



# Suspensiones de partículas sometidas a vibración mecánica

Charla para el Grupo de Física no Lineal, del Instituto de Física de  
Facultad de Ciencias de Montevideo, Uruguay

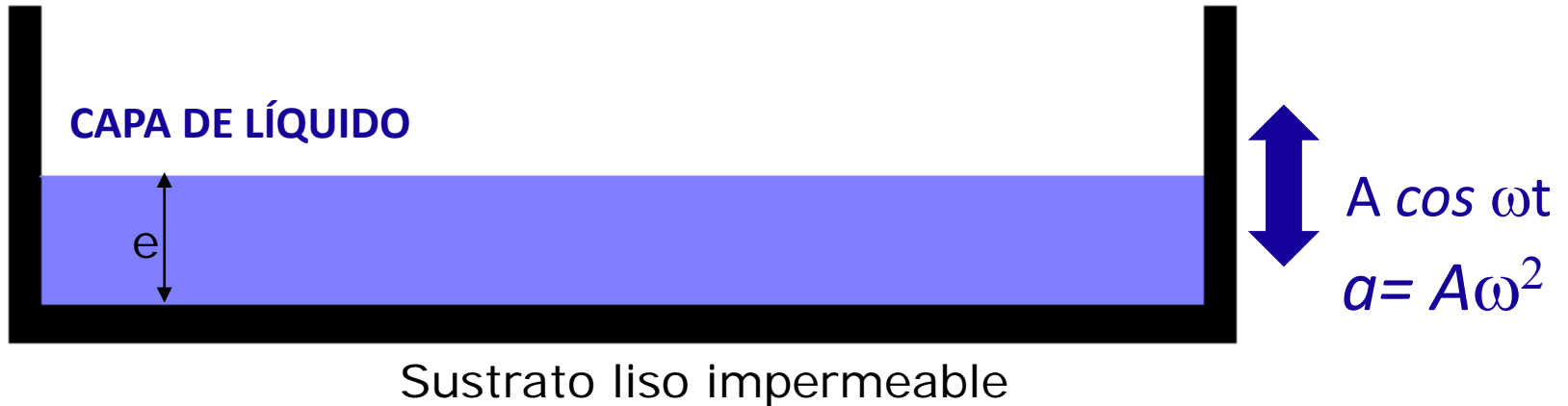
Disertante: Alejandro Boschan

Otros participantes: Marcelo Piva, Román Martino, Diego Barba Maggi

Colaboraciones: J.C Geminard (ENS Lyon)

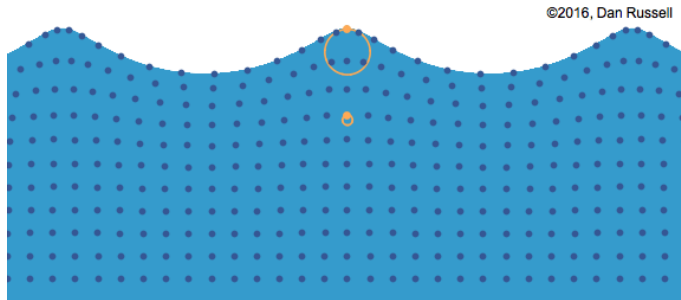
Grupo de Medios Porosos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

# Ondas en una capa de líquido vibrada



Ondas viajeras armónicas  
(gravito-capilares)

- No tienen umbral
- También llamadas ondas de menisco



Ondas estacionarias sub-armónicas  
(ondas o inestabilidad de Faraday)

- Tienen una aceleración umbral

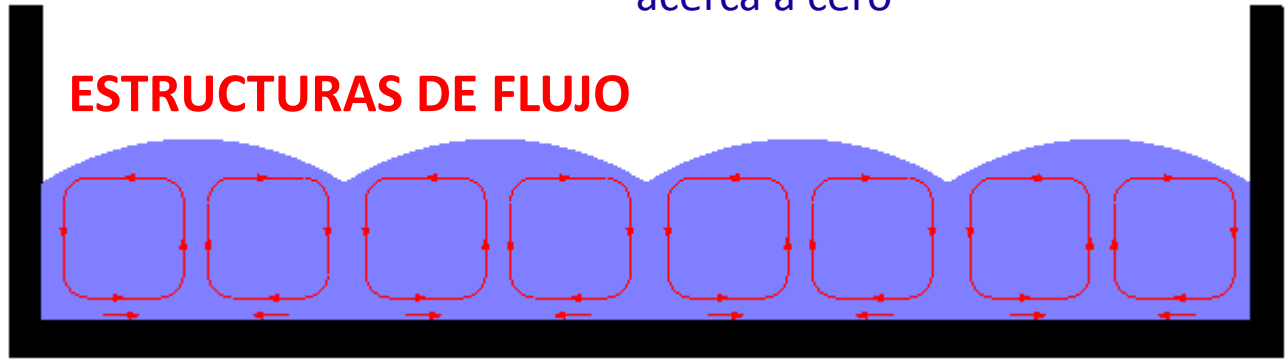


# Ondas de Faraday

$\Gamma = A \omega^2 / g$   
 $\omega = 2\pi f$

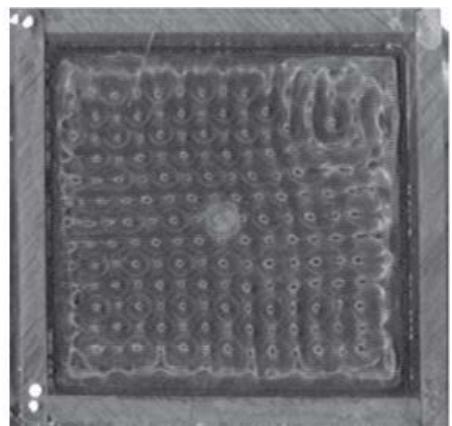
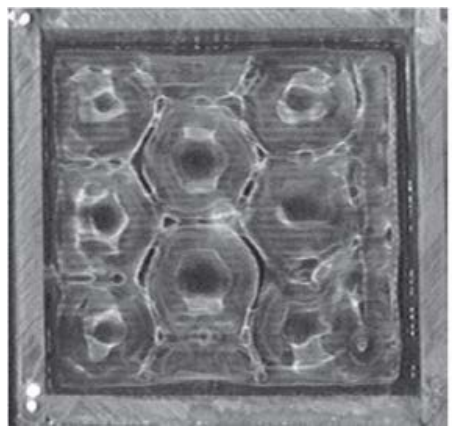
$\Gamma < \Gamma_c$  Movimiento solidario (no hay ondas)  
 $\Gamma > \Gamma_c$  Inestabilidad paramétrica de Faraday sub-armónica o armónica

$\Gamma_c$  crece fuertemente cuando el espesor de la capa se acerca a cero



$A \cos \omega t$

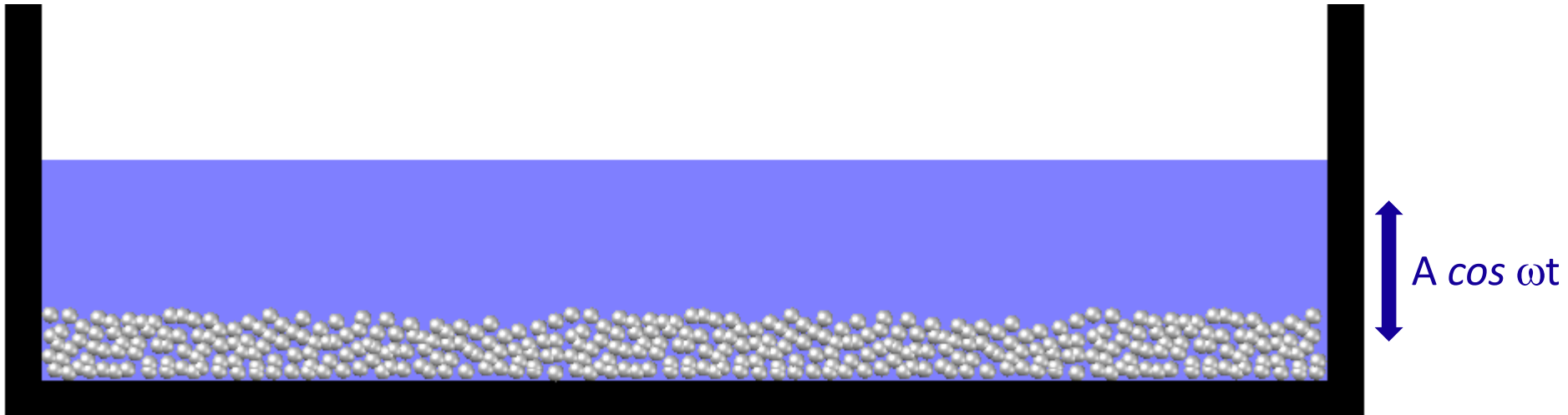
Sustrato liso impermeable



C. Cabeza y M. Rosen, "Complexity in faraday experiment with viscoelastic fluid," International Journal of Bifurcation and Chaos,, 2007.

# Interés:

## Interacción entre las ondas y partículas sólidas



1. ¿Cómo afectará la presencia de partículas a las ondas en la capa de líquido sobrenadante?

2. ¿Cuáles son los mecanismos que predominan en la interacción entre el líquido y las partículas?

3. ¿Qué formas o patrones se generan en el lecho de partículas y cómo se correlacionan con las estructuras de flujo?

- **Partículas:**
- Iniciación de movimiento
- Resuspensión
- Compactación
- Reorganización espacial
  
- **Ondas:**
- Atenuación de las ondas
- Cambio en los umbrales de aparición, longitudes y altura de onda.

# Aplicaciones interacción entre líquido-partículas

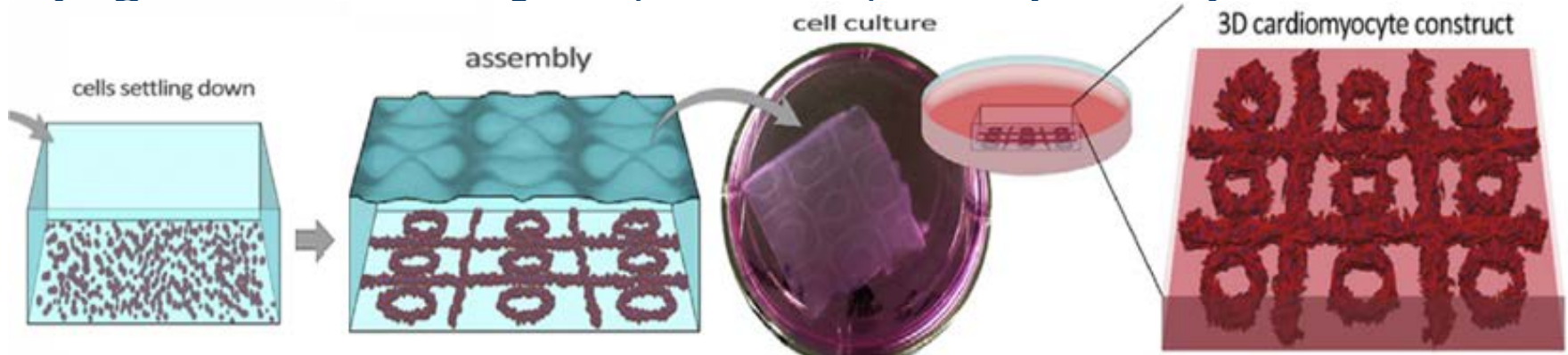
## Medioambientales: Ciencias del mar



P. Blondeaux, "Sand ripples under sea waves," Journal of Fluid Mechanics 1990

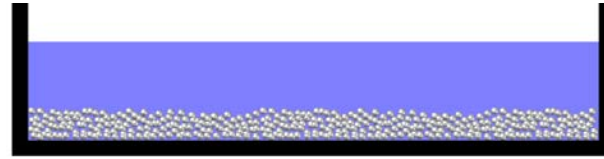
G. Rousseaux, and J. E. Wesfreid, "Wavelength selection of rolling-grain ripples in the laboratory," Physical Review E 2004.

## Industriales/Sanitarias: Ensamblado de partículas (regeneración de tejidos, cristales, bioimpresión)

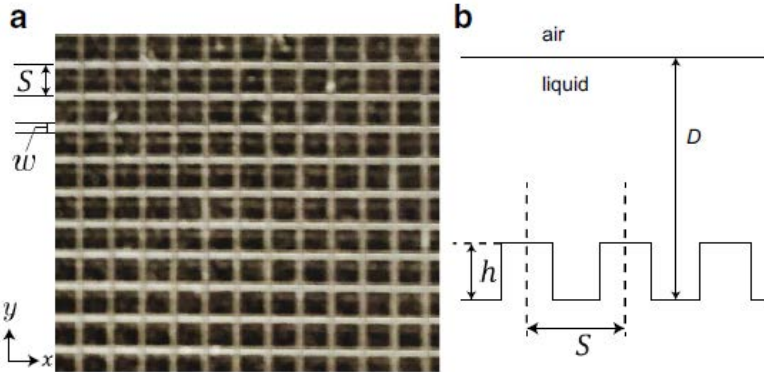


Serpooshan, V., et al. "Bioacoustic-enabled patterning of human iPSC-derived cardiomyocytes into 3D cardiac tissue", Biomaterials (2017)

# Cómo influye la rugosidad y permeabilidad del sustrato (lecho particulado consolidado)?

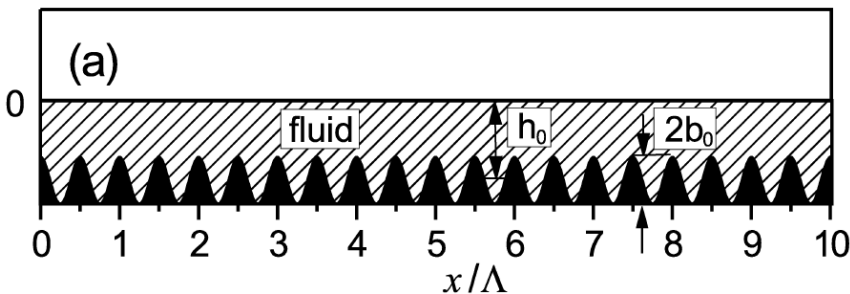


## Antecedentes



J. Feng, I. Jacobi, y H. A. Stone, "Experimental investigation of the faraday instability on a patterned surface," Experiments in Fluids, 2016.

Sustratos rugosos impermeables

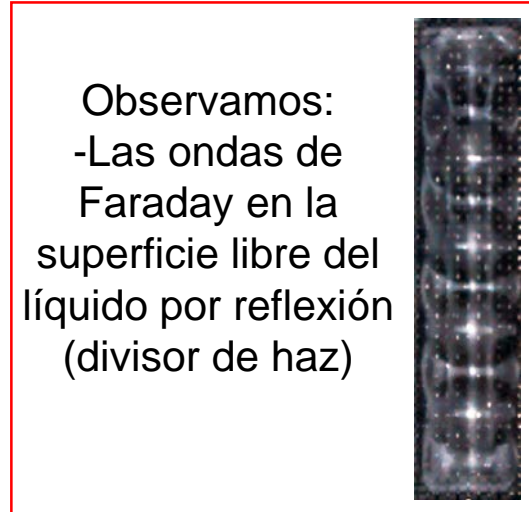
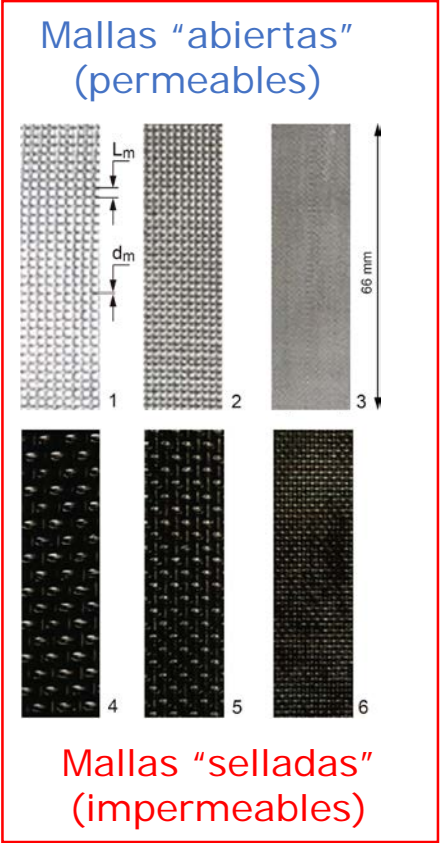
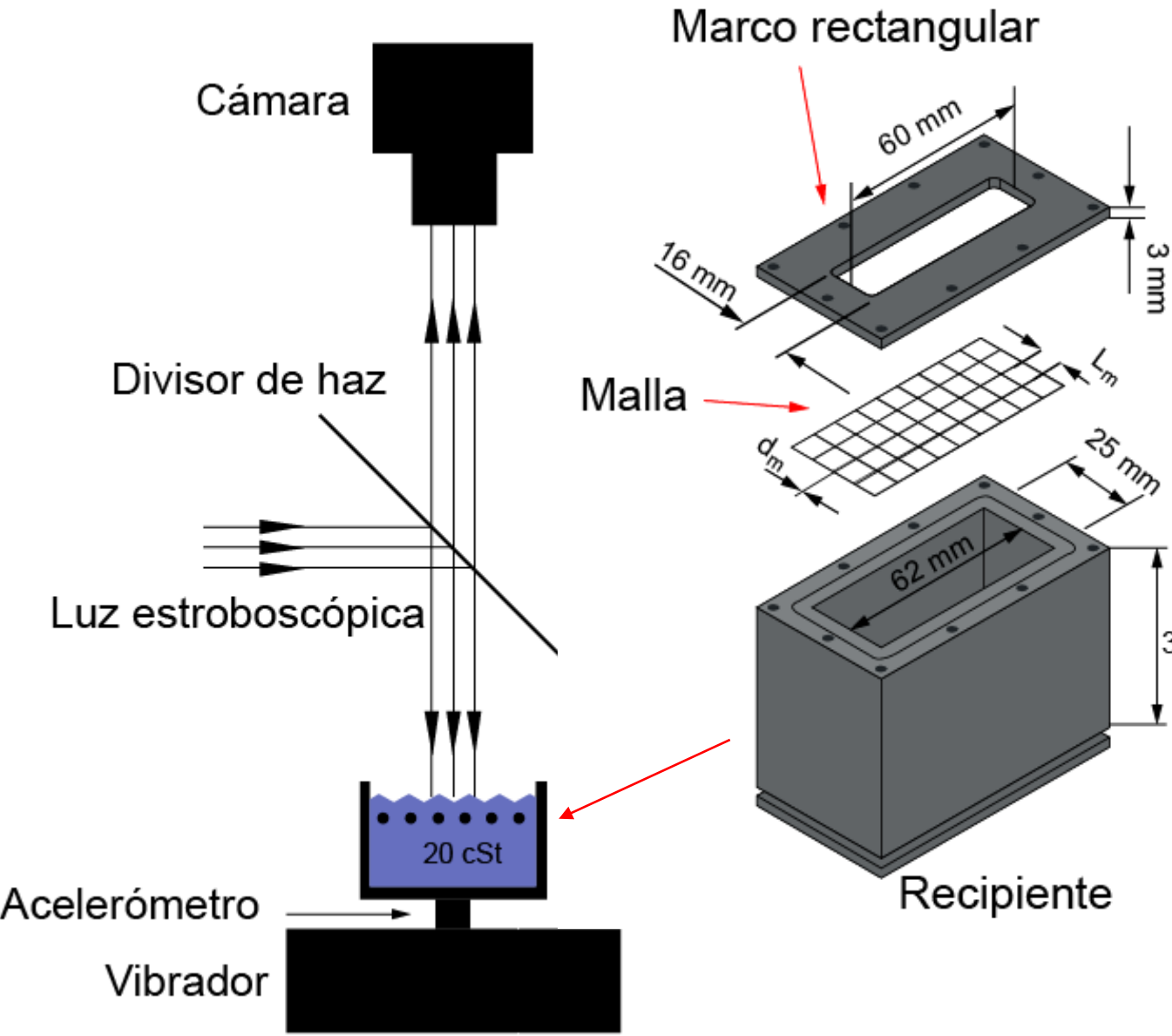


V. Osipov y N. García, "Space-time parametric excitation of localized standing waves on a surface of a fluid in a vessel with corrugated bottom," Physics Letters A, 2001.

Buscamos analizar la influencia de sustratos rugosos y permeables, desacoplando ambas propiedades, sobre las ondas de Faraday



# Dispositivo experimental "Mallas"



## Resultados experimento "Mallas"

- Con las mallas, se requiere una mayor aceleración para disparar la inestabilidad de Faraday que con un sustrato liso e impermeable (disipación extra?).
- A su vez, se observó que la longitud de onda crítica  $\lambda_c$  no se altera (o se altera débilmente).
- Para mallas selladas, existe dependencia clara de la aceleración crítica  $\Gamma_c$  con los parámetros geométricos de la malla. Planteo de un espesor "efectivo".

"Faraday waves over a permeable rough substrate"., D. Maggi, A. Boschan, R. Martino, M. Piva, J.C. Géminard. Physical Review E (Vol. 99, No. 5) (2019)



# ¿Que ocurre si el lecho de partículas no está consolidado? Reorganización espacial?

## Antecedentes

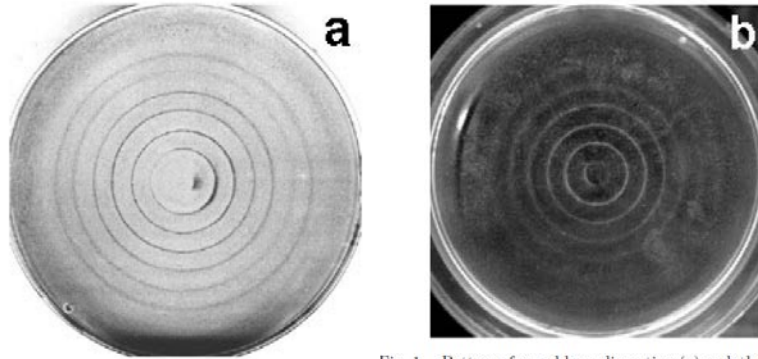
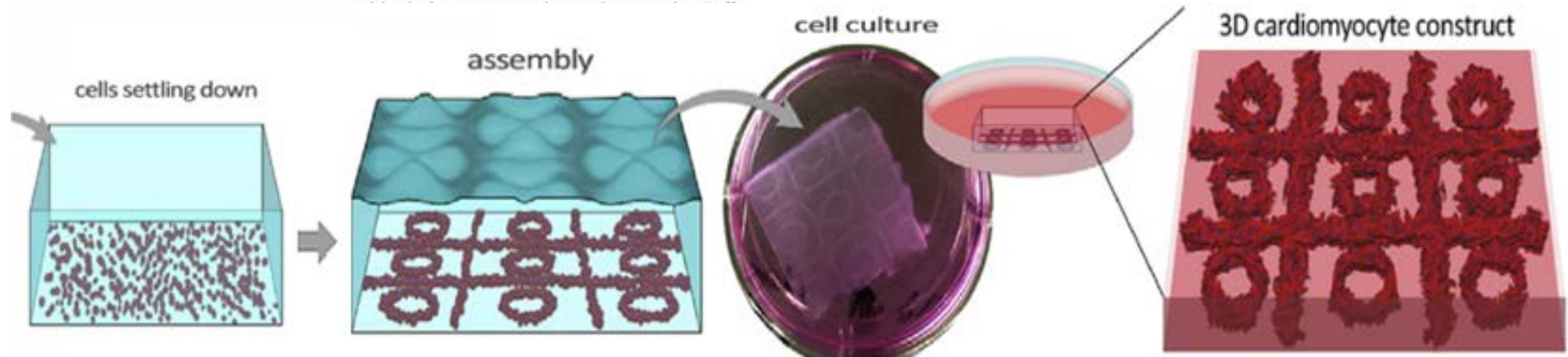


Fig. 1. Patterns formed by sedimenting (a) endothelial cells and (b) starch particles. Petri dish, diameter 52 mm, liq-

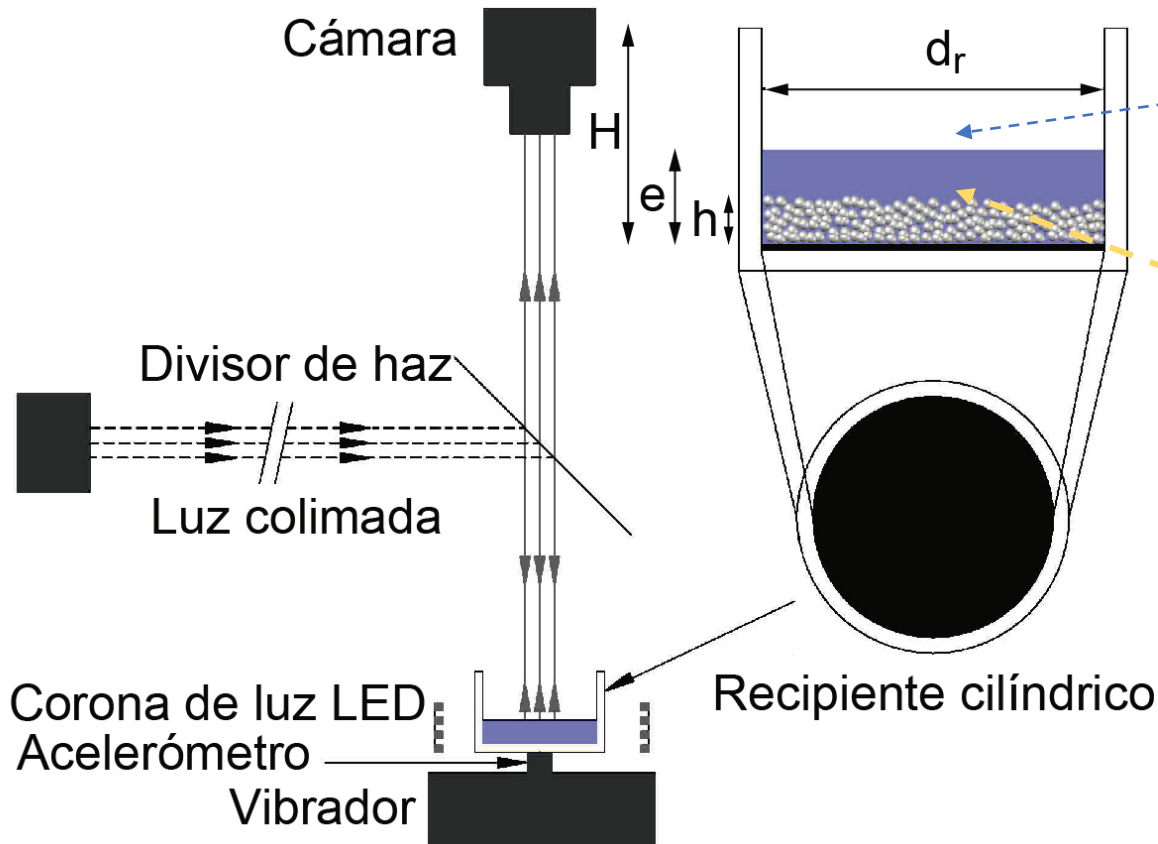
S. Takagi, V. Krinsky, A. Pumir, y C. Frelin, "The use of Faraday instability to produce defined topological organization in cultures of mammalian cells," International Journal of Bifurcation and Chaos, 2002



Serpooshan, V., et al. "Bioacoustic-enabled patterning of human iPSC-derived cardiomyocytes into 3D cardiac tissue", Biomaterials (2017)

**No estudiaron las ondas en el líquido, solamente la geometría del lecho**

# Experimento "Anillos"



Observamos:

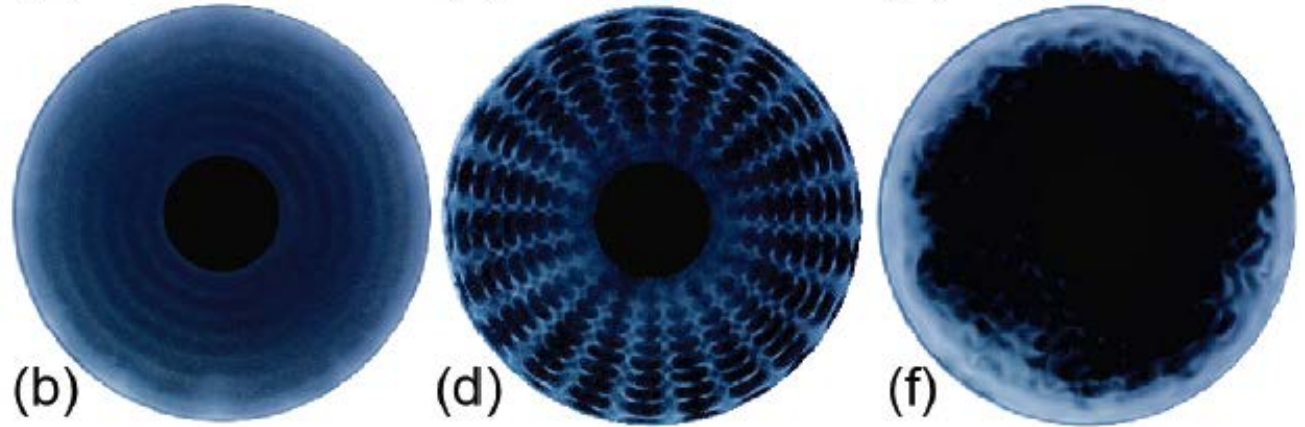
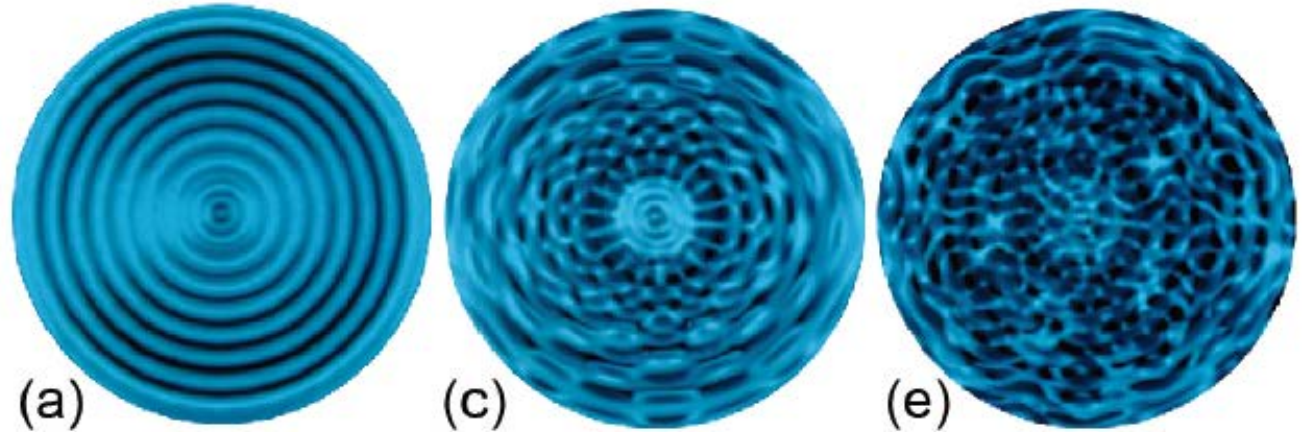
-La superficie libre del líquido por reflexión (divisor de haz)

-El lecho de partículas (de espesor inicialmente uniforme) con iluminación lateral.

-Se utiliza una técnica de transmisión de luz para medir el espesor local del lecho

# Resultados

Ondas en la superficie del líquido



Lecho de partículas

Ondas capilares



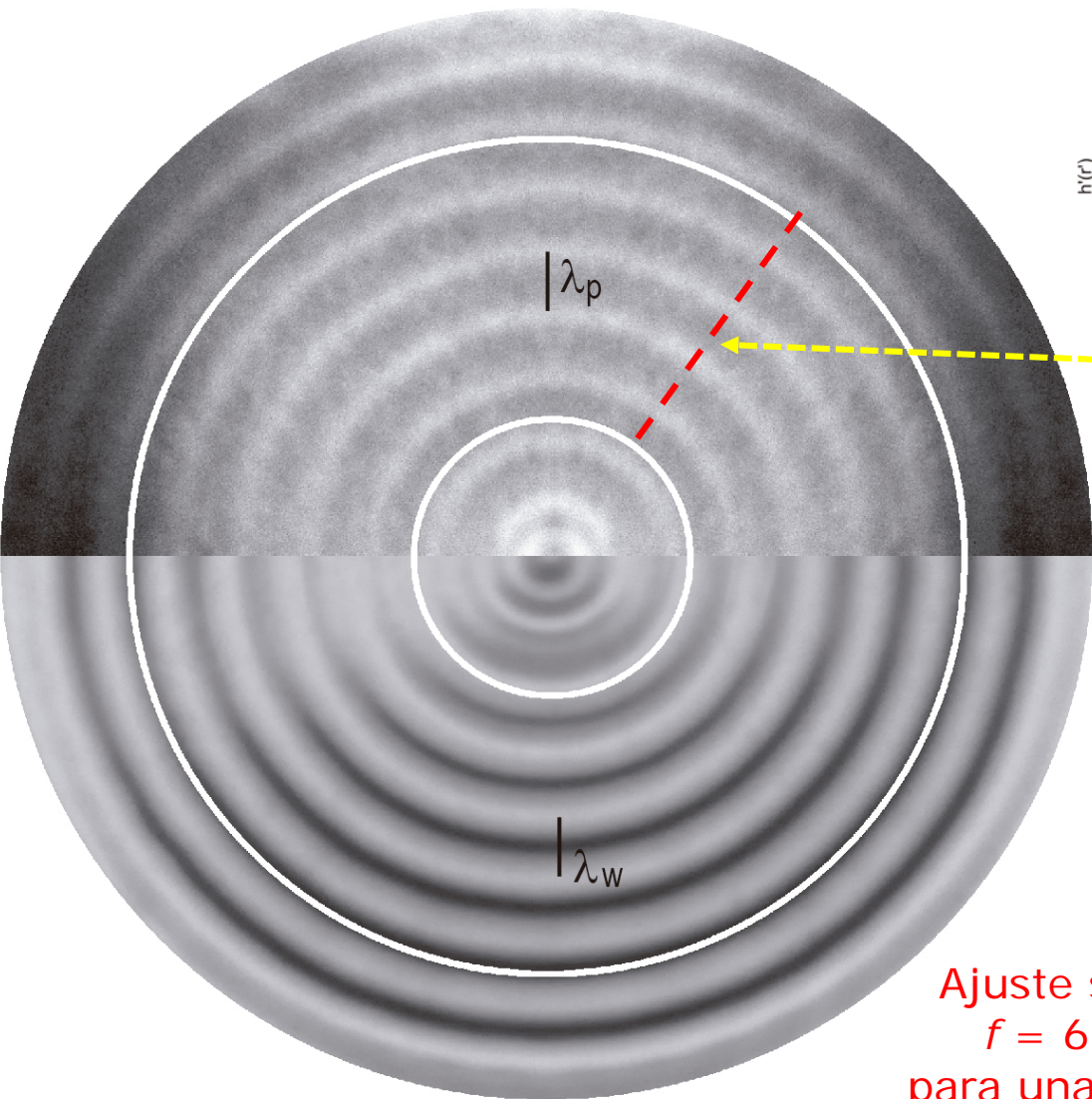
Ondas capilares +  
Ondas de Faraday  
estacionarias

Ondas de Faraday  
No estacionarias

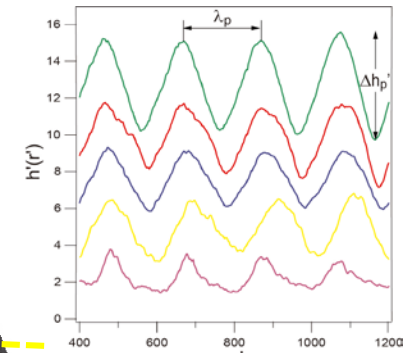


# Resultados

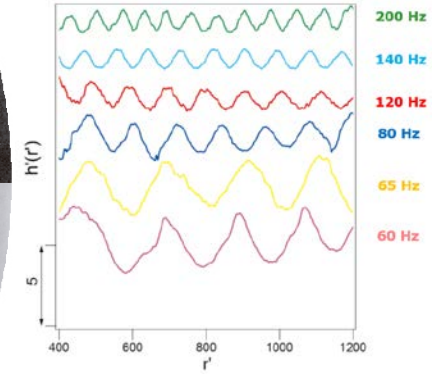
## Perfil topográfico de la corrugación del lecho de partículas



Ondas en la superficie libre del líquido

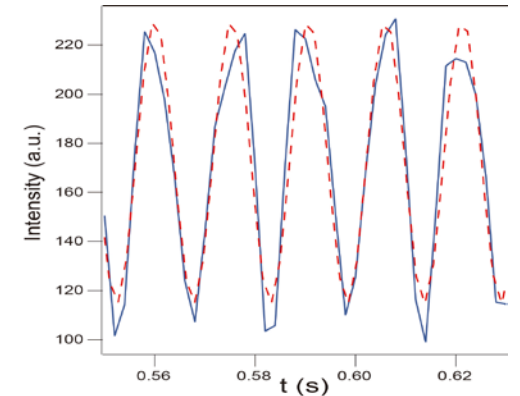


Diferente cantidad de partículas



Diferentes frecuencias

Ajuste sinusoidal  $f = 65.35$  Hz para una frecuencia impuesta de 65 Hz



## Resultados experimento "Anillos"

-La presencia del lecho de partículas no afecta a la longitud de onda  $\lambda_w$  de las ondas capilares, que sigue en todos los casos la relación de dispersión capilar.



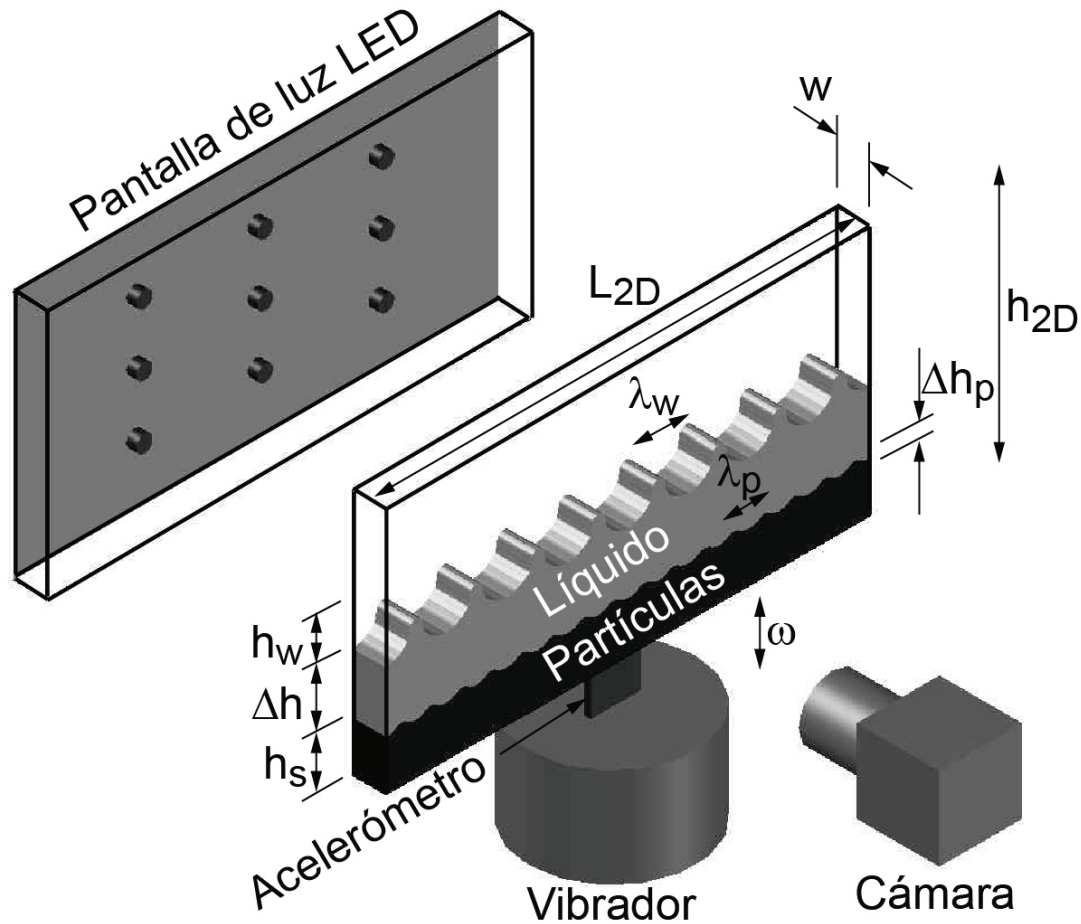
-La longitud de onda del patrón de partículas  $\lambda_p$  es muy similar a  $\lambda_w$  (notable siendo que son ondas viajeras)

-La altura  $h_p$  de la corrugación del lecho de partículas correlaciona bien con la cizalla estimada ejercida por las ondas sobre el lecho.

"Particulate patterns generated by liquid templates".,  
D. Barba Maggi, R. Martino, M. Rosen, M. Piva, A. Boschan  
Powder Technology 366 (598-609)(2020)

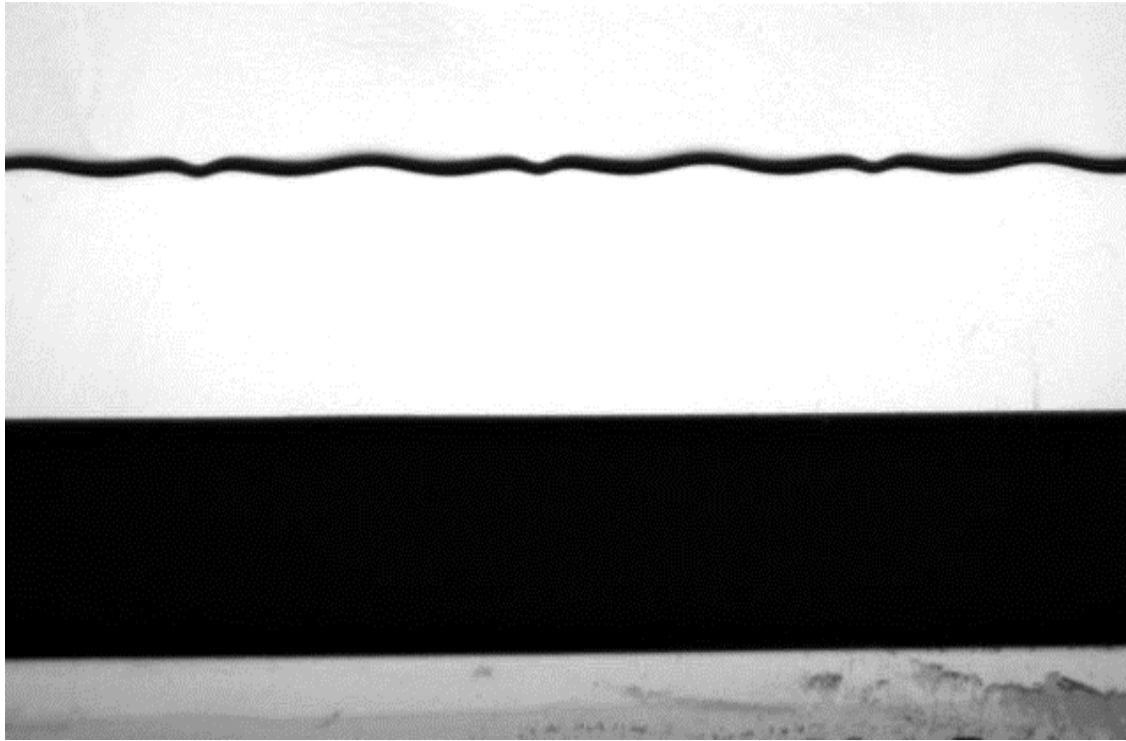
# Dispositivo experimental "2D"

Buscamos observar "en corte" para evaluar iniciación de movimiento, resuspensión, compactación. Las ondas son ondas de Faraday

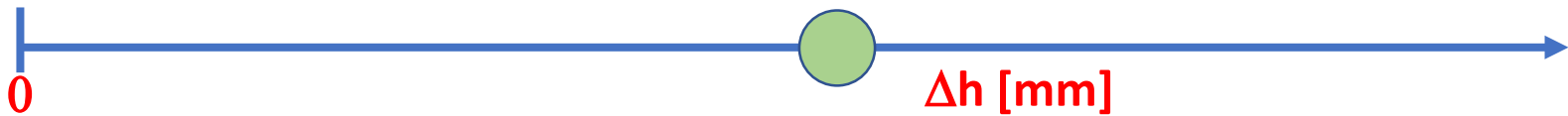
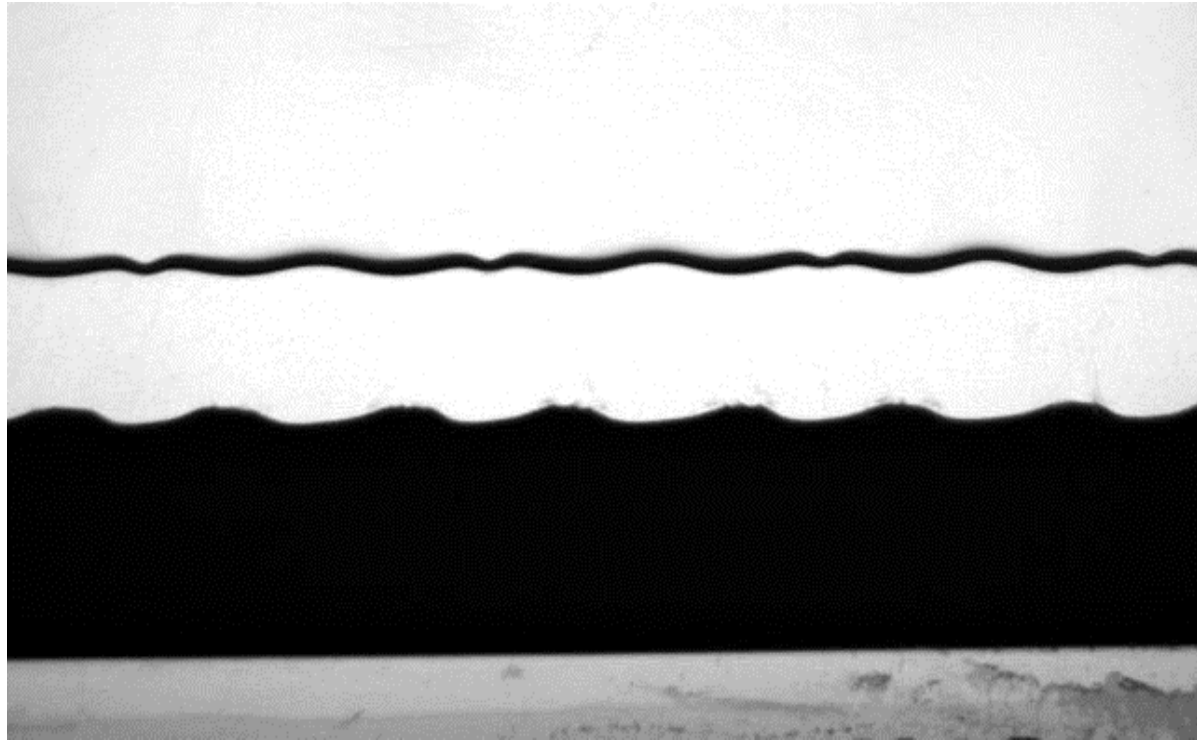




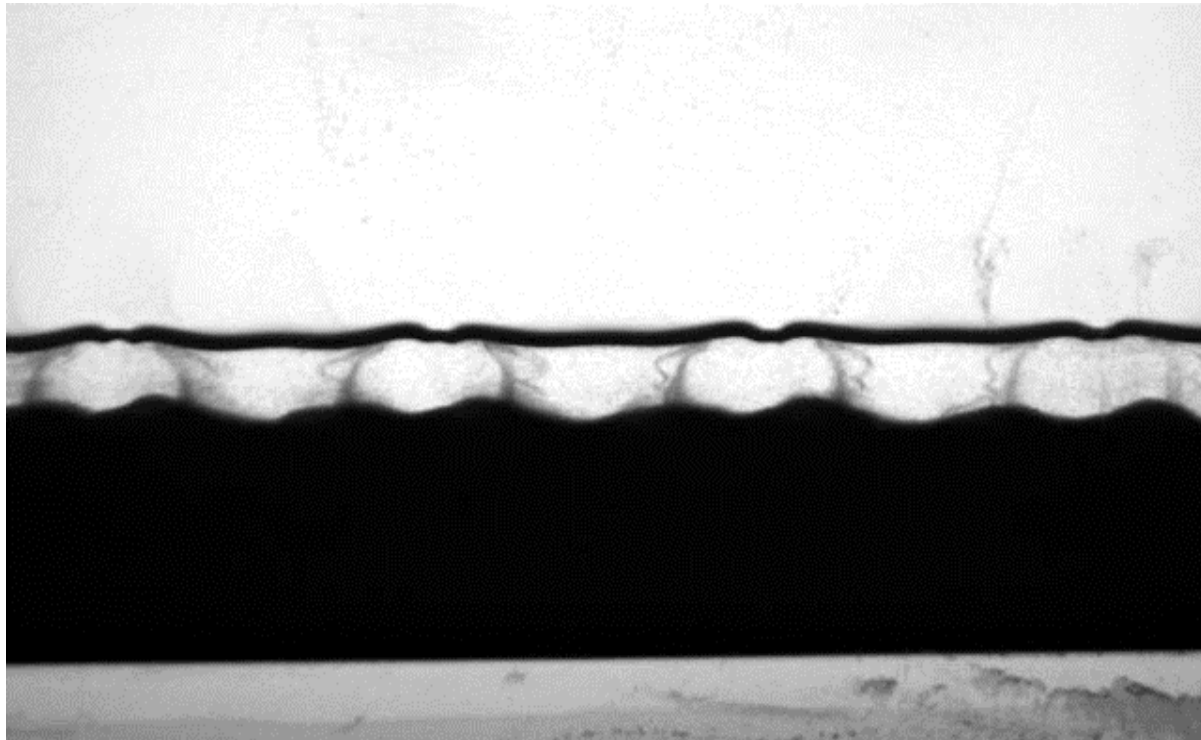
# Régimen 1: No hay interacción entre la onda y el lecho



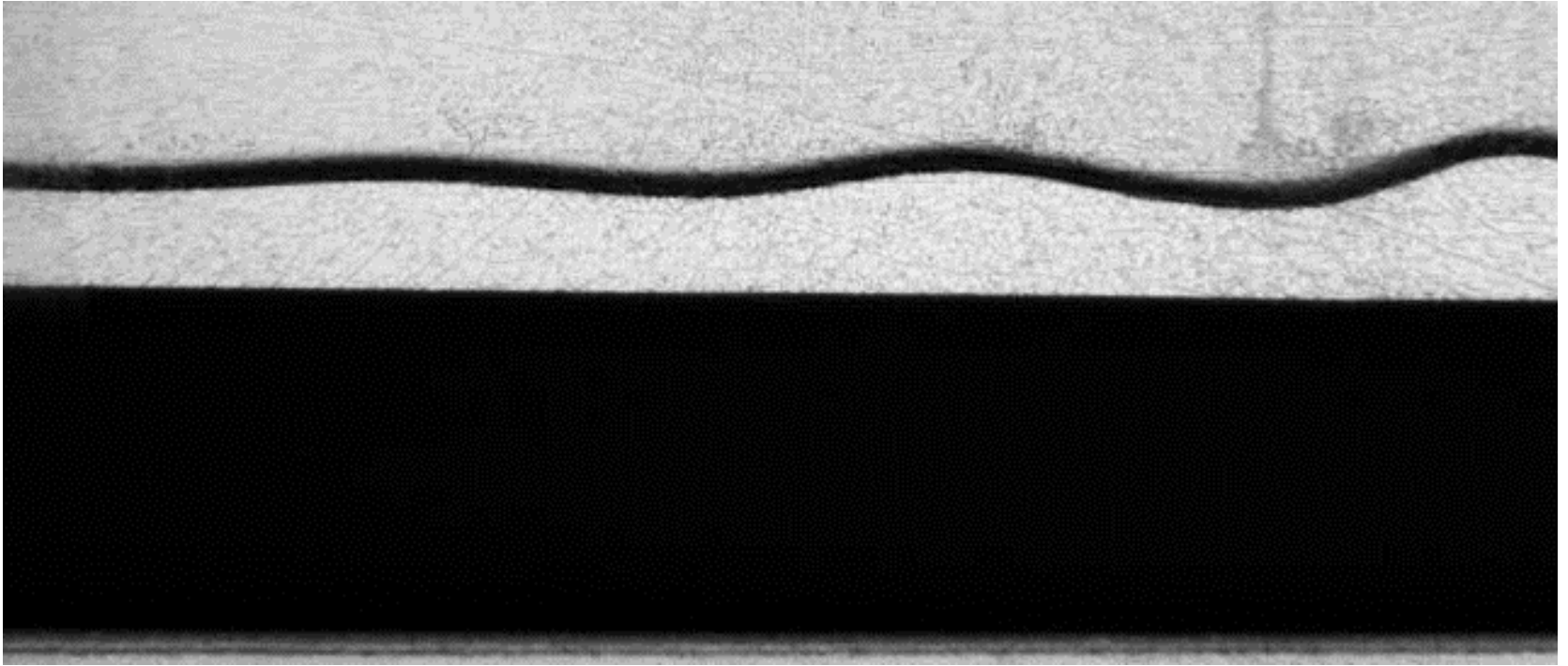
**Régimen 2: Hay interacción débil entre la onda y el lecho, las partículas se reacomodan, pero no se resuspenden**



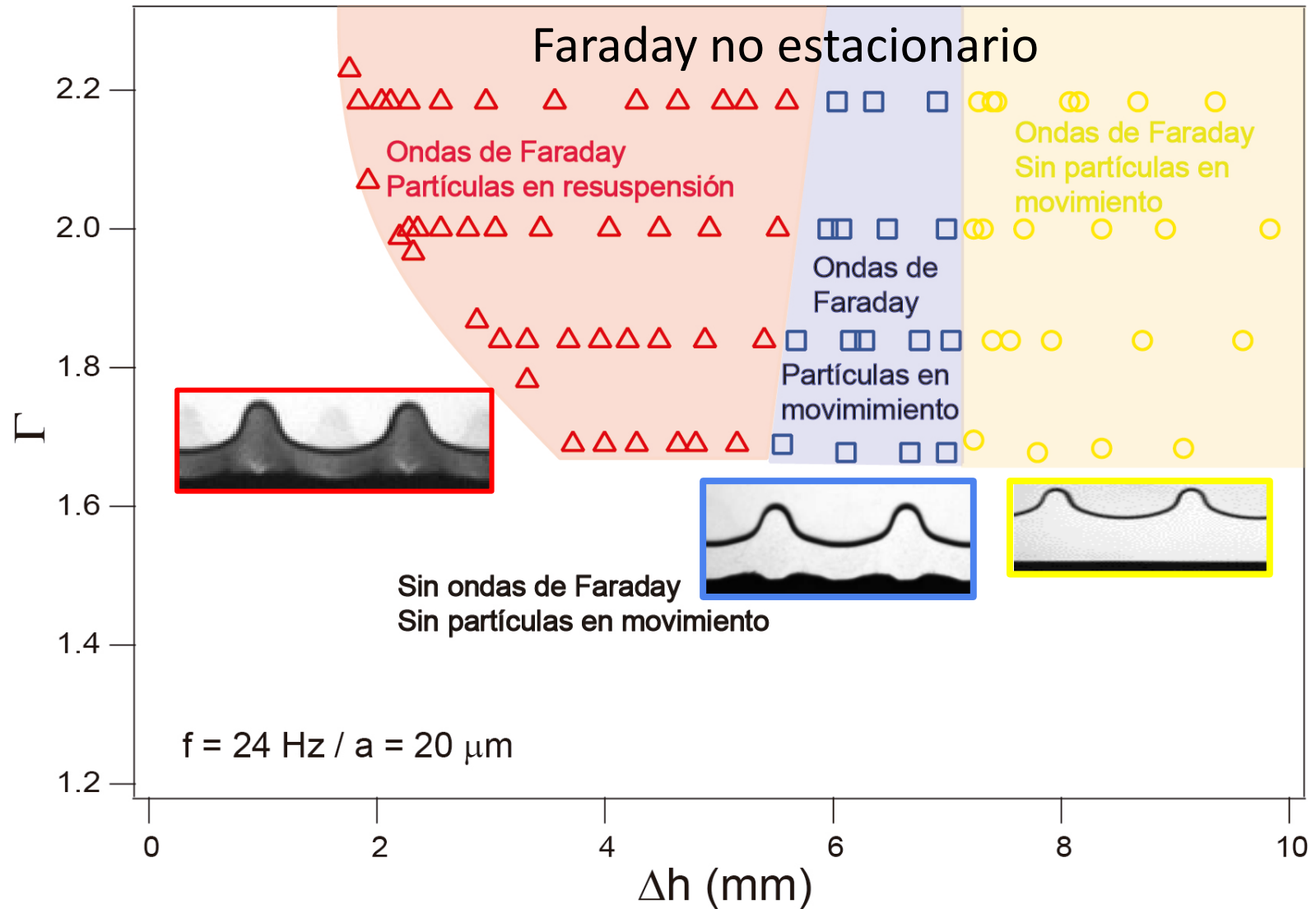
**Régimen 3: Hay interacción fuerte entre la onda y el lecho, las partículas se resuspenden**



# Con disparo estroboscópico

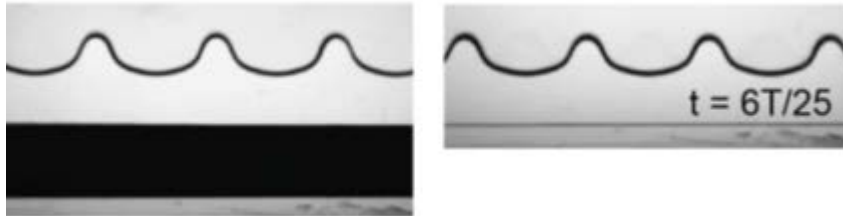


# Diagrama de estados



## Conclusiones experimento "2D"

- Si el espesor de la capa de líquido es grande, las ondas y el sustrato no se "ven". Conforme disminuye el espesor, las partículas comienzan a moverse, y luego se resuspenden. Esta resuspensión ocurre en principio en donde la recirculación de Faraday impone mayor tensión de cizalla en el lecho.
- Para un mismo espesor de capa de líquido, y comparando un lecho de partículas con un sustrato liso e impermeable:



- Si el espesor de la capa de líquido es grande, no hay diferencia en el valor de aceleración umbral.
- Si el espesor de la capa de líquido es pequeño, la aceleración umbral es ligeramente mayor para el lecho (no concluyente). ¿Disipación de energía?
- **Observamos cualitativamente un ciclo interesante para espesores pequeños:**

**Ondas de Faraday-> Resuspensión-> Se "apagan" las ondas-> las partículas sedimentan-> aparecen las ondas nuevamente-> > Resuspensión.....**

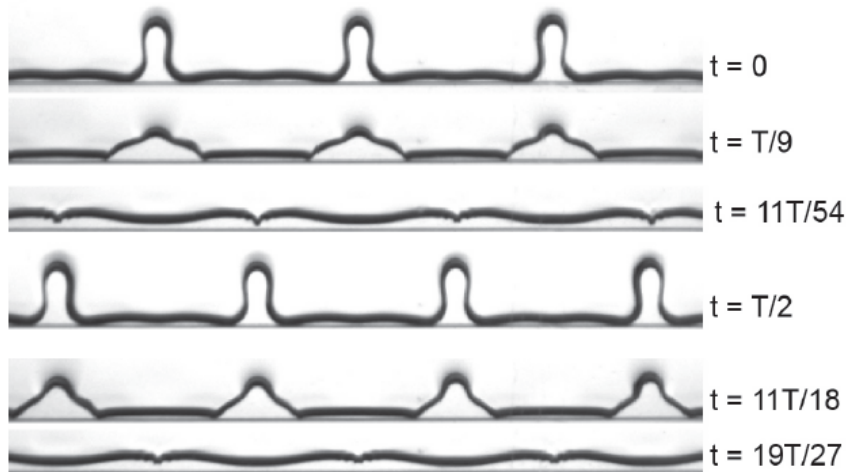
"Sediment motion induced by Faraday waves in a Hele-Shaw cell".,

R. Martino, A. Boschan, D. Barba Maggi, G. Bongiovanni, J.C. Geminard, and M. Piva

Physical Review E volume 101, issue 4, 043112 (2020)



# Perspectivas



Espesores de capa pequeños  
Fenómenos no lineales



Sustrato corrugado

¿Algún teórico en la sala?

