

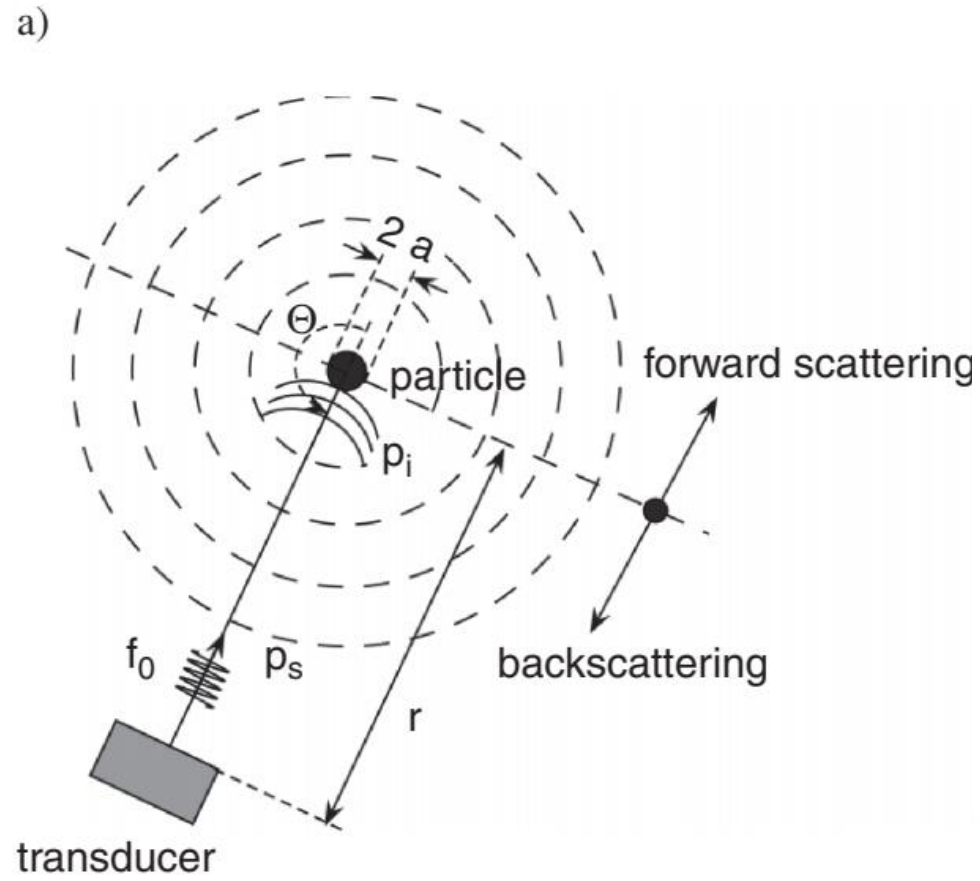
# Técnicas de medición mediante la utilización de trazadores.

Módulo de Flujo de Agua Superficial

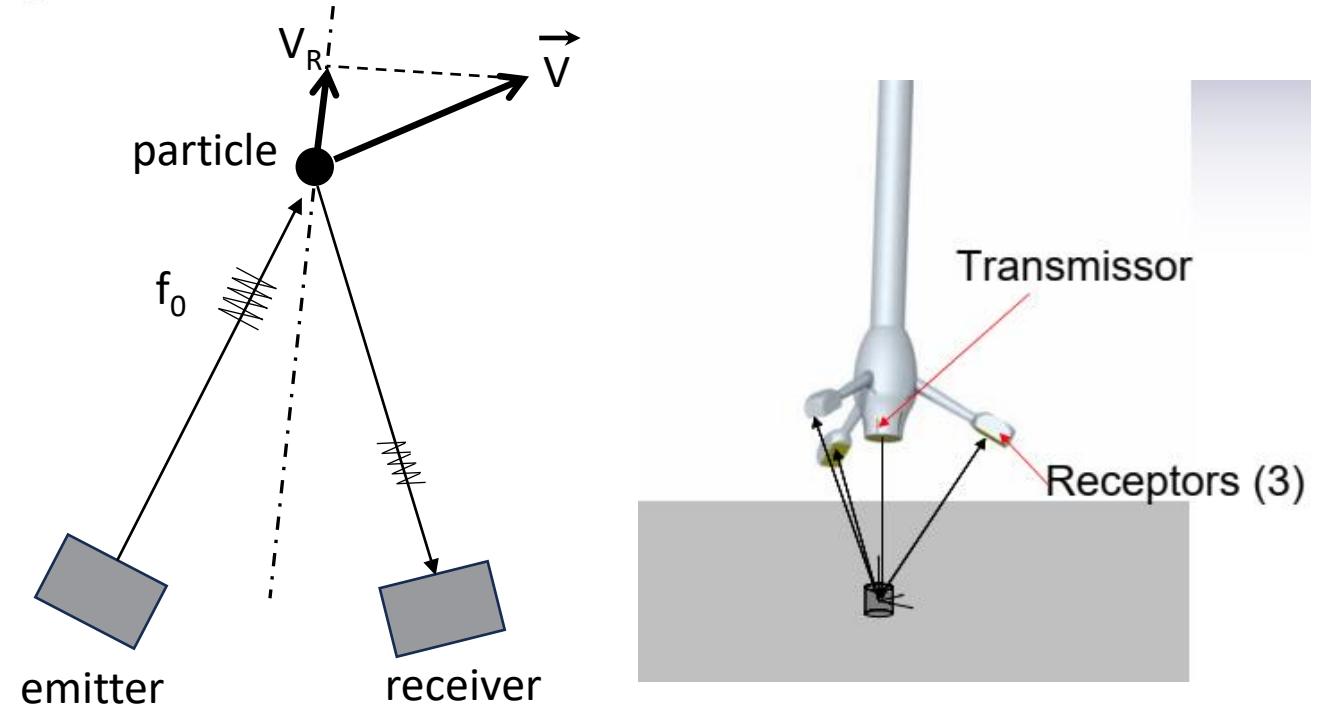
Taller de Técnicas de Medición en Hidrología e Hidráulica

...antes de empezar

# Monostáticos y Multistáticos (Bistáticos)



b) ADV (Acoustic Doppler Velocimeter)



Miden las tres componentes de la velocidad en un volumen de control

# Medición con trazadores

Se considera un trazador a cualquier elemento o sustancia que se mezcla o desplaza junto con el flujo y es detectable por algún método.

Ejemplos:

- Tintas
- Sustancias químicas (fertilizantes, sal, etc.)
- Radioisótopos
- Elementos flotantes
- Rugosidades de la superficie libre
- Secuencias de presión turbulenta generada por turbulenta

# Medición con trazadores

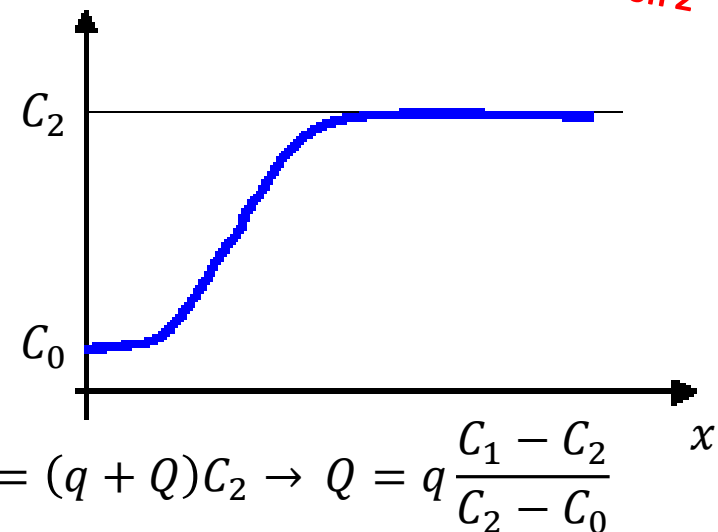
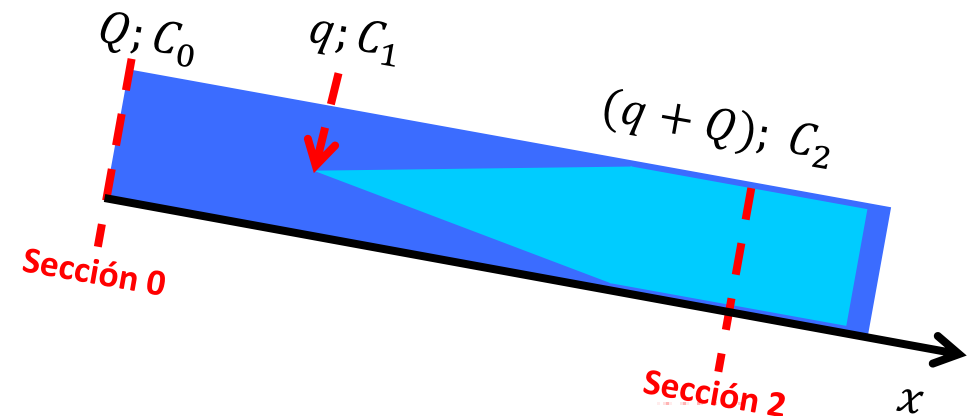
Para determinar el caudal usando trazadores se recurre a distintos métodos:  
1) dilución; 2) velocidad-área.

## 1) Dilución:

Se mide la concentración del trazador a lo largo del tiempo y luego se despeja el caudal del balance de masa.

Se basa en la que el trazador se mezcló completamente con el flujo.

Aplicable a flujos en canales o en tuberías.  
No suele resultar confiable en cauces naturales.



$$QC_0 + qC_1 = (q + Q)C_2 \rightarrow Q = q \frac{C_1 - C_2}{C_2 - C_0}$$

# Medición con trazadores

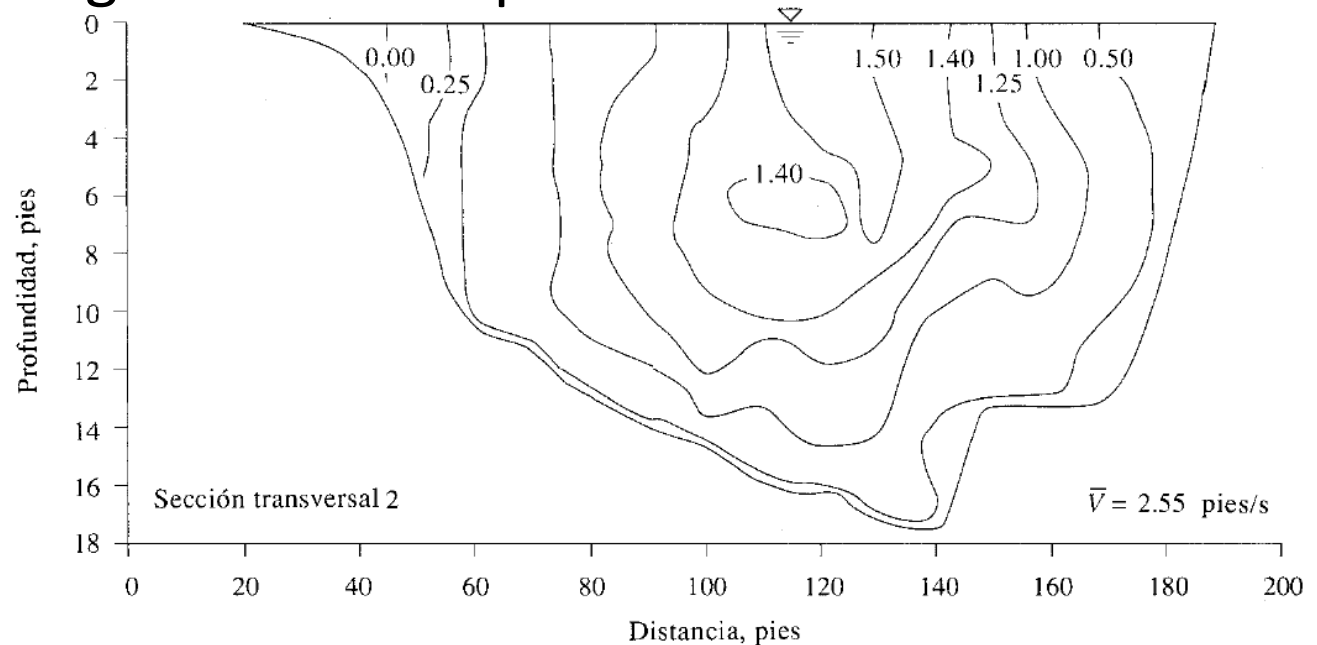
Para determinar el caudal usando trazadores se recurre a distintos métodos:  
1) dilución; 2) velocidad-área.

## 2) Velocidad-área:

Se mide la velocidad del flujo siguiendo el desplazamiento del trazador a lo largo del tiempo.

El caudal se obtiene luego, multiplicando velocidad por área del flujo.

Se basa en la hipótesis de que el trazador se mueve a la par del fluido.



# Medición con trazadores

## **2) Velocidad-área, trazadores superficiales**

Consisten en elementos flotantes que se desplazan sobre la superficie libre del flujo. Se mide su desplazamiento a lo largo del tiempo para determinar la velocidad superficial.

Se puede llevar a cabo de forma sencilla, usando incluso elementos ya presentes en el sitio (ramas, hojas de árbol, etc.) o con técnicas basadas en imágenes.

[VIDEO 1](#)

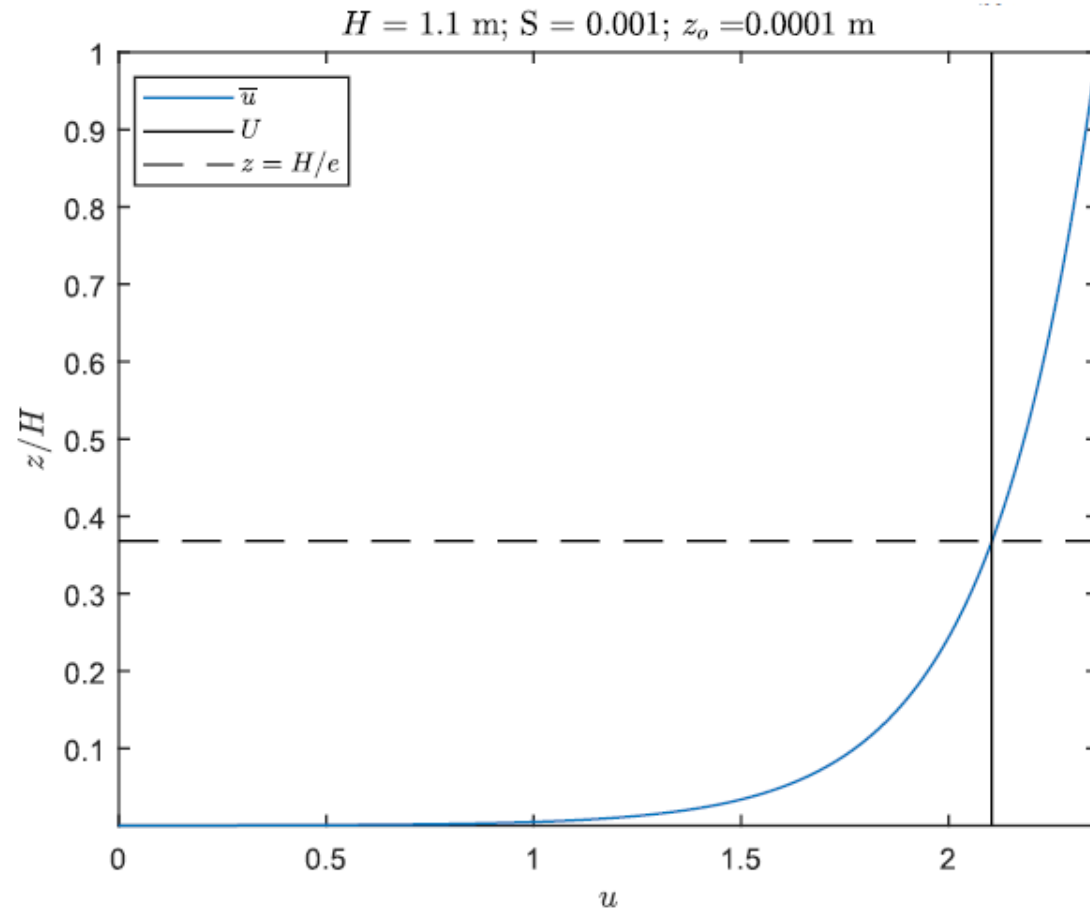
[VIDEO 2](#)

# Trazadores superficiales

$$\bar{u} = \frac{u_*}{\kappa} \log \frac{z}{z_o}$$

$$U = \alpha \left( \bar{u} \Big|_{z=H} \right)$$

- $U$  es la velocidad promedio en vertical
- $\bar{u}|_{z=H}$  es la velocidad superficial
- $\alpha$  es un coeficiente empírico, toma valores entre 0,6 y 0,9 (valor típico 0,85)  
Depende de características del cauce, condición del flujo.





# Trazadores superficiales

En resumen, el procedimiento de medición consiste en:

1. Determinar la velocidad superficial
2. Estimar velocidad media en la columna
3. Multiplicar velocidad media por el área del flujo para obtener el caudal.

En caso de que la velocidad superficial no sea uniforme, se deben tomar medidas a lo largo del cauce para capturar su variabilidad.

$$Q_s = \sum_{i=1}^n U_i d_i \Delta b_i = \sum_{i=1}^n \alpha \left( \bar{u}_i \Big|_{z=H_i} \right) d_i \Delta b_i$$

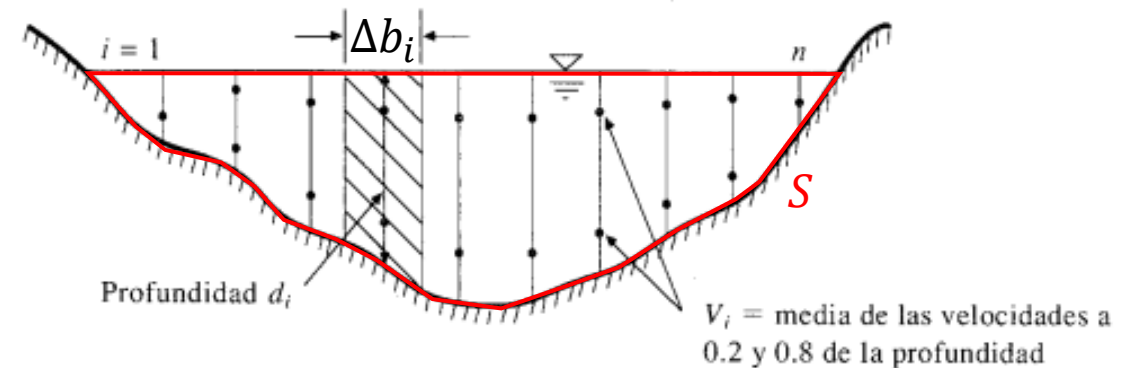


FIGURA 6.3.7

Cálculo del caudal utilizando la información de un aforo.

Fuente: Ven Te Chow, Hidrología Aplicada

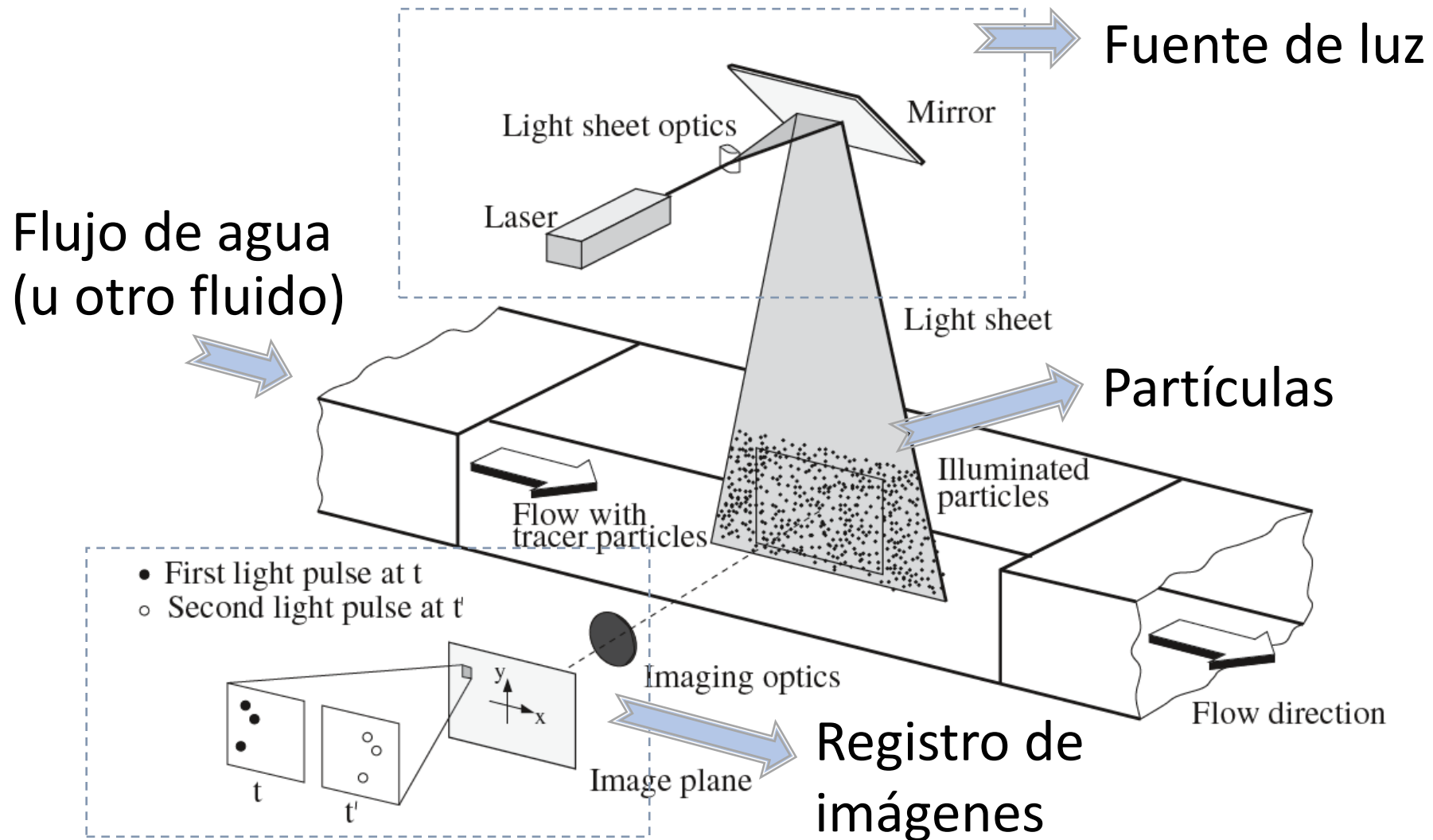
# Velocimetría basada en imágenes

Es un conjunto de técnicas que permiten determinar la velocidad del agua a partir del registro y procesamiento de imágenes tomadas de forma sucesivas (video).

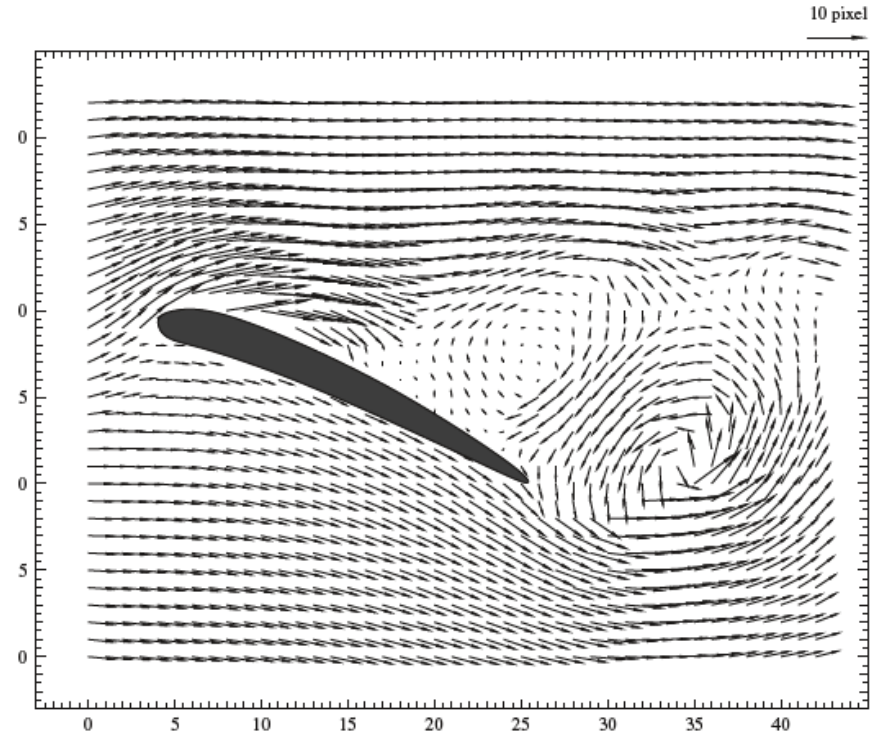
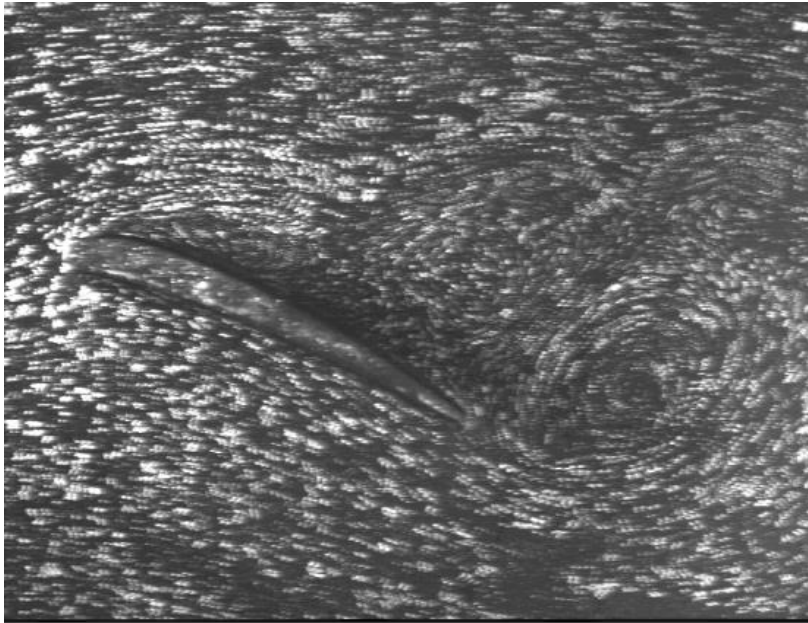
El procesamiento se basa en la detección y seguimiento de trazadores que pueden ser: elementos sembrados artificialmente; o elementos naturales arrastrados por el flujo.

Este método surge inicialmente como técnica de laboratorio para el estudio de campos de velocidad en flujos turbulentos. Luego con los avances y comercialización de las tecnologías fotográficas y el procesamiento computacional se extendió su aplicación al monitoreo de caudales.

# Aplicación en laboratorio (PIV)



# Aplicación en laboratorio (PIV)



[VIDEO 1](#)

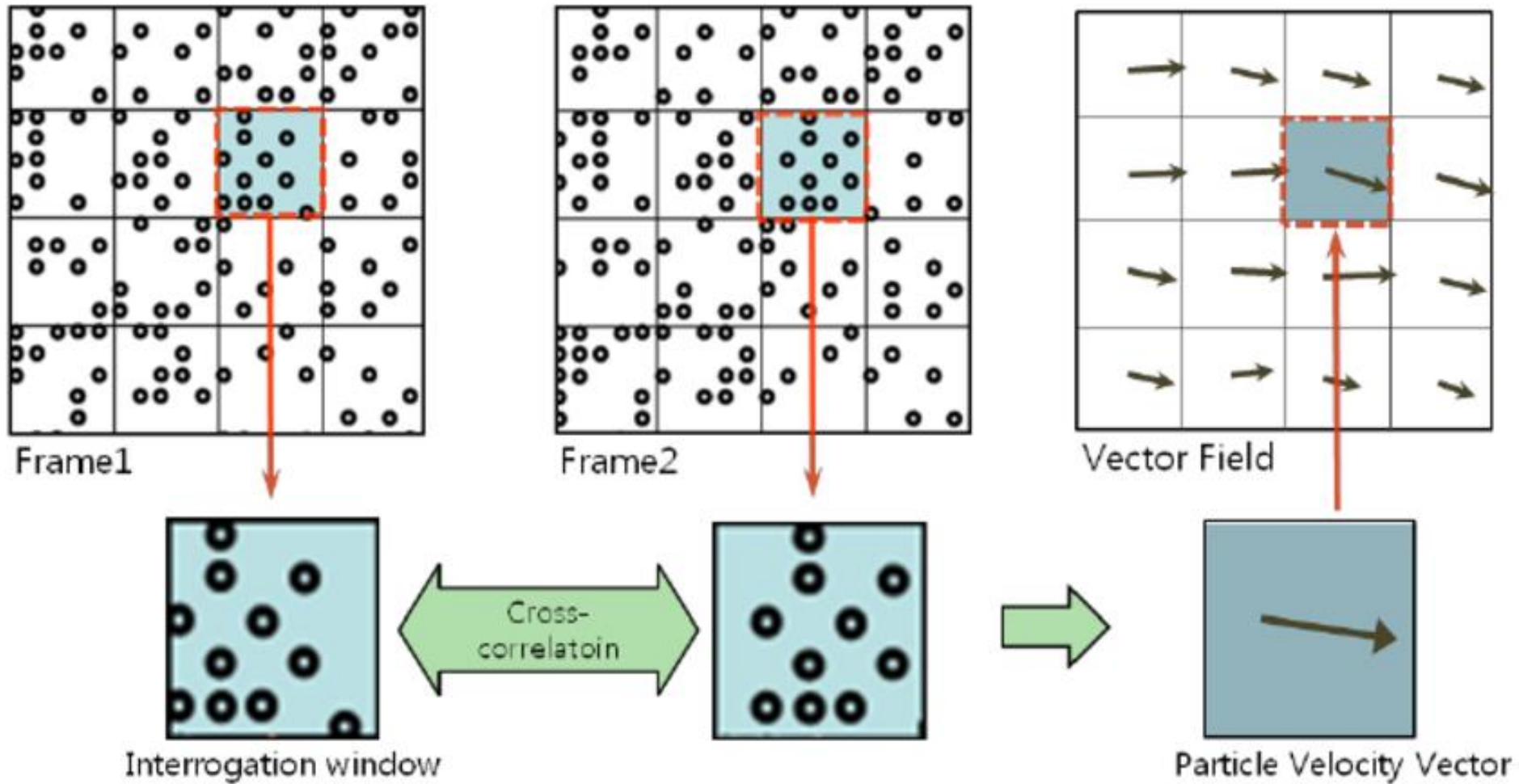
[VIDEO 2](#)

[VIDEO 3](#)

# Aplicación en laboratorio (PIV)

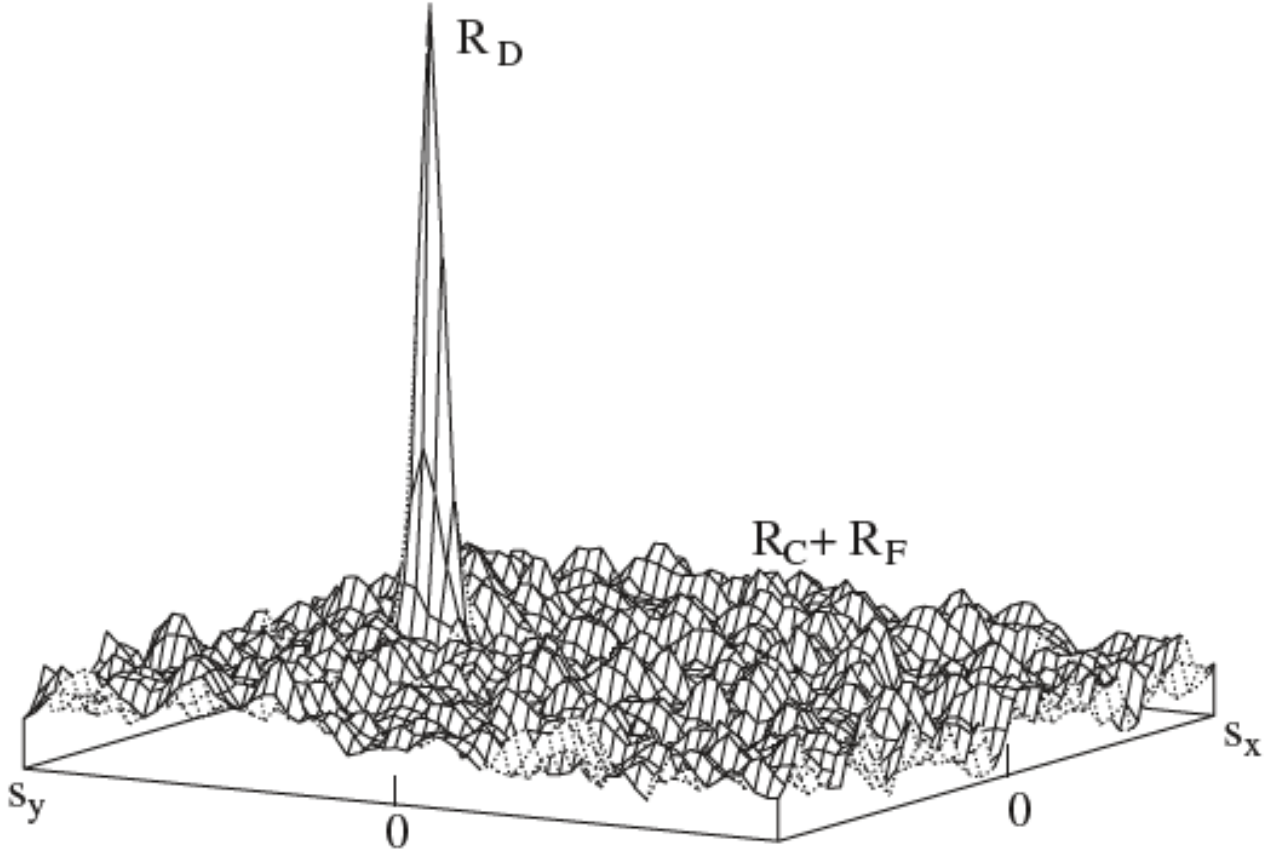
- Durante el procesamiento, las imágenes se subdividen en “ventanas de interrogación” que conforman una cuadrícula. Se asume que el patrón de trazadores que queda contenido en cada ventana no cambia significativamente entre dos imágenes, pero si se desplaza.
- El desplazamiento se determina mediante una búsqueda del patrón de la primera foto en la segunda, en la que se maximiza una función de correlación cruzada.
- Estimando el movimiento de estos patrones entre las imágenes se puede obtener un campo de velocidad instantáneo conociendo el intervalo de tiempo entre ellas.
- El campo de velocidad promedio del flujo se obtiene promediando los campos instantáneos.

# Aplicación en laboratorio (PIV)





# Aplicación en laboratorio (PIV)





# Sembrado de trazadores

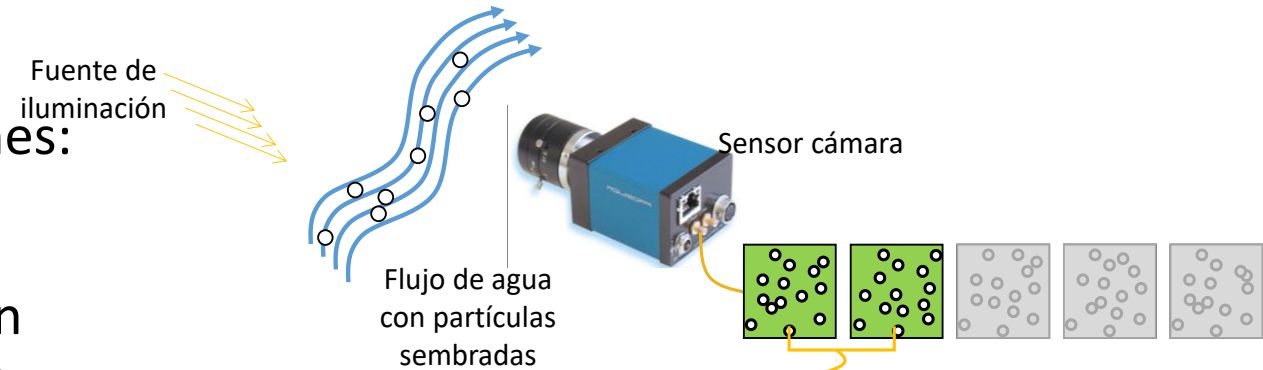
Hay variedad de posibilidades a la hora de elegir los trazadores a sembrar. Se deben cumplir las siguientes condiciones:

1. Flotación
2. Contraste con el fondo para ser detectados por el algoritmo
3. Peso suficiente para reducir lo más posible la afectación por viento
4. Ser biodegradables y afectar lo menos posible el ecosistema

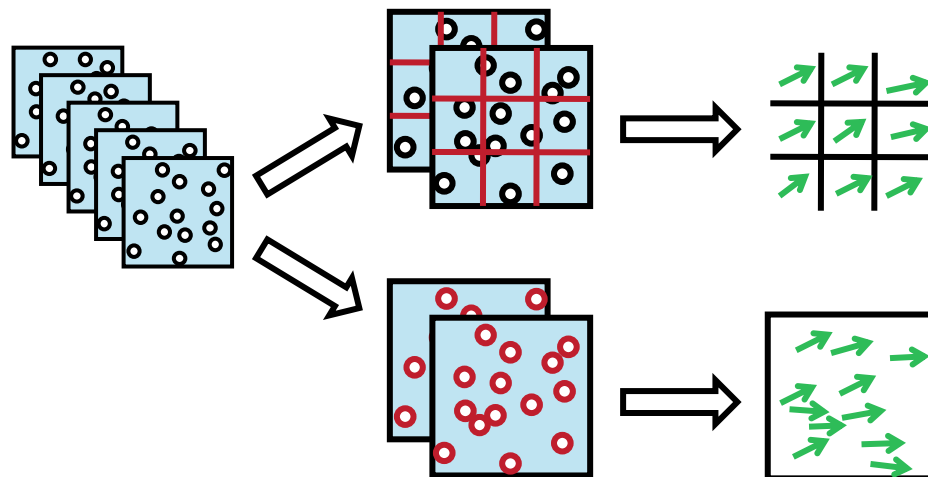
# Velocimetría basada en imágenes

El software que procesa las imágenes:

1. Identifica los trazadores
2. Determina cuanto se desplazan entre fotogramas consecutivos



Existen diferentes métodos de procesamiento, que difieren en la forma en que se reconocen los trazadores y se mide su desplazamiento.



## PIV (Particle Image Velocimetry)

Calcula el desplazamiento medio del patrón dentro de una ventana de interrogación.

## PTV (Particle Tracking Velocimetry)

Sigue cada partícula individualmente y calcula las trayectorias.

# Large Scale Particle Image Velocimetry



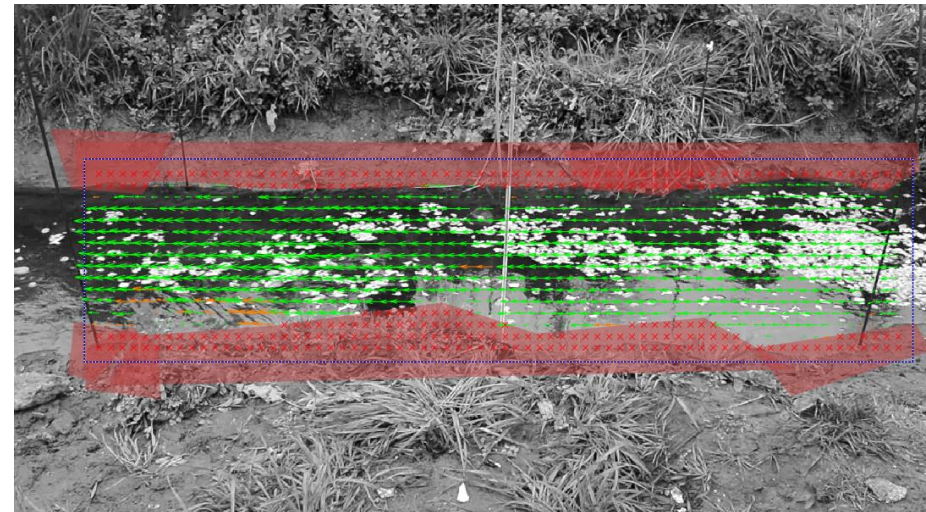
Chips de madera



Procesamiento de imágenes con LSPIV



Cañada Iyúí (Matilde Pacheco), Marzo 2022



Detección de patrones mediante PIV.

# Large Scale Particle Tracking Velocimetry



Naranjas



Procesamiento de imágenes con LSPTV



Arroyo Maldonado, Noviembre 2014

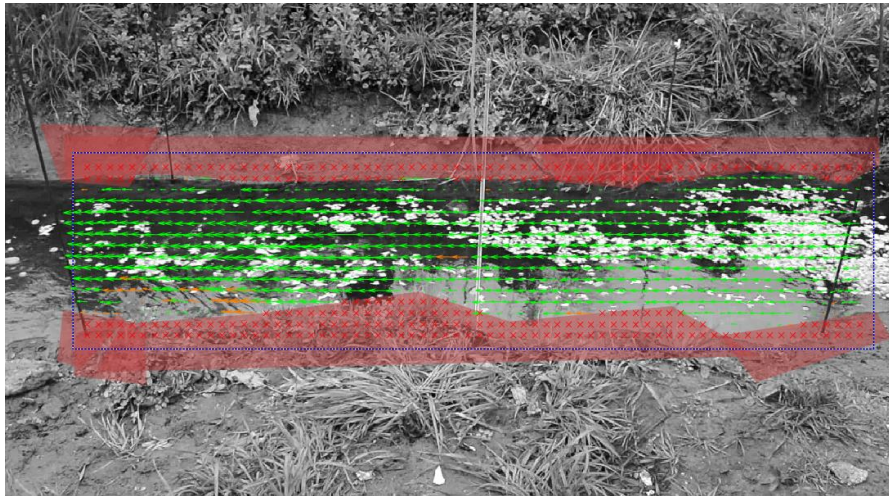


Detección de partículas mediante PTV.

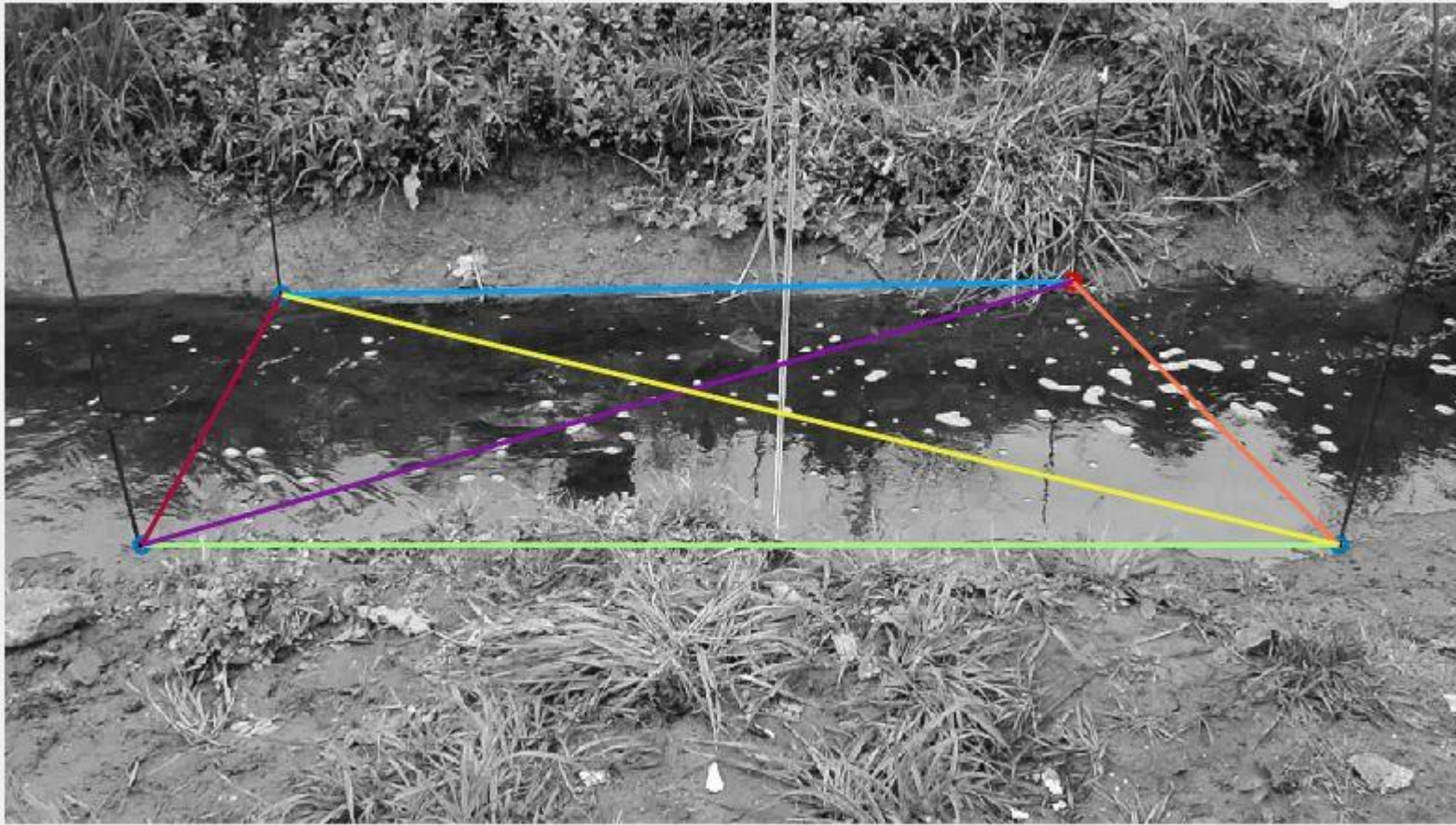
# Velocimetría basada en imágenes

Etapas del procesamiento:

1. Pre-procesamiento de imágenes (filtros, blanco y negro, extracción del fondo)
2. Determinación de campo de velocidad superficial medio en píxeles/segundo
3. Rectificación para pasar a metros/segundo y para compensar ángulo oblicuo de filmación



# Velocimetría basada en imágenes

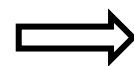


# Rectificación

Se requiere un procesamiento adicional para rectificar el campo de velocidades (pixeles/s) obtenido:

1. Para convertir las unidades de velocidad de pixel/s a m/s.
2. Para compensar el efecto generado por tomar el video de forma oblicua (no perpendicular) a la superficie libre.

$$\begin{pmatrix} X_p \\ Y_p \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_{11} & H_{12} & H_{13} \\ H_{21} & H_{22} & H_{23} \\ H_{31} & H_{32} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_r \\ Y_r \\ 1 \end{pmatrix}$$

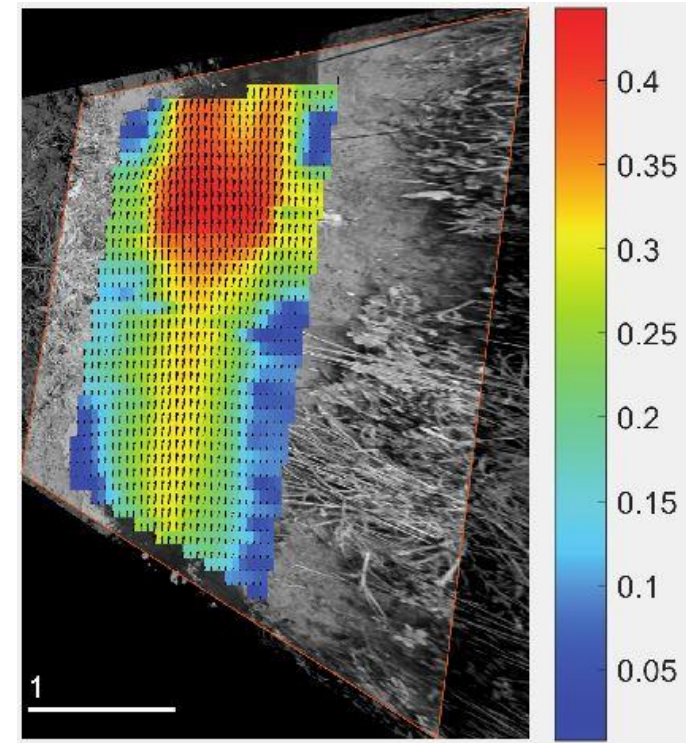
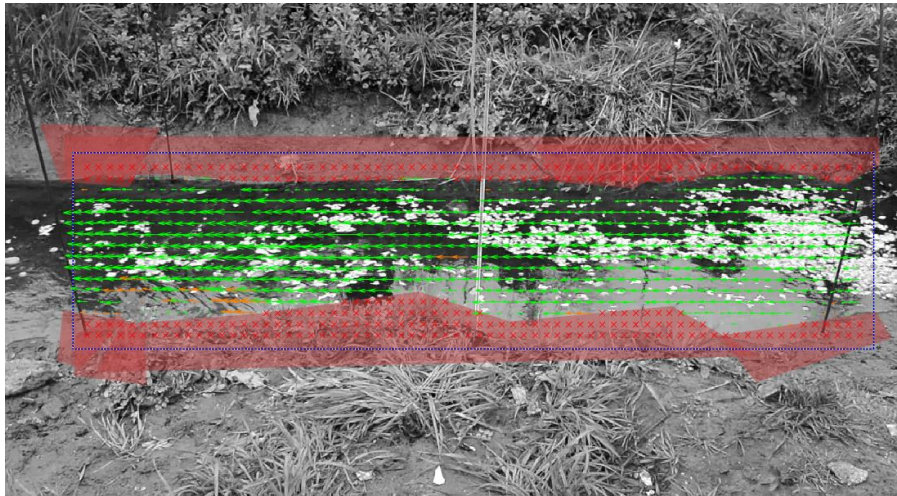


Puede resolverse si se conocen las coordenadas reales de al menos 4 puntos identificables en la imagen

# Velocimetría basada en imágenes

Etapas del procesamiento:

1. Pre-procesamiento de imágenes (filtros, blanco y negro, extracción del fondo)
2. Determinación de campo de velocidad superficial medio en píxeles/segundo
3. Rectificación para pasar a metros/segundo y para compensar ángulo oblicuo de filmación

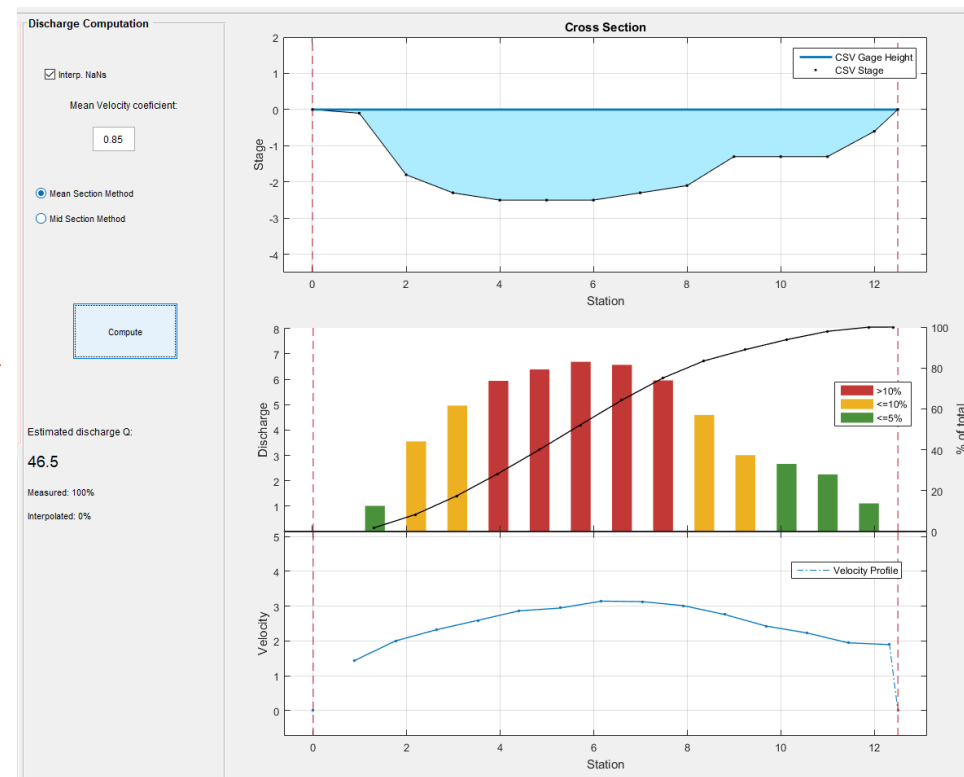
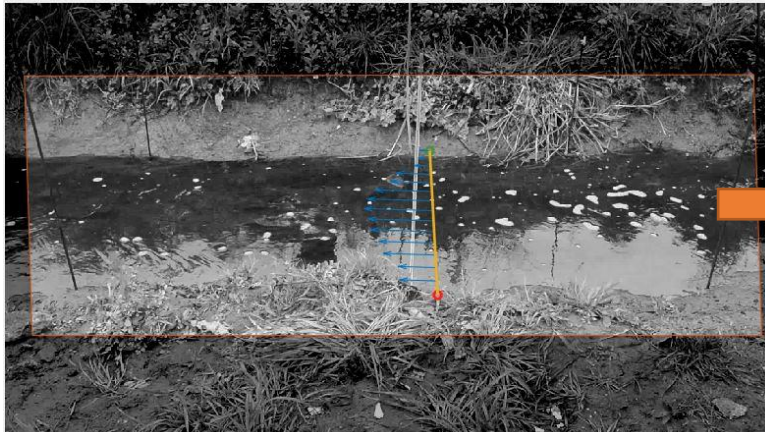




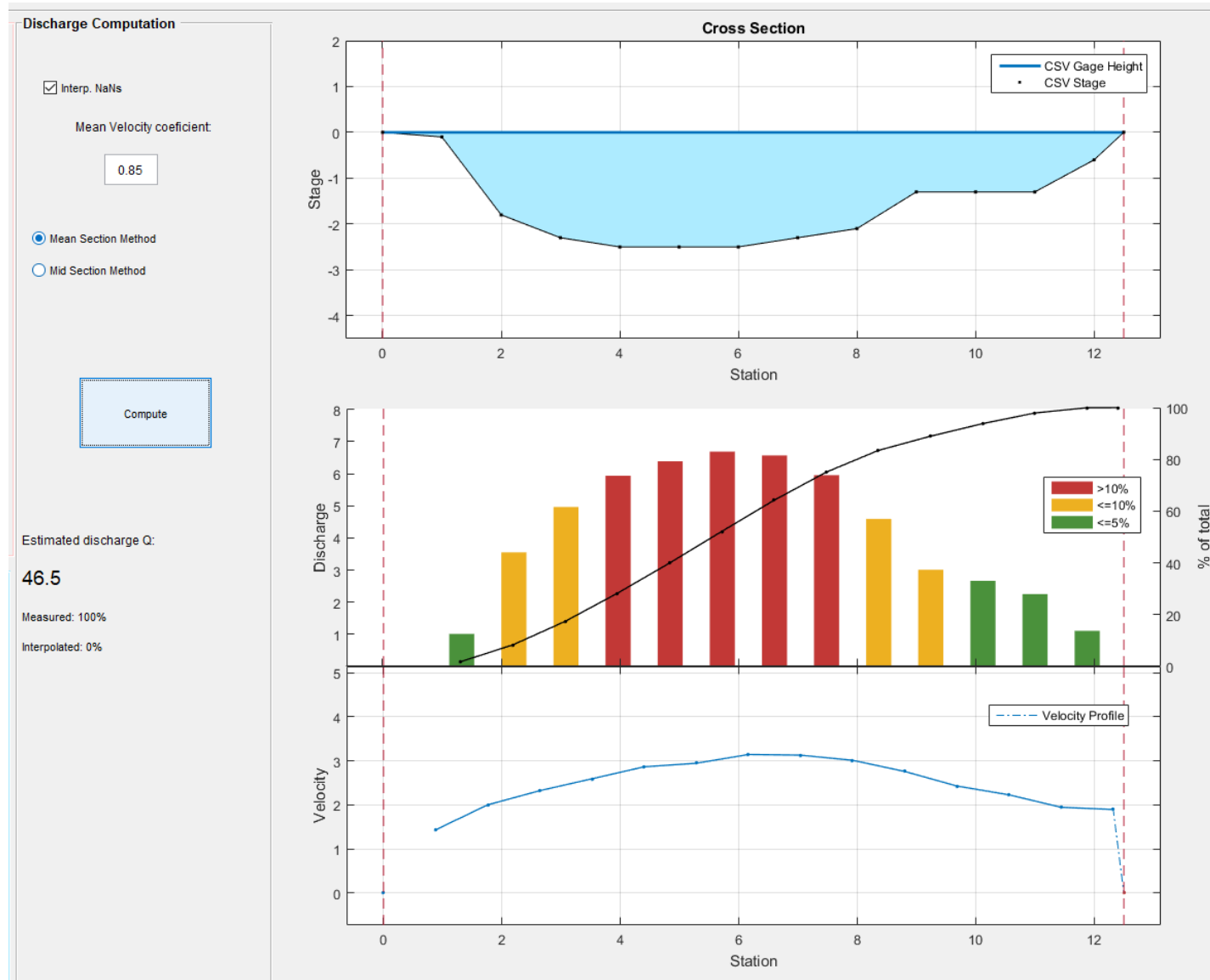
# Velocimetría basada en imágenes

Etapas del procesamiento:

4. Extracción de secciones horizontales de velocidad superficial
5. Transformación a velocidad media con factor  $\alpha$
6. Cálculo del caudal



# Velocimetría basada en imágenes



# Procedimiento de campo



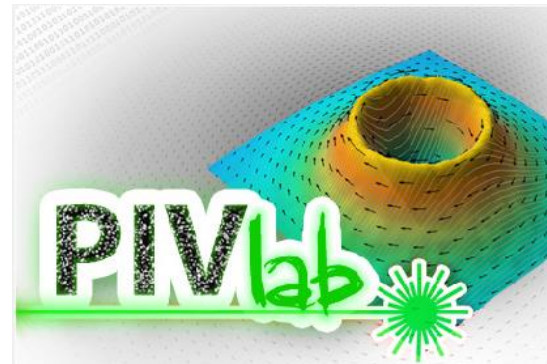
# Procedimiento de campo



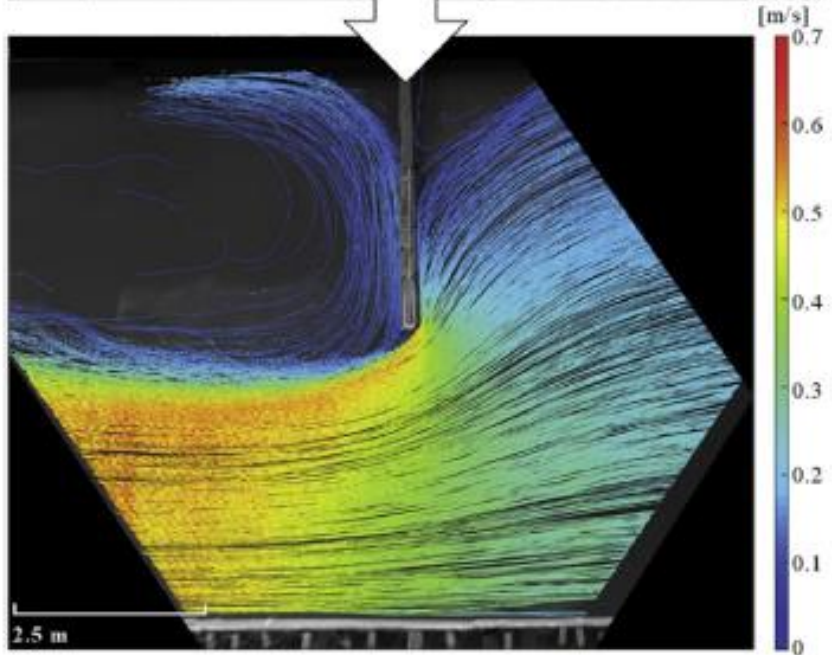
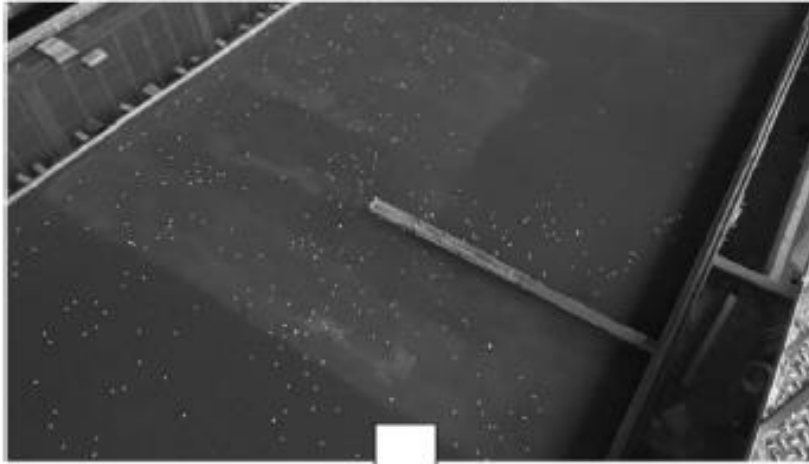
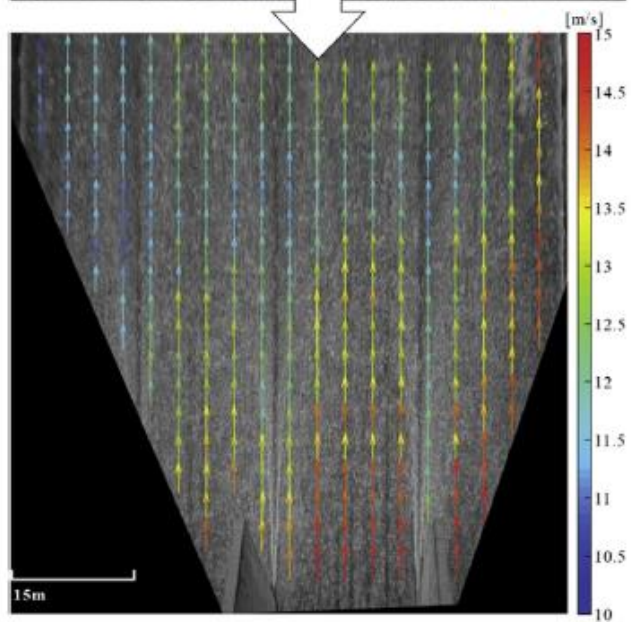
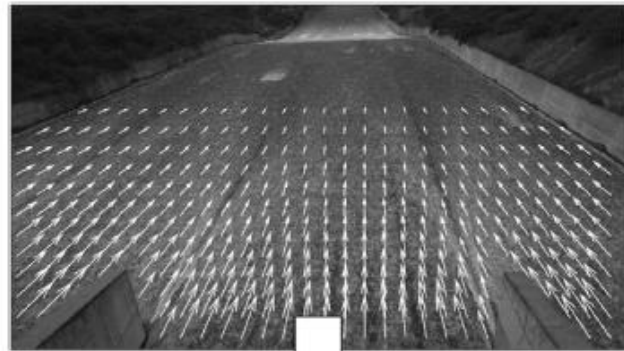
# Programas utilizados

- Para procesamiento PIVLab (<https://pivlab.blogspot.com/>)
- Para procesamiento PTVLab (<http://ptvlab.blogspot.com/>)

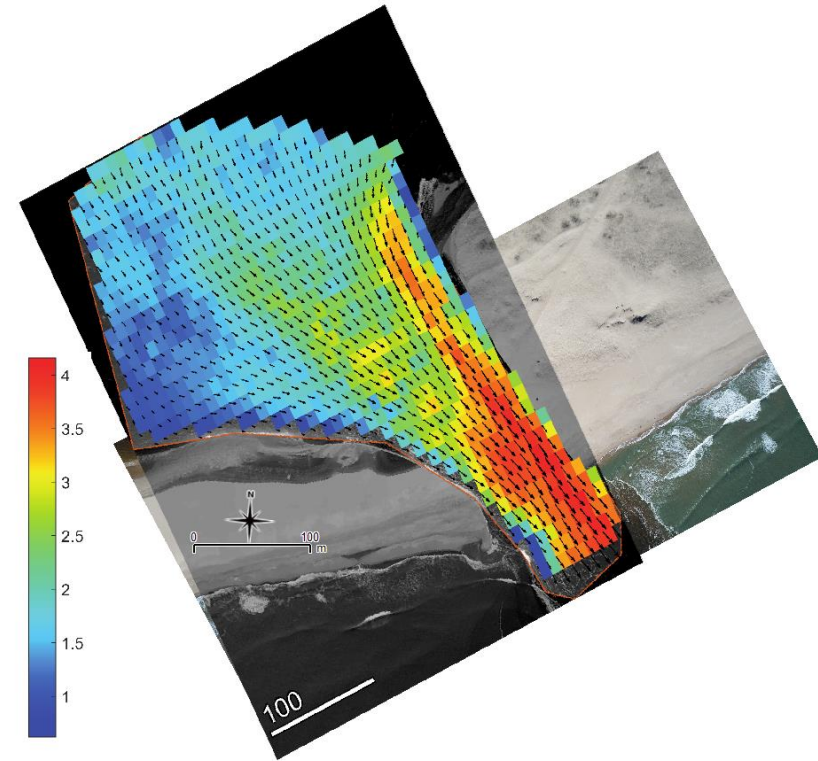
Para rectificación del campo de velocidad RIVeR (<https://riverdischarge.blogspot.com/>) incluye el código y la interfaz de procesamiento, por lo que alcanza con descargar este.



# Otras aplicaciones



# Otras aplicaciones



**Teixeira, M. (2019)**, *Modelos morfodinámicos aplicados a la gestión de las lagunas litorales : el caso de la Laguna de Rocha*. Tesis de maestría. Montevideo : UR.FI.IMFIA.

(<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/20935>)

# Aplicación a proyectos de investigación

- Proyecto CSIC I+D 2014: “Avances para la medición de caudales de estiaje en Uruguay utilizando técnicas de velocimetría por imágenes” – IMFIA + CETA, UNC.
- Proyecto “Cazadores de Crecidas” – CETA, UNC



[VIDEO](#)

- Proyecto I+D 2021 Intendencia de Montevideo: “Monitoreo de caudales mediante velocimetría por imágenes en cursos de agua de Montevideo”