

Proyectos de Procesamiento Digital de Imágenes y Visión por Computadora : Aplicaciones médicas

M. Elena Martínez Pérez

Departamento de Ciencias de la Computación

IIMAS, cubículo 408

elena.martinez@iimas.unam.mx

**Proyectos relacionados con el
análisis de imágenes de
estructuras tubulares en particular
aquellas tomadas del fondo de ojo
en humanos.**

¿Porqué imágenes de retina?
¿Motivación?

Cámara de Fundus



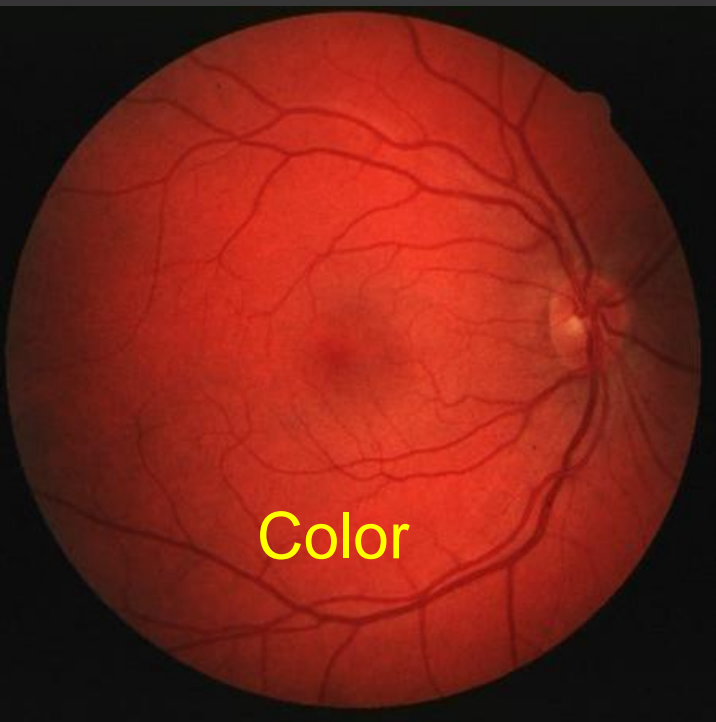
Adquisición de Imágenes

- Cámara de Fondo para adultos

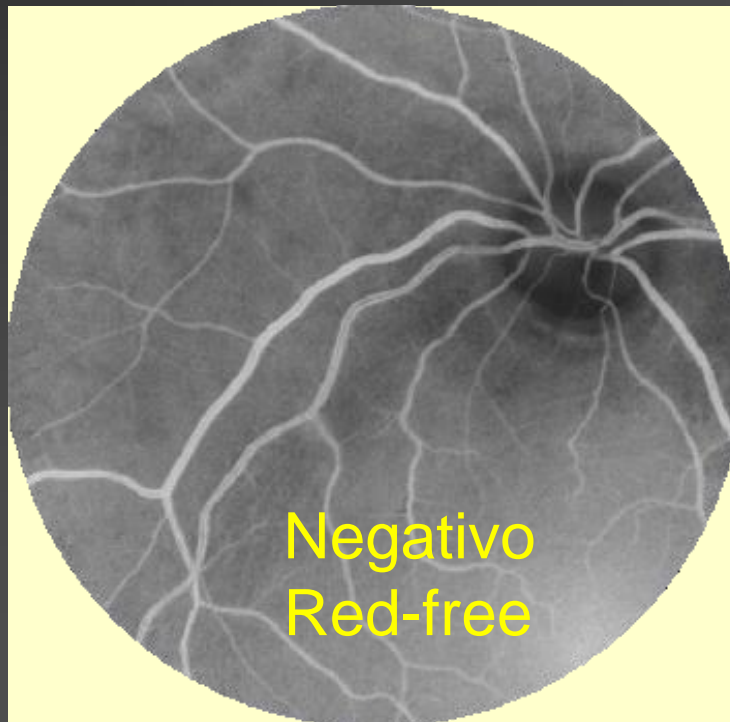
Resolución de la imagen en pixeles

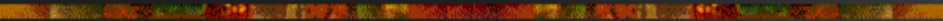
- 600 x 713
- 1202 x 1426
- 2404 x 2852

Color

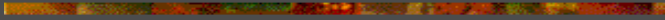


Negativo
Red-free





Proyecto de medición de morfología de vasos sanguíneos de retina humana



OBJETIVO: Segmentación y medición de vasos sanguíneos para detectar cambios estructurales

- | Relación Longitud:Diámetro
- | Ángulo de bifurcación
- | Tortuosidad
- | Densidad vascular

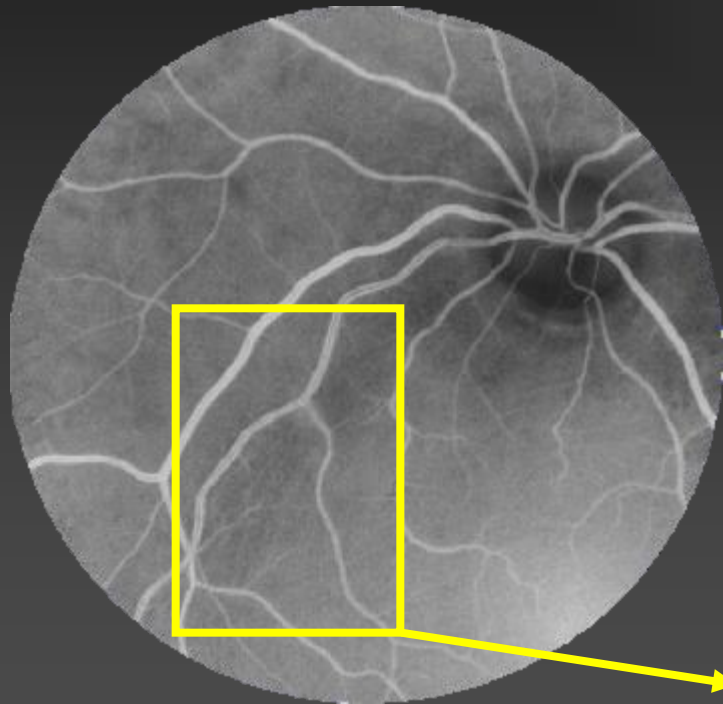
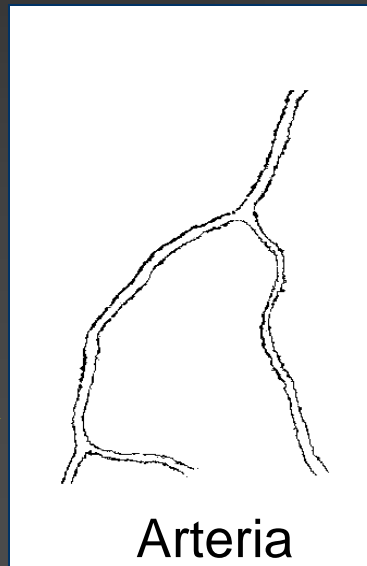
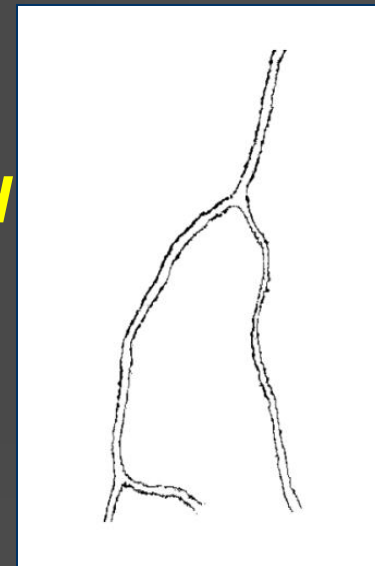


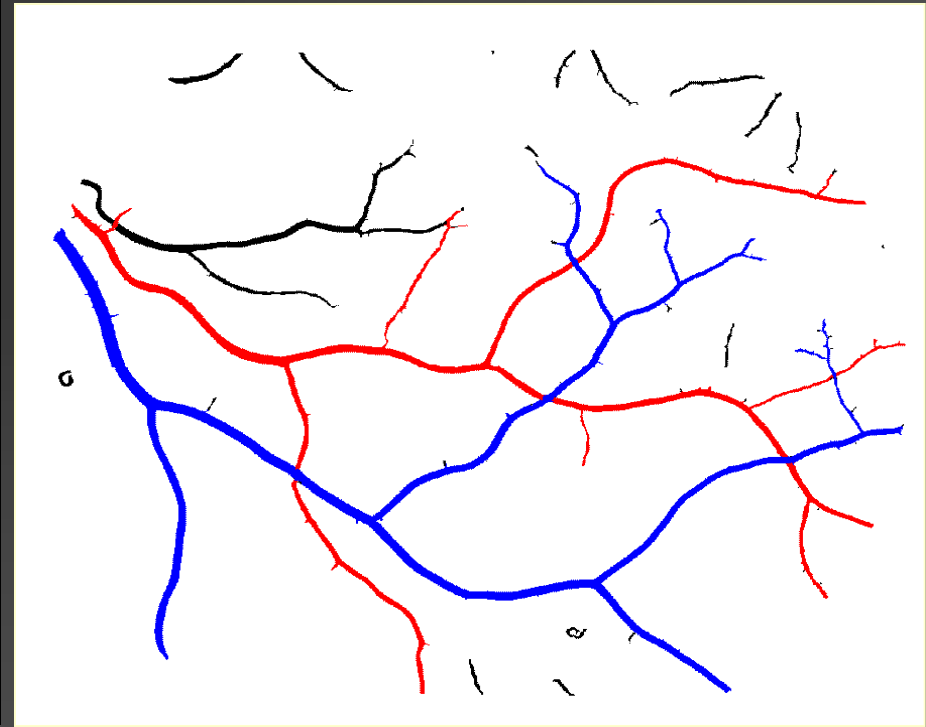
Imagen de retina



Enfermedad



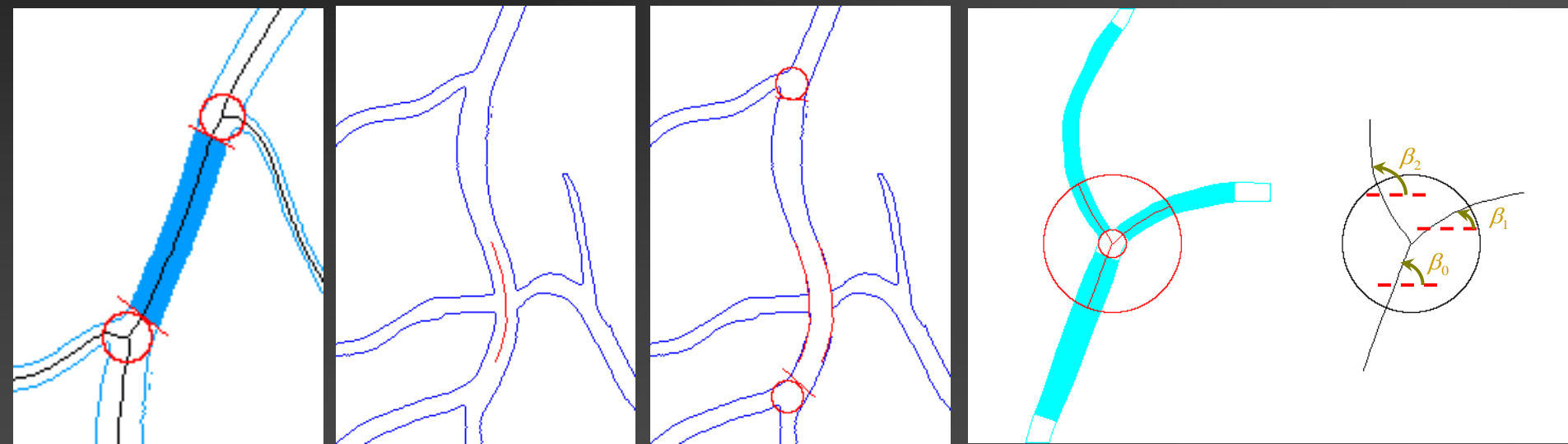
Medidas morfológicas: geometría, topología y propiedades de redes



• Arterias • Venas

Extracción de medidas geométricas

Área: Vasos que se cruzan:



Longitud:

$$L_t = N_o + \sqrt{2N_e}$$

Diámetro:

$$d = Area / L_t$$

Ángulos:

$$\beta_j = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^N W_i \theta_i$$

Propiedades geométricas derivadas

Relación Longitud/diámetro: $\lambda = L_a / d$

Factor de expansión: $\gamma = (d_1^2 + d_2^2) / d_0^2$

Factor de asimetría: $\zeta = d_2^2 / d_1^2$

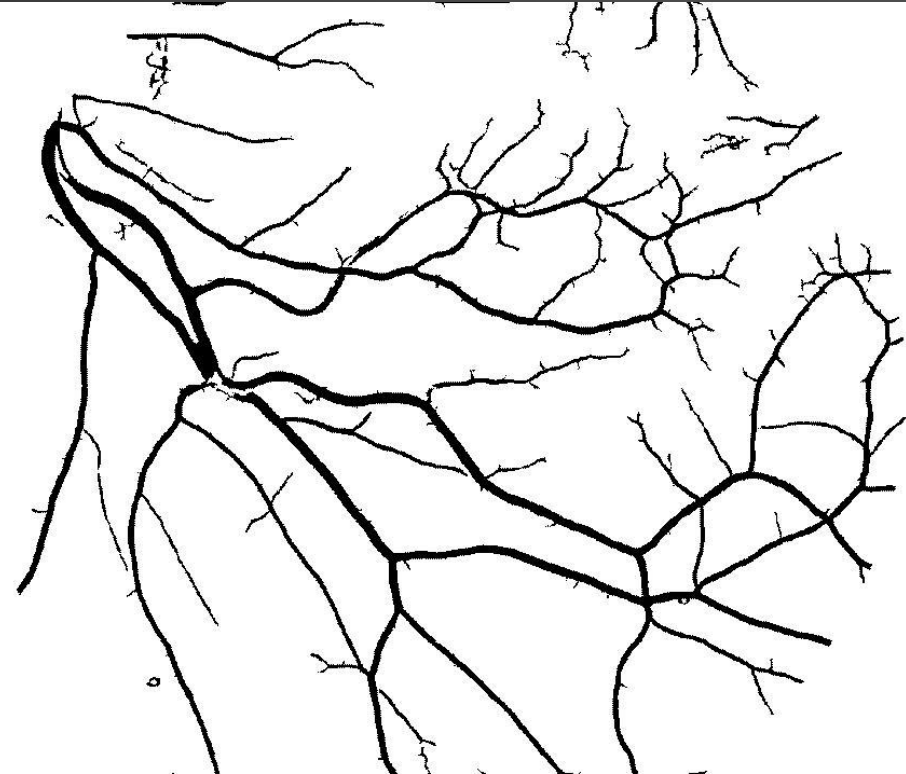
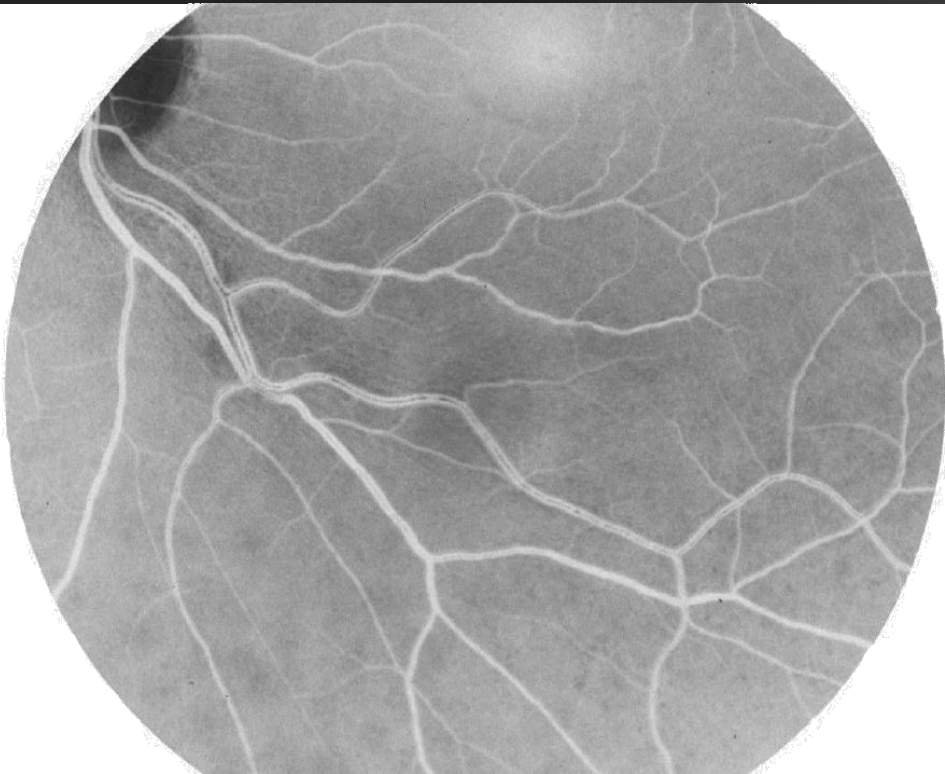
Ángulo de las hijas: $\alpha_1 = \beta_1 - \beta_0$; $\alpha_2 = \beta_2 - \beta_0$

Ángulo de bifurcación: $\omega = \alpha_1 + \alpha_2$

Asimetría angular: $\eta = \alpha_1 / \alpha_2$

Tortuosidad: $T = L_t / L_s$

Red-free (negativo)

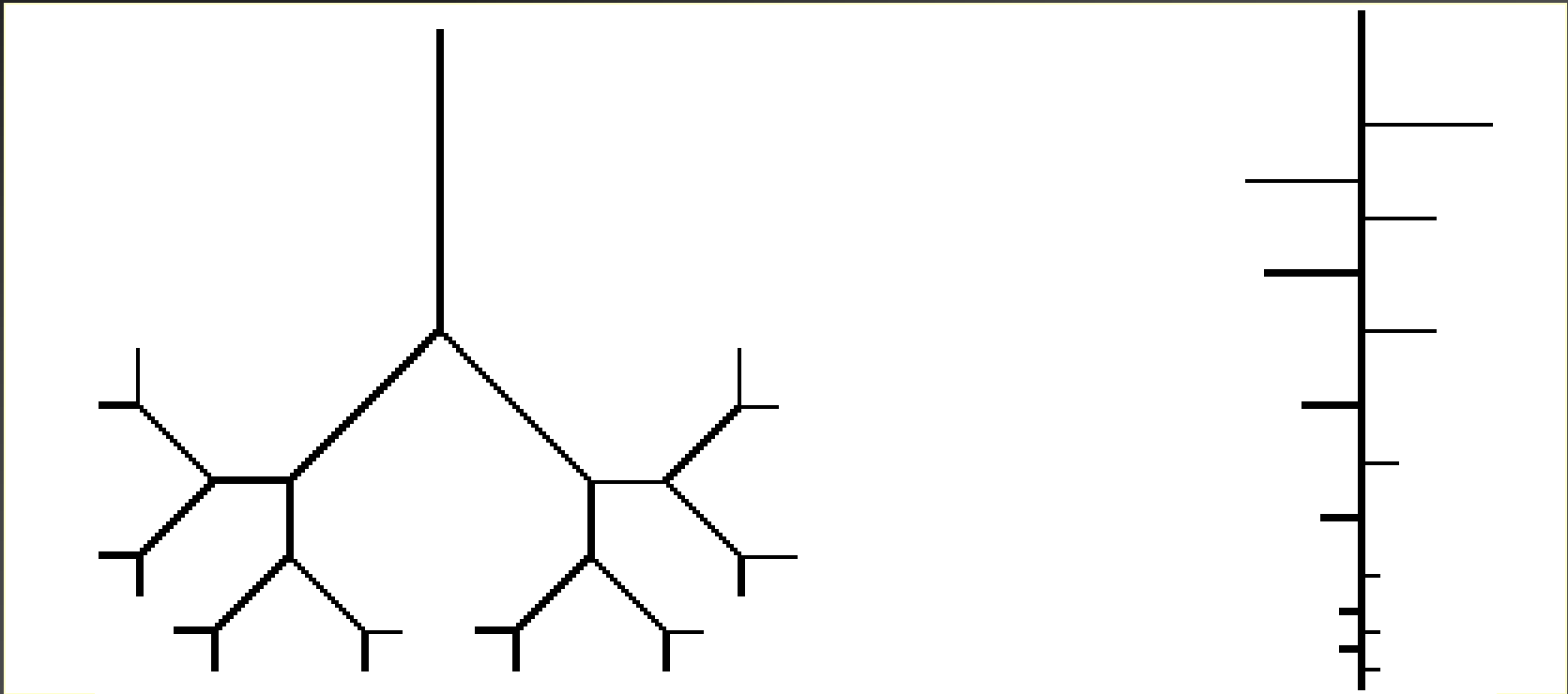


Extracción de índices topológicos

¿Diferencias entre estructuras de árboles?



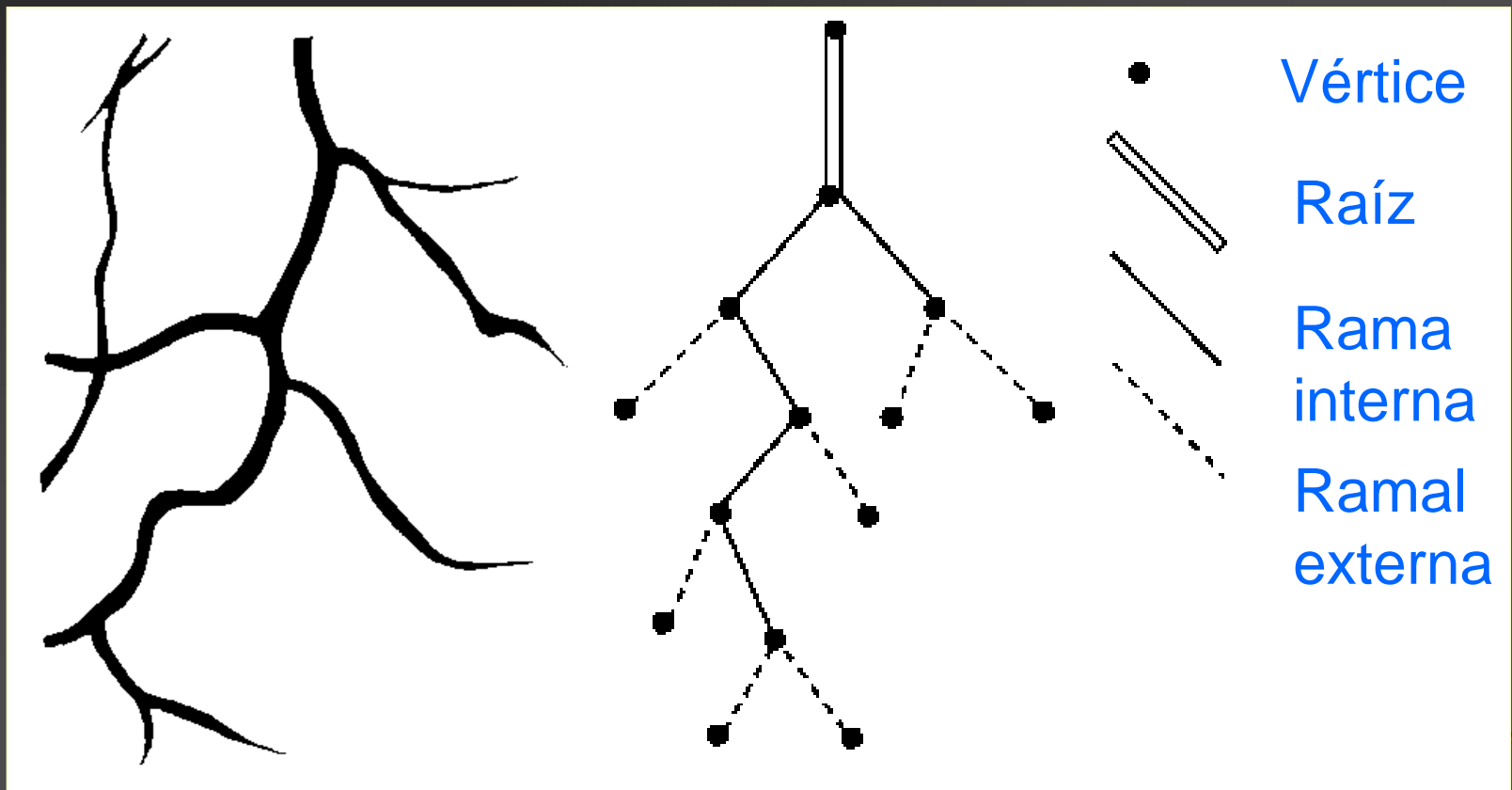
¿Cómo se desvían las estructuras de árbol de uno perfectamente balanceado?



- Simétrico
- Compacto

- Asimétrico
- Elongado

Un árbol sanguíneo de retina es generalmente un *árbol binario con raíz*: una gráfica donde un vértice es la raíz y por lo menos tres ramas son contiguas a cualquier vértice

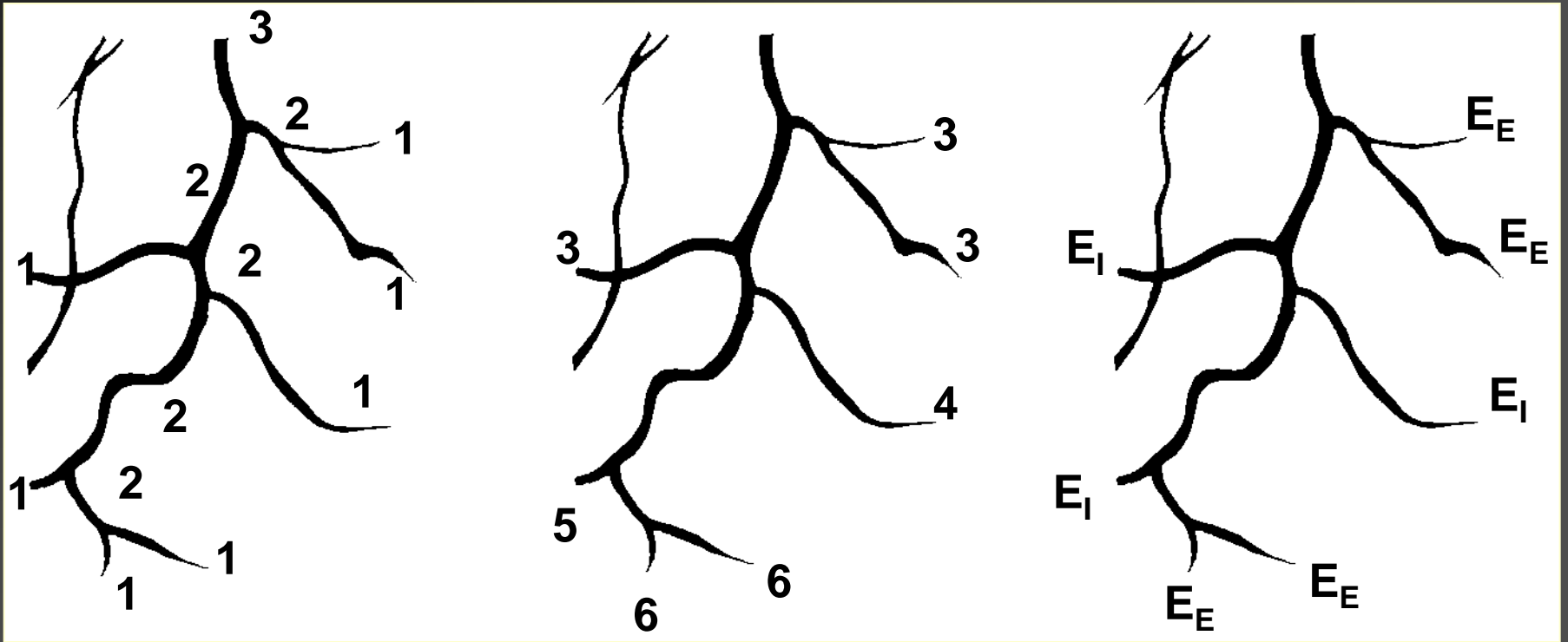


Extracción de índices topológicos

Orden Strahler

Longitud de ruta externa

Ramas Externa-Interna



Razón de bifurcación: $R = \frac{N_m}{N_{m+1}}$

Altitud : $A = 6$
 Total : $P_e = 30$

$\frac{E_I}{N_T} = \frac{3}{7} = 0.43$

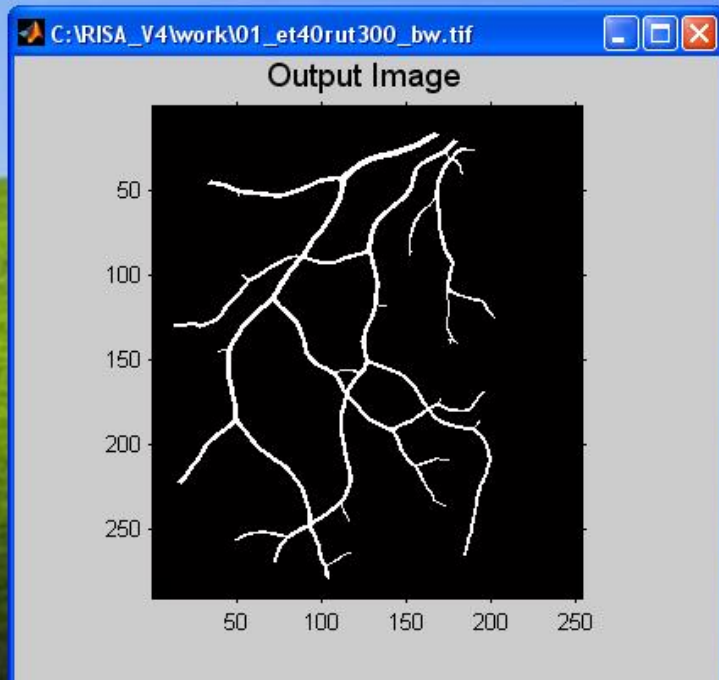
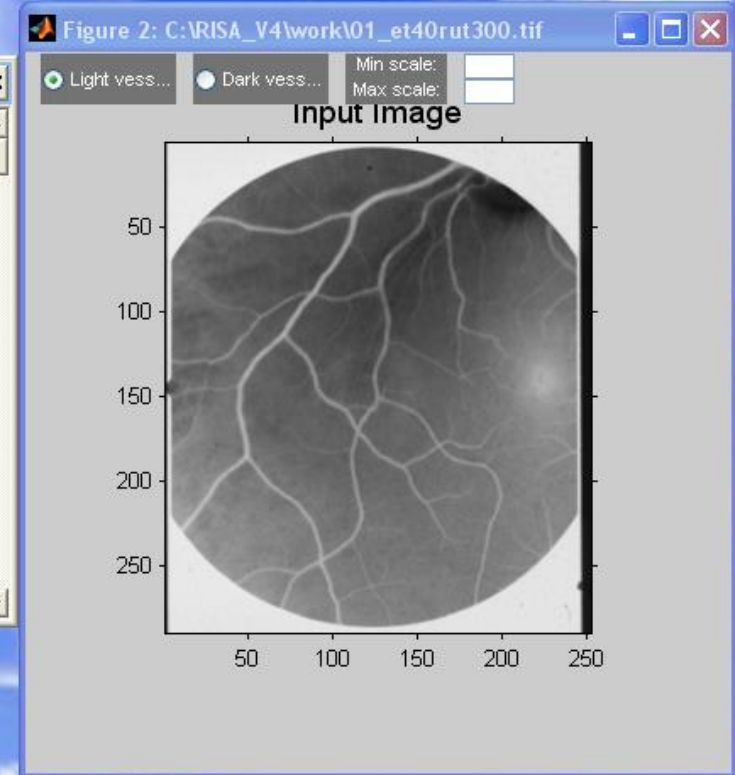
$N_T = \#$ terminales
 $E_E =$ ramas externas
 $E_I =$ ramas interna

```
RISA_V4
Warning: C:\Archivos de programa\MathWorks\MATLAB Component Runtime\v70\toolbox\
local\pathdef.m not found.
Toolbox Path Cache is not being used. Type 'help toolbox_path_cache' for more in
fo.
Input Image C:\RISA_V4\work\01_et40rut300.tif

Segmentation Process...
Applying mask
Image Size 290 x 253
Range of scales [1 - 6] in pixels
Light vessels
Extracting Curvature
Processing scale: 1 2 3 4 5 6
Extracting Gradient
Feature Extraction Completed
Planting seeds...
Growing...

Total # iterations: 334
Growing Completed
Processing time: 0.12 min
Segmentation Finished

Output Image C:\RISA_V4\work\01_et40rut300_bw.tif saved
```



RISA V4 (Retinal Image multiple-Scale Analysis)

Input Image	Make Mask	Reduce Batch
Reduce Image	Segment Image	Segment Batch
1. Edit Mode	2. Extract Skel...	3. Select Tree
4. Measure Tree	5. Edit Areas	6. Save Table
Extract Topology	Join Vessels	About RISA
Quit		

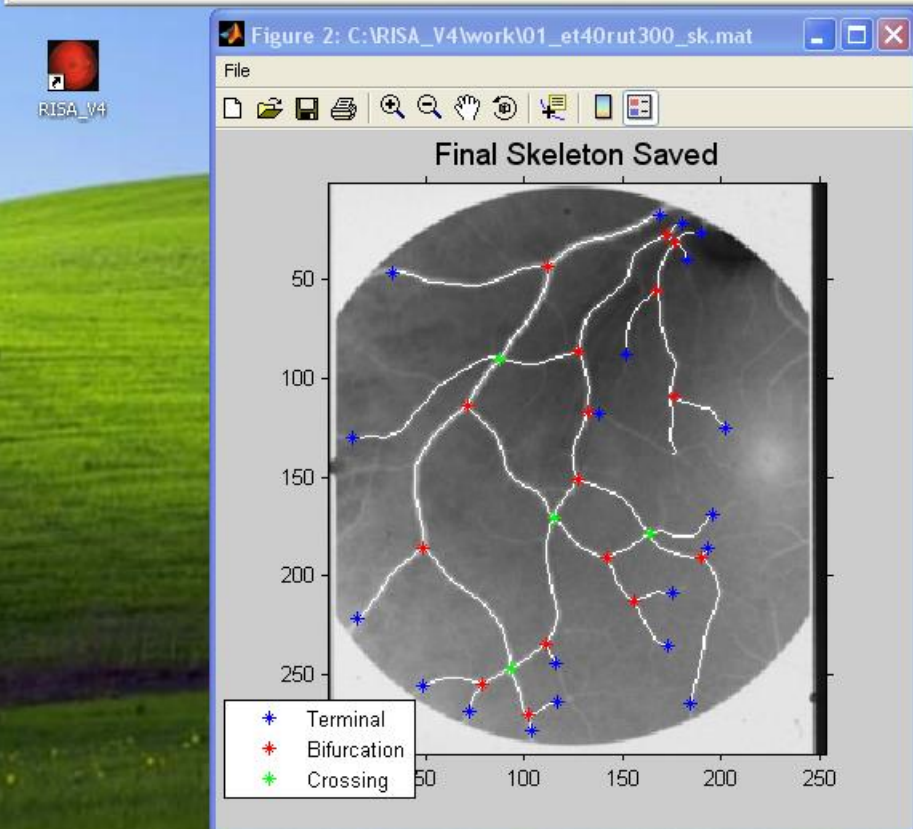
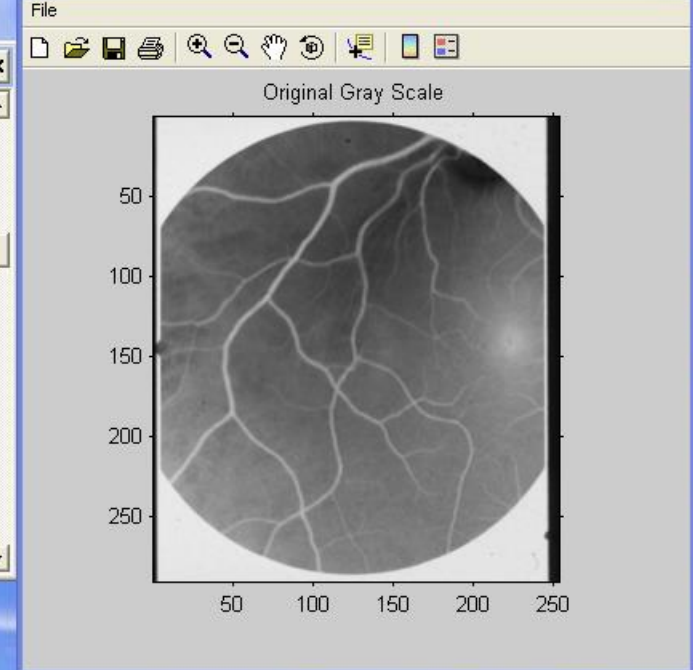
```
RISA_V4

Error using ==> waitfor
Error while evaluating uicontrol Callback.
Reference to a cleared variable GETLINE_H1.
Error in ==> getline at 150

Error in ==> roipoly>parse_inputs at 142
Error in ==> roipoly at 64
Error in ==> erase_region_call at 17
Error while evaluating uicontrol Callback.
writepath =
C:\RISA_U4\work\

filename =
C:\RISA_U4\work\01_et40rut300_sk

Final skeleton C:\RISA_U4\work\01_et40rut300_sk.mat
```



RISA V4 (Retinal Image multiple-Scale Analysis)

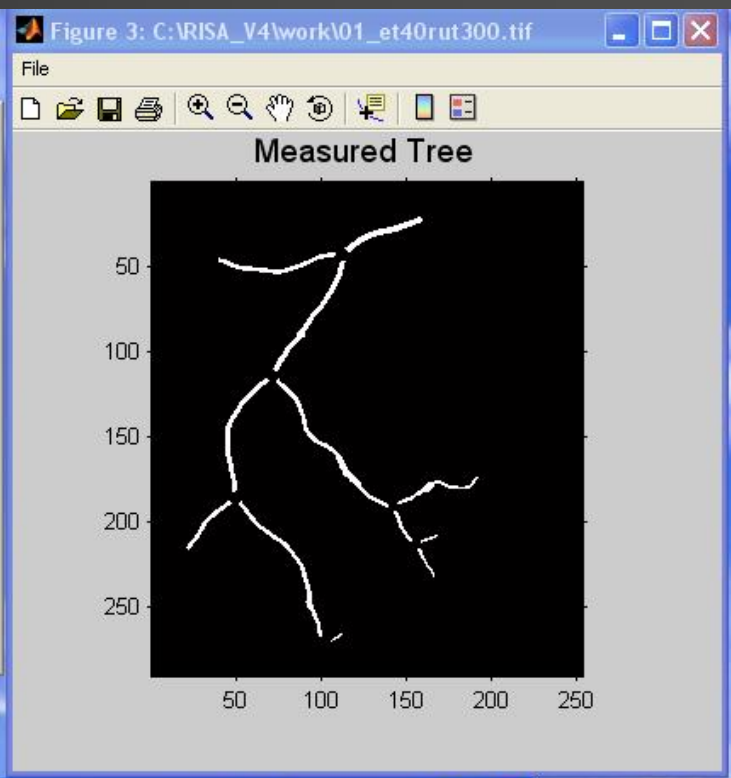
Input Image	Make Mask	Reduce Batch
Reduce Image	Segment Image	Segment Batch
1. Edit Mode	2. Extract Skel...	3. Select Tree
4. Measure Tree	5. Edit Areas	6. Save Table
Extract Topology	Join Vessels	About RISA
Quit		



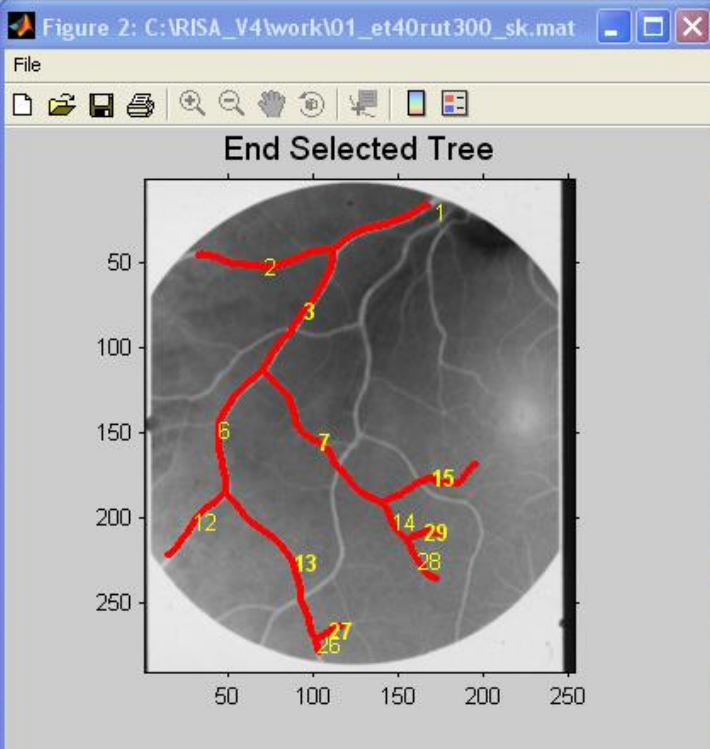
```

RISA_V4
Computing curvature... of branch: 7
Computing curvature... of branch: 12
Computing curvature... of branch: 13
Computing curvature... of branch: 14
Computing curvature... of branch: 15
Computing curvature... of branch: 26
Computing curvature... of branch: 27
Computing curvature... of branch: 28
Computing curvature... of branch: 29
Table saved on: C:\RISA_V4\work\01_et40rut300_table.txt
Table of derived properties saved on: C:\RISA_V4\work\01_et40rut300_table_DER.txt
Image Tree: C:\RISA_V4\work\01_et40rut300_tree.tif saved

```



RISA_V4



RISA V4 (Retinal Image multiple-Scale Analysis)

Input Image	Make Mask	Reduce Batch
Reduce Image	Segment Image	Segment Batch
1. Edit Mode	2. Extract Skel...	3. Select Tree
4. Measure Tree	5. Edit Areas	6. Save Table
Extract Topology	Join Vessels	About RISA
Quit		

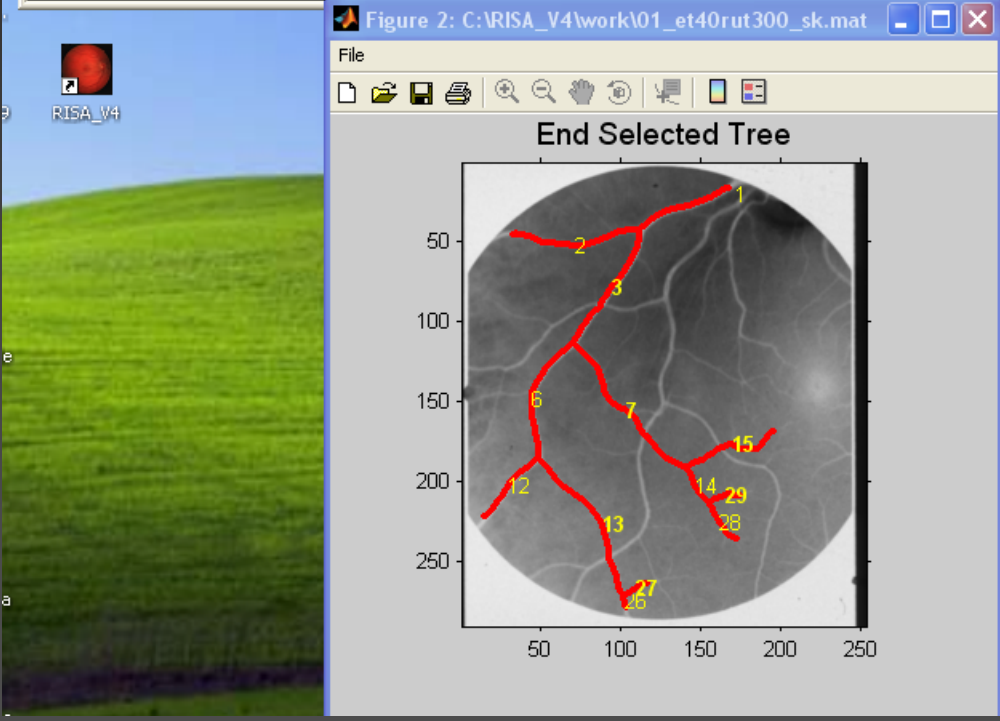
01_et40rut300_table_DER - WordPad

Archivo Edición Ver Insertar Formato Ayuda

artery 1 from 01_et40rut300_bw.tif

key	Term	D	Lt	LD	T	Tc	k1	k2	dp	d1	d2	Lp	L1
1	0	3.14	58.53	17.39	1.081	0.016	3	2	3.14	2.86	2.34	54.53	82.57
2	1	2.34	81.04	33.28	1.094	0.021	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
3	0	2.86	86.57	28.89	1.067	0.015	6	7	2.86	2.68	2.57	82.57	80.60
6	0	2.68	84.60	30.07	1.128	0.017	13	12	2.68	2.34	2.15	80.60	101.88
7	0	2.57	111.78	42.26	1.082	0.026	15	14	2.57	1.96	1.69	108.78	57.53
12	1	2.15	46.18	20.05	1.051	0.029	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
13	0	2.34	106.88	43.61	1.082	0.019	26	27	2.34	2.34	0.84	101.88	101.88
14	0	1.69	27.38	14.99	1.085	0.047	28	29	1.69	1.25	1.14	25.38	23.97
15	1	1.96	59.53	29.29	1.133	0.041	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
26	1	2.34	6.41	43.61	1.054	0.442	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
27	1	0.84	15.90	14.16	1.077	0.334	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
28	1	1.25	25.97	19.15	1.089	0.046	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
29	1	1.14	16.07	12.37	1.122	0.060	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

Para obtener Ayuda, presione F1



RISA V4 (Retinal Image multiple-Scale Analysis)

Input Image Make Mask Reduce Batch

Reduce Image Segment Image Segment Batch

1. Edit Mode 2. Extract Skel... 3. Select Tree

4. Measure Tree 5. Edit Areas 6. Save Table

Extract Topology Join Vessels About RISA

Quit

RISA está uso en:

- ➡ Prof. Alun Hughes, Prof. Simon Thom y Prof. Kim Parker. Clinical Pharmacology, NHIL Division, Faculty of Medicine, Imperial College London en St. Mary's Hospital, **Londres UK.**
- ➡ Dra. Anne Fulton. Department of Ophthalmology, Children's Hospital and Harvard Medical School, **Boston, USA.**
- ➡ Dr. Michael Chiang. Department of Ophthalmology and Department of Biomedical Informatics, Columbia University College of Physicians and Surgeons, **New York, USA.**
- ➡ Dr. Marco Ramírez, Oftalmología pediátrica y estrabismo, **Hospital Infantil de México** y Dra. Consuelo Zepeda del **Hospital Civil de Guadalajara.**



Proyecto de Diagnóstico de Retinopatía diabética



¿Qué buscamos nosotros?

- ▶ Extender las capacidades de RISA para detectar y cuantificar características propias de la retinopatía diabética. Aportando, de ser el caso, nuevas propuestas de procesamiento de imágenes.
- ▶ Crear una base de datos con marcajes manuales para poder hacer las evaluaciones pertinentes de los patrones detectados automáticamente.
- ▶ Clasificar las imágenes según el grado de gravedad de RD.

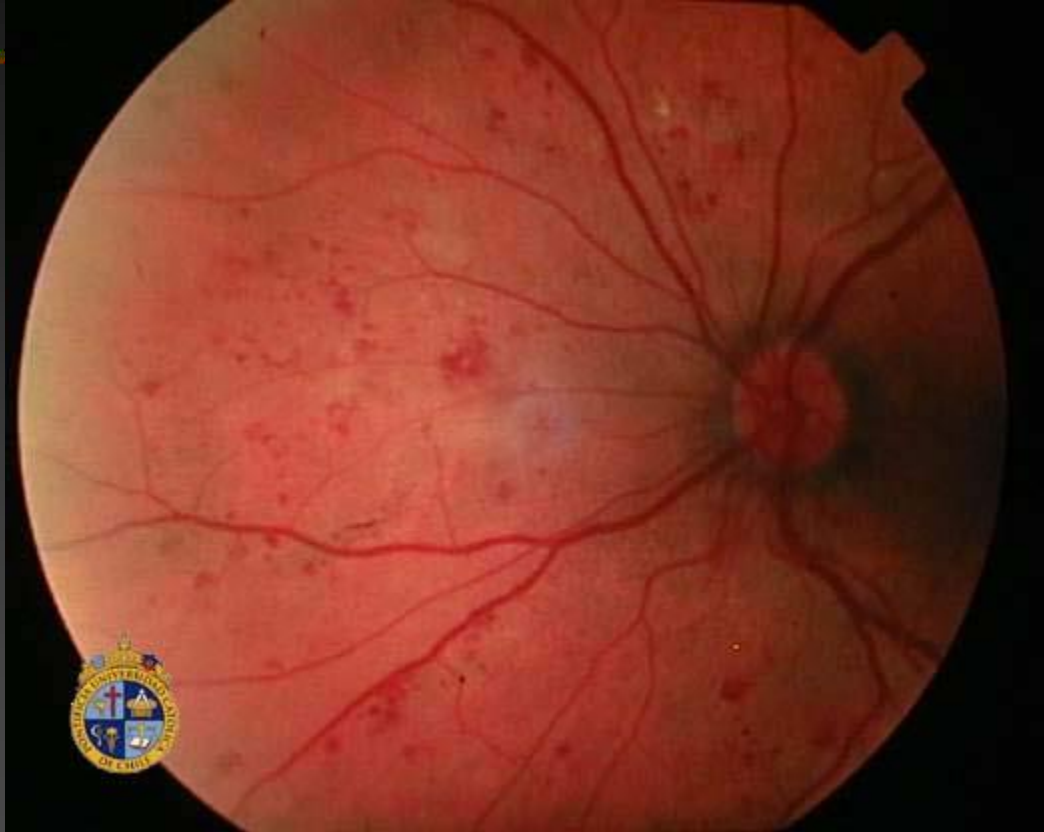
Microaneurisma



Tomadas de: Universidad Católica de Chile

Son difíciles de ver, por su tamaño pequeño, en la foto se alcanzan a distinguir algunos microaneurismas señalados en el área azul. Se ven como un punto pequeño de color rojo y redondeado, más pequeño que el calibre de los vasos. En la angiografía retinal los microaneurismas se ven fácilmente como pequeños puntos rellenos por el colorante.

Hemorragias redondas

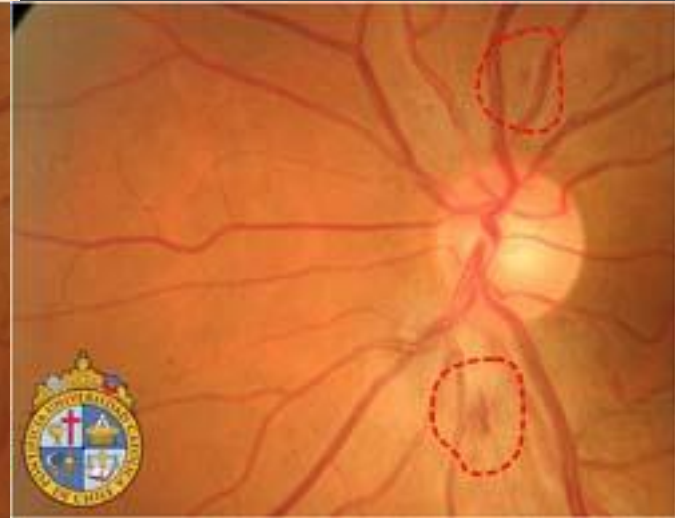


Tomadas de: Universidad Católica de Chile

Fotografía del sector nasal de la retina de un paciente diabético.

Flechas Azules: Las hemorragias redondas pueden ser de distintos tamaños. Se producen en un plano retinal más profundo que las hemorragias en llama, por esto adquieren esta forma redondeada.

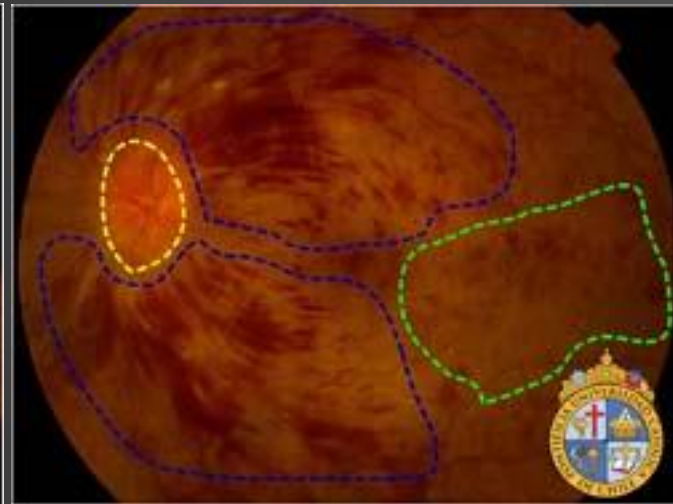
Hemorragias en llama



Tomadas de: Universidad Católica de Chile

Línea punteada roja: Señala hemorragias en llama. Estas se producen en un plano retinal más superficial que las hemorragias redondas. La sangre extravasada se esparce siguiendo el curso de las fibras nerviosas, lo que le da este aspecto.

Hemorragias en llama



Tomadas de: Universidad Católica de Chile

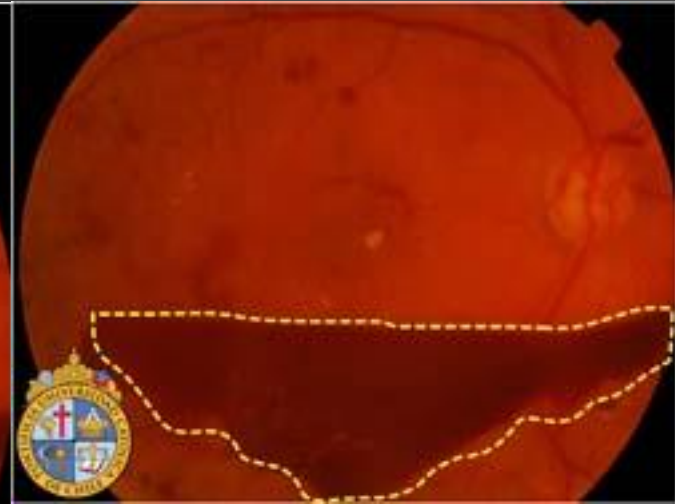
El tamaño de las hemorragias en llama también es variable, en este caso son más grandes y extensas que en el caso anterior.

Línea punteada azul: Abundantes hemorragias en llama

Línea punteada amarilla: Edema de papila

Línea punteada verde: Hemorragias redondas que en el caso anterior.

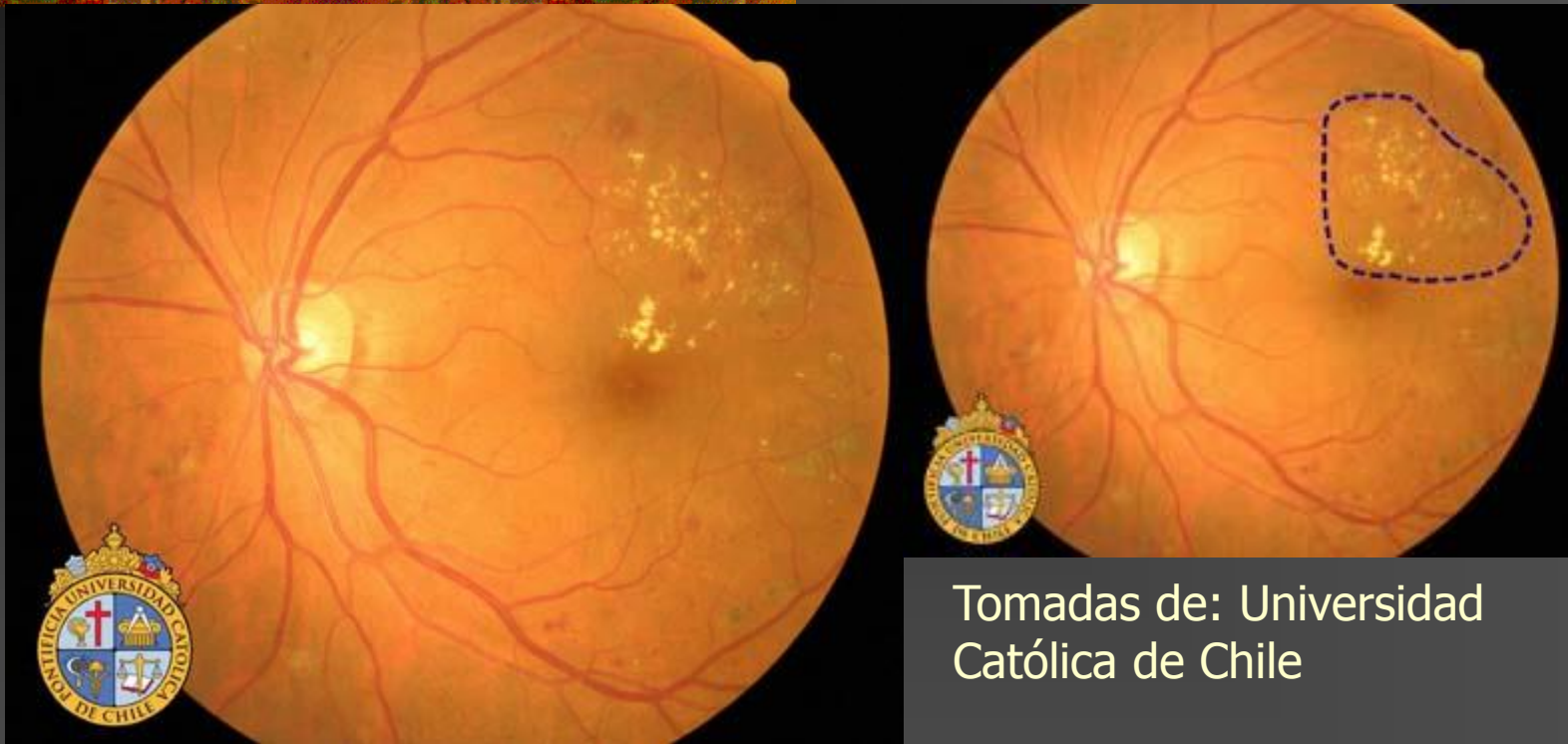
Hemorragia prerretinal



Tomadas de: Universidad Católica de Chile

Tienen forma de canoa. Su presencia en un paciente con retinopatía diabética, lo hace calificar como un paciente con retinopatía diabética proliferante con indicación de panfotocoagulación.

Exudados duros

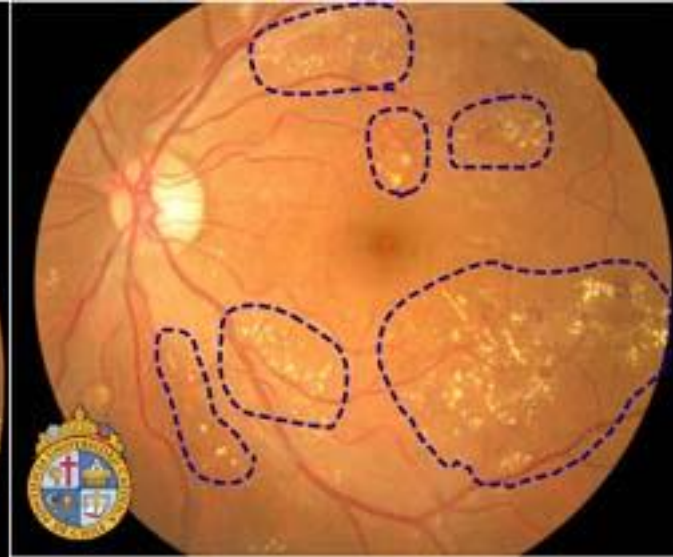


Tomadas de: Universidad Católica de Chile

Los exudados duros (céreos) corresponden a lípidos extravasados de vasos retinales cuya permeabilidad está aumentada.

Punteado Azul: Exudados duros (céreos) Lesiones amarillo brillantes de bordes nítidos y geográficos.

Exudados duros



Tomadas de: Universidad Católica de Chile

Punteado Azul: Exudados Duros (céreos). Lesiones amarillo brillantes de bordes nítidos y geográficos.

Exudados suaves

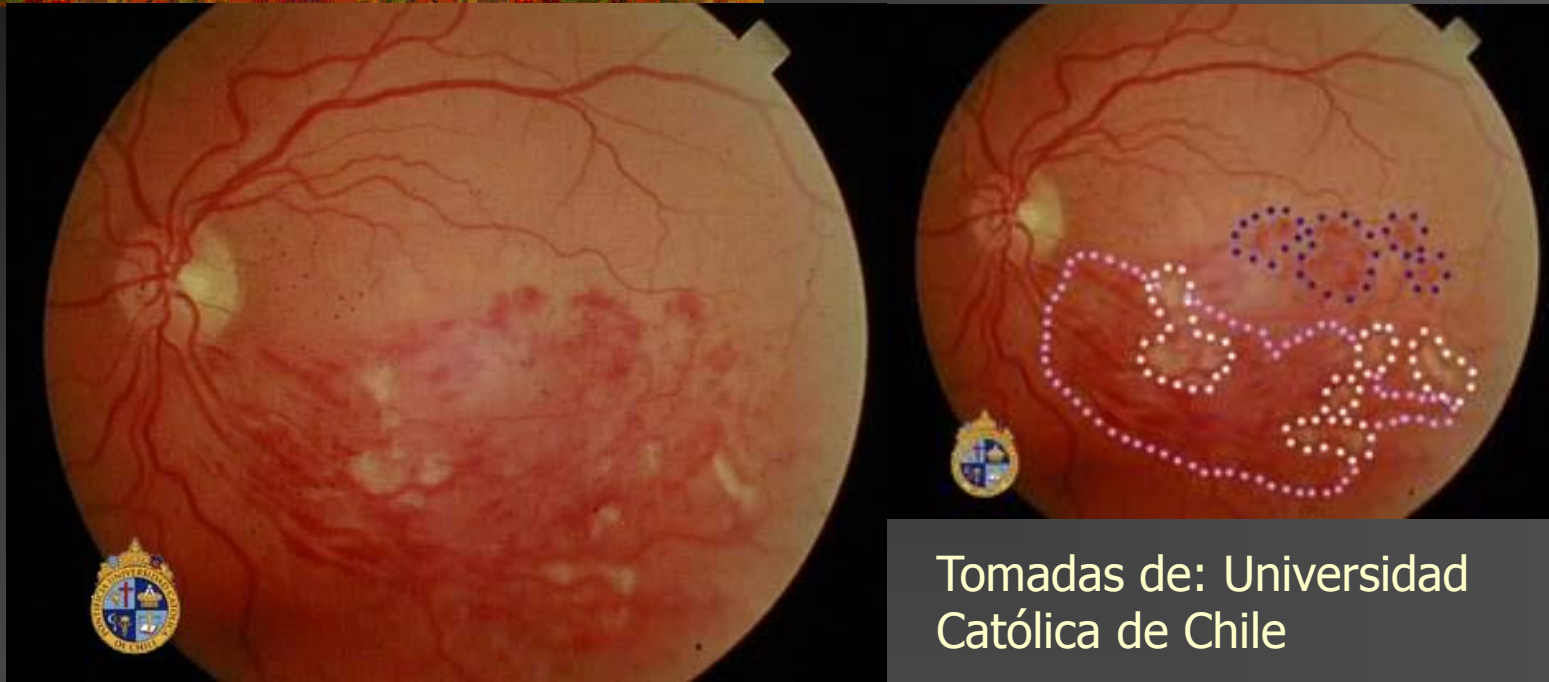


Tomadas de: Universidad Católica de Chile

Punteado Azul: Manchas algodonosas.

Las manchas algodonosas corresponden a retina isquémica, con edema secundario, a diferencia de los exudados duros son más blanquecinas, de bordes menos nítidos y más redondeados.

Todo en uno: Hemorragias y exudados



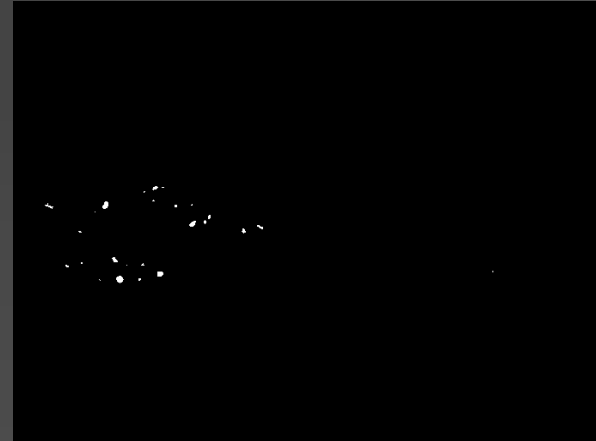
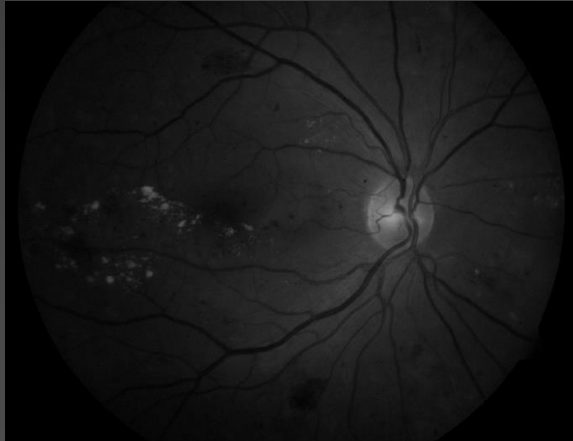
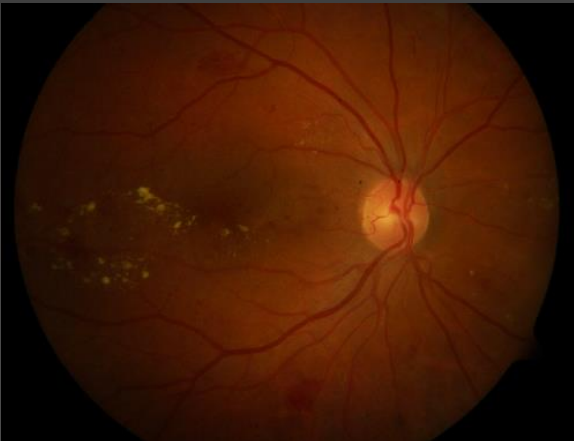
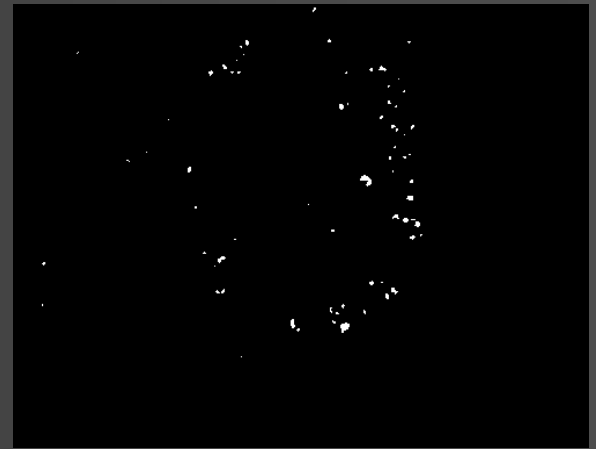
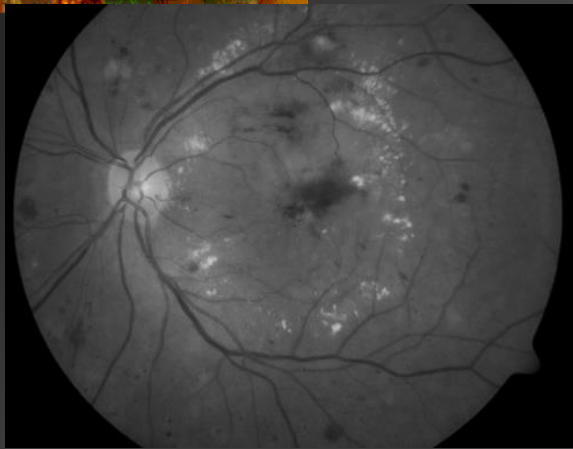
Tomadas de: Universidad Católica de Chile

Punteado Púrpura: Hemorragias en Llama dentro del área delimitada

Punteado Blanca: Manchas Algodonosas (bordes poco delimitado y color blanquecino pálido)

Punteado Azul: Hemorragias Retinales Redondas

RESULTADOS DEL RECONOCIMIENTO DE EXUDADOS



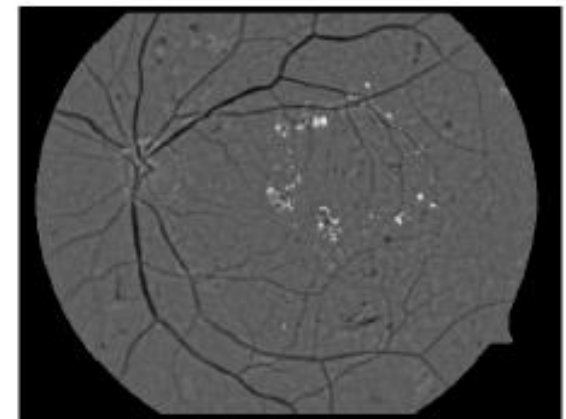
Imágenes tomadas de la base de datos IMAGERET [6] con diferentes condiciones de iluminación.
Se muestra el resultado del reconocimiento de exudados.

Resultados - Detección de Exudados

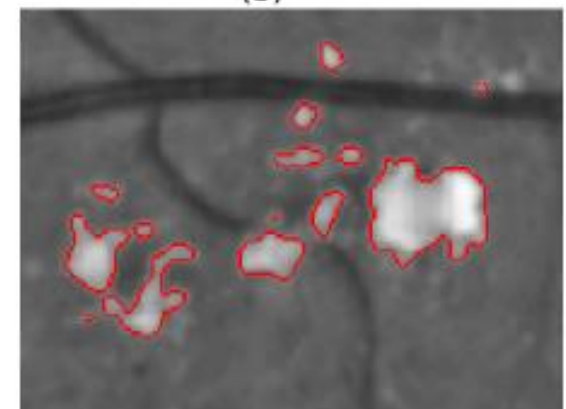
- (a) Imagen Original.
- (b) Corrección de Contraste.
- (c) Umbralización por Otsu.
- (d) Resultado Final.



(a)



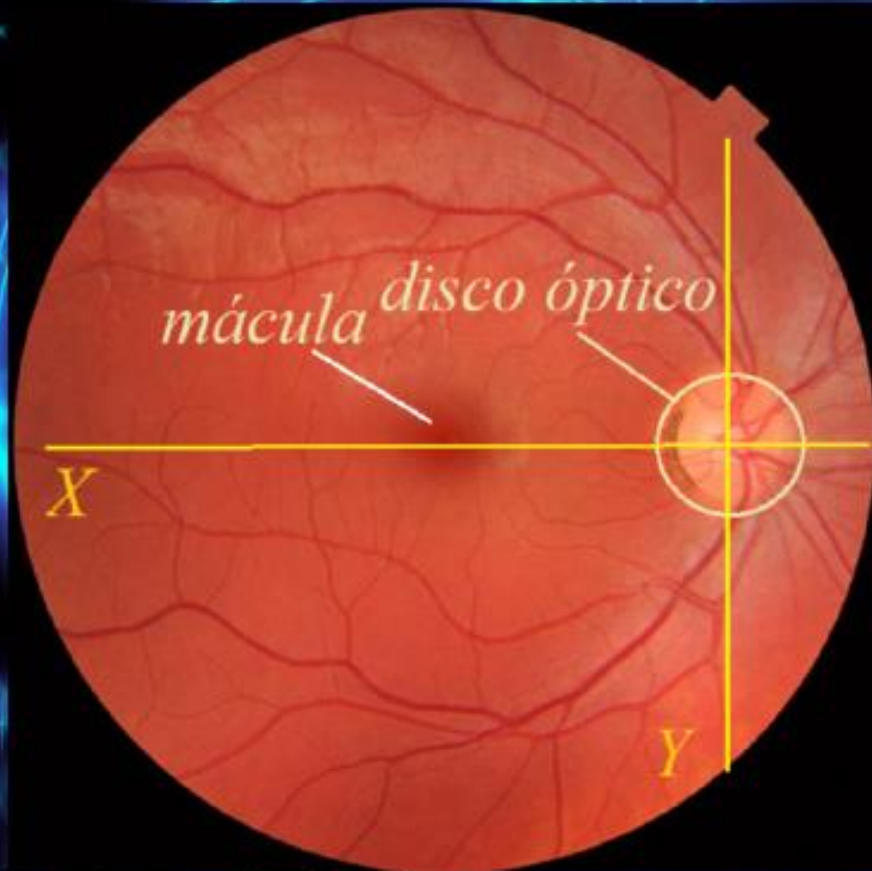
(b)

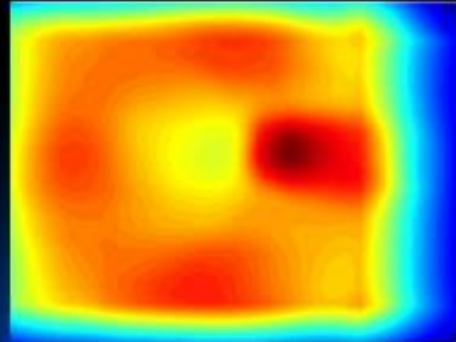


Handwritten signature or mark.

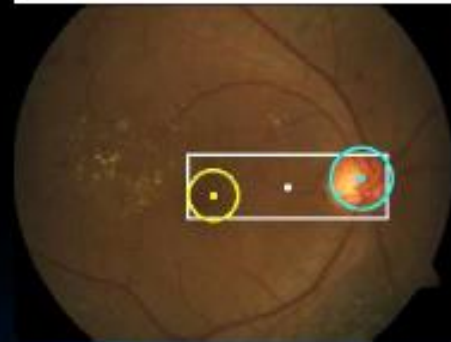


Imágenes de fondo de ojo

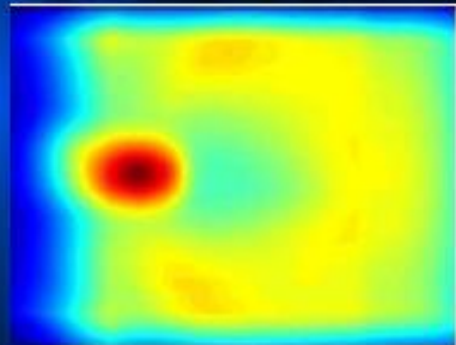




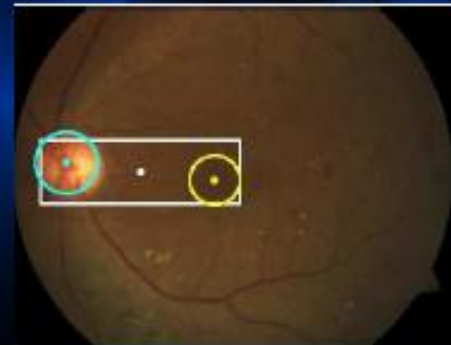
(a)



(b)



(c)



(d)

(a) Correlación cruzada para ojo derecho. (b) Resultado de la búsqueda del máximo en la correlación. (c) Correlación cruzada para ojo izquierdo. (d) Resultado para ojo izquierdo.

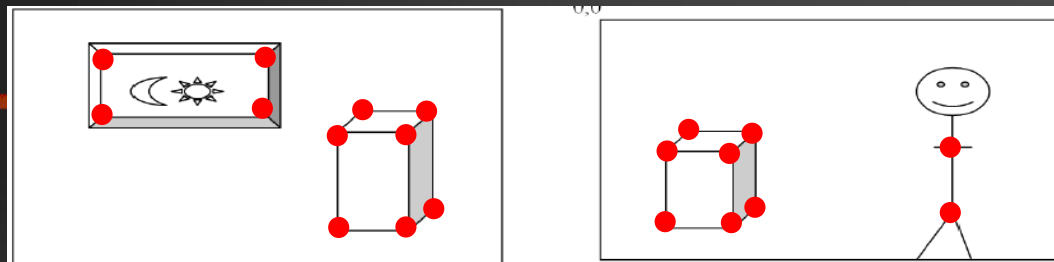


Proyecto de Generación de Mosaicos

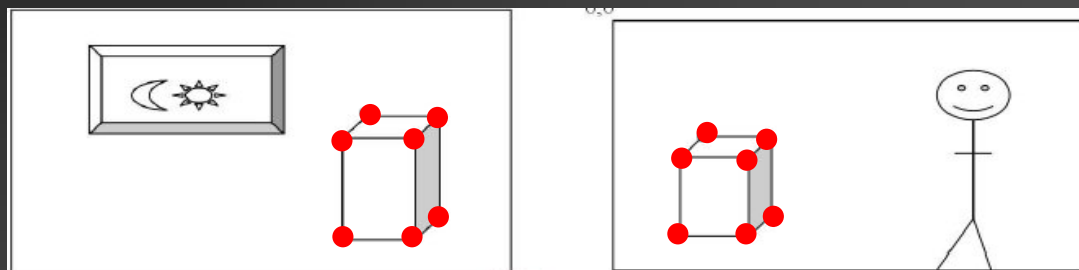


Mosaicos

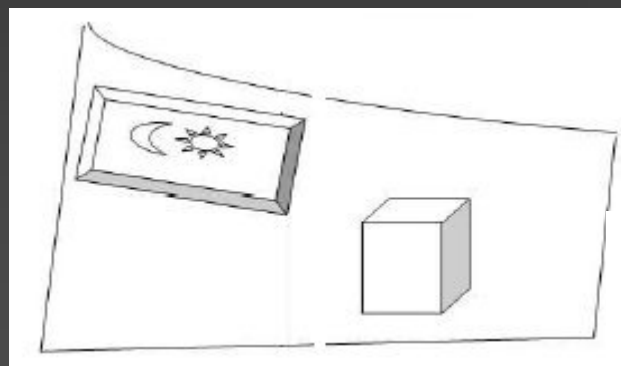
1) Puntos característicos



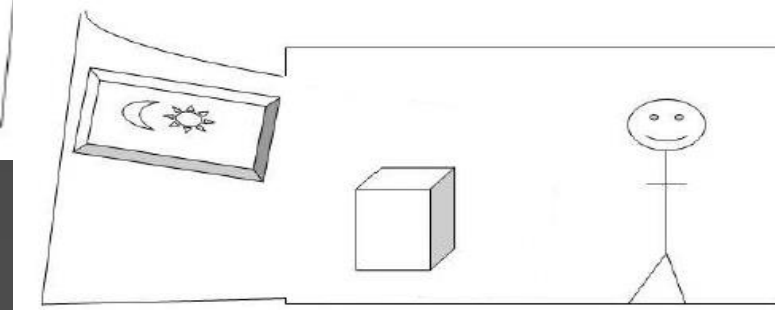
2) Puntos de correspondencia



3) Transformación



4) Mezcla



Referencia

- Las imágenes son tomadas de un mismo paciente con un campo de 30°.



Fig4. Fuente tomada de internet

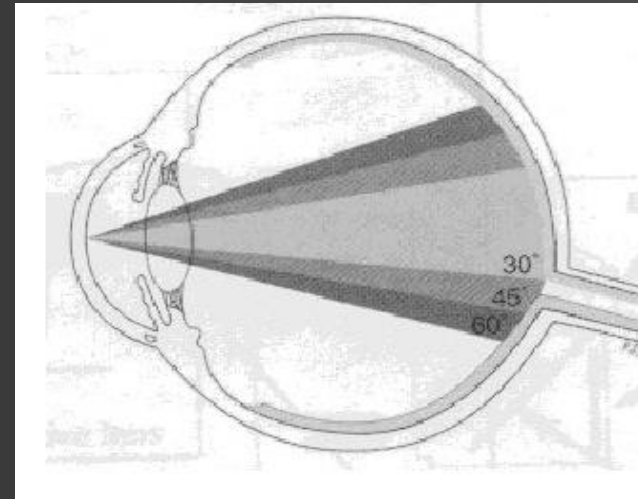
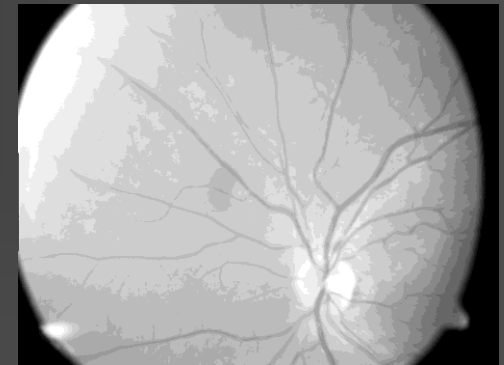
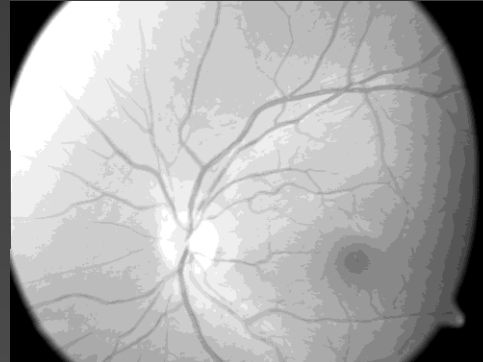
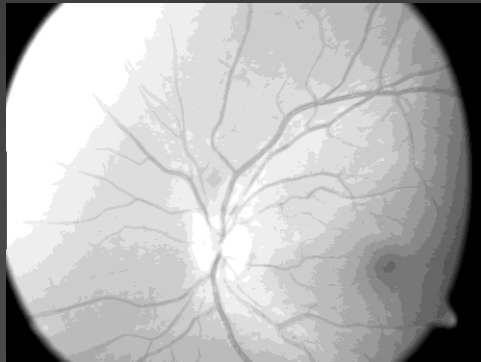
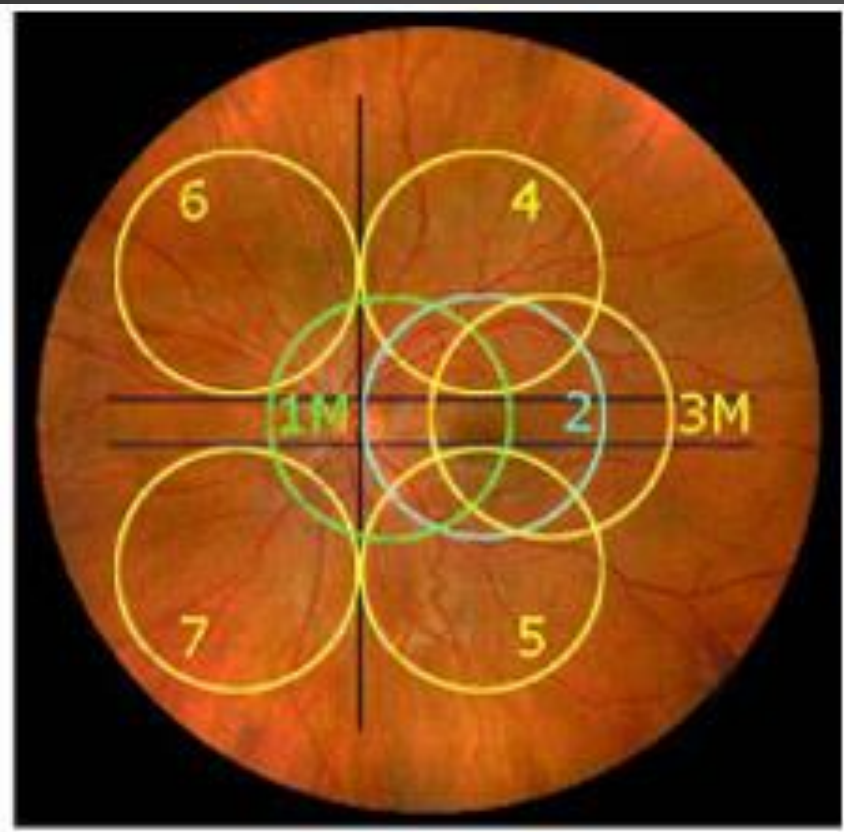
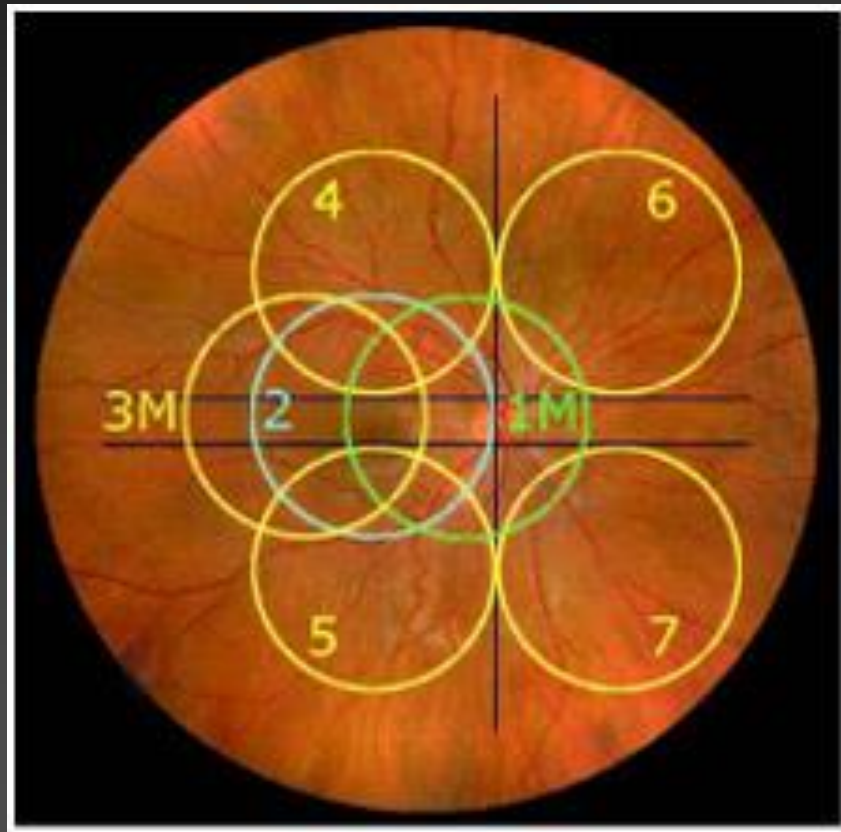


Fig5. . Fuente tomada de Ophthalmic Photography Retinal Photography, Angiography, and Electronic Imaging



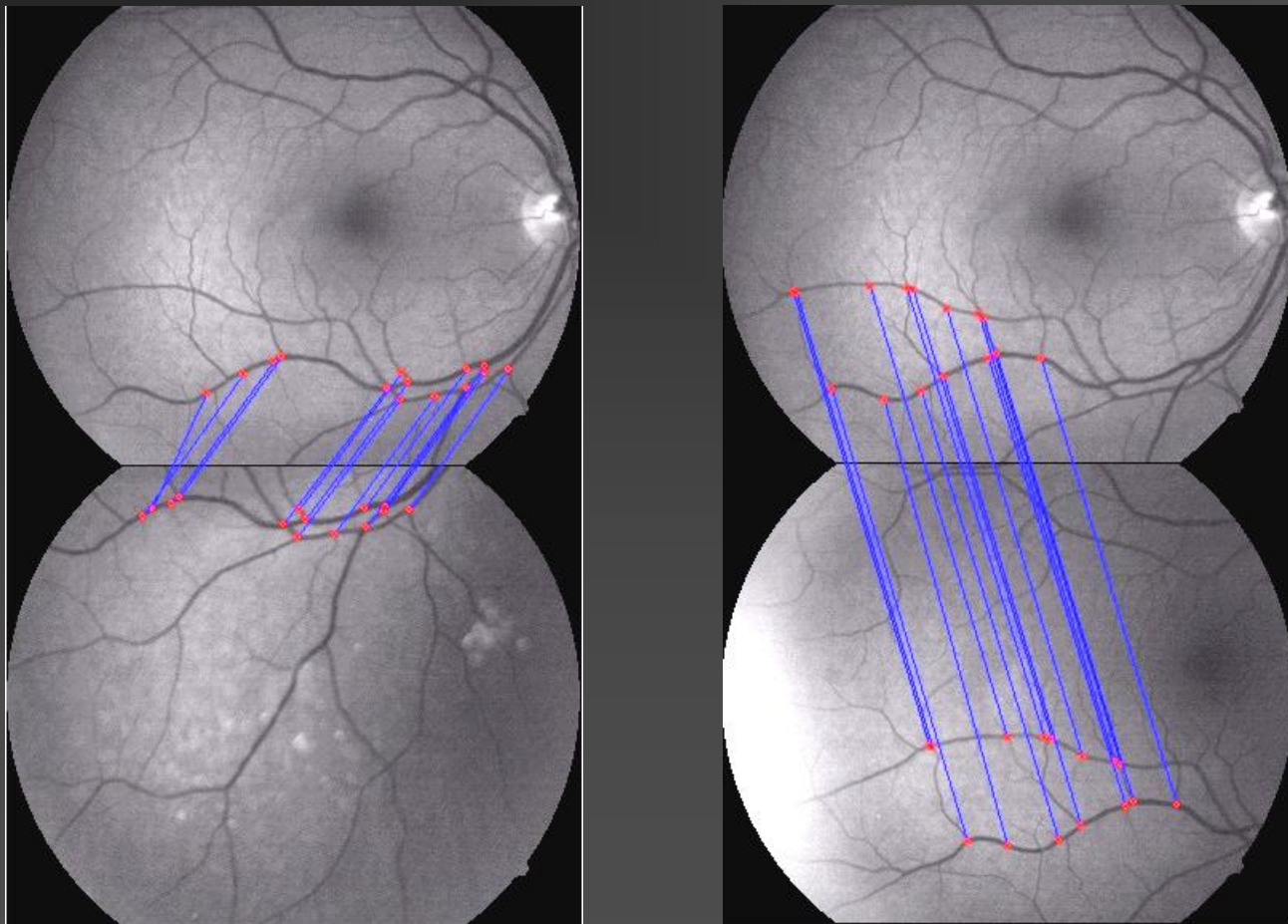
- El resultado, son varias fotografías de un mismo paciente, las cuales tienen entre ellas un pequeño traslape.

Protocolo de adquisición

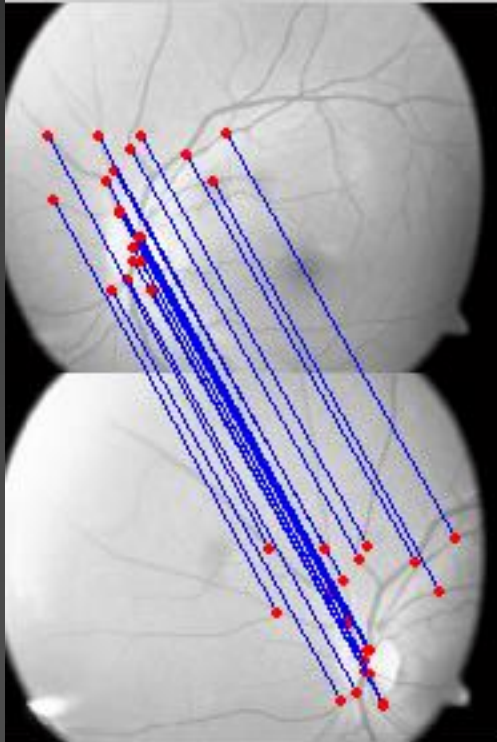
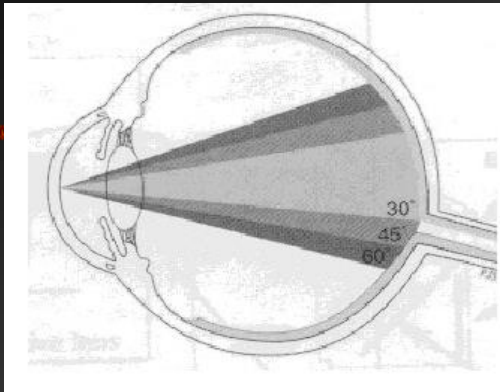


¿En qué consiste el Registro de Imágenes ?

- En encontrar puntos de correspondencia entre pares de imágenes.



Mosaicos de Retina



- Las imágenes de retina son secciones de esfera proyectadas en el plano de la imagen.
- Una transformación basada en una función cuadrática es una buena aproximación para corregir la alineación entre vasos.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{02} & a_{12} & a_{01} & a_{11} & a_{22} & a_{00} \\ b_{02} & b_{12} & b_{01} & b_{11} & b_{22} & b_{00} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ x \\ y \\ xy \\ x^2 \\ y^2 \end{bmatrix}$$

$$x' = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{m-i} a_{ij} x^i y^j,$$

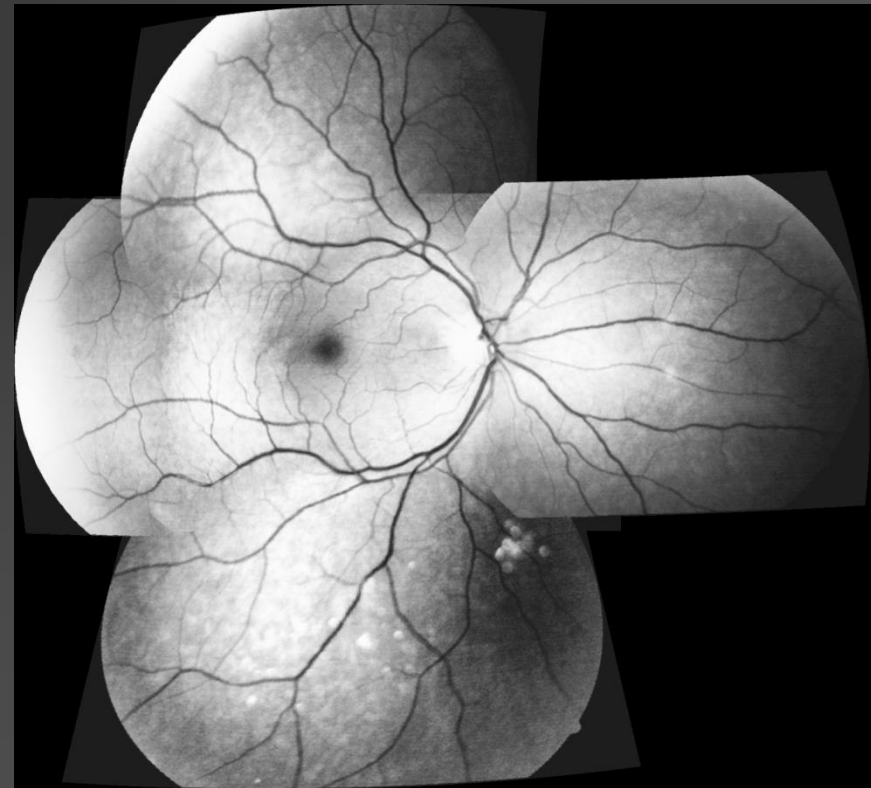
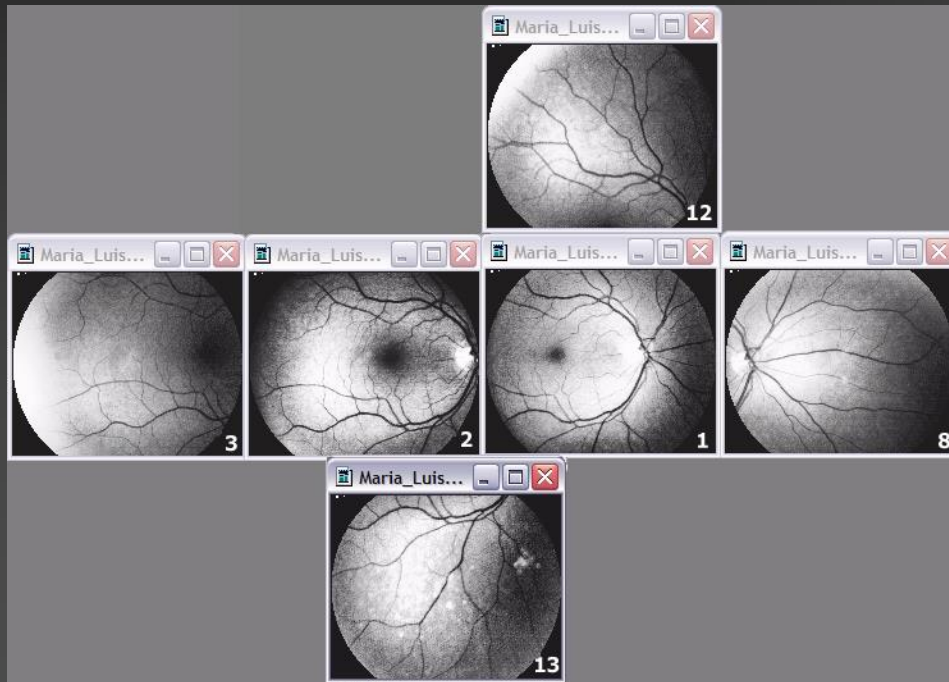
$$y' = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{m-i} b_{ij} x^i y^j, \quad m = 2$$

- Mapas de transformación M_x y M_y :

$$I'(x, y) = I(M_x(x, y), M_y(x, y))$$

Creación de Mosaicos

- Un mosaico es la alineación de múltiples imágenes dentro de una composición grande.





Proyecto de Reconstrucción 3D



Primera aproximación a la reconstrucción 3D

■ Calibración del sistema “cámara-ojo”

Es el proceso de encontrar los parámetros intrínsecos y extrínsecos de la cámara.

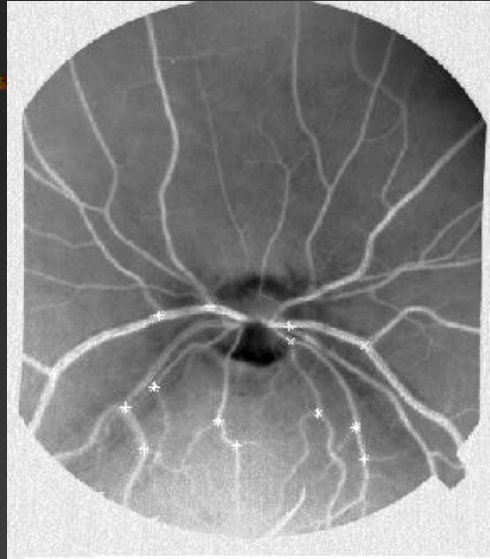
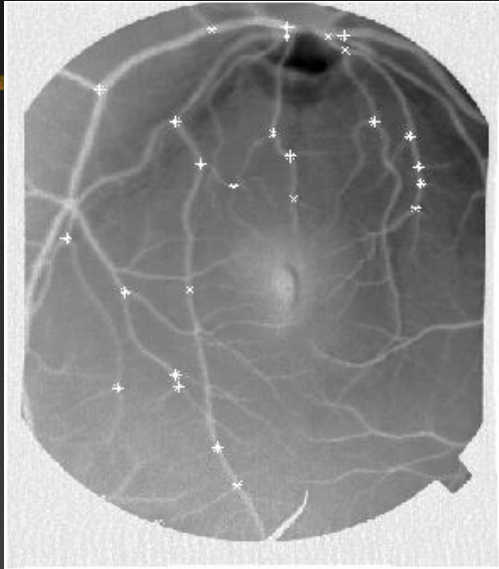
$$K = \begin{bmatrix} \alpha_u & -\alpha_u \cot\theta & u_0 \\ 0 & \alpha_v / \sin\theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$P = K[R|t]$$

Utilizamos un método de auto-calibración basado en la simplificación de las ecuaciones de Kruppa para estimar la matriz K (Lourakis and Deriche 1999).

Una vez conociendo K puede estimarse la matriz de proyección P .

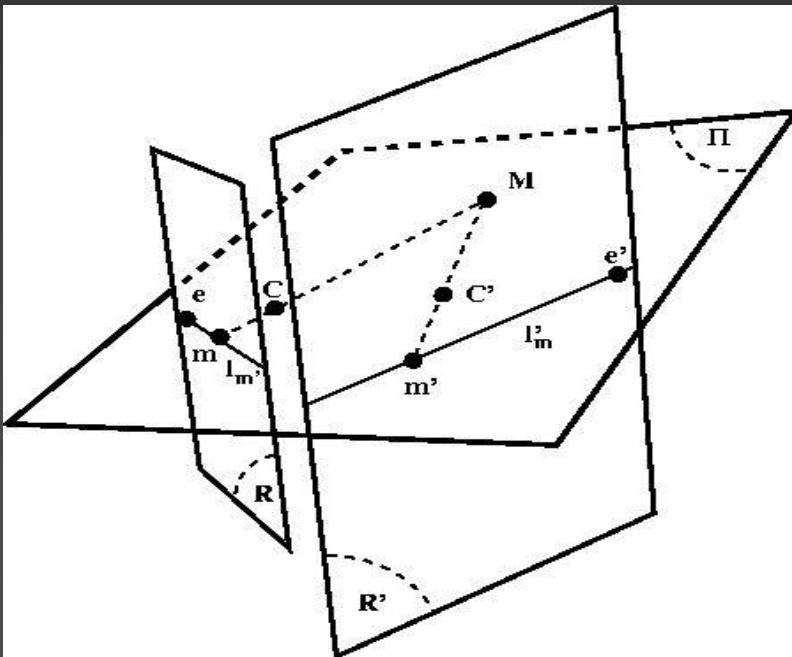
- Auto-calibración del sistema “cámara-ojo”



Con un número determinado de imágenes de entrada se obtienen puntos de correspondencia entre pares que tengan sobrelape. Para formar y resolver las ecuaciones de Kruppa es necesario obtener para cada uno de estos pares la matriz fundamental.

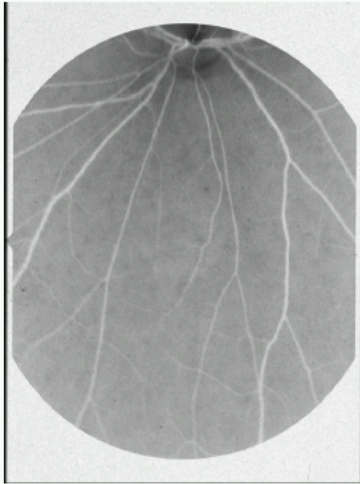
La Matriz Fundamental

La matriz fundamental F es la representación algebraica de la geometría epipolar, que a su vez representa la geometría proyectiva intrínseca entre dos vistas.

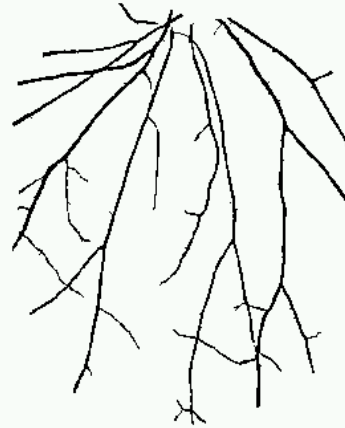


$$m^T F m' = 0$$

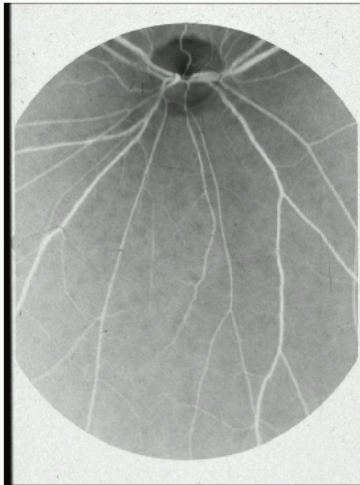
Reconstrucción 3D de vasos utilizando 2 vistas



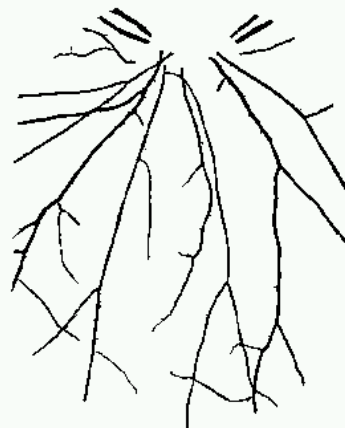
(a) Original I1



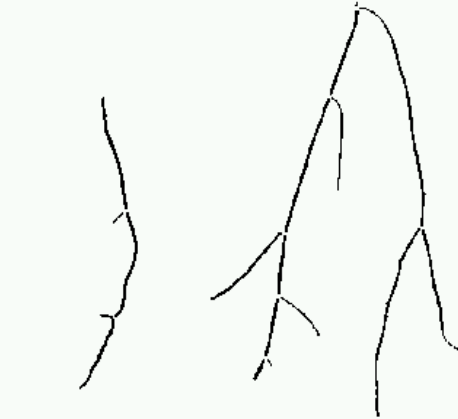
(b) Segmented B1



(c) Original I2



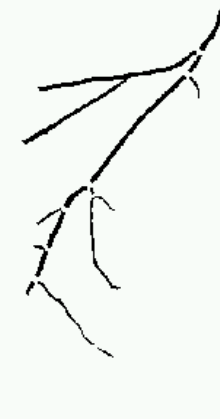
(d) Segmented B2



(a) T2, I1



(b) T2, I2



(c) T2, match

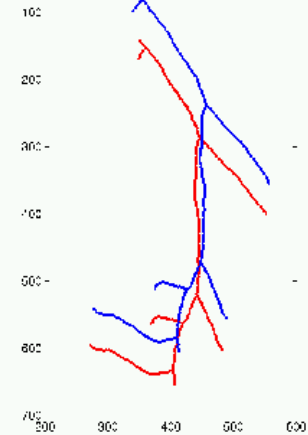
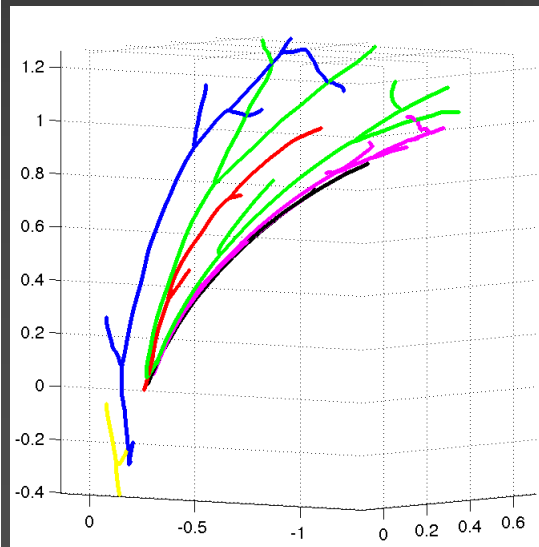
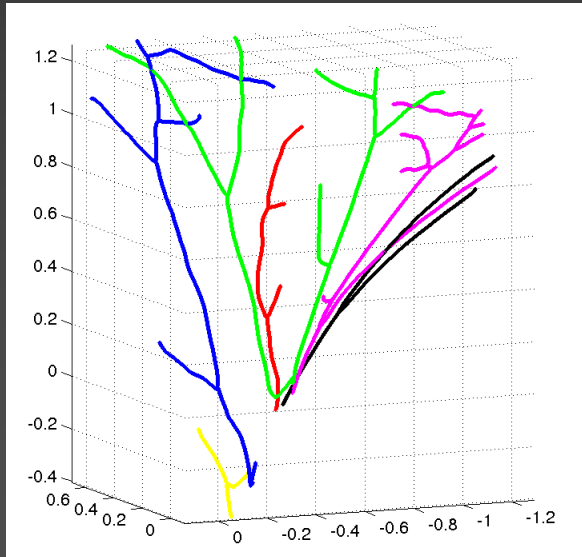
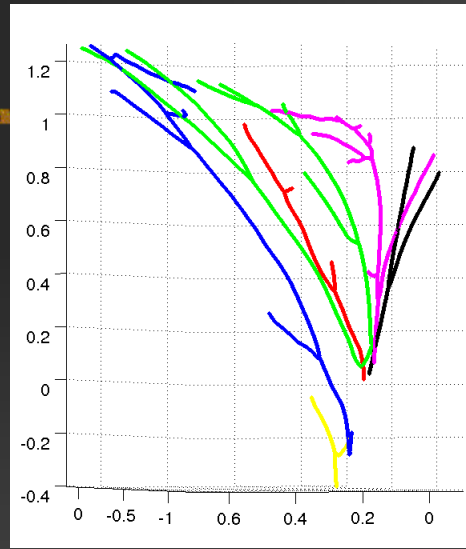
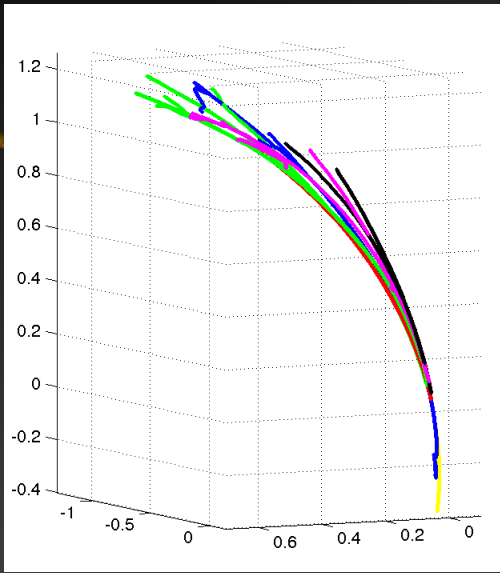


Figure 4: (a) Tree #2 from image I1, (b) Tree # 2 from image I2, and (c) the matched tree skeletons.

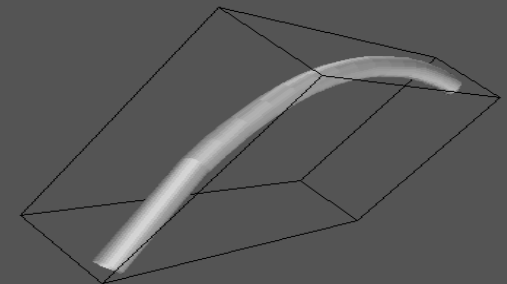
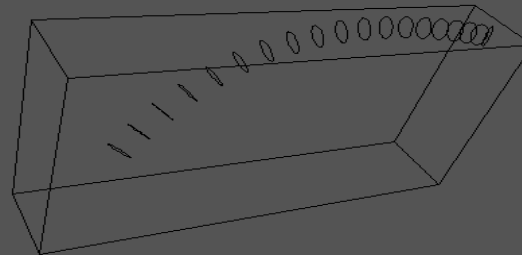
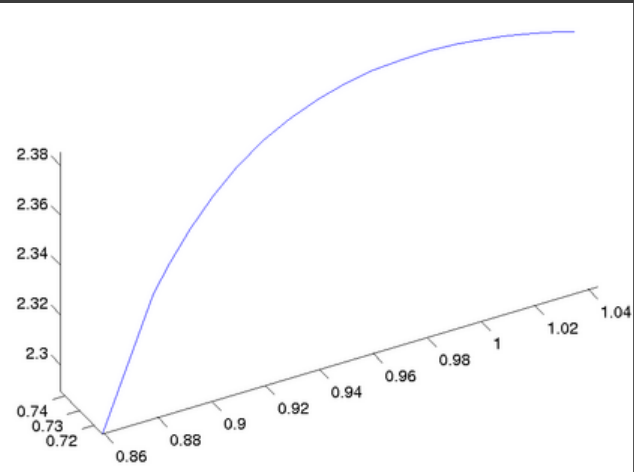
Triangulación de correspondencias



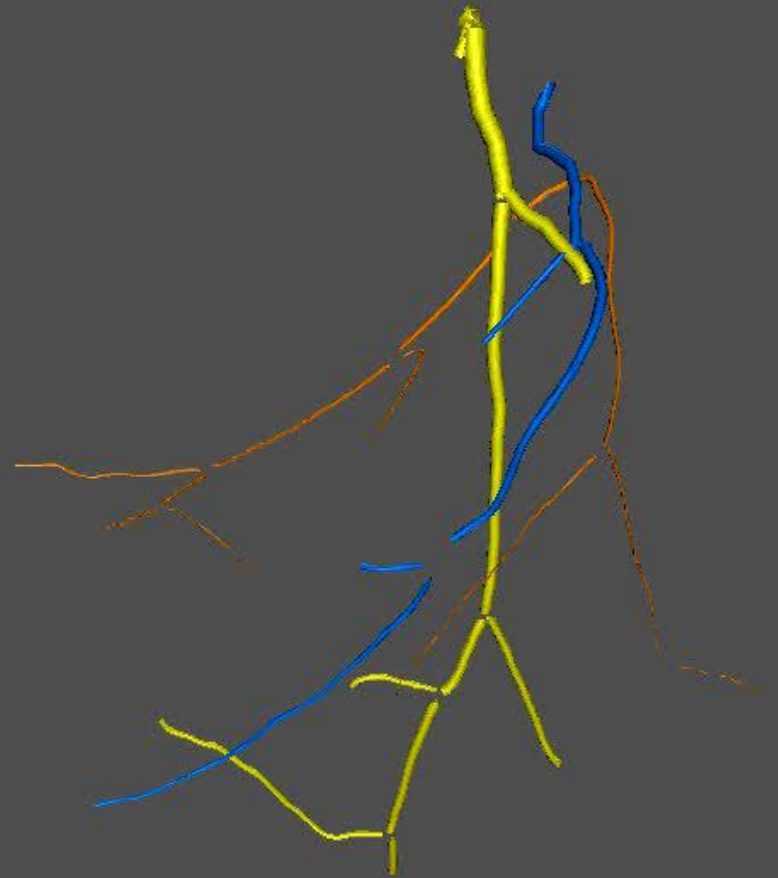
Reconstrucción
3D de
esqueletos de
árboles
sanguíneos

Reconstrucción 3D de superficies

Se utiliza el esqueleto el vaso sanguíneo en 3D como eje principal y utilizando la medida de diámetro tomado de la imagen 2D se obtiene la superficie por medio de la técnica de cilindros generalizados.



Modelo 3D



(M.E. Martinez-Perez and A. Espinosa-Romero, 2004)

Reconstrucción 3D

Escenas a reconstruir



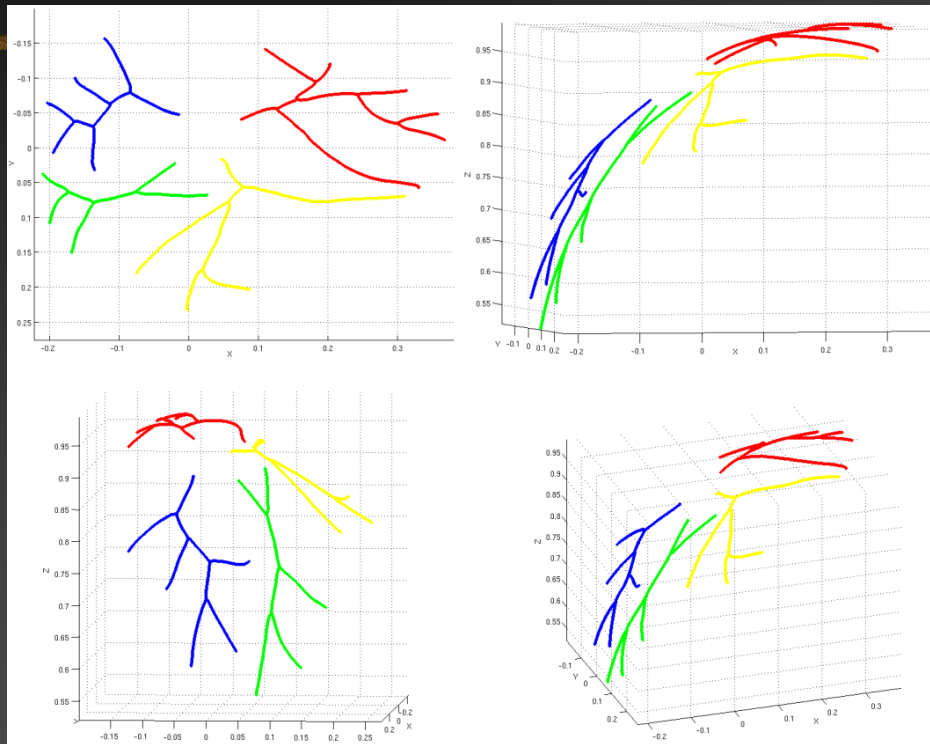
Maniquí



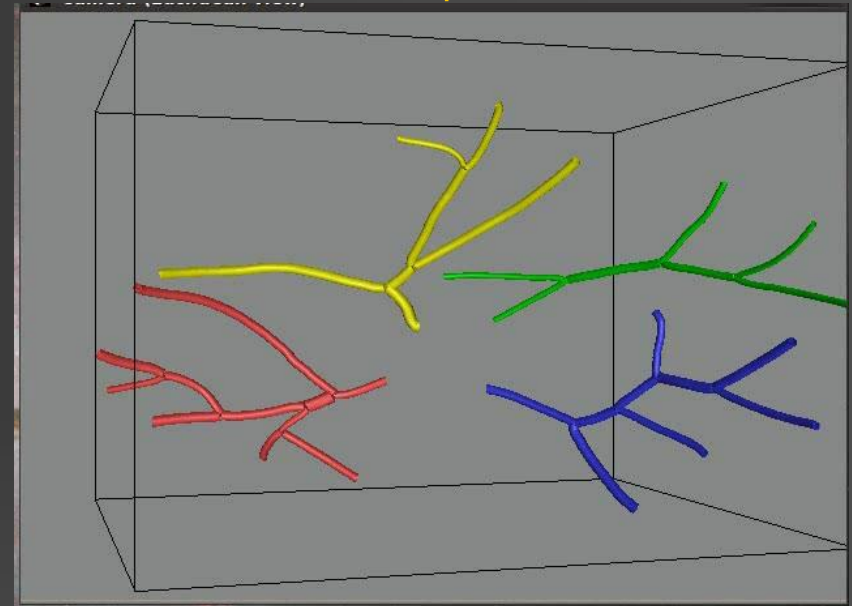
Retina real

Reconstrucción de Maniquí

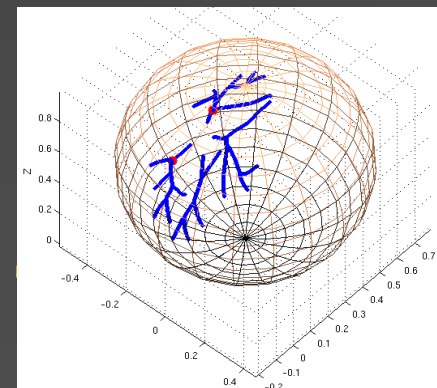
ESQUELETOS EN 3D



Maniquí

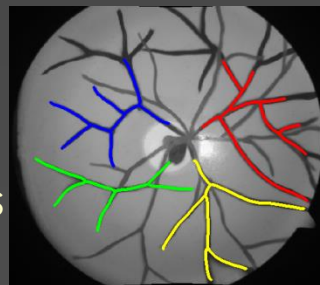


AJUSTE DE UNA ESFERA

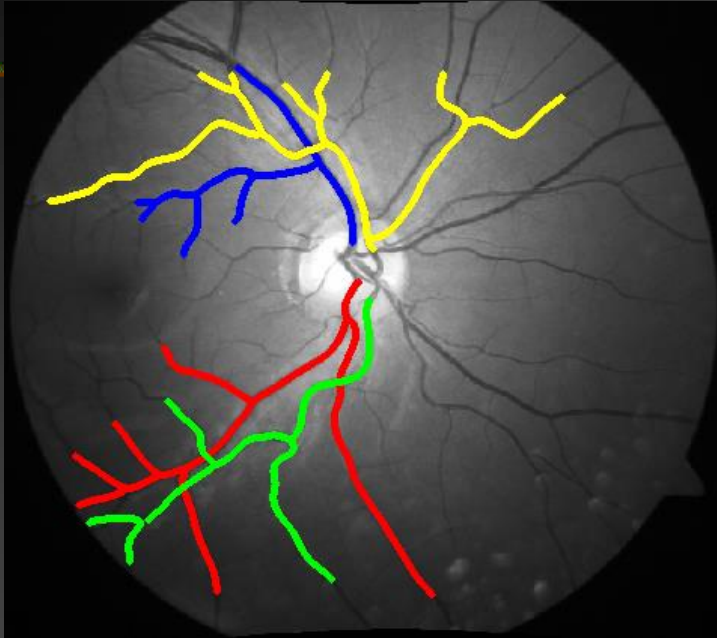


ERROR RELATIVO EN CURVATURA
3.79%

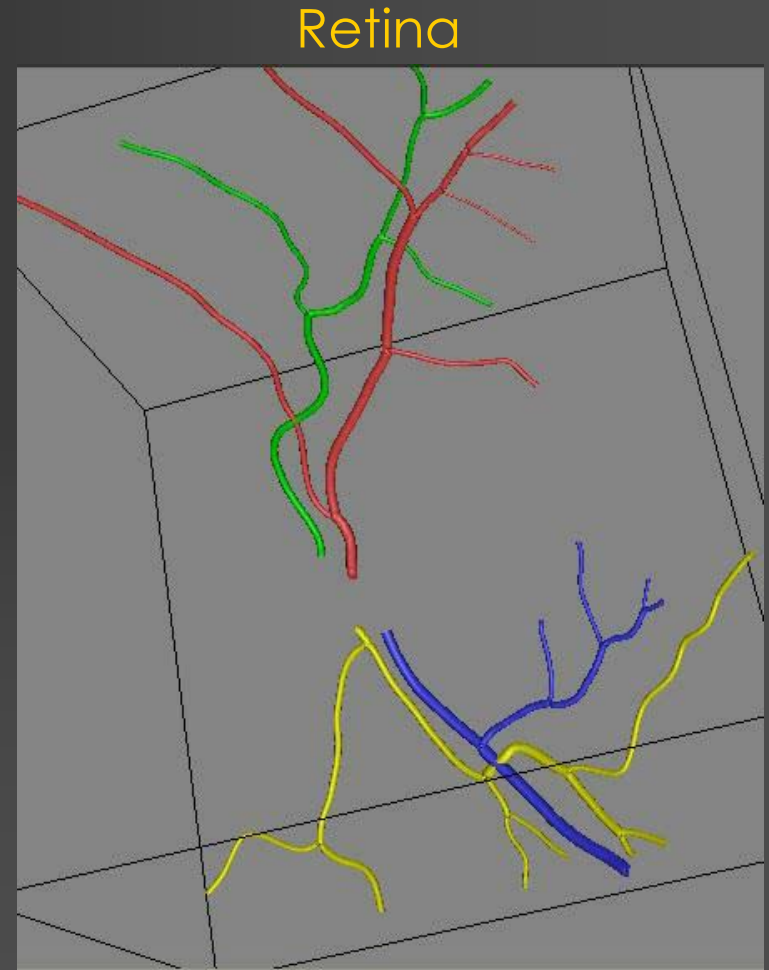
Esqueletos segmentados



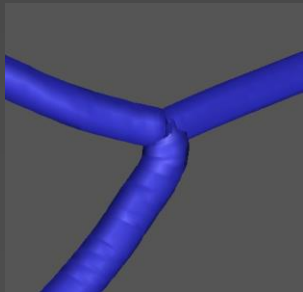
Reconstrucción de Retina real



Esqueletos segmentados



Bifurcaciones

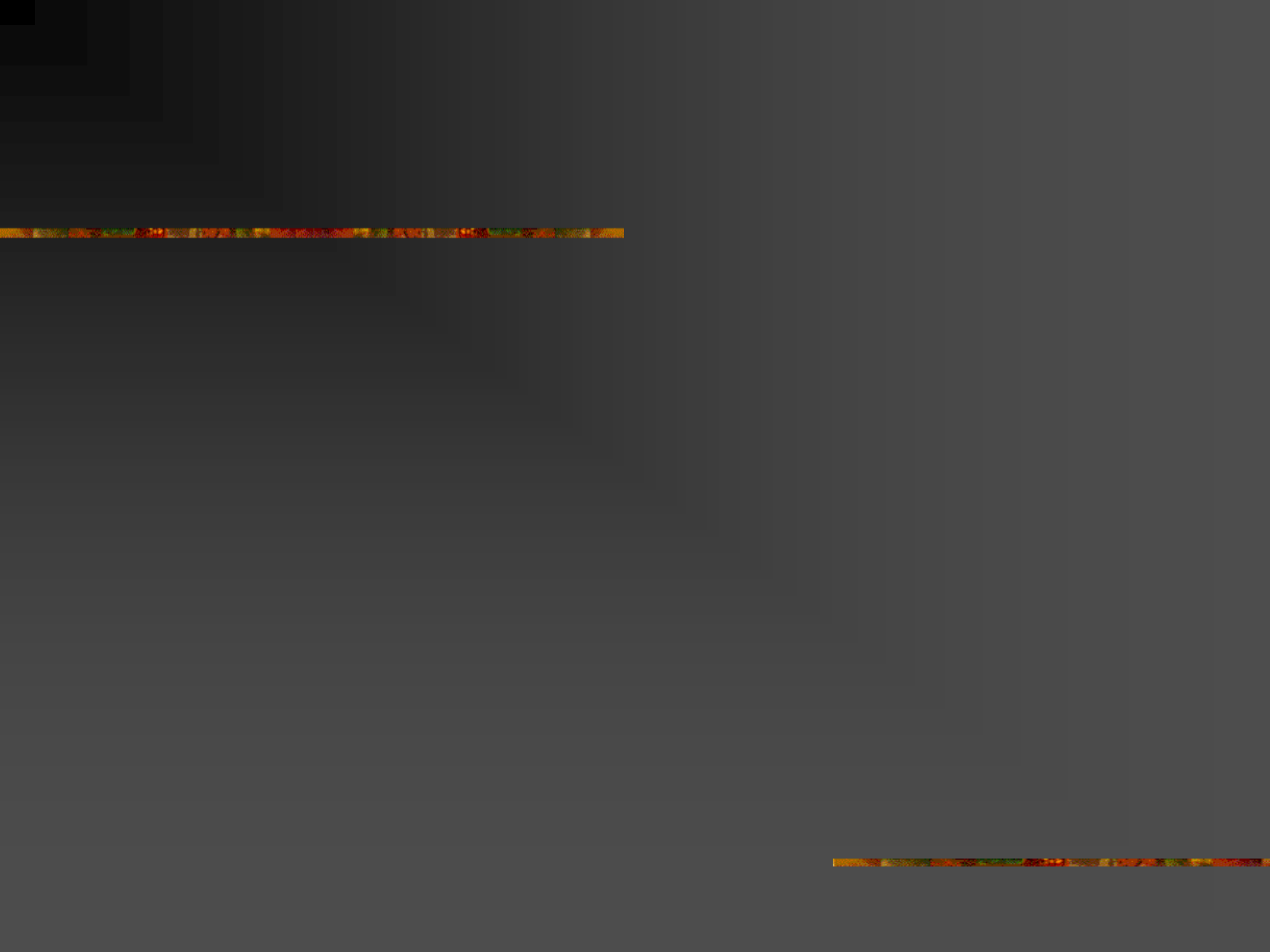




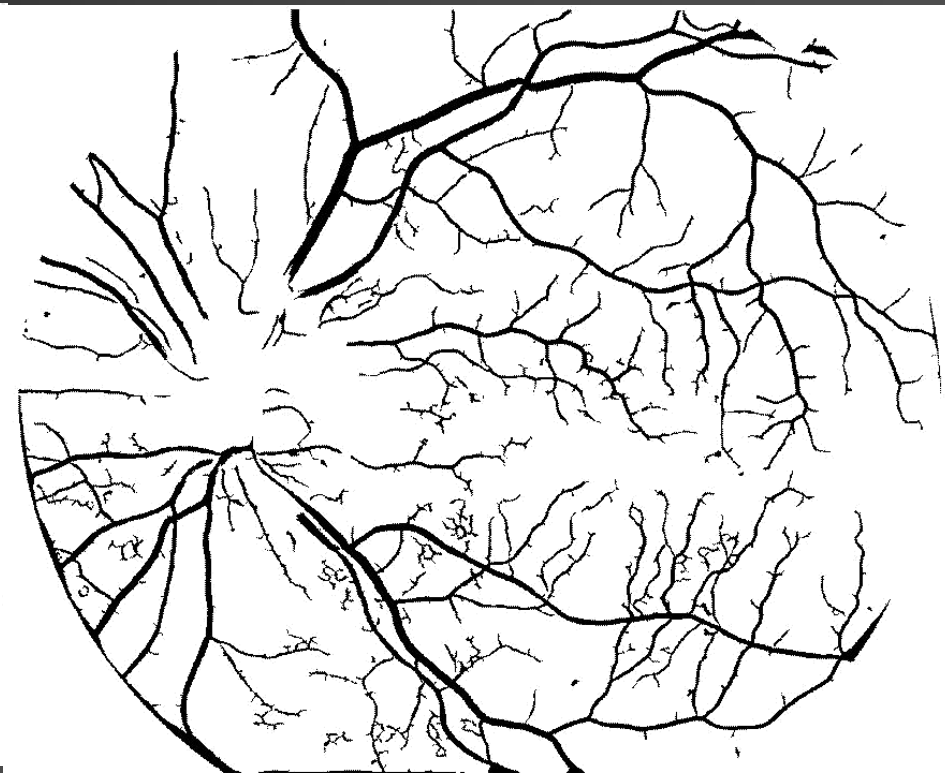
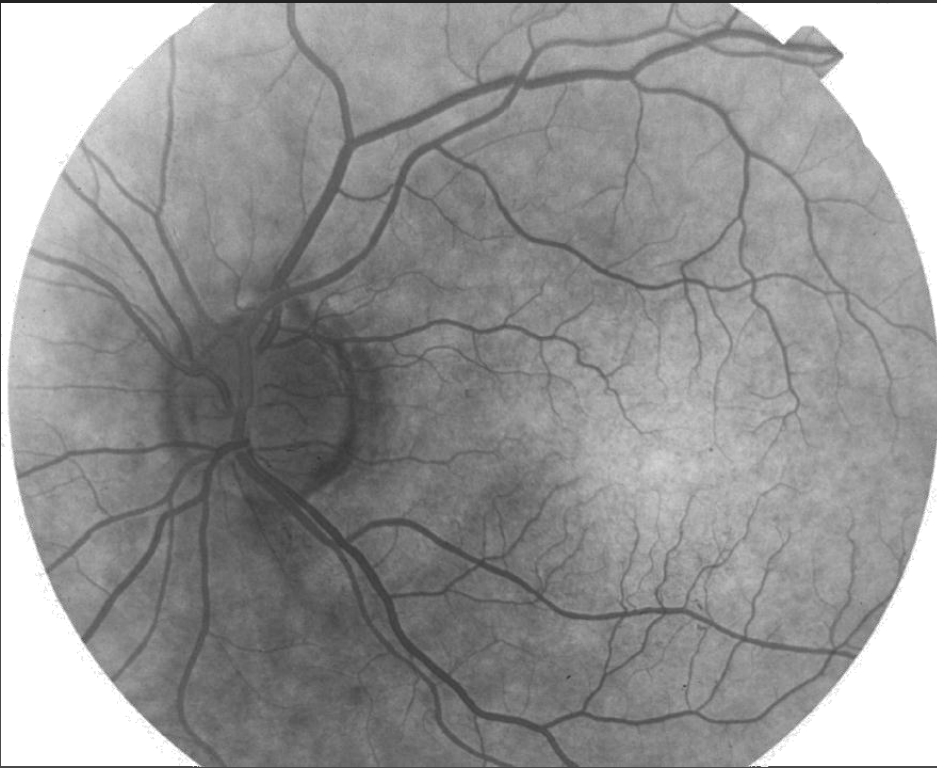
Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (IIMAS)

<http://www.iimas.unam.mx/>

<http://turing.iimas.unam.mx/~elena>



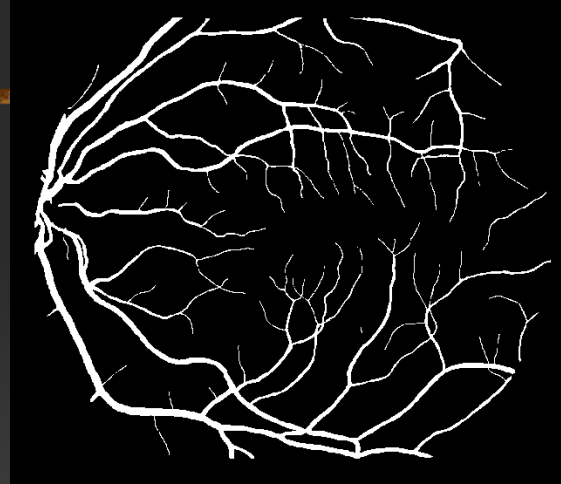
Fluorescencia (negativo)



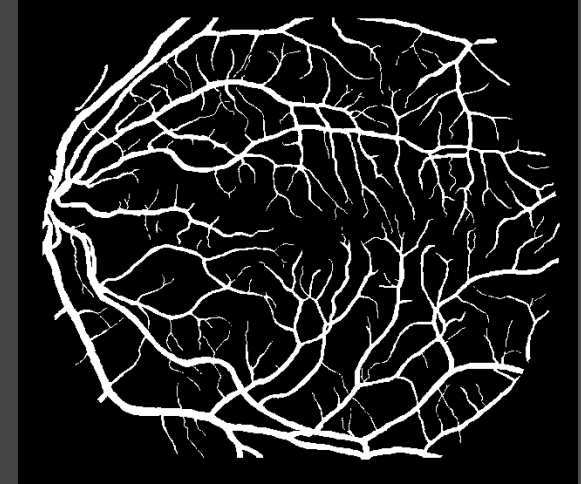
Validación con bases de datos públicas



Original

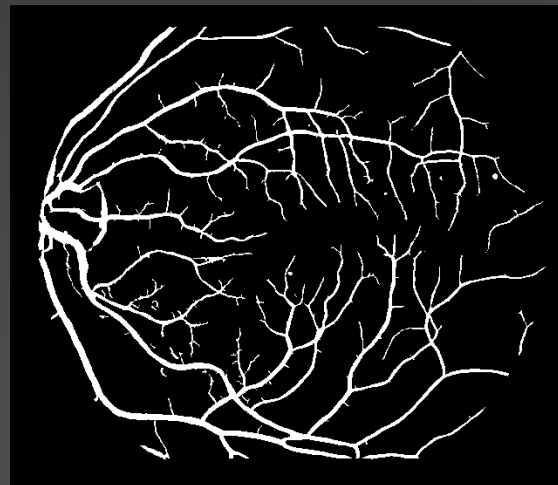


Etiquetado-manual 1



Etiquetado-manual 2

(Hoover et. al. 2000,
STARE)



RISA

Validación: vasos sanguíneos medidos con RISA



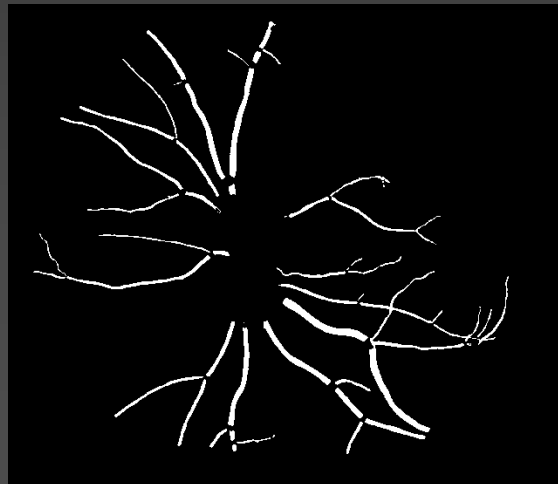
Original



Etiquetado-manual 1



Etiquetado-manual 2



RISA

RISA

Etiquetado-manual 1

Etiquetad-manual 2

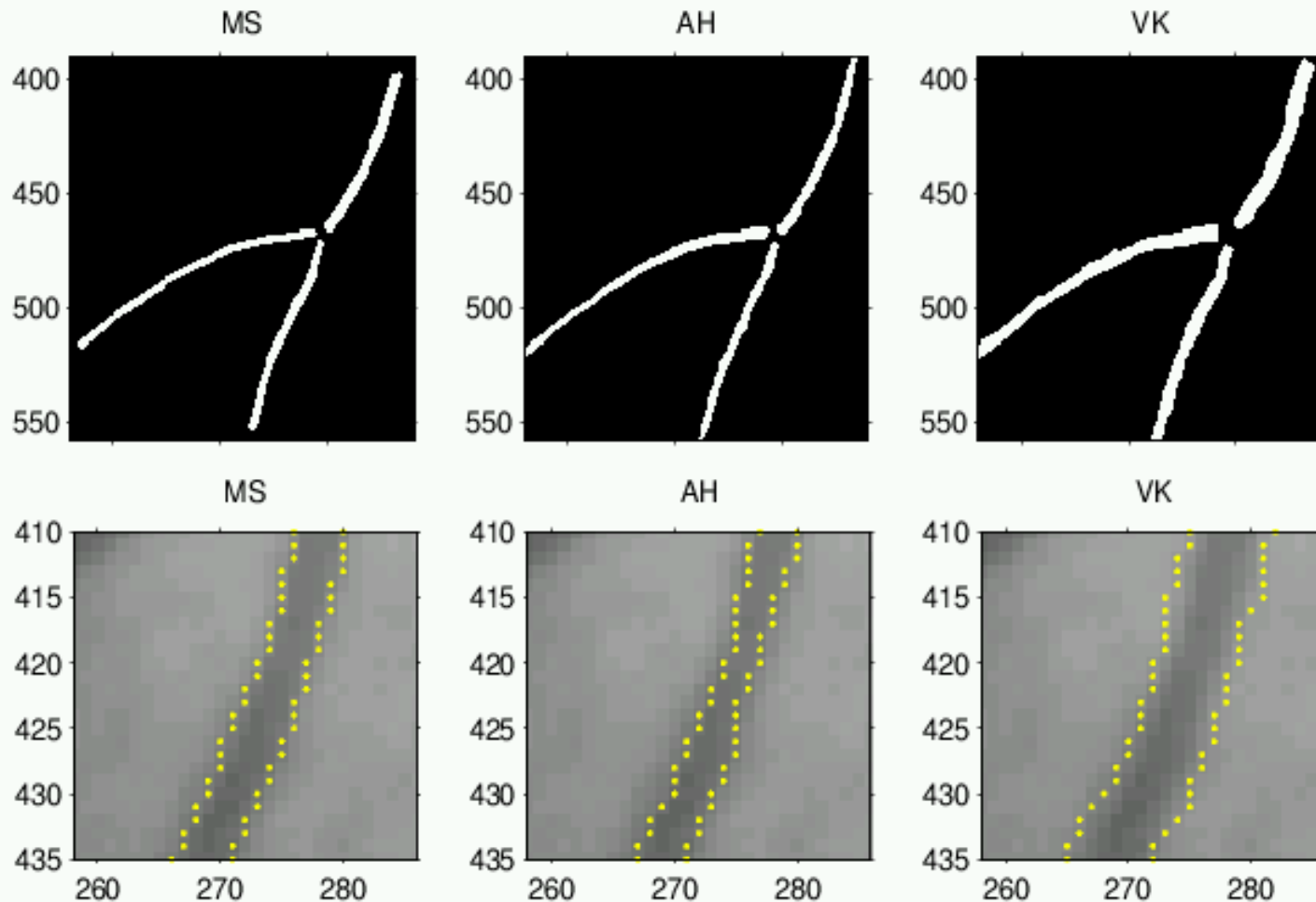


Fig. 15. Top row: branch extracted from bottom-center-left (about 6:35) of Figure 14 (a-c), for MS, AH and VK respectively. Bottom row: the parent vessel zoomed and borders over-imposed on the original image with yellow dots, for MS, AH and VK respectively.

Mean:
5.71

Diámetros:

5.13

4.08

7.34

(píxeles)

Escalas de la Retinopatía Diabética

ETDRS

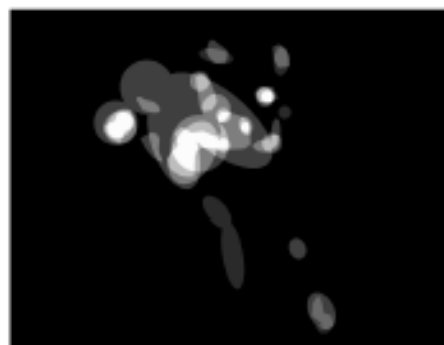
EARLY TREATMENT DIABETIC RETINOPATHY STUDY RESEARCH GROUP



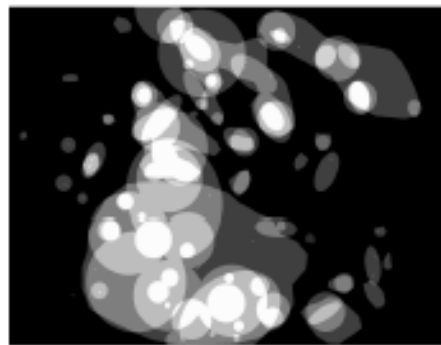
**AMERICAN ACADEMY
OF OPHTHALMOLOGY**

The Eye M.D. Association

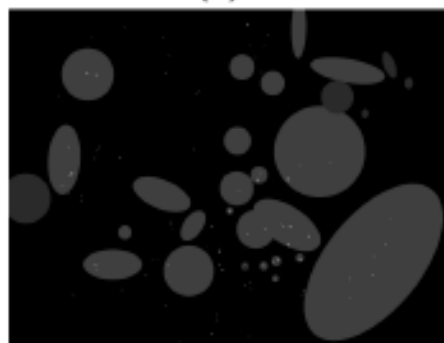
DIARETDB1 - GROUNDTRUTH



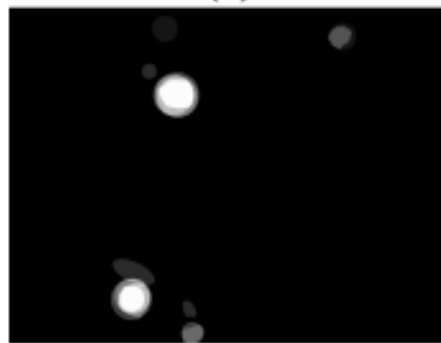
(a)



(b)



(c)



(d)

(a) Hard Exudates, (b) Hemorrhages, (c) Red Small Dots, (d) Soft Exudates



Evaluación

Resultado de evaluación en imagen 13 de DIARETDB1. Los exudados encontrados por el sistema se encuentran completamente contenidos en el área propuesta por los expertos.



(a)



(b)



(c)

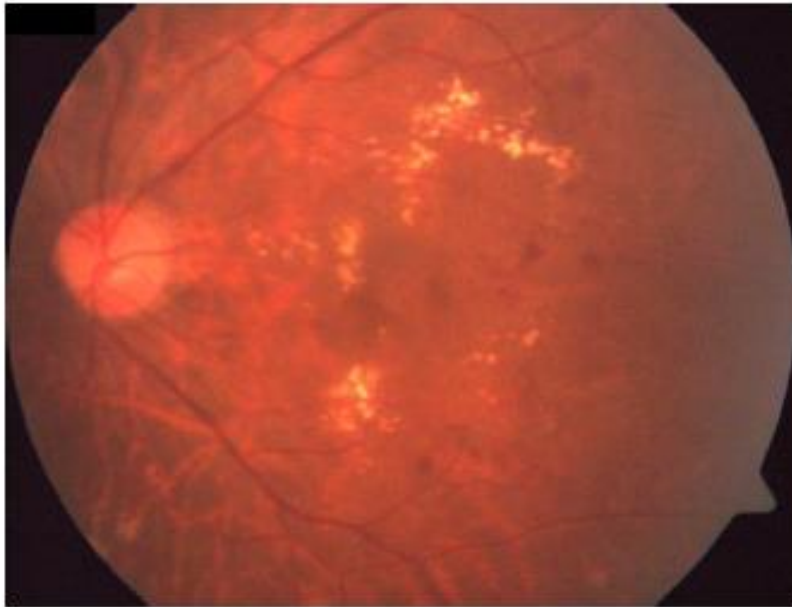


(d)

(a) Imagen Original. (b) Exudados Duros encontrados por el experto 1. (c) Exudados Duros encontrados por el experto 2. (d) Exudados Duros encontrados por el sistema.



Ground Truth

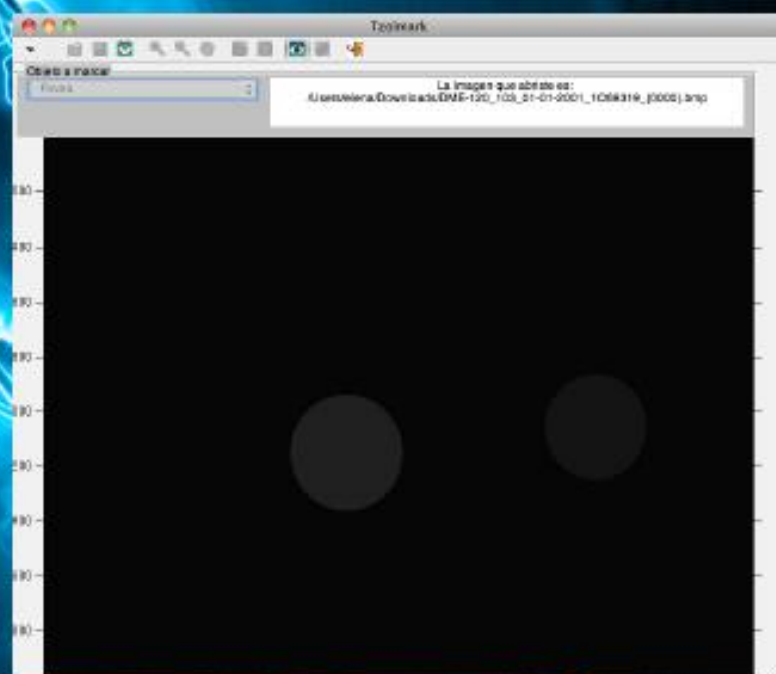
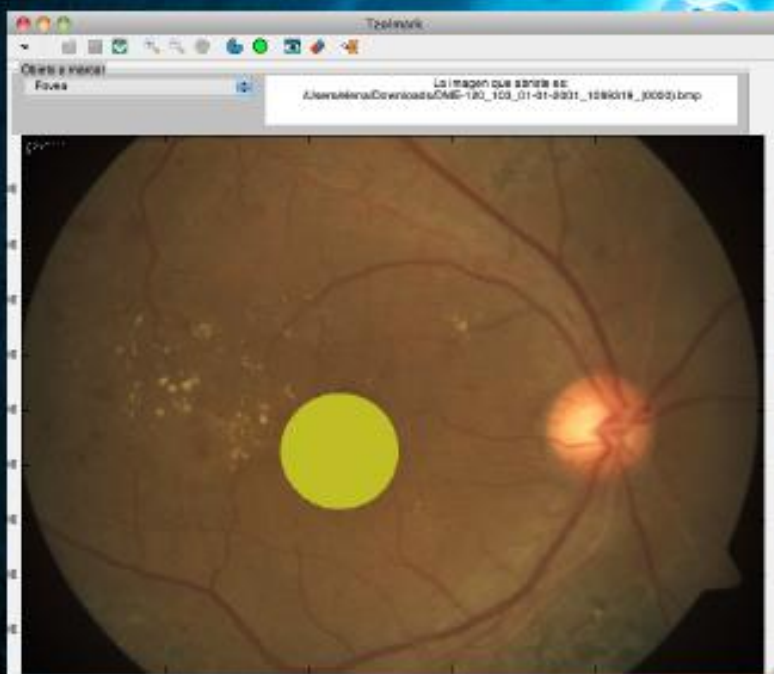


Original Image

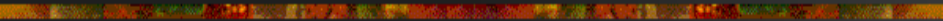


expert Delineation

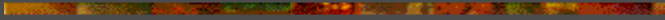
Base de Datos



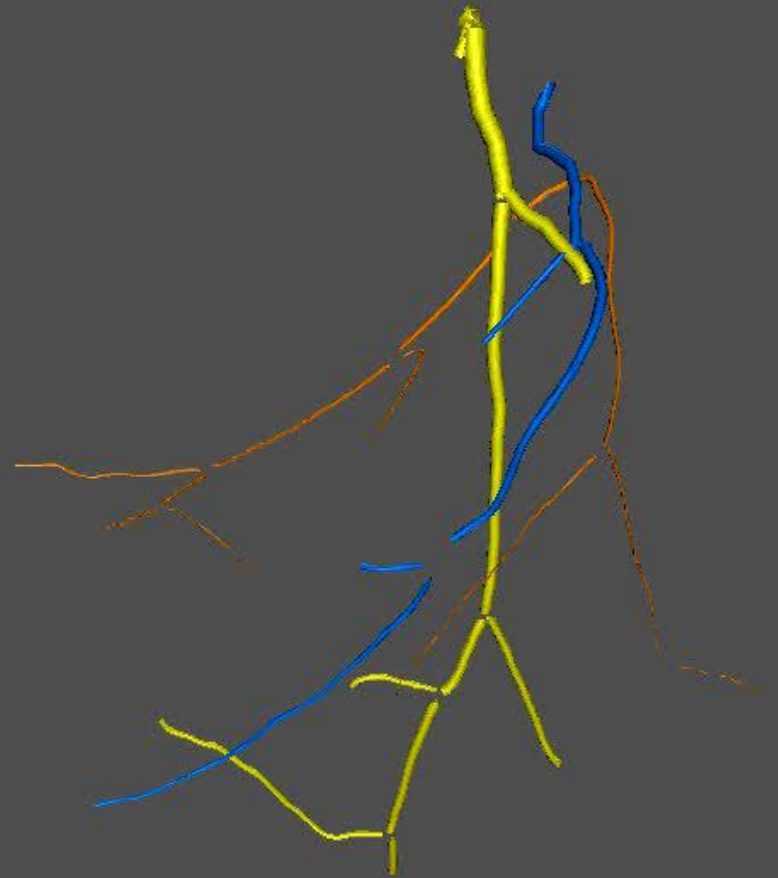
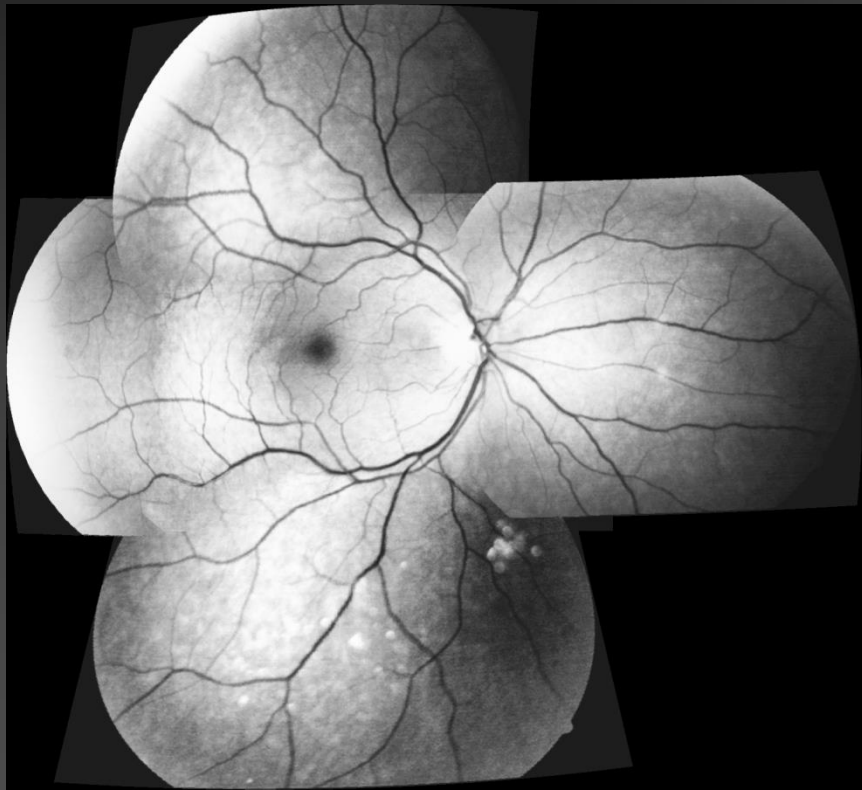
En total se han obtenido 193 imágenes y se han marcado 24 con disco óptico y mácula.



Proyecto nuevo:
Generación de Mosaicos de Vasos
Sanguíneos en 3D



Generación de Mosaico en 3D

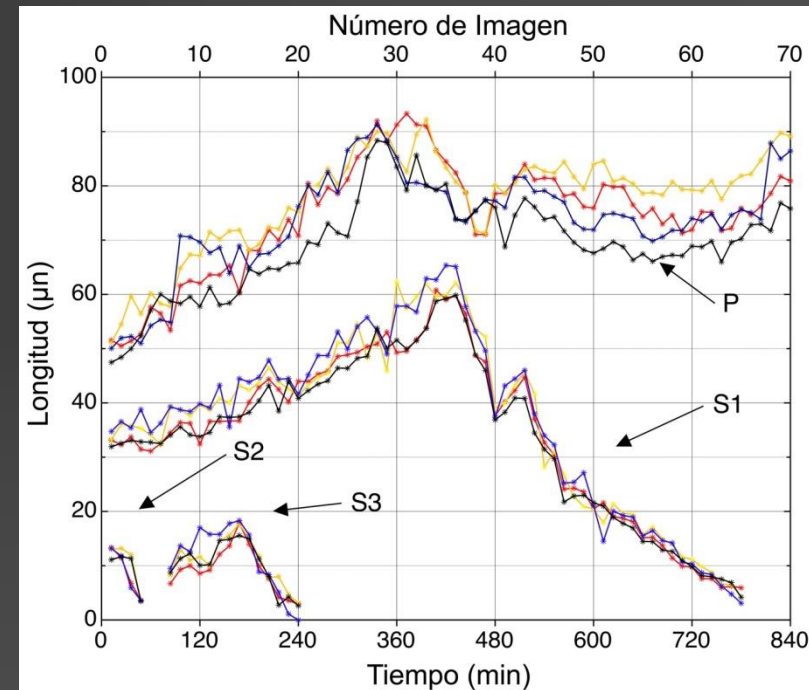
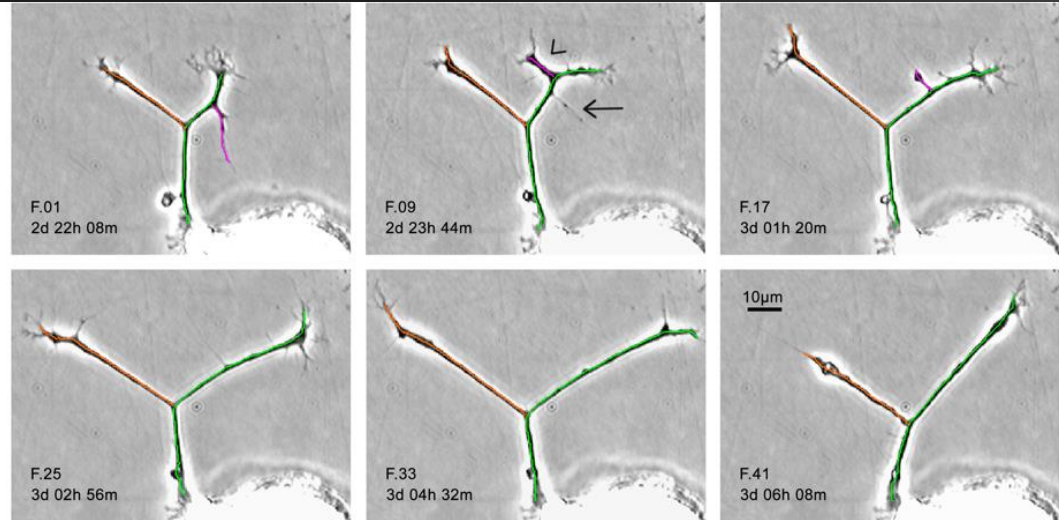




Otras estructuras que se bifurcan



Medición de crecimiento neuronal en secuencias de imágenes



Name	Type	Frame	Length	Color
S-3	Secondary	15	15,464	Purple
P-1	Primary	15	68,755	Green
S-1	Secondary	15	43,327	Orange
S-3	Secondary	16	10,622	Purple
P-1	Primary	16	69,825	Green
S-1	Secondary	16	44,396	Orange
S-3	Secondary	17	8,118	Purple
P-1	Primary	17	73,817	Green
S-1	Secondary	17	47,297	Orange
S-3	Secondary	18	8,008	Purple
P-1	Primary	18	72,968	Green
S-1	Secondary	18	46,017	Orange
S-3	Secondary	19	5,007	Purple
P-1	Primary	19	76,595	Green
S-1	Secondary	19	42,852	Orange

(Publicado en: *30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. Vancouver, Canada. August, 2008. pp. 1196-1199.)