanto en media como desviación de error respecto a los otros dos métodos usándose el modelo CIE 94 en el algoritmo K=1. Esto implica que el error es menor con respecto al error medio de K=2 en 0,0213 y en 0,0379 de K=3.

En los siguientes diagramas mostraremos gráficamente los resultados del CDR calculado automáticamente, manualmente y el rango de tolerancia de error que es clínicamente aceptado por la comunidad oftalmológica [B23].

Ya que en los tres proyectos los mejores resultados se obtienen mediante el modelo CIE 94 de segmentación de la excavación, sólo se expondrán estos resultados de las 50 imágenes.

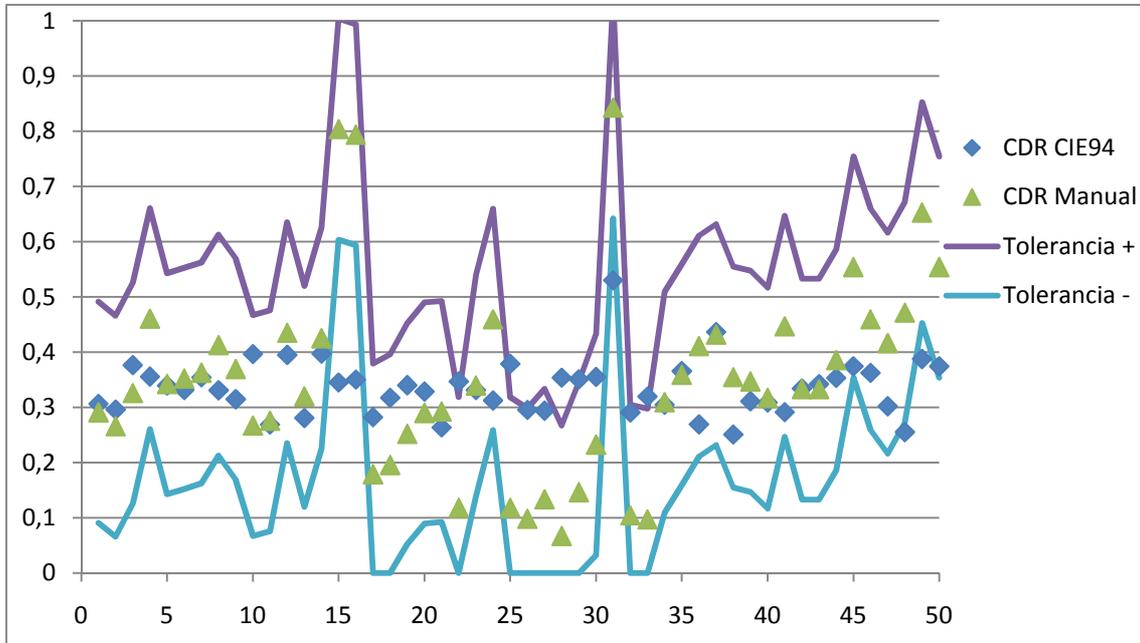


Figura 5.1: Relación de aspecto disco – excavación (K=1, J=2).

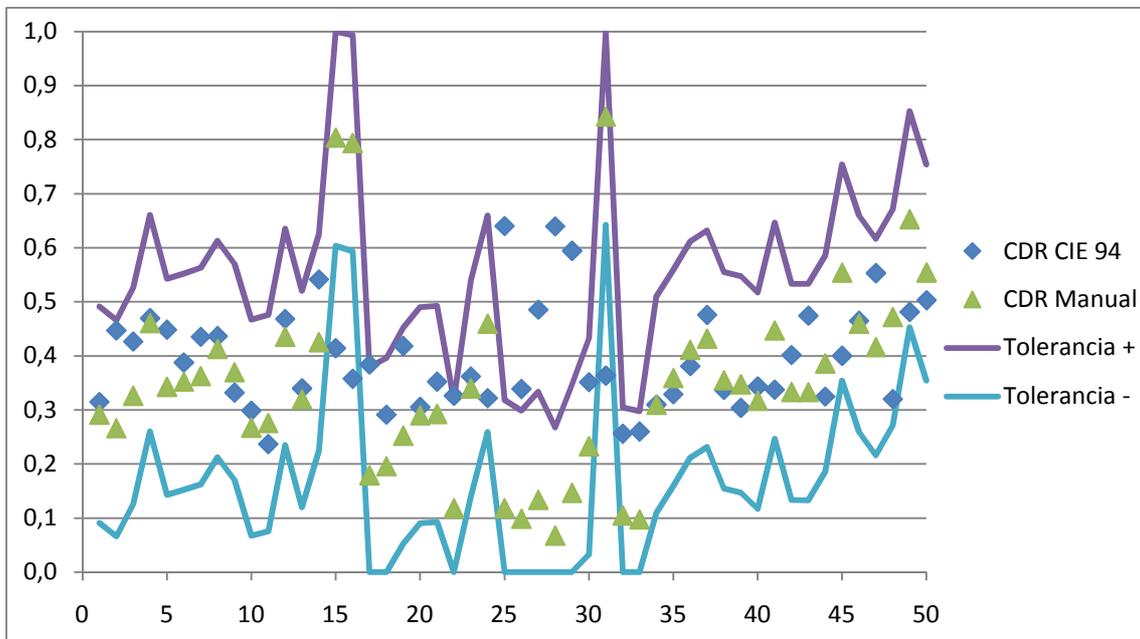


Figura 5.2: Relación de aspecto disco – excavación (K=2, J=2).

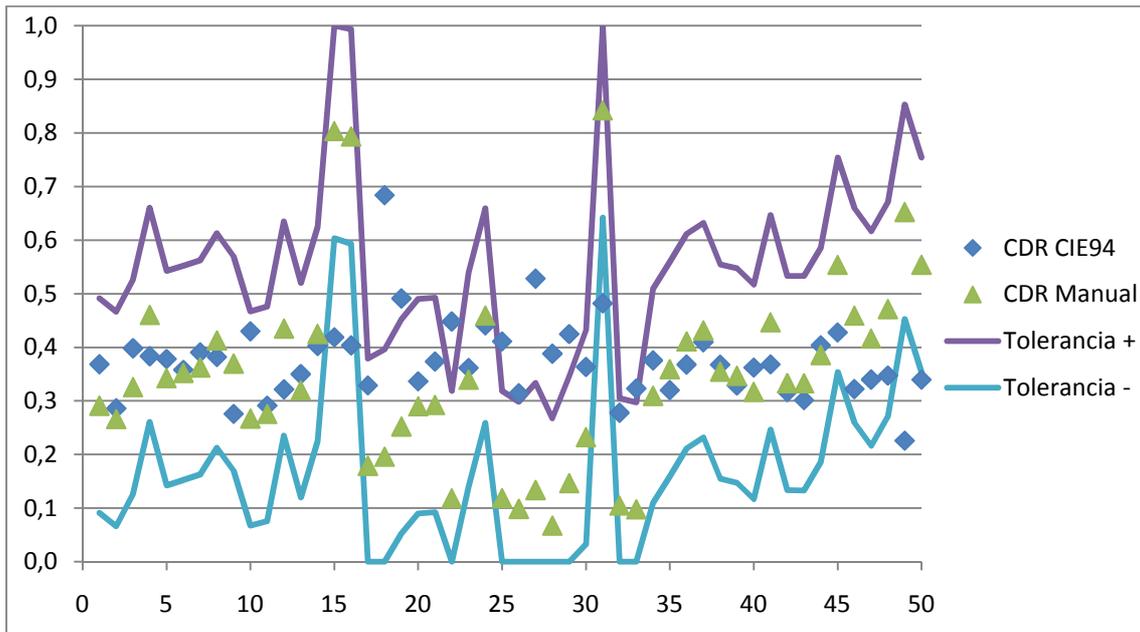


Figura 5.3: Relación de aspecto disco – excavación (K=3, J=2).

Los peores resultados respecto al error de CDR se corresponden con el método empleado en el proyecto [B10] pues se trata del modelo de segmentación del disco óptico menos depurado, sin embargo es el proyecto [B7] el que expone más resultado fuera de las curvas de tolerancia positiva y negativa, teniendo en cuenta estos rangos, se puede suponer que sería el modelo con mayor número de falsos positivos. En cualquier caso, los mejores resultados acompañan este proyecto.

A continuación se hacen tres grupos según el error, y se clasifica el número de imágenes sobre 50 que pertenecen a ese conjunto. Se realiza en los tres proyectos y en los dos modelos de segmentación de la excavación. Los valores que obtengamos en la tabla nos mostrarán qué modelo contiene más imágenes con un error grande, medio y más pequeño que podrían convertirnos un diagnóstico que es positivo en un falso negativo o uno negativo en un falso positivo.

	(<0,15 CDR units)	(<0,2 CDR units)	(>0,2 CDR units)
K=1, J=1	34 (68 %)	39 (78 %)	11 (22 %)
K=1, J=2	34 (68 %)	40 (80 %)	10 (20 %)
K=2, J=1	32 (64 %)	41 (82 %)	9 (18 %)
K=2, J=2	33 (66 %)	40 (80 %)	10 (20 %)
K=3, J=2	34 (68 %)	36 (72 %)	14 (28 %)
K=3, J=2	29 (58 %)	36 (72 %)	14 (28 %)

Tabla 2: Porcentaje del número de imágenes clasificadas según el error respecto a 50 imágenes.

Estudiando grupo a grupo y comparando los tres proyectos, no vemos a penas diferencia entre los dos primeros modelos, aunque estos sí mejoran respecto al tercero. Como en este análisis no conseguimos nada concluyente, procederemos a realizar un examen más profundo de la importancia del error en el diagnóstico del glaucoma. Para ello se evaluará el algoritmo definiendo dos variables:

X= porcentaje con el que se predicen las personas del grupo de enfermo como enfermos.

Y= porcentaje con el que se predicen cualquiera del grupo sano como enfermos.

En este ensayo, se entenderá como Diagnóstico positivo verdadero si el CDR calculado por el médico es mayor que 0,3 y el CDR calculado de forma automática también supera este umbral. De este modo podemos distinguir cuatro casos que definimos a continuación:

- a. Diagnóstico positivo correcto: $CDR(\text{manual}) > 0,3$ y $CDR(\text{automático}) > 0,3$
- b. Diagnóstico negativo correcto: $CDR(\text{manual}) < 0,3$ y $CDR(\text{automático}) < 0,3$
- c. Diagnóstico positivo falso: $CDR(\text{manual}) < 0,3$ y $CDR(\text{automático}) > 0,3$
- d. Diagnóstico negativo falso: $CDR(\text{manual}) > 0,3$ y $CDR(\text{automático}) < 0,3$

1) K=1, J=2

Condiciones positivas		Condiciones negativas		
Diagnóstico positivo correcto	26	11	Diagnóstico falso positivo	Predicción valor positivo $= \frac{26}{26 + 11} = 70,27\%$
Diagnóstico falso negativo	5	8	Diagnóstico negativo correcto	Predicción valor negativo $= \frac{8}{8 + 5} = 61,53\%$
$X = \frac{26}{26 + 5} = 83,87\%$		$Y = \frac{8}{8 + 19} = 42,1\%$		

2) K=2, J=2

Condiciones positivas		Condiciones negativas		
Diagnóstico positivo correcto	33	12	Diagnóstico falso positivo	Predicción valor positivo $= \frac{33}{33 + 12} = 73,33\%$
Diagnóstico falso negativo	0	5	Diagnóstico negativo correcto	Predicción valor negativo $= \frac{5}{0 + 5} = 100\%$
$X = \frac{33}{33 + 0} = 100\%$		$Y = \frac{5}{12 + 5} = 29,41\%$		

3) K=3, J=2

Condiciones positivas		Condiciones negativas		
Diagnóstico positivo correcto	17	5	Diagnóstico falso positivo	Predicción valor positivo $= \frac{17}{17 + 5} = 77,27\%$
Diagnóstico falso negativo	17	11	Diagnóstico negativo correcto	Predicción valor negativo $= \frac{11}{17 + 11} = 39,28\%$
$X = \frac{17}{17 + 17} = 50\%$		$Y = \frac{11}{5 + 11} = 68,75\%$		

Tabla 3: Relación X - Y en 50 imágenes segmentadas. (a) K=1, J=2. (b) K=2, J=2. (c) K=3, J=2.

A pesar de tener un valor de $X=83,75\%$, este es inferior al 100% relativo obtenido en el segundo caso, sin embargo la variable Y mejora claramente con un 42%. El tercer caso analizado mejora aún más Y pero a costa de bajar X al 50%, esto implicaría que sólo la mitad de los casos con glaucoma serían detectados. Por ello, el resultado más conveniente para elegir sería el primero, tiene alta fiabilidad de detectar la enfermedad pero sin errar con tantos falsos positivos como el modelo K=2.

Por último y siguiendo el hilo del ensayo anterior, la conclusión final será mediante la Sensibilidad y Especificidad, que son medidas estadísticas del rendimiento de una prueba de clasificación binaria. La Sensibilidad es la proporción de positivos reales que son correctamente identificados como tales. La Especificidad da la proporción de negativos que son correctamente identificados. Una predicción perfecta podría ser descrita con una Sensibilidad del 100% y una Especificidad del 100% [19].

Para ello, cogeremos la aproximación circular del disco óptico detectado y veremos qué píxeles se encuentran dentro del disco óptico segmentado de forma manual, del mismo modo realizaremos el estudio de píxeles de la excavación, comparando la detección automática y manual.

Se examinará cada píxel en la imagen médica dentro de la zona segmentada (disco óptico o excavación) y se verá la correspondencia que existe respecto a la detección automática del algoritmo, cuyo objetivo es saber que veracidad cobran los datos obtenidos en los análisis anteriores. Se pueden distinguir cuatro casos en cada una de las zonas segmentadas. Si realizamos una máscara binaria con el centro y radio del disco obtenido en cada caso, usando una imagen de 600x483. Definimos a continuación los casos que pueden darse:

- Positivo correcto: Píxel(x, y) de la detección manual en la zona segmentada vale 1 y Píxel(x, y) de la detección automática en la zona segmentada vale 1.
- Negativo correcto: Píxel(x, y) de la detección manual en la zona segmentada vale 0 y Píxel(x, y) de la detección automática en la zona segmentada vale 0.

- c. Positivo falso: Píxel(x, y) de la detección manual en la zona segmentada vale 0 y Píxel(x, y) de la detección automática en la zona segmentada vale 1.
- d. Negativo falso: Píxel(x, y) de la detección manual en la zona segmentada vale 1 y Píxel(x, y) de la detección automática en la zona segmentada vale 0.

	K=1, J=2 Sensibilidad (D.O.)	K=1, J=2 Sensibilidad (Excavación)	K=2, J=2 Sensibilidad (D.O.)	K=2, J=2 Sensibilidad (Excavación)
μ	88.90%	59.77%	93.72%	58.67%
σ	14.16%	21.23%	16.62%	24.34%

Tabla 4: Medidas estadísticas de la Sensibilidad en 50 imágenes segmentadas. (a) K=1, J=2 Disco óptico. (b) K=1, J=2 Excavación. (c) K=2, J=2 Disco óptico. (d) K=2, J=2 Excavación.

	K=1, J=2 Especificidad (D.O.)	K=1, J=2 Especificidad (Excavación)	K=2, J=2 Especificidad (D.O.)	K=2, J=2 Especificidad (Excavación)
μ	98.68%	99.66%	98.53%	99.76%
σ	1.50%	0.52%	1.30%	0.43%

Tabla 5: Medidas estadísticas de la Especificidad en 50 imágenes segmentadas. (a) K=1, J=2 Disco óptico. (b) K=1, J=2 Excavación. (c) K=2, J=2 Disco óptico. (d) K=2, J=2 Excavación.

Hemos visto los resultados conseguidos en los dos algoritmos mejores de los tres analizados, ya que el tercero no da aporte de información y ya en este punto queda excluido.

La conclusión obtenida es la esperada, el error cometido a la hora de segmentar la zona de la excavación es mayor y por eso, las sensibilidades en ambos modelos decaen, esto se debe a que las dimensiones de la zona es menor y por ello las dificultades se incrementan. Sin embargo la especificidad ronda el 99%, conociendo que el modelo de máscara sería como el mencionado en la figura 4.3, este contiene un alto número de píxeles negros y el error cometido en falsos negativos sería insignificante respecto a estos, si el número de píxeles negros ronda 70000 y la variación de falsos negativos oscila entre 300 y 500, la especificidad no variará más del 1%.