
Optimización angular para metrología polarimétrica: buscando el mayor contraste en medidas polarimétricas en tejido biológico

Mónica Canabal Carbia, Isaac Macias Guerra, Cara Rodriguez, Angel Lizana y Juan Campos

Grupo de Óptica, Departamento de Física, Universidad Autónoma de Barcelona

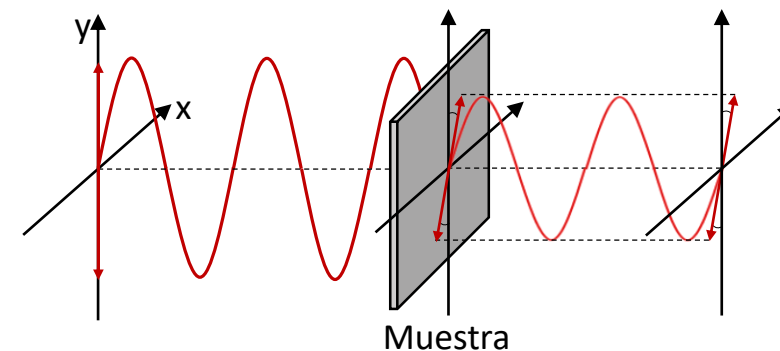
monica.canabal@uab.cat

Índice

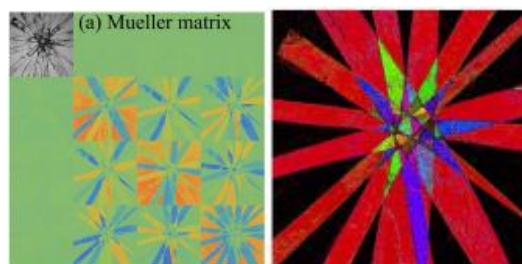
- Introducción: Polarimetría
- Formalismo matemático
 - Mueller-Stokes
 - Observables Polarimétricos
- Montaje Experimental: Polarímetro Completo de Imagen de Mueller
 - Estudio angular
- Metrología de Polarización y Análisis
- Resultados
 - Muestra 1: pulmón de cordero *ex-vivo* (*tejido pleural, tejido vascular*)
 - Muestra 2: pulmón de cordero *ex-vivo* (*músculo, tejido cartilaginoso*)
- Conclusiones

Polarimetría

- Técnica no invasiva
- Sin necesidad de contacto
- Mide la polarización de la luz y como varía esta al interacciona con una muestra
- Muy útil para mejora de imagen en un gran número de aplicaciones:

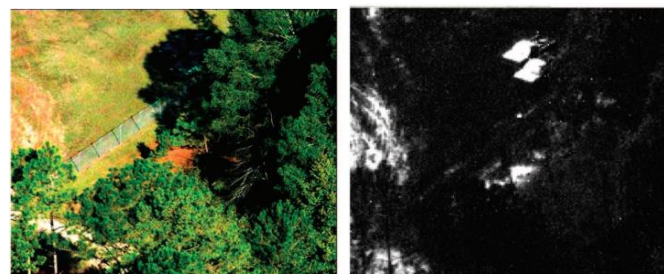


Caracterización de materiales



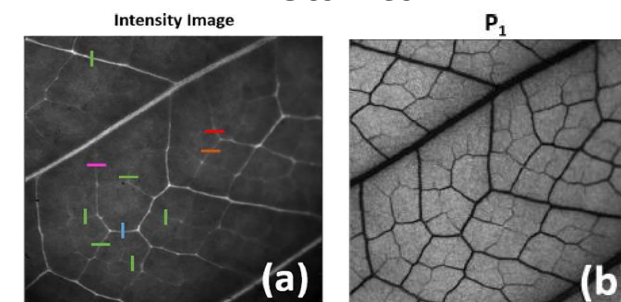
P. Li, D. Lv, H. He, and H. Ma. *Separating azimuthal orientation dependence in polarization measurements of anisotropic media*, Opt. Express **26**(4), 3791 (2018).

Detección remota



J. S. Tyo, D. L. Goldstein, D. B. Chenault, and J. A. Shaw. *Review of passive imaging polarimetry for remote sensing applications*, Appl. Opt. **45**(22), 5453–5469 (2006).

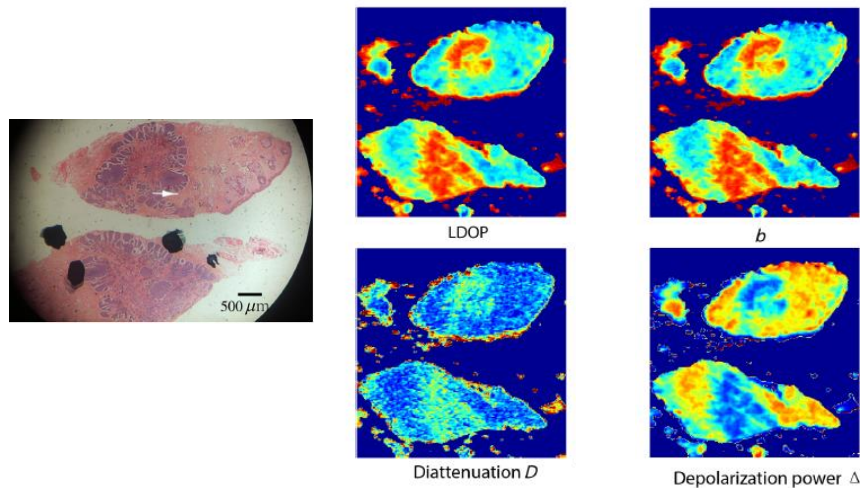
Botánica



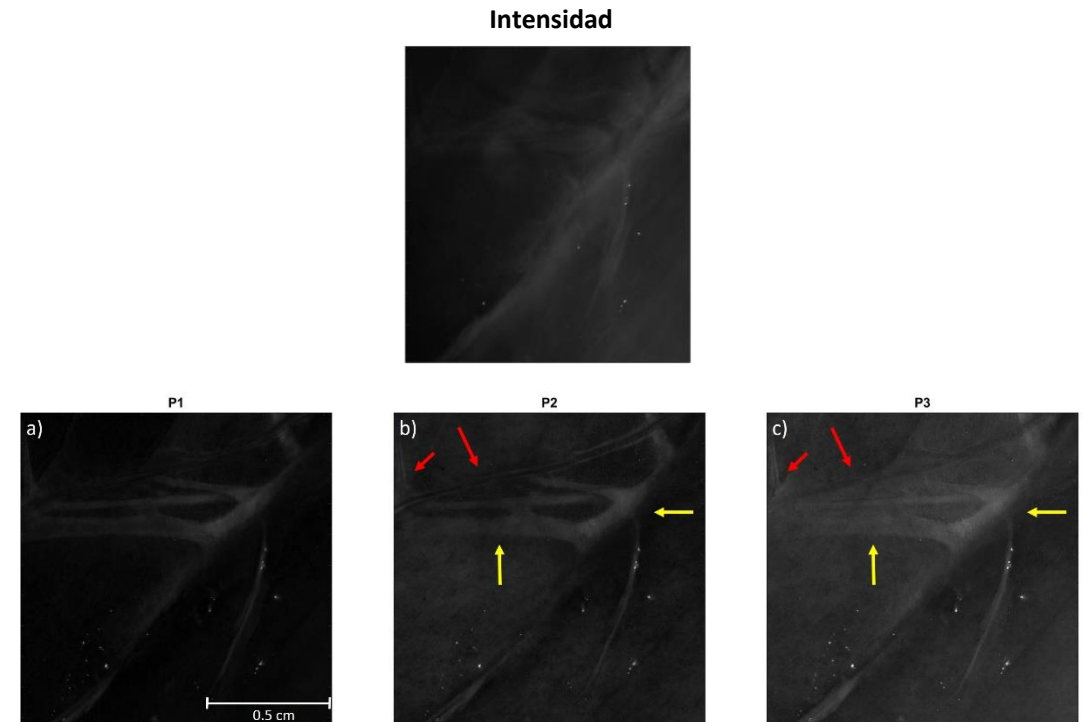
Van Eckhout A, Garcia-Caurel E, Garnatje T, Durfort M, Escalera JC, Vidal J, et al. (2019) "Depolarizing metrics for plant samples imaging." *PLoS ONE* **14**(3): e0213909.

Polarimetría y biomedicina

- Técnica muy útil en el campo de la biomedicina
- Detección de patologías
- Aumentar contraste entre diferentes estructuras



E. Du, H. He, N. Zeng, M. Sun, Y. Guo, J. Wu, S. Liu, and H. Ma, "Mueller matrix polarimetry for differentiating characteristic features of cancerous tissues," *J. biomedical optics* 19, 076013 (2014)



A. Van Eeckhout, A. Lizana, E. Garcia-Caurel, J.J. Gil, A. Sansa, C. Rodríguez, I. Estévez, E. González, J.C. Escalera, I. Moreno, and J Campos. "Polarimetric imaging of biological tissues based on the indices of polarimetric purity". *Journal of Biophotonics*; (2017).

Formalismo Mueller-Stokes

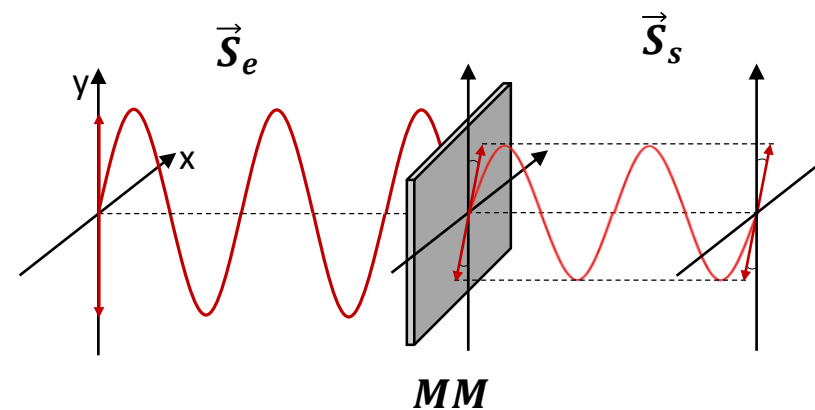
- Un haz de luz polarizada se describe matemáticamente mediante un vector de Stokes (\vec{S}).

$$\vec{S} = \begin{pmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_H + I_V \\ I_H - I_V \\ I_{45} - I_{135} \\ I_R - I_L \end{pmatrix}$$

- Las propiedades polarimétricas de una muestra se describen mediante una Matriz de Mueller (MM), función de transferencia del sistema.

$$MM = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} \end{pmatrix}$$

$$\vec{S}_s = MM \cdot \vec{S}_e$$



Observables Polarimétricos

Matriz de Mueller

$$M = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} \end{pmatrix}$$



Métricas de dicroísmo:

- Diatenuación y Polarizancia: P, D

Métricas de retardo:

- Retardo total: R
- Retardo lineal y Retardo Circular: δ, ψ

Métricas de despolarización:

- Índices de Pureza Polarimétrica (IPP): P_1, P_2, P_3
- Índice de Despolarización: P_Δ

Observables Polarimétricos

Métricas de dicroísmo:

P, D

P : capacidad una muestra de polarizar un haz incidente

D : dependencia de la transmitancia del material en función de la polarización incidente.

$$0 \leq P \leq 1$$

$$0 \leq D \leq 1$$

Métricas de retardo:

R, δ, ψ

R : cambio de fase de la luz introducido por el grado de anisotropía del medio.

δ : retardo lineal.

ψ : retardo circular.

$$0 \leq R \leq \pi$$

$$-\frac{\pi}{2} \leq \delta \leq \frac{\pi}{2}$$

$$-\pi \leq \psi \leq \pi$$

Métricas de despolarización:

P_1, P_2, P_3, P_Δ

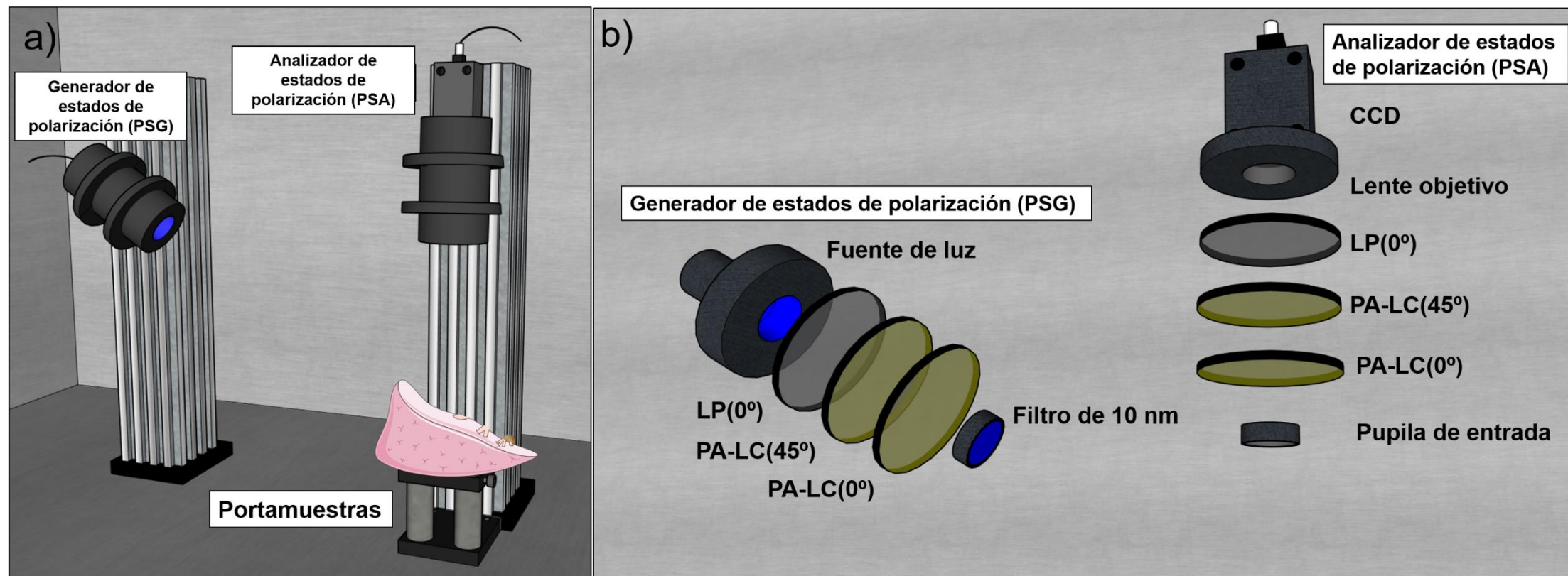
P_Δ : despolarización global.

IPPs: capacidad de una muestra para inducir aleatoriedad en los estados de polarización con los que interacciona.

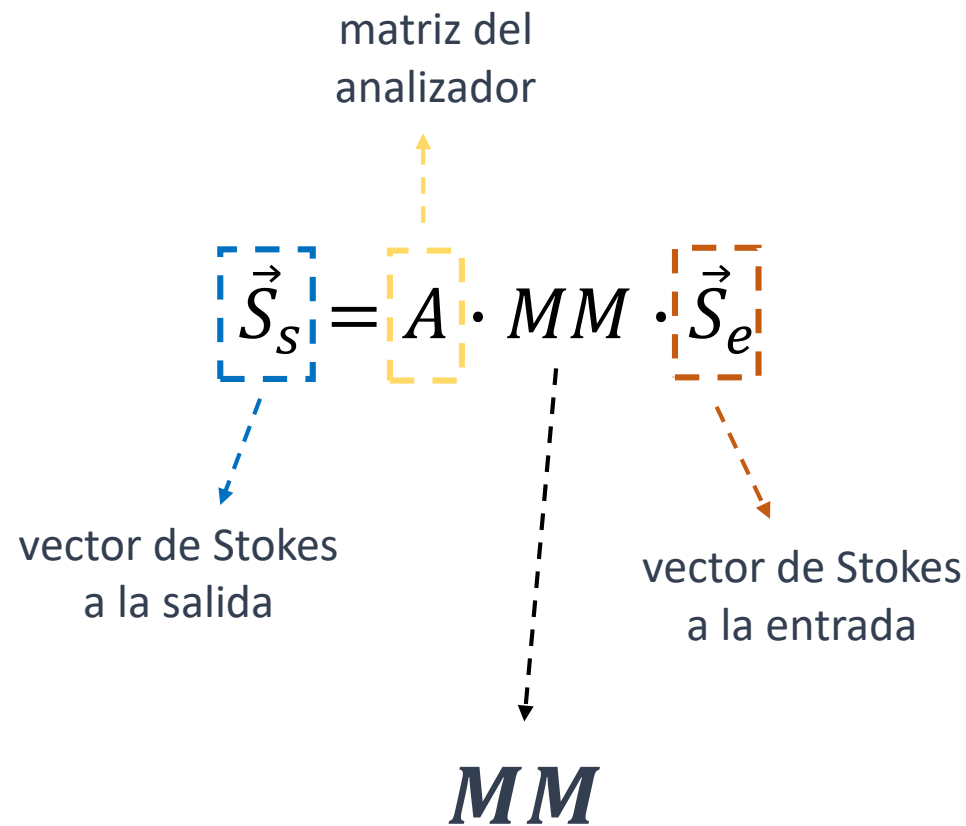
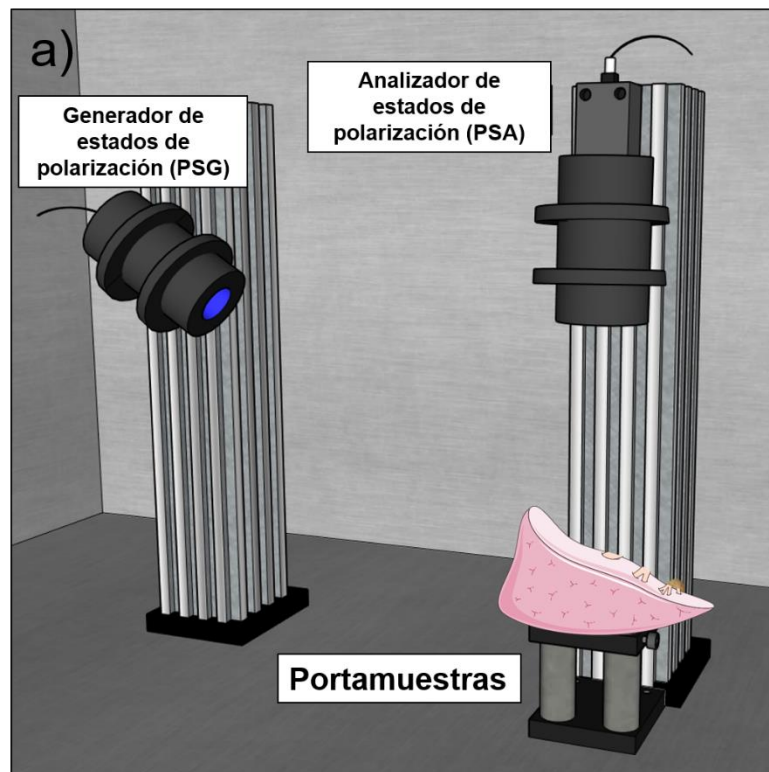
$$0 \leq P_1 \leq P_2 \leq P_3 \leq 1$$

$$0 \leq P_\Delta \leq 1$$

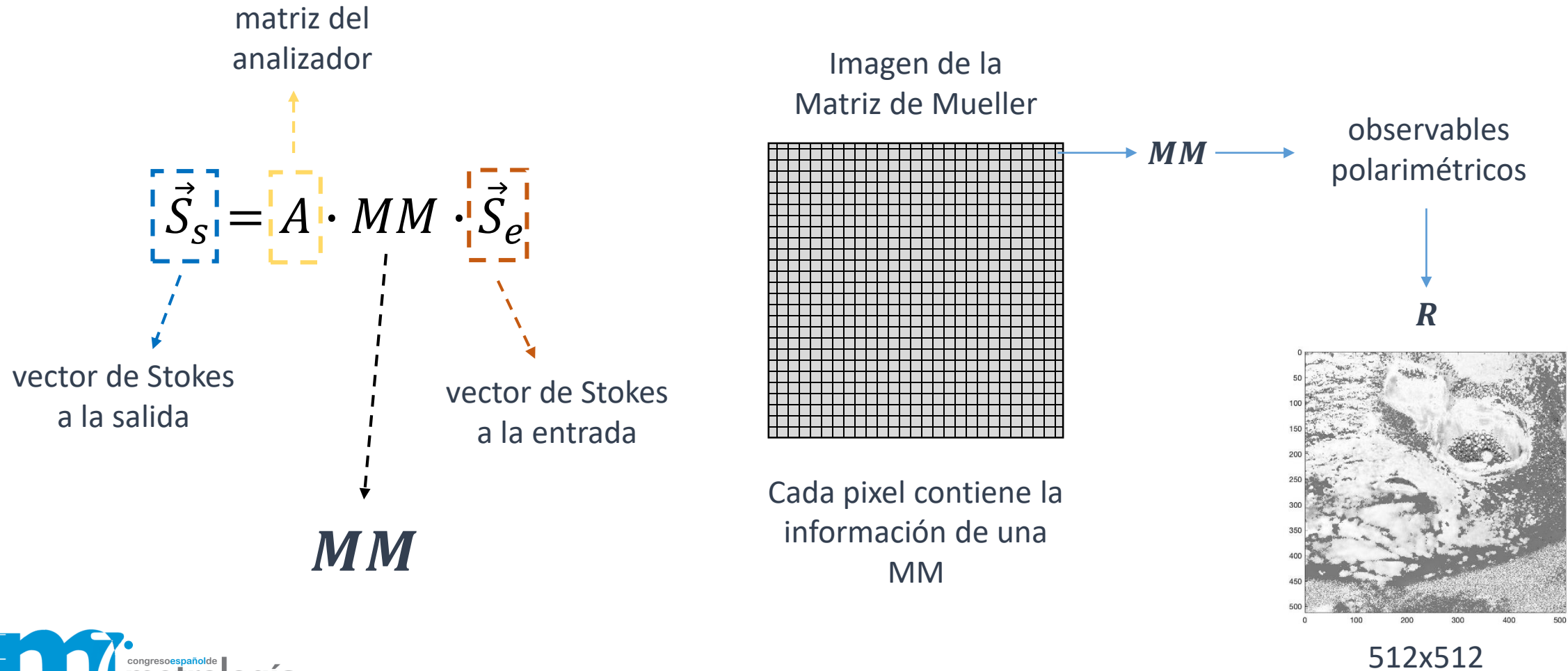
Polarímetro de Mueller de Imagen Completa



Polarímetro de Mueller de Imagen Completa

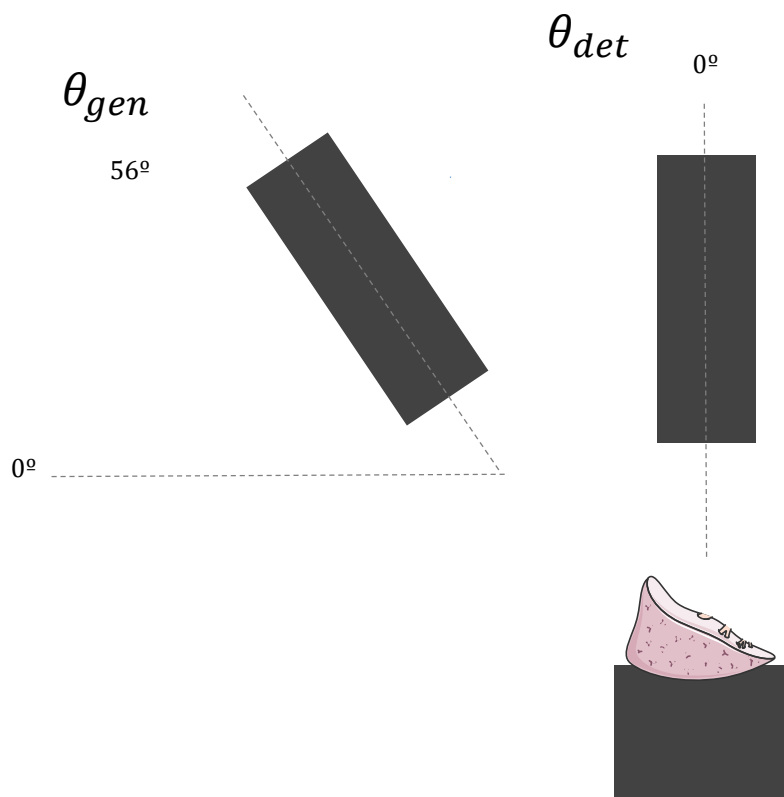


Metrología de Polarización y Análisis

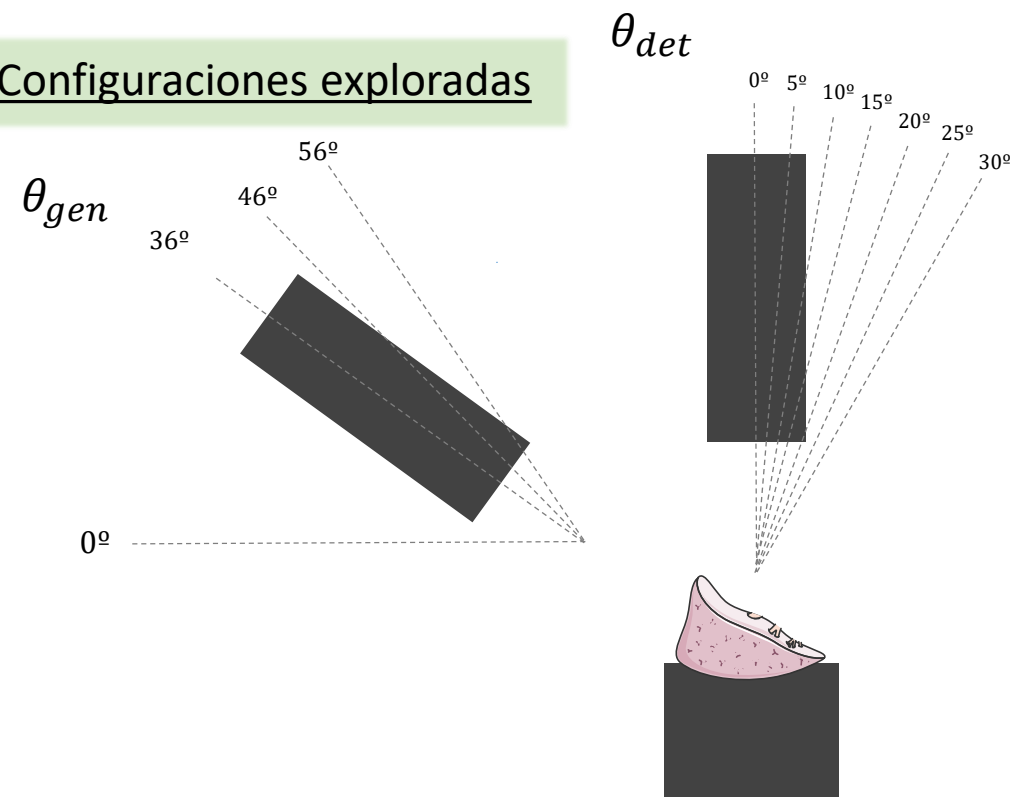


Metrología de Polarización y Análisis

Configuración estándar



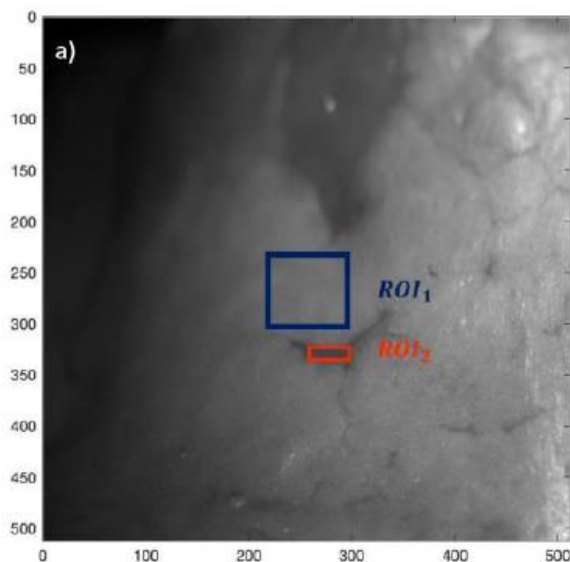
Configuraciones exploradas



θ_{gen}	θ_{det}							
36°	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	
46°	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	
56°	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	

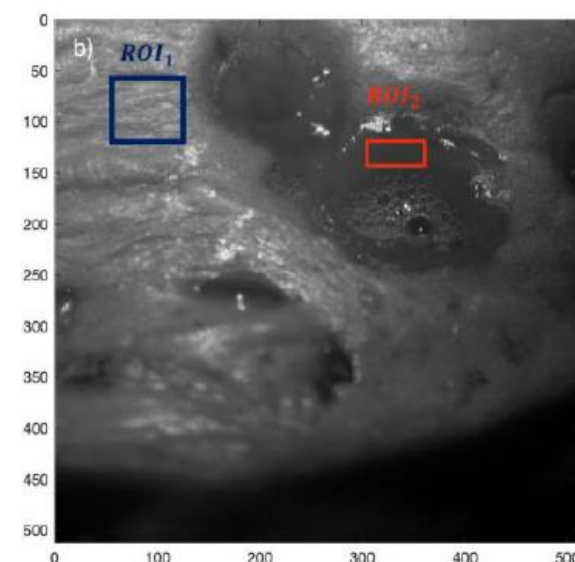
Metrología de Polarización y Análisis

Muestra A: pulmón de cordero *ex-vivo*



ROI_1 : tejido pleural
 ROI_2 : tejido vascular

Muestra B: pulmón de cordero *ex-vivo*



ROI_1 : tejido muscular
 ROI_2 : tejido conectivo/cartílago

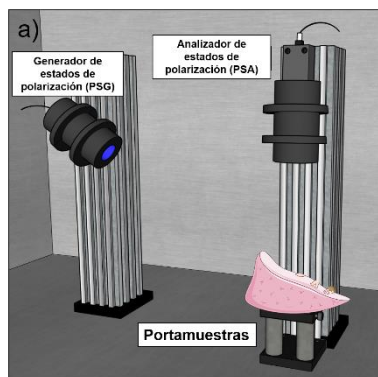
Metrología de Polarización y Análisis

Toma de medidas
angulares

Matriz de Mueller
de las muestras

Métricas
polarimétricas

Elección
de ROIs

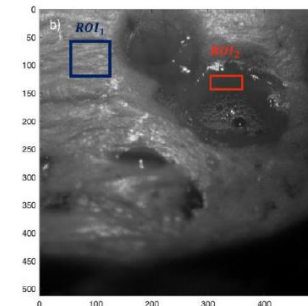


$$MM = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} \end{pmatrix}$$

P_1, P_2, P_3, P_Δ

P, D

R, δ, ψ



Cálculo de
Visibilidades

Metrología de Polarización y Análisis

Para cada métrica:

$I_1 = \bar{I}_{ROI1}$ → Media de intensidades (valores de los observables polarimétricos) de los píxeles de cada imagen dentro de la región de interés 1

$I_2 = \bar{I}_{ROI2}$ → Media de intensidades de los píxeles de cada imagen dentro de la región de interés 2

$$V = \frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1}; \quad 0 \leq V \leq 1$$

Métricas de despolarización:

P_1, P_2, P_3, P_Δ

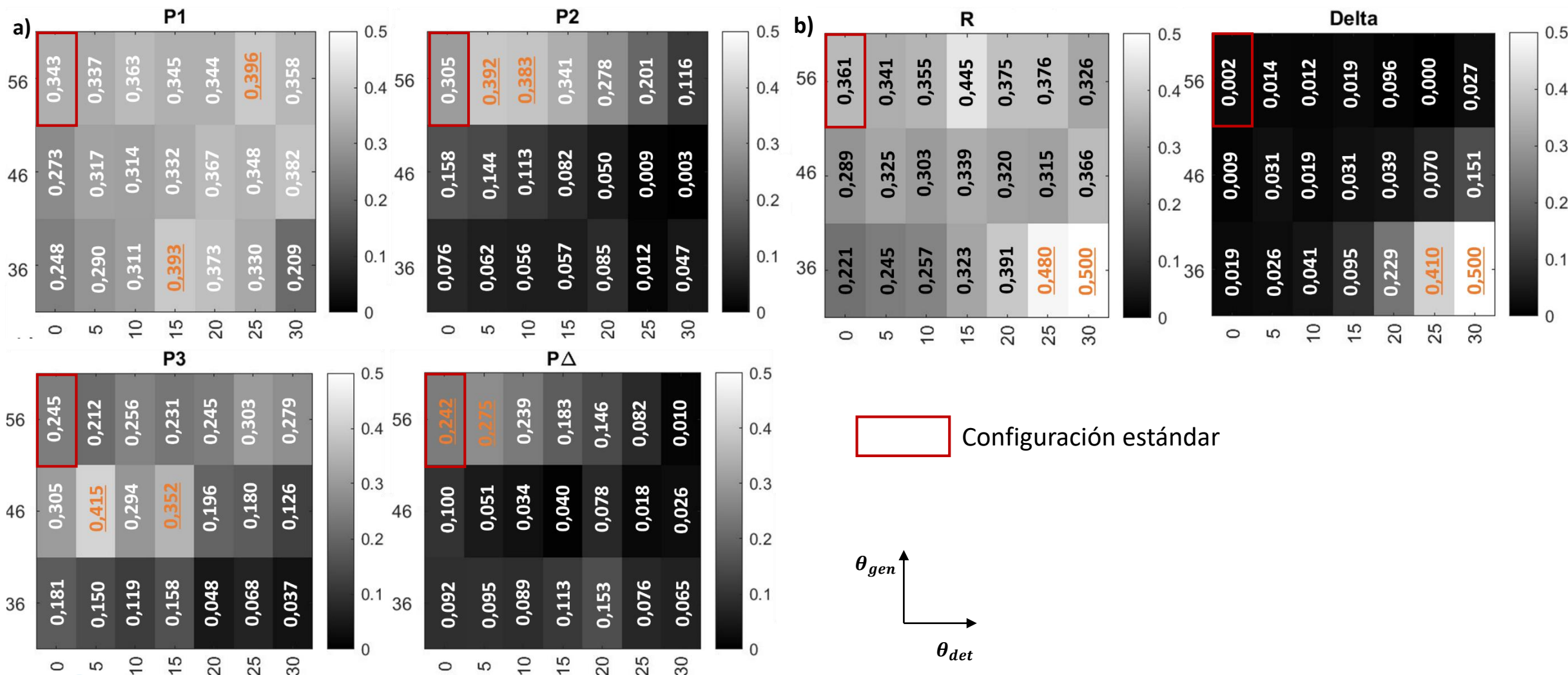
Métricas de dicroísmo:

~~P, D~~

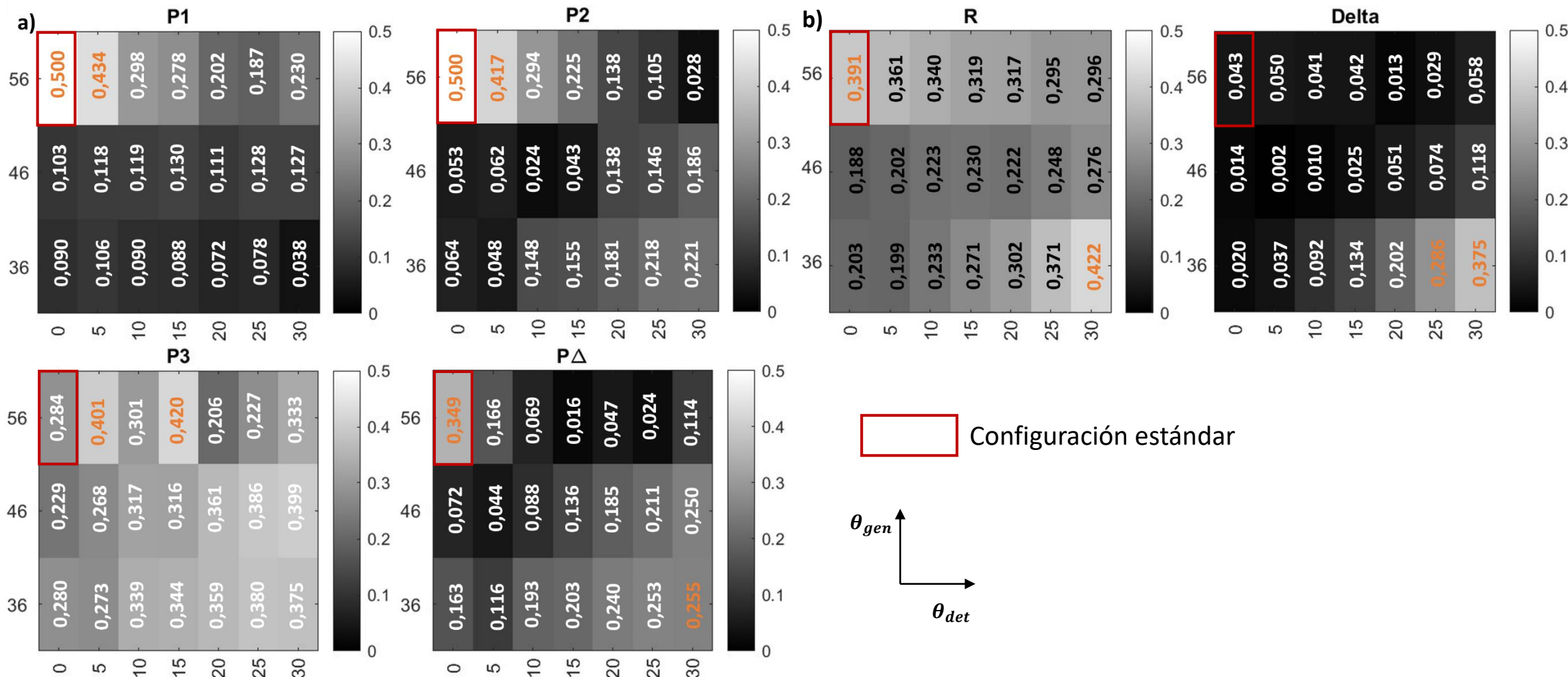
Métricas de retardo:

R, δ, ψ

Resultados: Visibilidad Muestra A






Resultados: Visibilidad Muestra B



Resultados: Mejora de la Visibilidad

% de mejora de visibilidad respecto al ángulo estándar

Muestra	P_1	P_2	P_3	P_Δ	R	δ
A	5,3%	8,7%	17%	3,3%	13,9%	49,8%
B			11,8%		3,1%	33,2%

Conclusiones

- En general, **NO HAY** una configuración angular predilecta
- Dependencia con el observable polarimétrico
- Dependencia con el tejido de estudio
- Mejora de contraste entre estructuras
- Potencial para mejorar estudios de patologías en tejidos
- Mayor número de métricas útiles en análisis estadísticos y reconocimiento de imagen

Muchas gracias por su atención!
