

# Monitoreo costero en base a imágenes

NAP - Costas



Ministerio  
de Ambiente

1er Curso-Taller: Puesta a punto a diciembre 2022.

*Equipo de trabajo: Maya Lambert, Paula Gurruchaga,  
Rodrigo Alonso Hauser y Sebastián Solari*

*IMFIA - Fing - Udelar*



FACULTAD DE  
INGENIERÍA



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

# Contenido

## ❖ Introducción

Necesidad de monitorear los cambios morfológicos de la costa

Monitoreo en base a imágenes como etapa inicial de un programa integral de monitoreo de los cambios morfológicos de la costa.

## ❖ Imágenes satelitales

## ❖ Sistema de cámaras de video

## ❖ Monitoreo ciudadano (CoastSnap\_Uy)

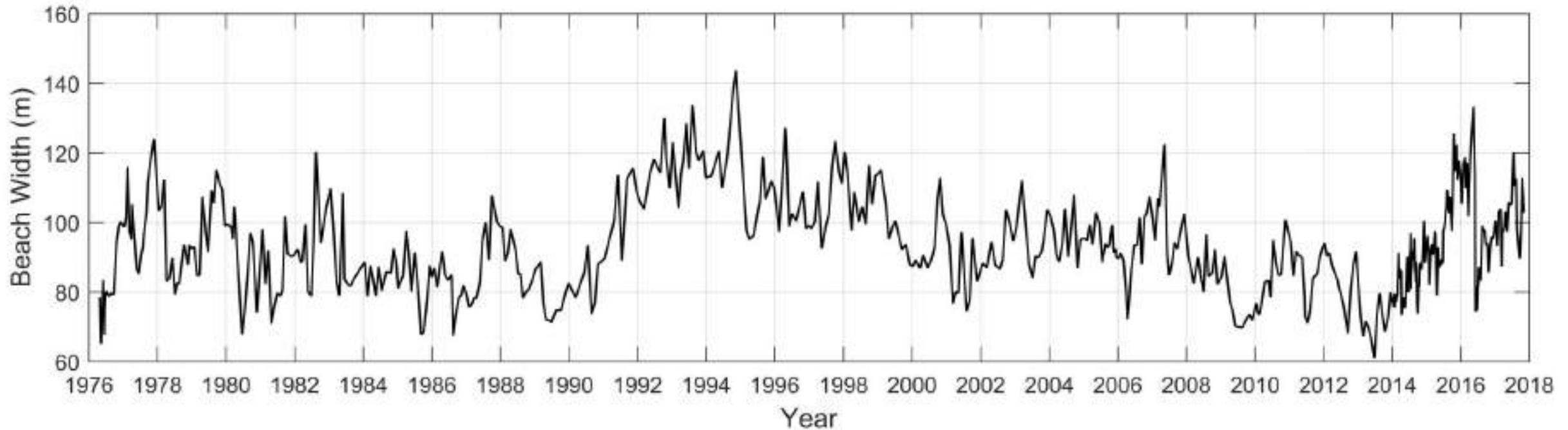
Descripción de cada parte

Resultados preliminares

Pasos futuros y discusión de como darle sostenibilidad en el tiempo

# Las playas son ambientes dinámicos

<http://narrabeen.wrl.unsw.edu.au/>

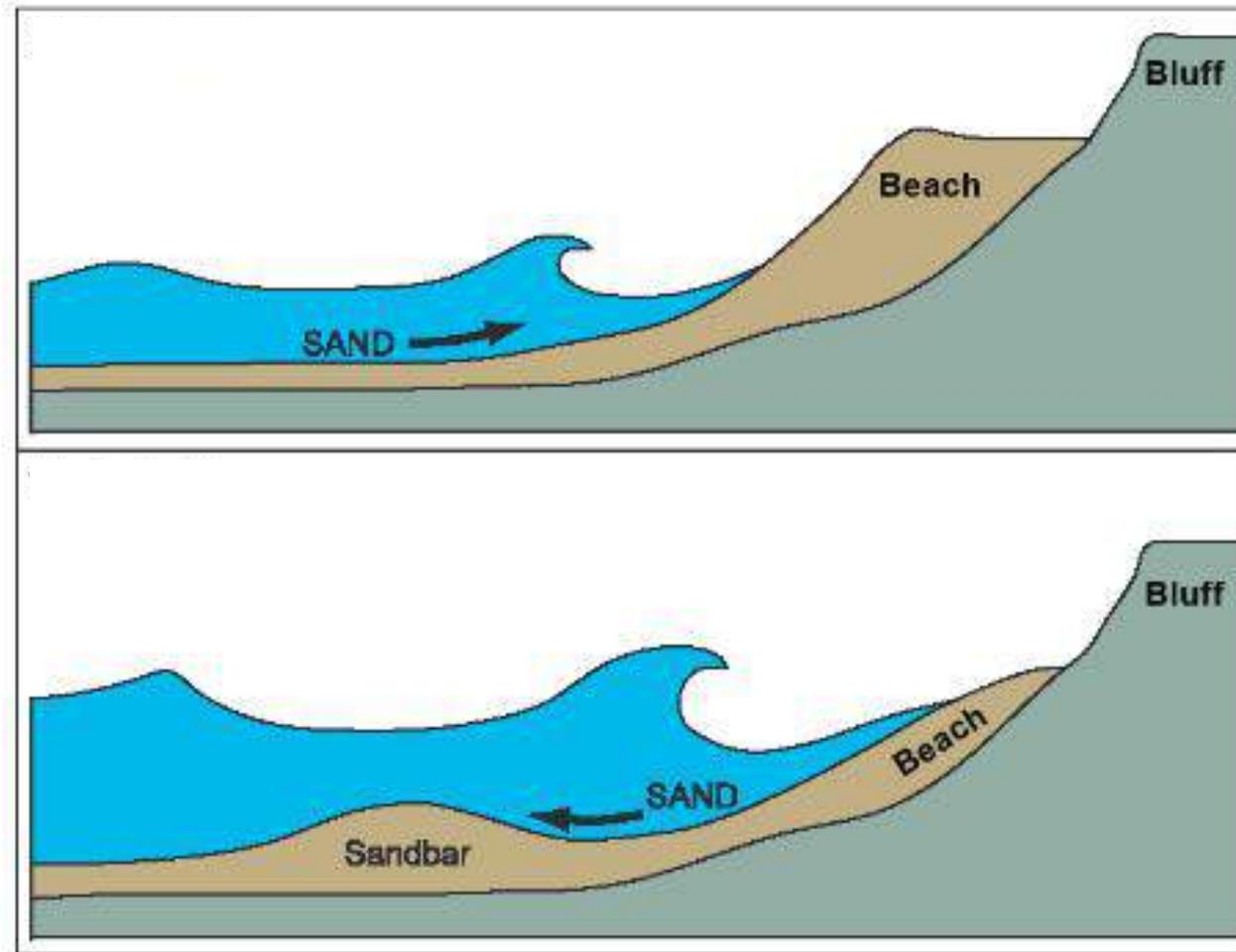


# Las playas son ambientes dinámicos

Ciclo de erosión – recuperación de la parte superior de un perfil de playa

Erosión en condiciones de oleaje intenso, comunmente acompañado de nivel de mar alto (marea meteorológica)

Escala temporal: horas - 1 día

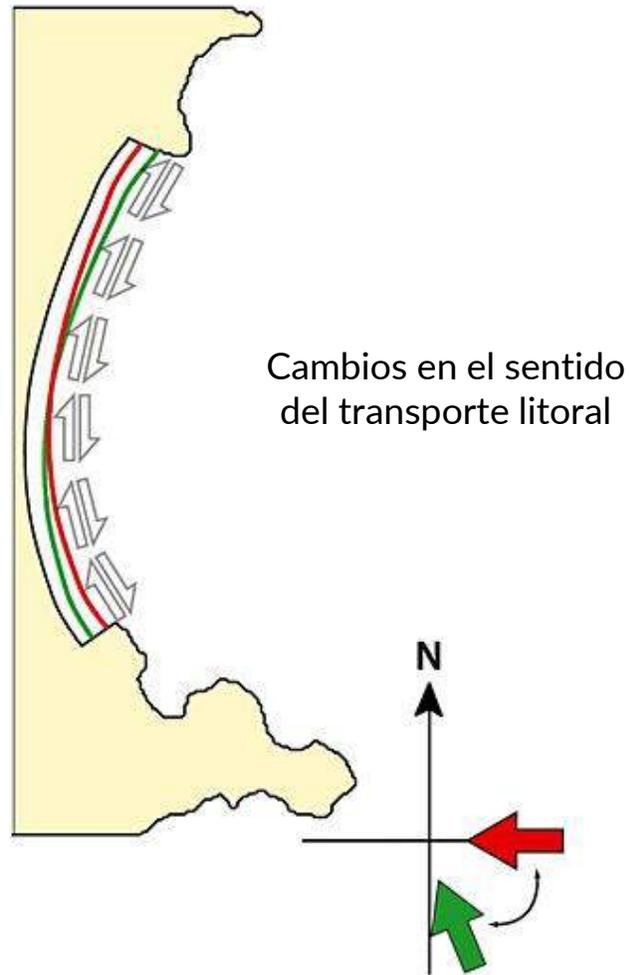


Escala temporal: semanas - mes

Recuperación bajo condiciones de oleaje moderado

# Las playas son ambientes dinámicos

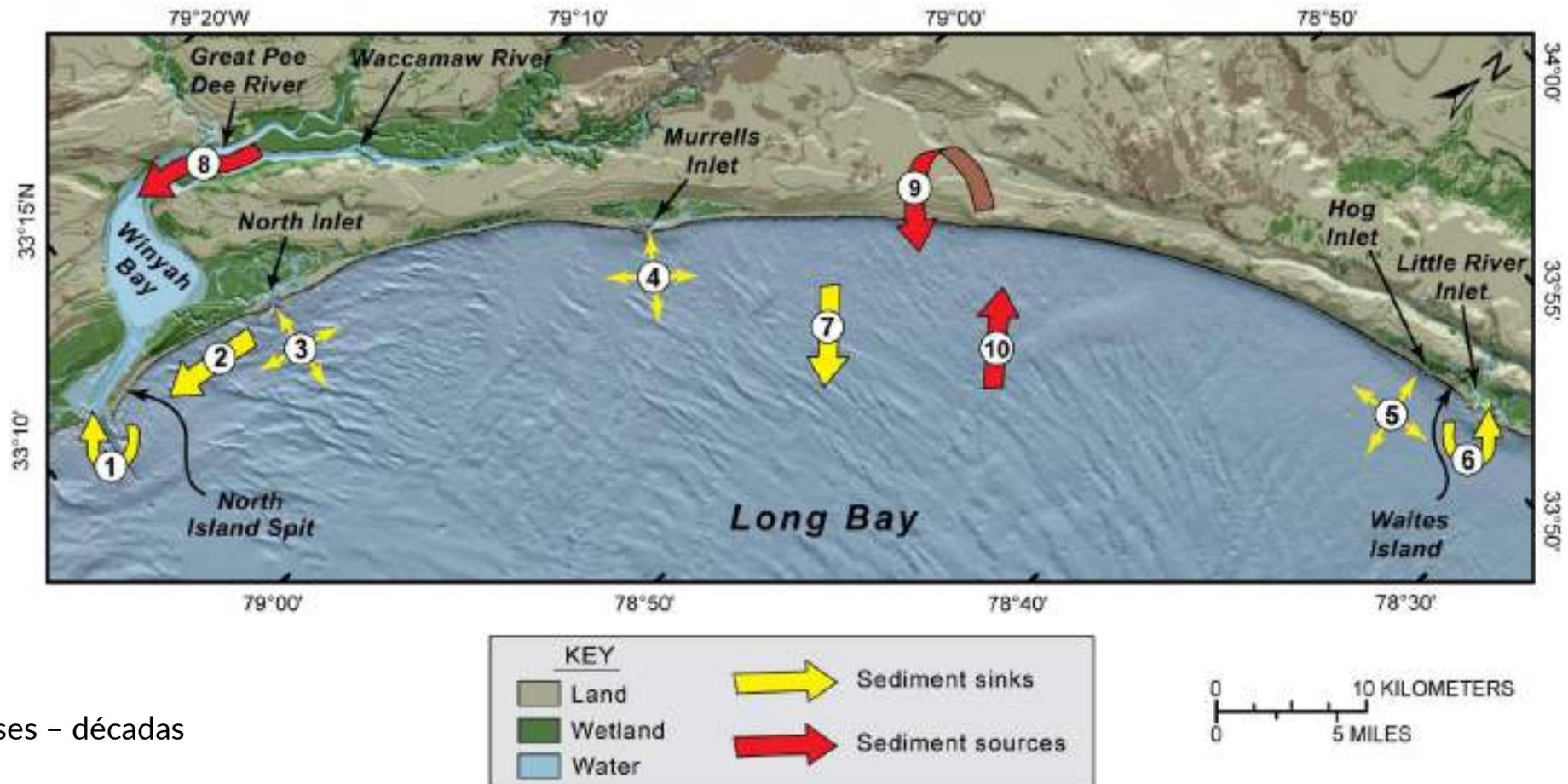
Rotación de la playa



Escala temporal: meses

# Las playas son ambientes dinámicos

Intercambio de sedimentos con el sistema costero en el que se encuentra la playa



Escala temporal: meses – décadas

# Las playas son ambientes dinámicos

Respuesta a variaciones del nivel medio del mar

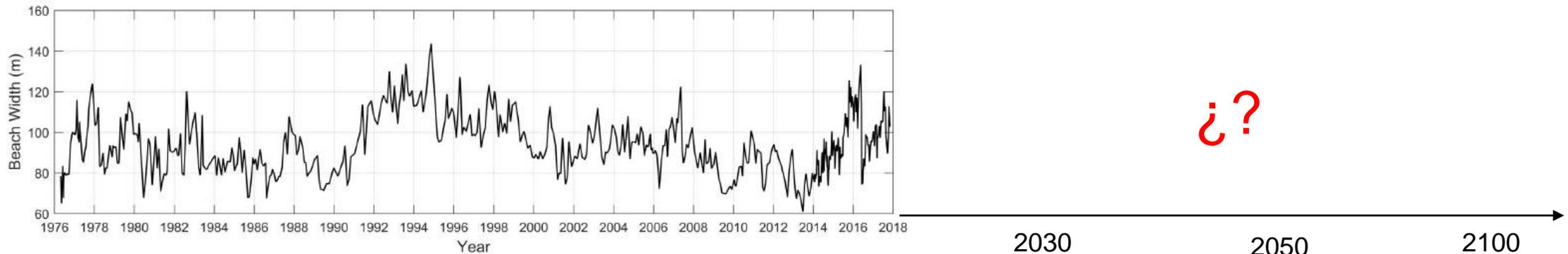


Escala temporal: décadas

# Comprender esta dinámica es fundamental para la gestión

- ❖ Definir de criterios de ocupación y uso del espacio costero
- ❖ Intervenir eficientemente en problemas costeros: erosión, inundaciones, degradación ambiental, etc.

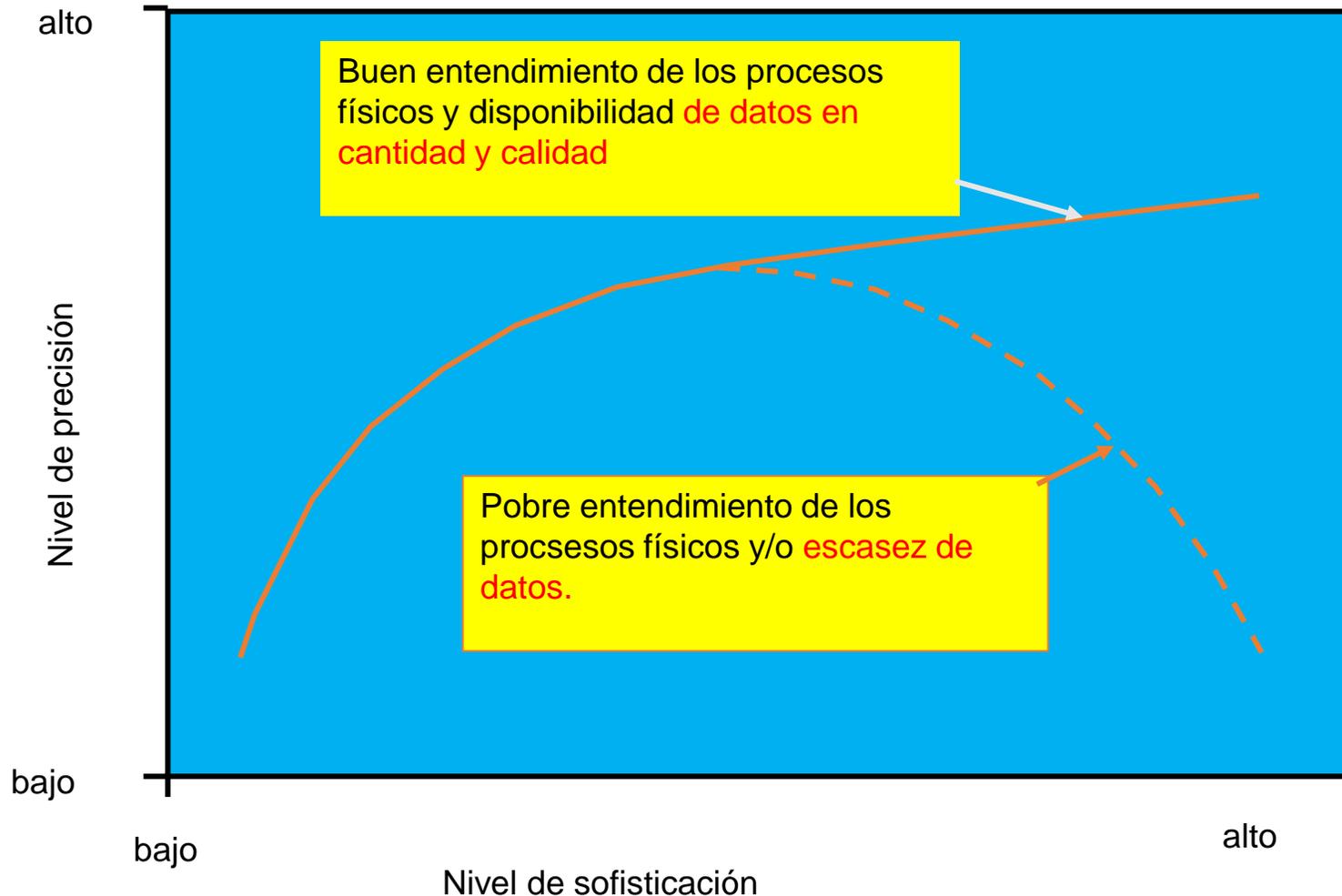
Así como tener capacidad de proyectarla



- ❖ Planificar de forma de anticiparse a futuros problemas

# Importancia de monitorear

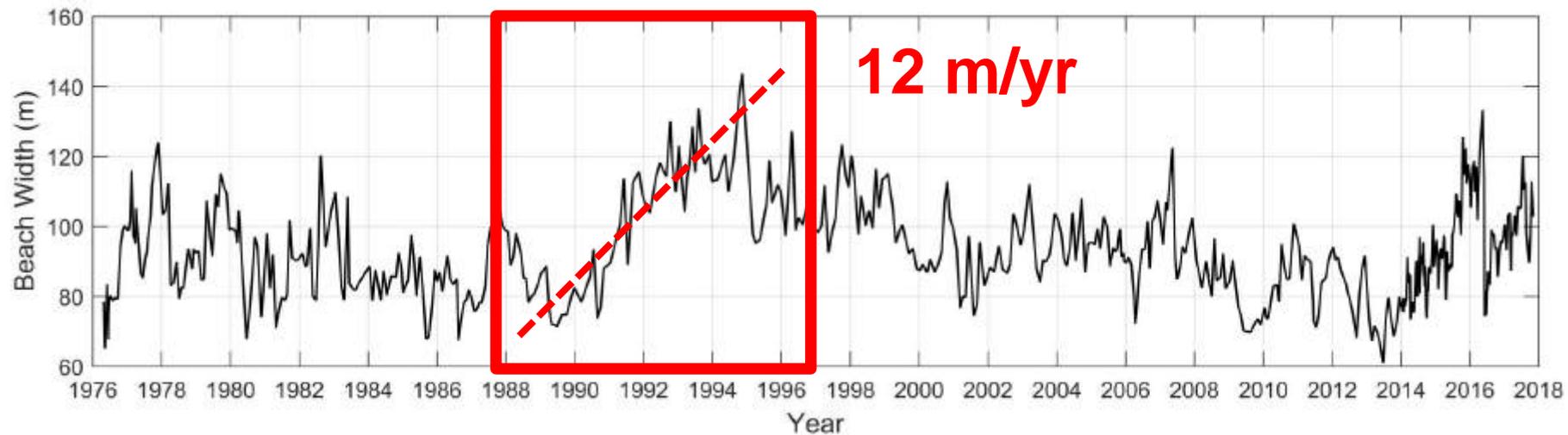
Modelos Morfodinámicos



¡Hay que medir!

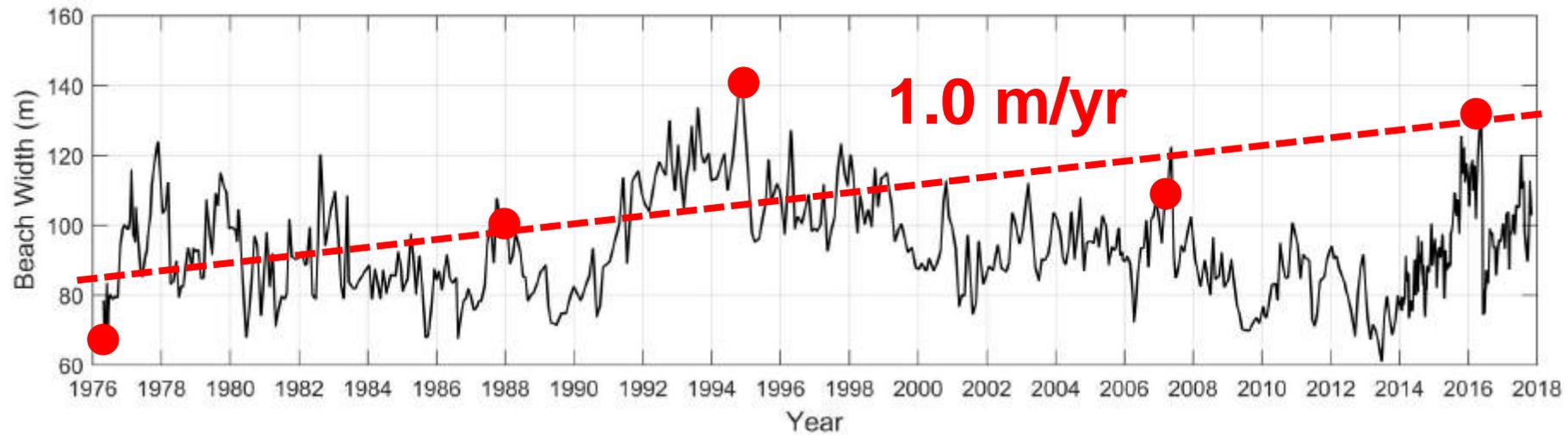
# Importancia de monitorear

De forma sostenida en el tiempo



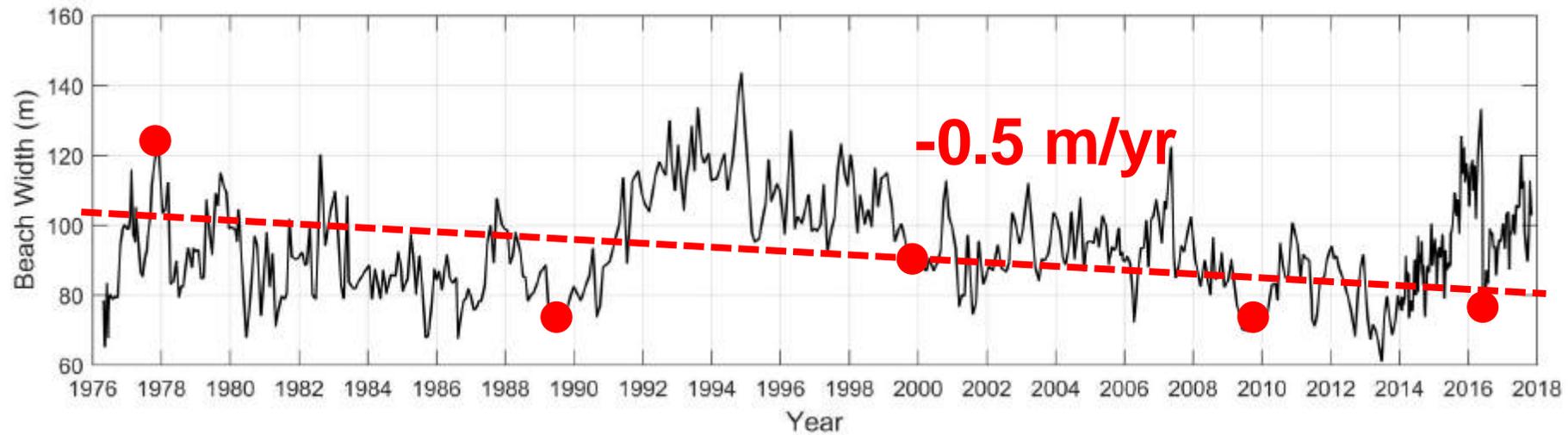
# Importancia de monitorear

Con regularidad



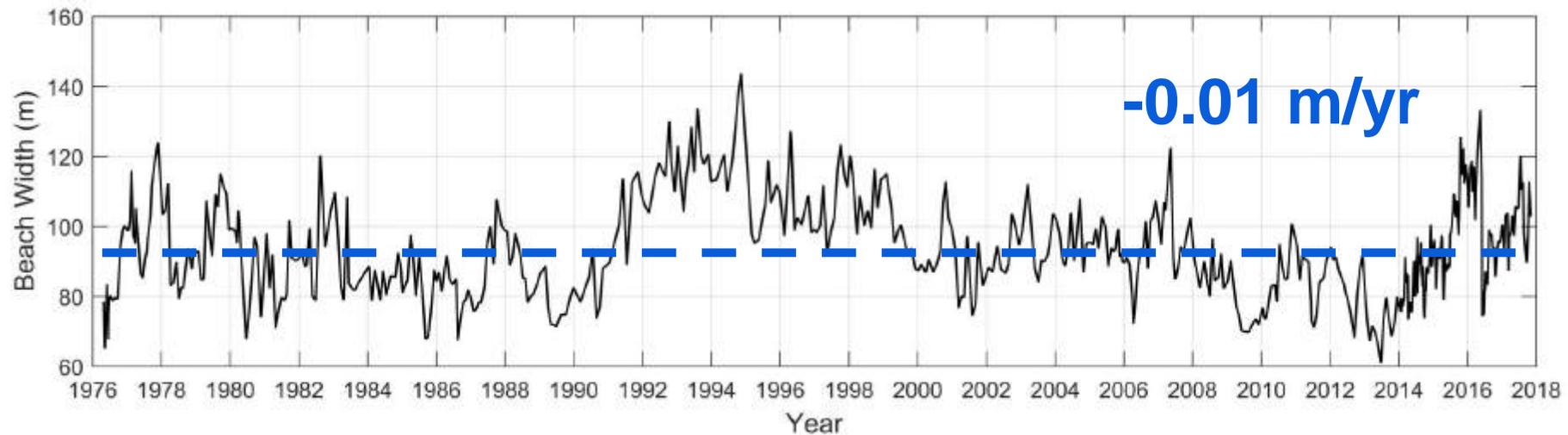
# Importancia de monitorear

Con regularidad



# Importancia de monitorear

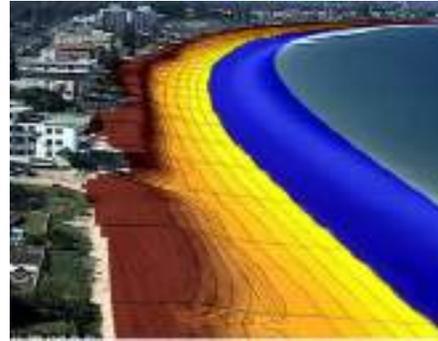
Medir de forma sostenida en el tiempo y con regularidad



# Hacia un programa integral de monitoreo de los cambios morfológicos de la costa

Variables a monitorear

Topo - batimétricas



Met-oceánicas



Sedimentológicas

# Hacia un programa integral de monitoreo de los cambios morfológicos de la costa

## Características

- ❖ 2 Niveles de resolución:
  - Regional: Mejorar información de base a escala nacional. Contribuir a la definición de celdas litorales.
  - Local: Mayor detalle en sitios de interés, ej: Sitios piloto NAP-Costas y desembocaduras.
- ❖ Abierto a la interacción y sinergia con:
  - Programas de monitoreo de ambientes que se vinculan directamente con el espacio costero: Cuencas, RPFM.
  - Monitoreo de otras variables ambientales: calidad de agua, uso de las playas, etc.
  - Sistemas de pronósticos (ej. PRONUUY\_RPFM).
- ❖ Esfuerzo por aprovechar y sistematizar información existente:
  - Coordinación institucional.
  - Productos satelitales.
- ❖ Relevamientos sistemáticos y reporte de metadatos
- ❖ Involucramiento de la ciudadanía

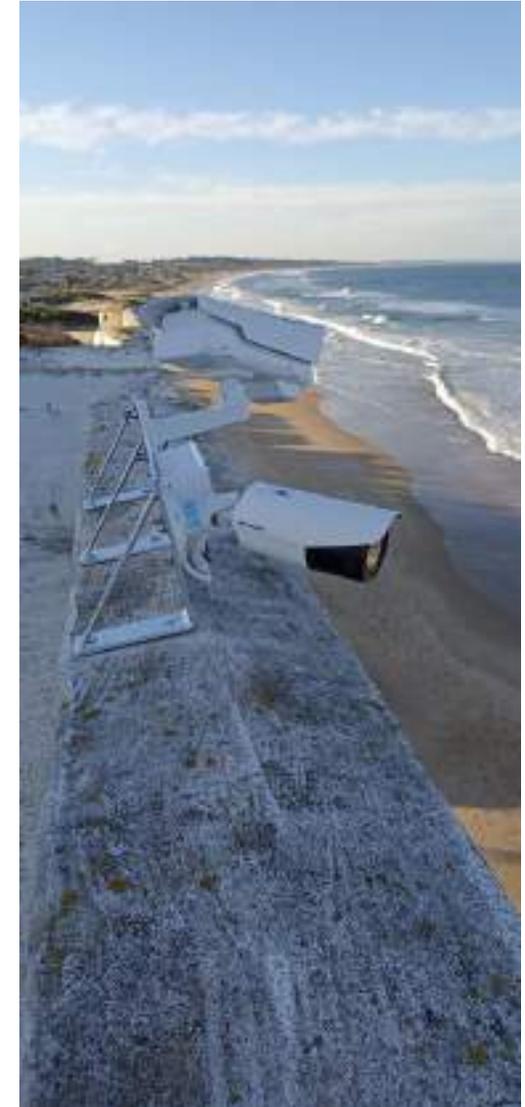
# Hacia un programa integral de monitoreo de los cambios morfológicos de la costa

## Monitoreo costero en base a imágenes

- ❖ Primera etapa.
- ❖ Orientado en las características expuestas.
- ❖ Tres componentes:
  - Imágenes satelitales
  - Sistemas de cámaras de video
  - Fotos de celulares (Monitoreo ciudadano)
- ❖ Productos:
  - Obtención sistemática de la posición de la línea de costa.
  - Exploración de la obtención de otras variables.

## Monitoreo en base a imágenes

Complementa las mediciones in-situ con mayor cobertura y densidad espacio-temporal de información ...  
pero con menor precisión y detalle



Detección de la línea de costa

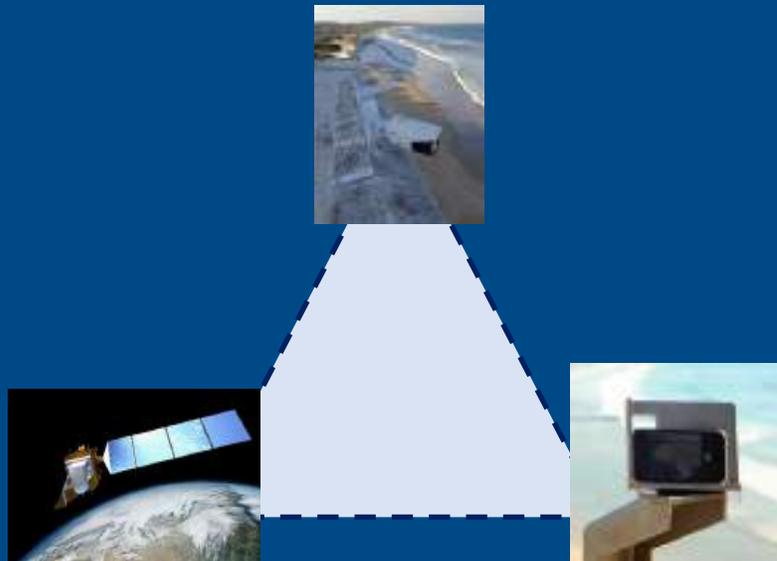
Desarrollos consolidados y con buena precisión

Monitoreo en base a imágenes

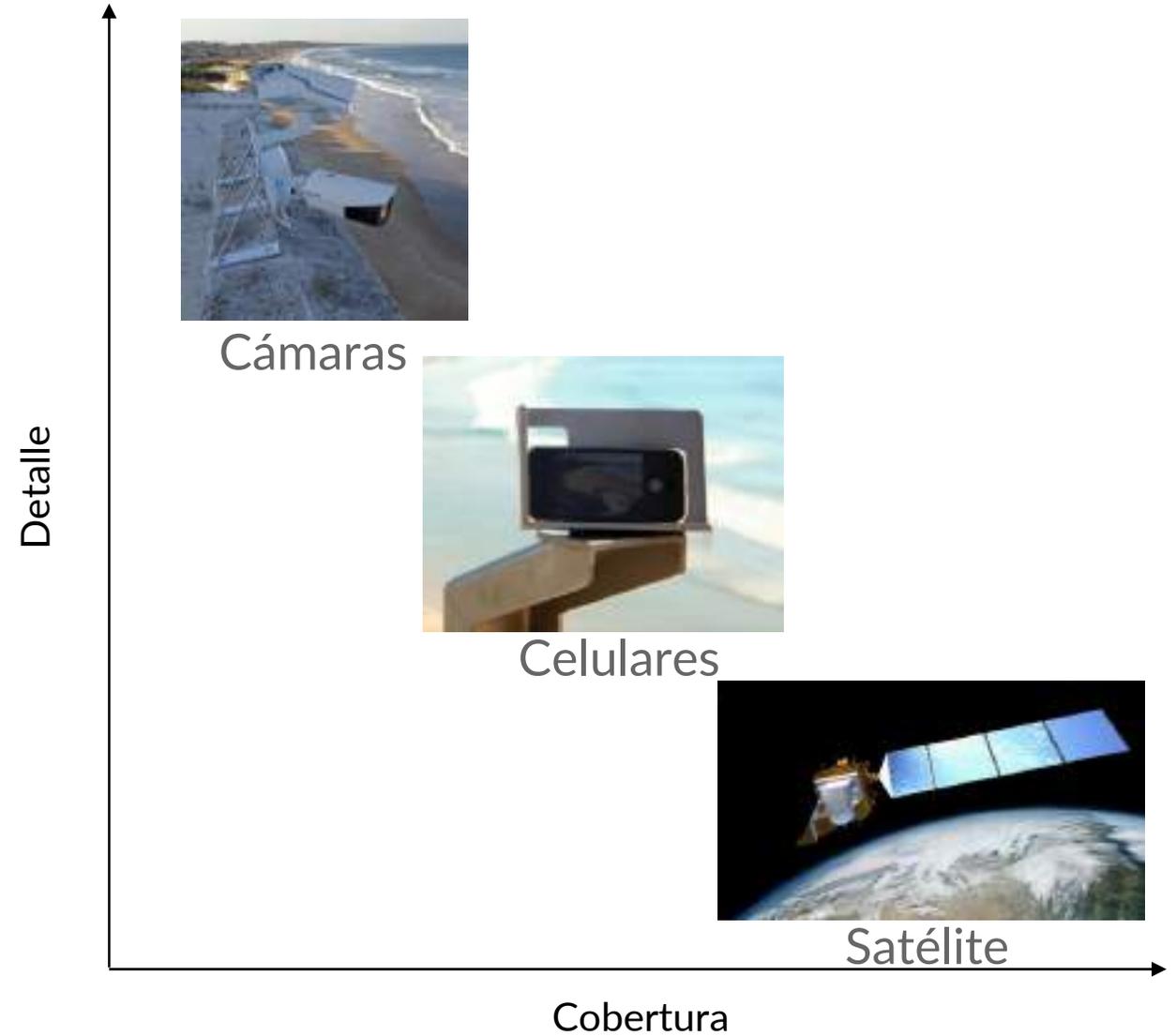
Playa Ramírez 19/06/2022 11:00



# Monitoreo en base a imágenes



Tres componentes



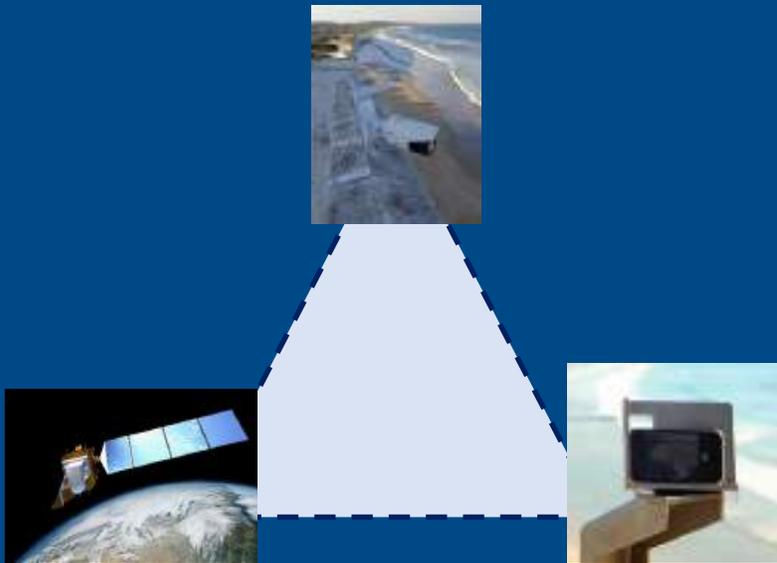
# Monitoreo en base a imágenes



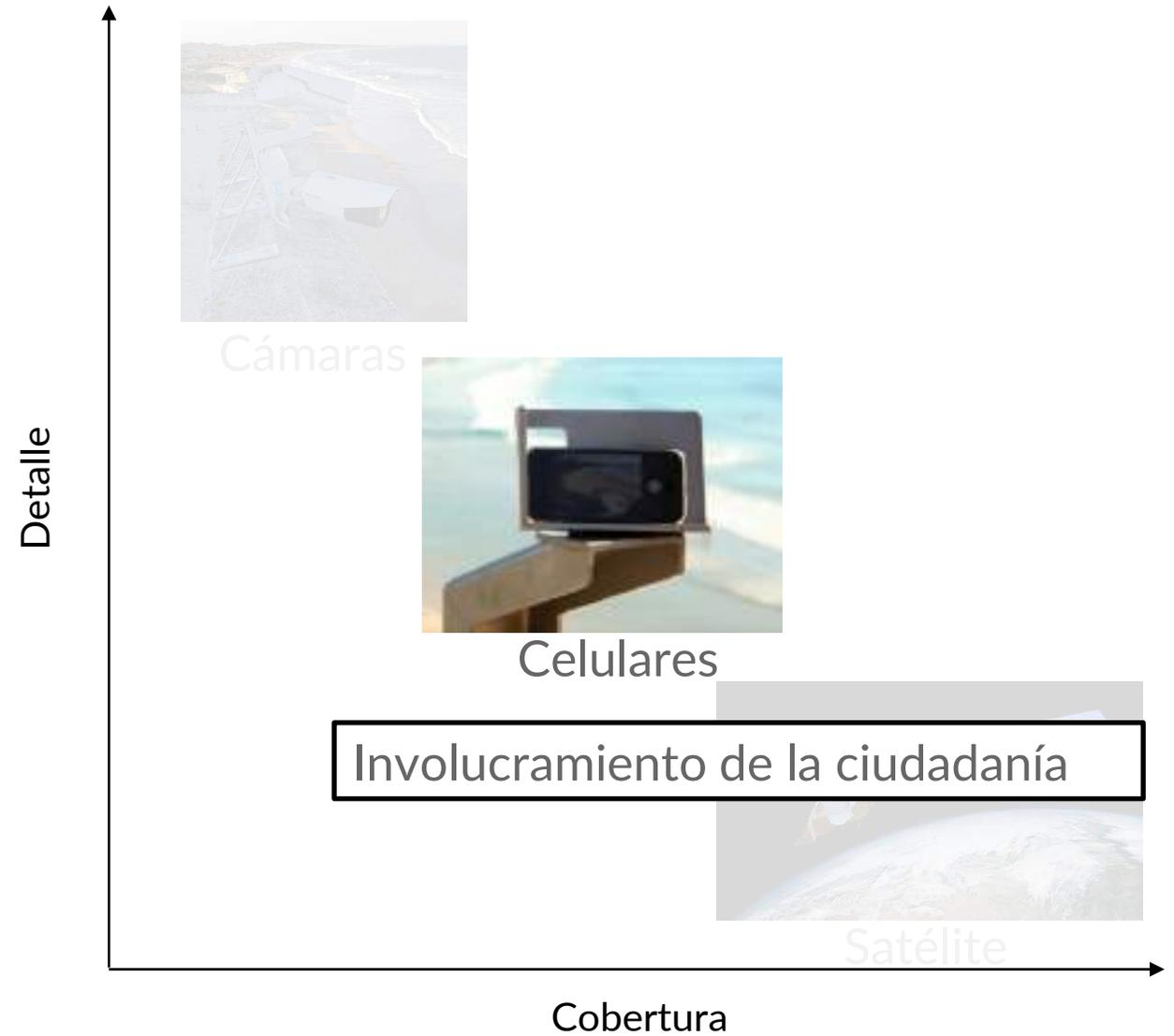
Tres componentes



# Monitoreo en base a imágenes



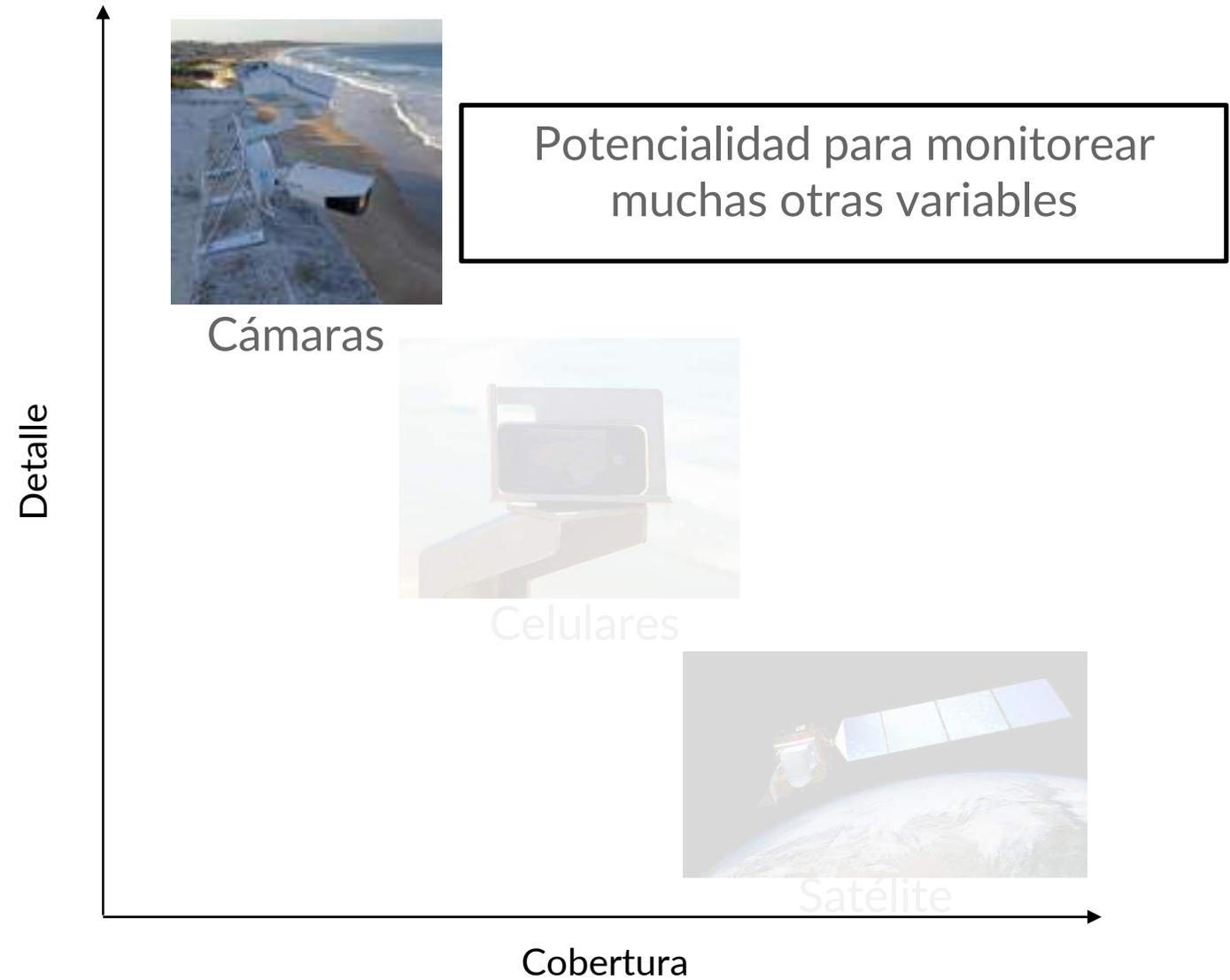
Tres componentes



# Monitoreo en base a imágenes



Tres componentes



# Monitoreo en base a imágenes



## Imágenes Satelitales

- ❖ Basada en la herramienta CoastSat (Vos et al. 2019)  
<https://github.com/kvos/CoastSat>
- ❖ Utiliza las imágenes disponibles en Google Earth Engine
  - Landsat L5 (1984-2012)
  - L7 (1999 - presente)
  - L8 (2013 - presente)
  - L9 (2021 - presente)
  - Sentinel S2 (2015-presente)
- ❖ Se está adaptando y verificando los algoritmos CoastSat en XX regiones que cubren toda la costa del país.
- ❖ Se desarrollaron herramientas de post-procesamiento en Matlab para analizar los resultados en transectas.
- ❖ Se están generando resultados en transectas definidas cada xx m.

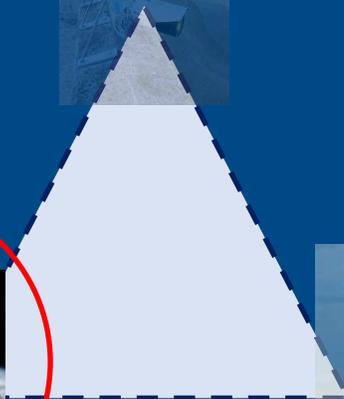
# Monitoreo en base a imágenes

## Imágenes Satelitales: Definición de áreas de trabajo y línea de costa de referencia

- ❖ Áreas de trabajo: Cubren arcos de playa o tramos de playas de extensión menor a 10 km.
- ❖ Línea de costa de referencia: Nivel de mar percentil 80% cortado con MDT IDE ([NAP-Costas Proyecto URU/18/02 Entregable E.3.1](#)).



# Monitoreo en base a imágenes



Imágenes Satelitales: Descarga de imágenes por áreas de trabajo.

MAL\_07



MAL\_08



L5

L8

S2

# Monitoreo en base a imágenes



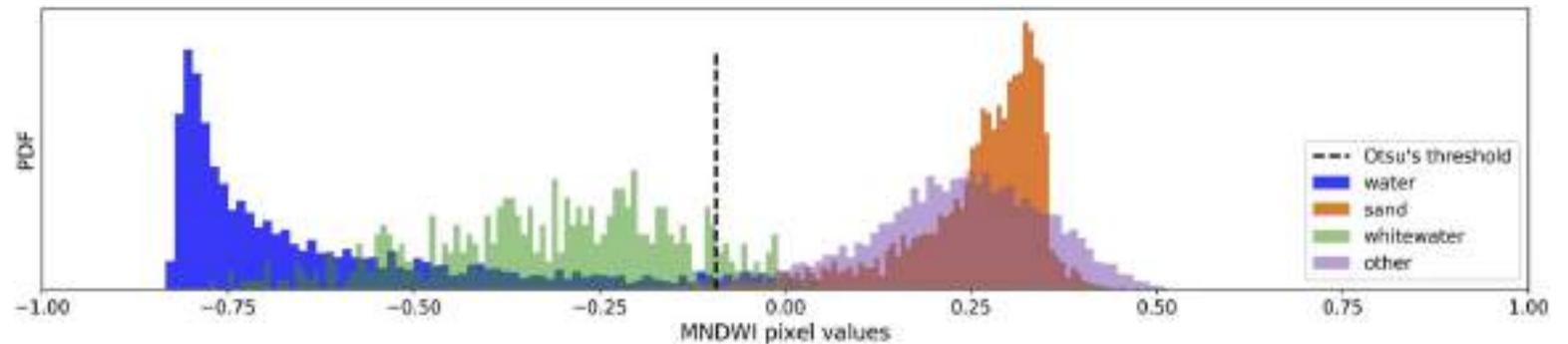
Imágenes Satelitales: Ejemplo de detección de la línea de costa con el algoritmo CoastSat.

MAL\_08 2020-10-07-13-52-11\_S2

❖ Clasifica los pixeles en 4 categorías



❖ Define umbral de transición arena -agua



# Monitoreo en base a imágenes



## Imágenes Satelitales: Ejemplo de detección de la línea de costa con el algoritmo CoastSat.

### ❖ Filtrado automático de datos anómalos

#### Causas:

- Presencia nubosidad.
- Bancos de arena emergidos.
- Entorno de desembocaduras.
- Vegetación
- etc.

#### Criterios de filtrado:

- Mínima área de playa: para que los píxeles sean clasificados como arena.
- Extensión de buffer: radio alrededor de los píxeles de arena permitido para la detección del umbral arena/agua.
- Longitud mínima de líneas.
- Distancia máxima permitida respecto a la línea de referencia.



Se observó que el filtrado automático con los parámetros por defecto no es suficiente

# Monitoreo en base a imágenes

Imágenes Satelitales: Ajuste de los parámetros de filtrado automático para cada área de trabajo.

Tabla: Ejemplo de aplicación sin y con ajuste de parámetros en Montevideo.

Nombre	Cant. Fotos	Sin ajuste de parámetros		Con ajuste de parámetros	
		Cant. Líneas	% filtrado	Cant. Líneas	% filtrado
MVD_05 (Punta Yeguas)	1211	1090	10%	853	30%
MVD_06 (Punta Sayago)	1158	1019	12%	712	39%
MVD_08 (Playa Ramírez)	651	540	17%	387	41%
MVD_13 (Playa Verde)	712	641	10%	525	26%
MVD_14 (Carrasco)	560	510	9%	237	58%

Mejora significativa pero aún no suficiente. Resultó necesario terminar de filtrar manualmente.

# Monitoreo en base a imágenes



Imágenes Satelitales: Revisión y filtrado manual de datos anómalos

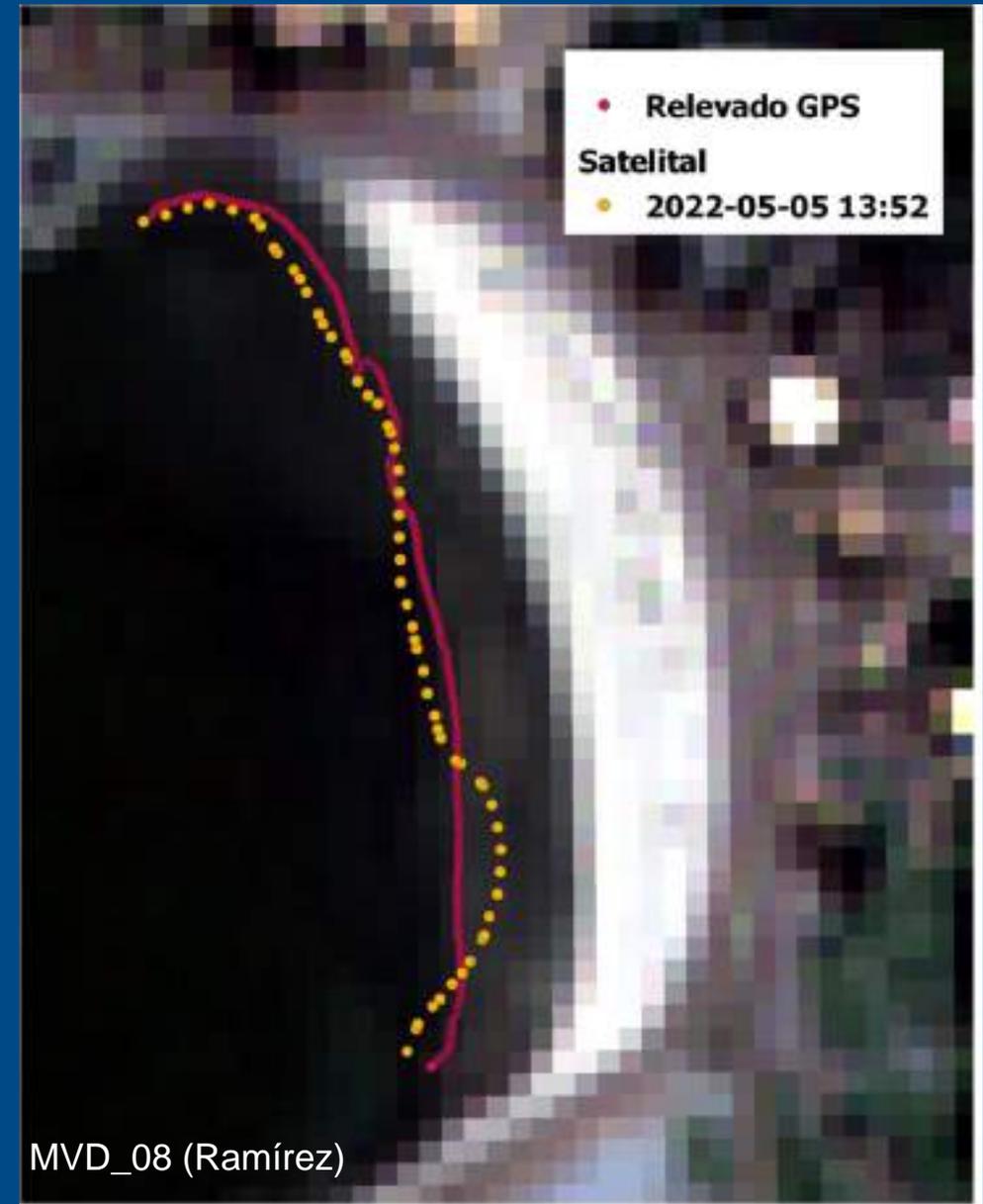


# Imágenes Satelitales: Verificación contra líneas de costa relevadas in-situ.



10 relevamientos entre abril y julio /2022

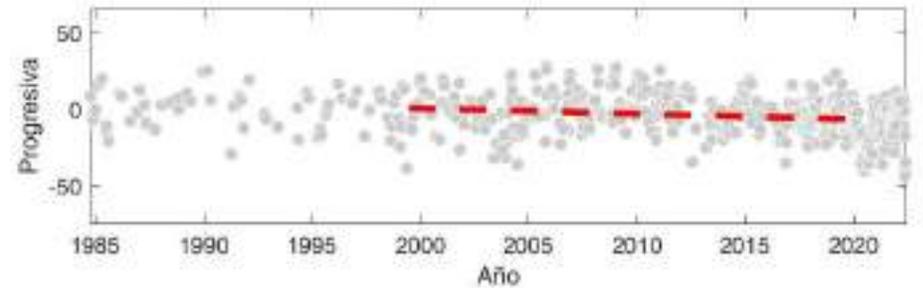
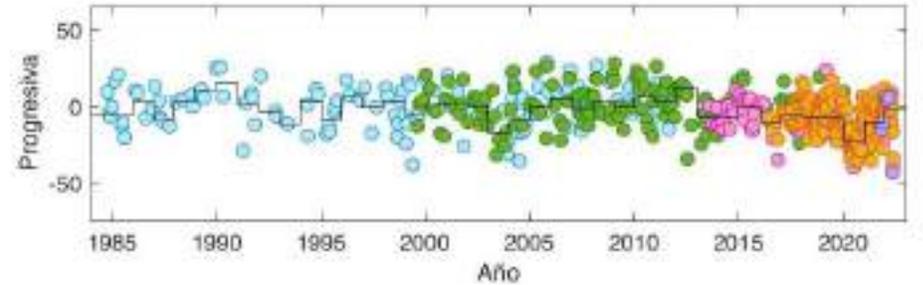
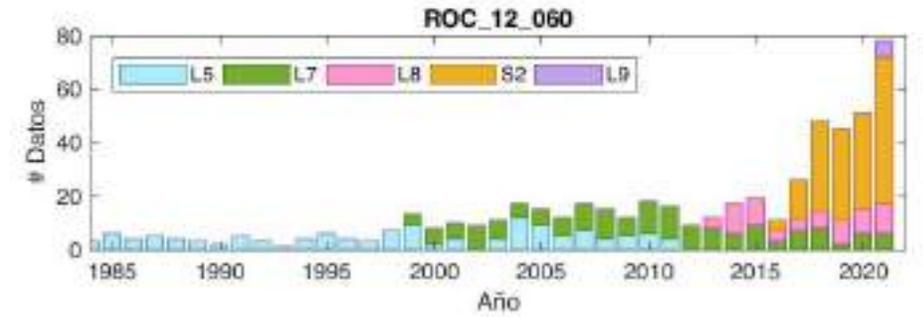
Resultados satisfactorios considerando la complejidad de este caso particular



# Monitoreo en base a imágenes



Imágenes satelitales: Análisis en transectas (Perfiles cada 100 m)



La media de 1999-2009 es diferente a la de 2010-2020 al 95% de confianza. La diferencia de medias es -5.6 m (valores negativos indican erosión).

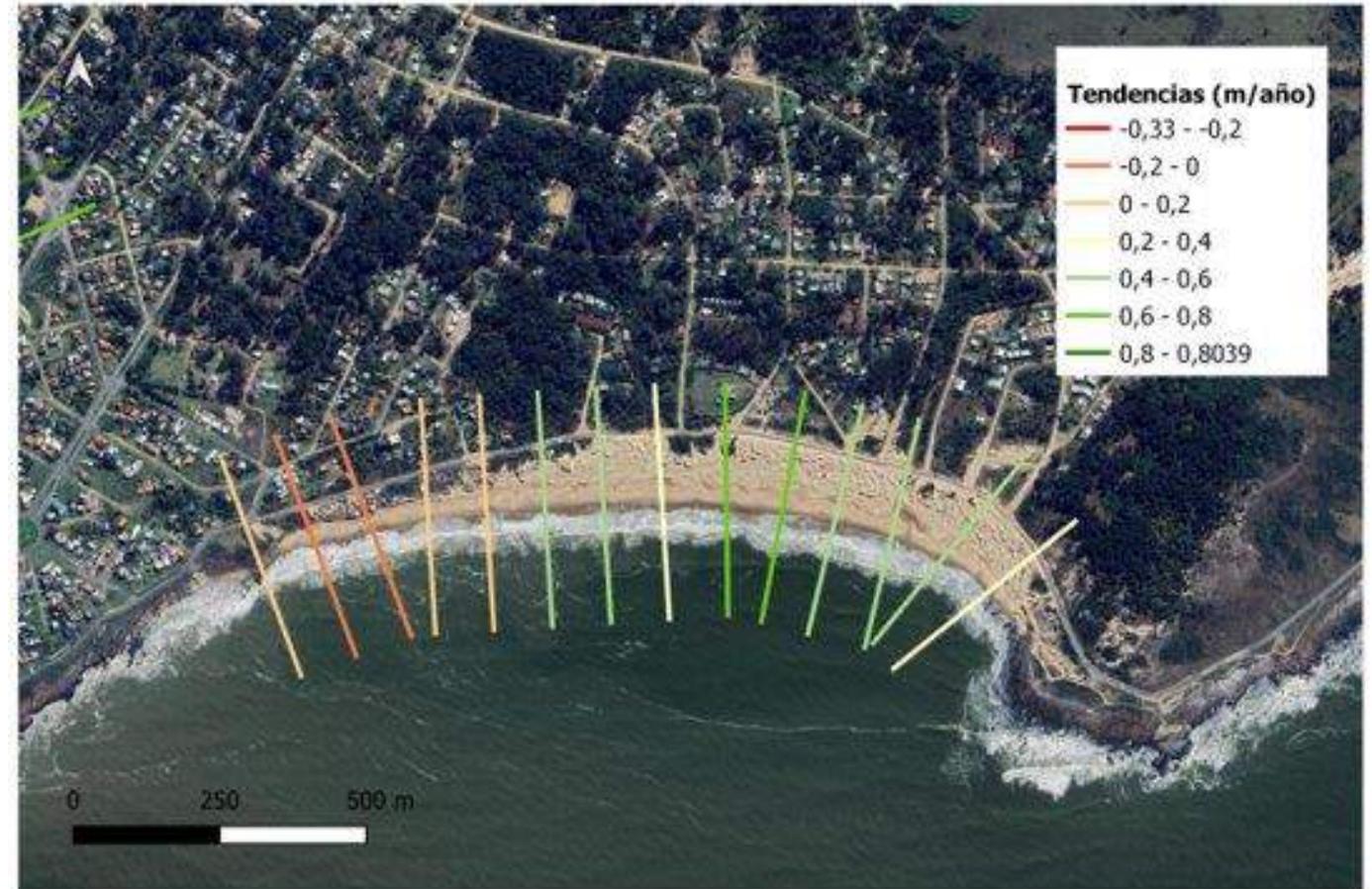
El coeficiente de regresión lineal NO es distinto de cero al 95% de confianza.

\* Resultados preliminares. Arco La Paloma - La Pedrera (Rocha)

# Monitoreo en base a imágenes



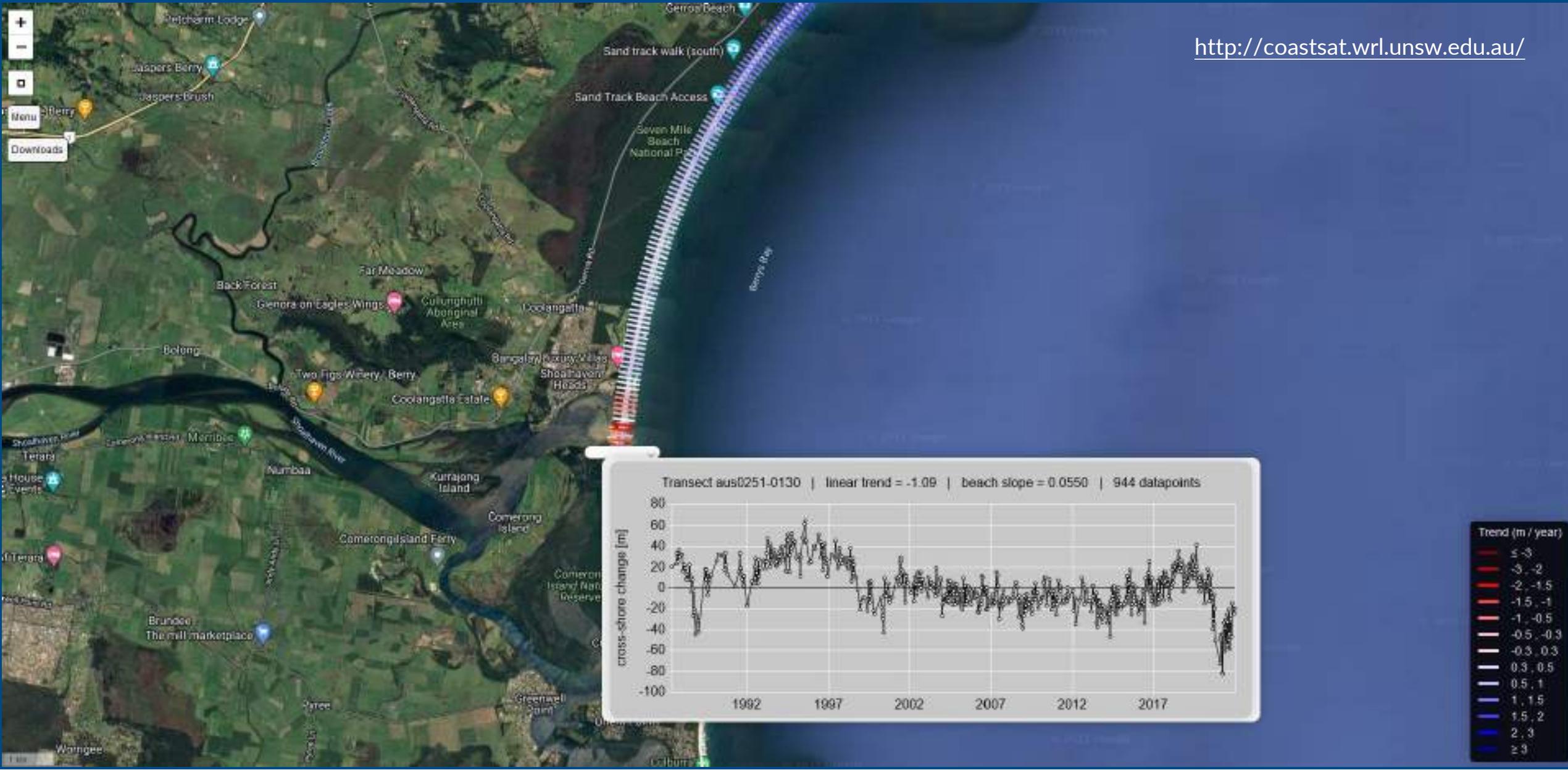
## Imágenes satelitales: Análisis en transectas



Resultados preliminares

# Producto final esperado

<http://coastsat.wrl.unsw.edu.au/>



# Monitoreo en base a imágenes



## Imágenes Satelitales: Pasos posteriores.

- ❖ Sostener en el tiempo el monitoreo de las tendencias de largo plazo a escala país.

Propuesta: 2 veces por año, técnicos locales (preparados en futuros talleres de este proyecto) actualicen la base de datos en lo que respecta a las áreas de trabajo de sus departamentos

- ❖ Caracterización de errores.

A partir del análisis cruzado con sistemas de cámaras y el monitoreo ciudadano.

Contrastando contra relevamientos in situ : Tener en cuenta fechas de pasaje de los satélites, para planificar los relevamientos.

- ❖ Nuevas aplicaciones.

Incorporar nuevas variables que se pueden medir con CoastSat y sus variantes:  
Pendiente de playa; posición de desembocaduras.

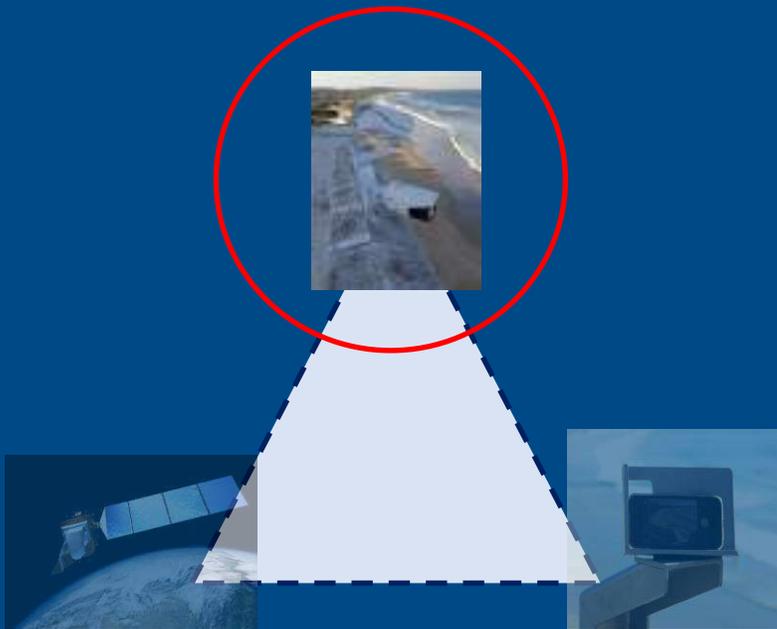
Producto de análisis que se basen en la base de datos generada.

# Nuevas aplicaciones: Ejemplo a partir de cruzar la base de datos generada con el Atlas de Dinámicas Marinas del Uruguay (NAP-Costas Proyecto URU/18/02 Entregable E.5.1 y E.5.2).

Correlación entre la dirección media anual del flujo de energía del oleaje incidente y la mediana anual de la posición de la línea de costa en cada transecta



# Monitoreo en base a imágenes

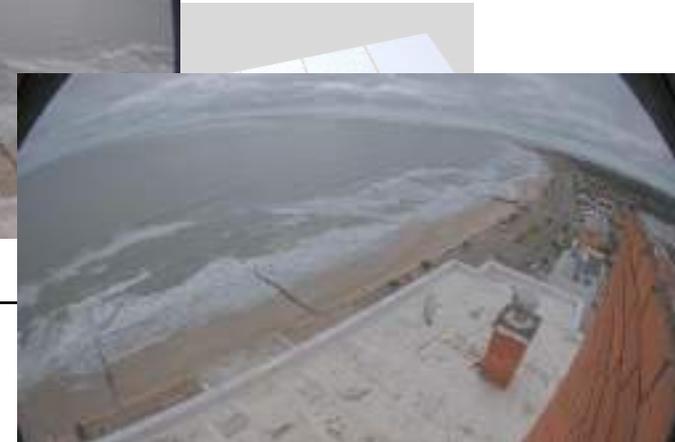
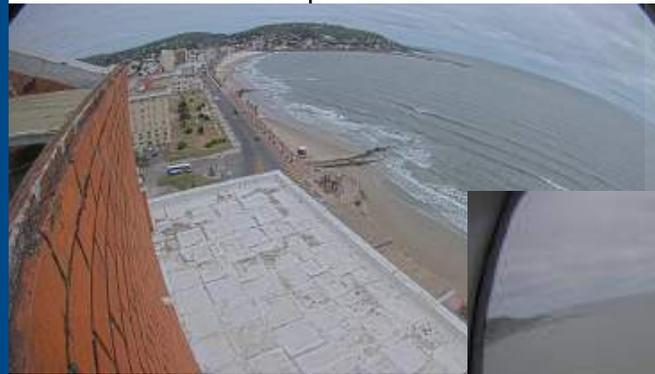


## Sistema de cámaras de video

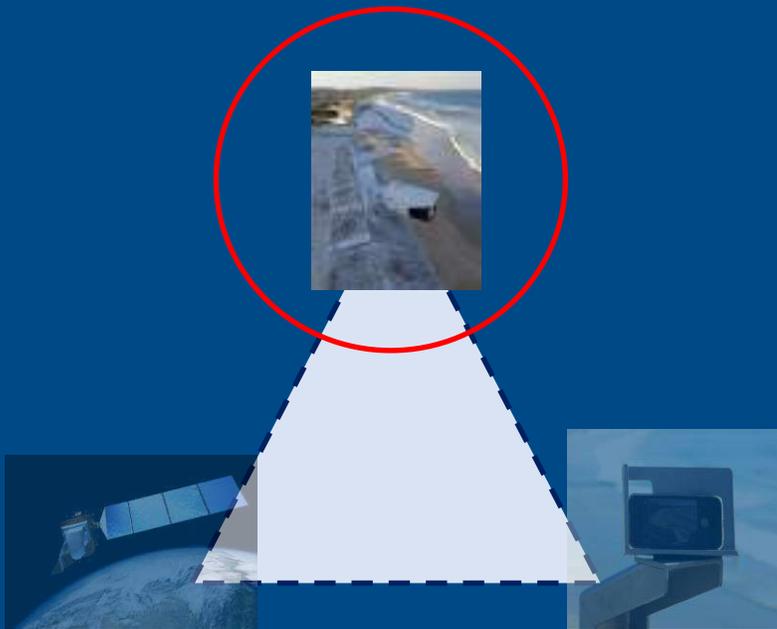
Detalle



Potencialidad para monitorear muchas otras variables.



# Monitoreo en base a imágenes



## Sistema de cámaras de video

Detalle



Potencialidad para monitorear muchas otras variables.



# Sistema de cámaras de video

## Descripción del sistema

- ❖ 3 cámaras por estación.
- ❖ PC: programa funcionamiento de las cámaras, procesa los videos y almacena (temporalmente) la información generada.
- ❖ Router con conexión a internet: permite acceso remoto y almacenamiento de datos en la nube
- ❖ Distintos elementos de protección y respaldo: UPS, térmica, diferencial, extractor, protección ante descargas eléctricas .
- ❖ Cartel instructivo.



Estación Costa Azul



# Sistema de cámaras de video

## Descripción del sistema

CÁMARAS DE RED / CÁMARAS DE CAJA FIJA / AXIS P13 SERIES /

# AXIS P1378-LE Network

## Camera

Detalles excelentes en 4K para exteriores

-  Resolución 4K
-  OptimizedIR y Forensic WDR
-  Firmware firmado y arranque seguro
-  Estabilización electrónica de la imagen
-  Zipstream compatible con H.264 y H.265

### REFERENCIAS



# Monitoreo en base a imágenes



## Sistema de cámaras de video

- ❖ 4 estaciones: Costa Azul, Piriápolis, Atlántida y Ramirez.
- ❖ 3 cámaras por estación (Salvo 1 en Ramirez) hacen videos de 10 minutos cada 1 hora durante las horas de luz.
- ❖ Procesamiento automático de los videos generando distintas imágenes: promedio (*timex*), *timestack* e instantáneas.
- ❖ Información almacenada por cámara: imágenes (1/hora, horas de luz), video (1/día).



# Monitoreo en base a imágenes



## Sistema de cámaras de video

- ❖ 4 estaciones: Costa Azul, Piriápolis, Atlántida y Ramirez.
- ❖ 3 cámaras por estación (Salvo 1 en Ramirez) hacen videos de 10 minutos cada 1 hora durante las horas de luz.
- ❖ Procesamiento automático de los videos generando distintas imágenes: promedio (*timex*), *timestack* e instantáneas.
- ❖ Información almacenada por cámara: imágenes (1/hora, horas de luz), video (1/día).



# Sistema de cámaras de video

## Imágenes generadas

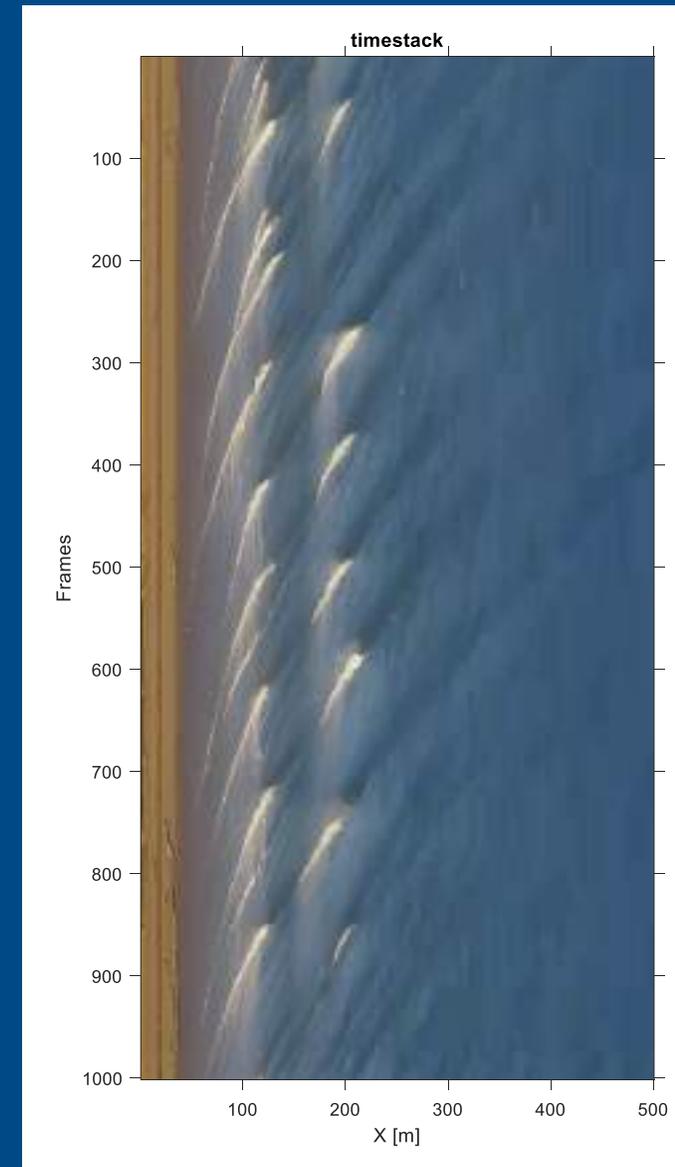
Captura instantánea



Imagen promedio



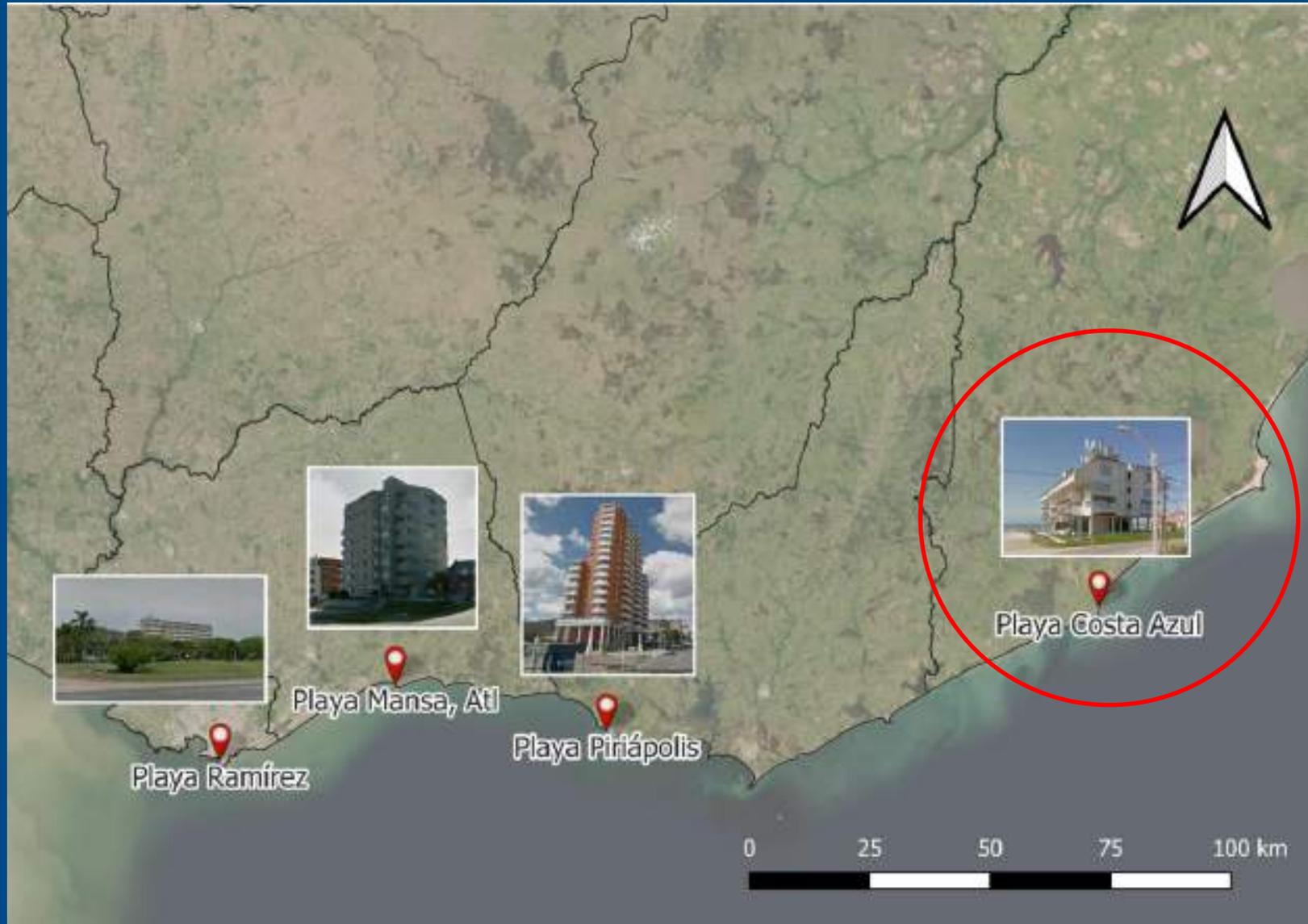
Ejemplos Piriápolis



Ejemplo perfil Costa Azul

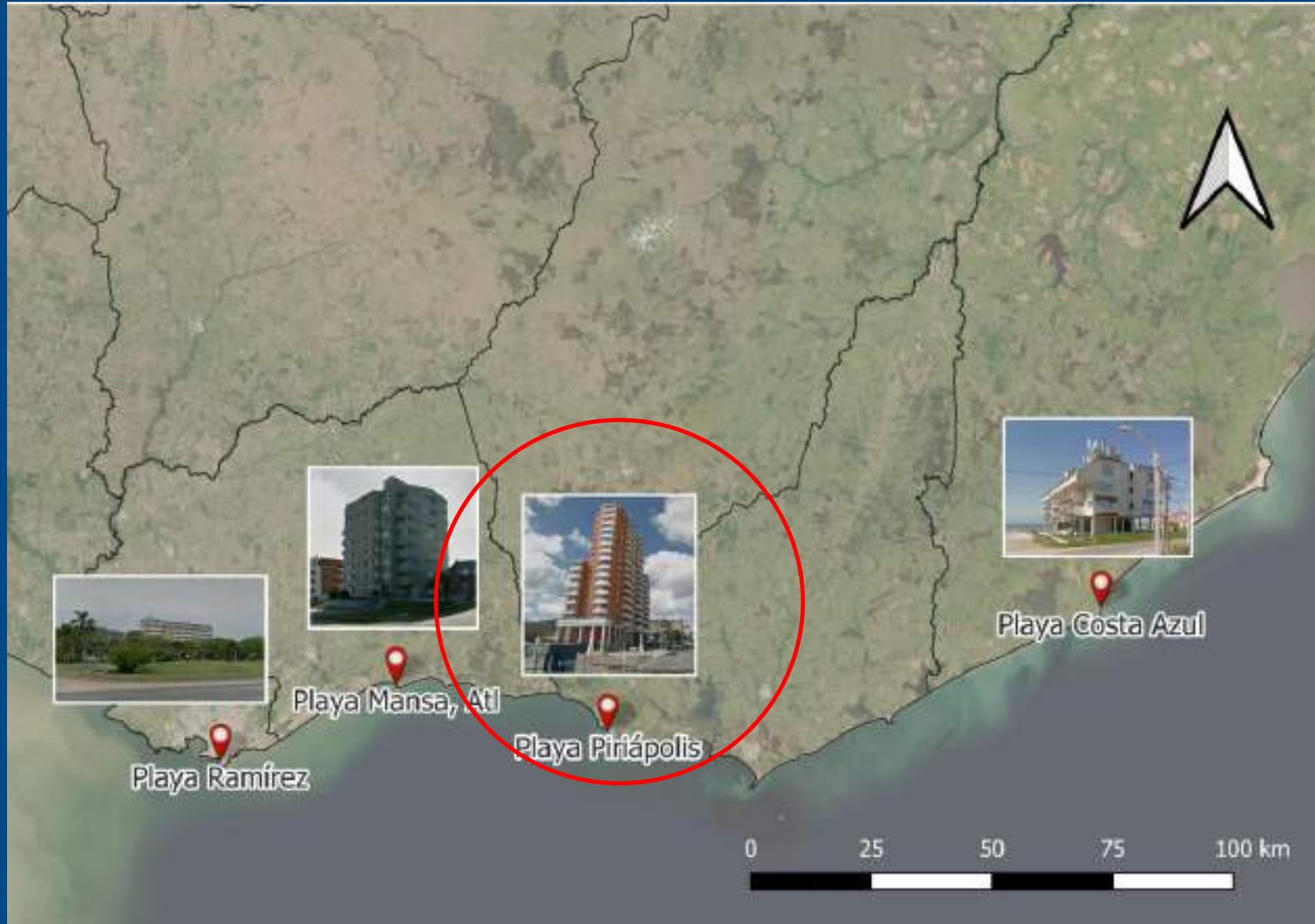
# Sistema de cámaras de video

## Estación Costa Azul





# Sistema de cámaras de video Estación Piriápolis





Imágenes promediadas. 04/12/2022 16 :00

# Sistema de cámaras de video Estación Atlántida



# Sistema de cámaras de video Estación Atlántida



# Sistema de cámaras de video Estación Ramírez

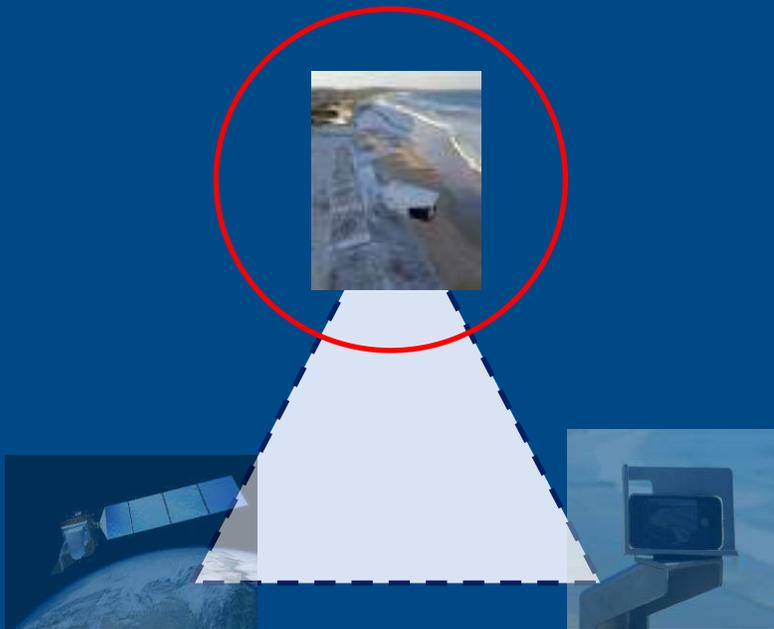


# Sistema de cámaras de video Estación Ramírez



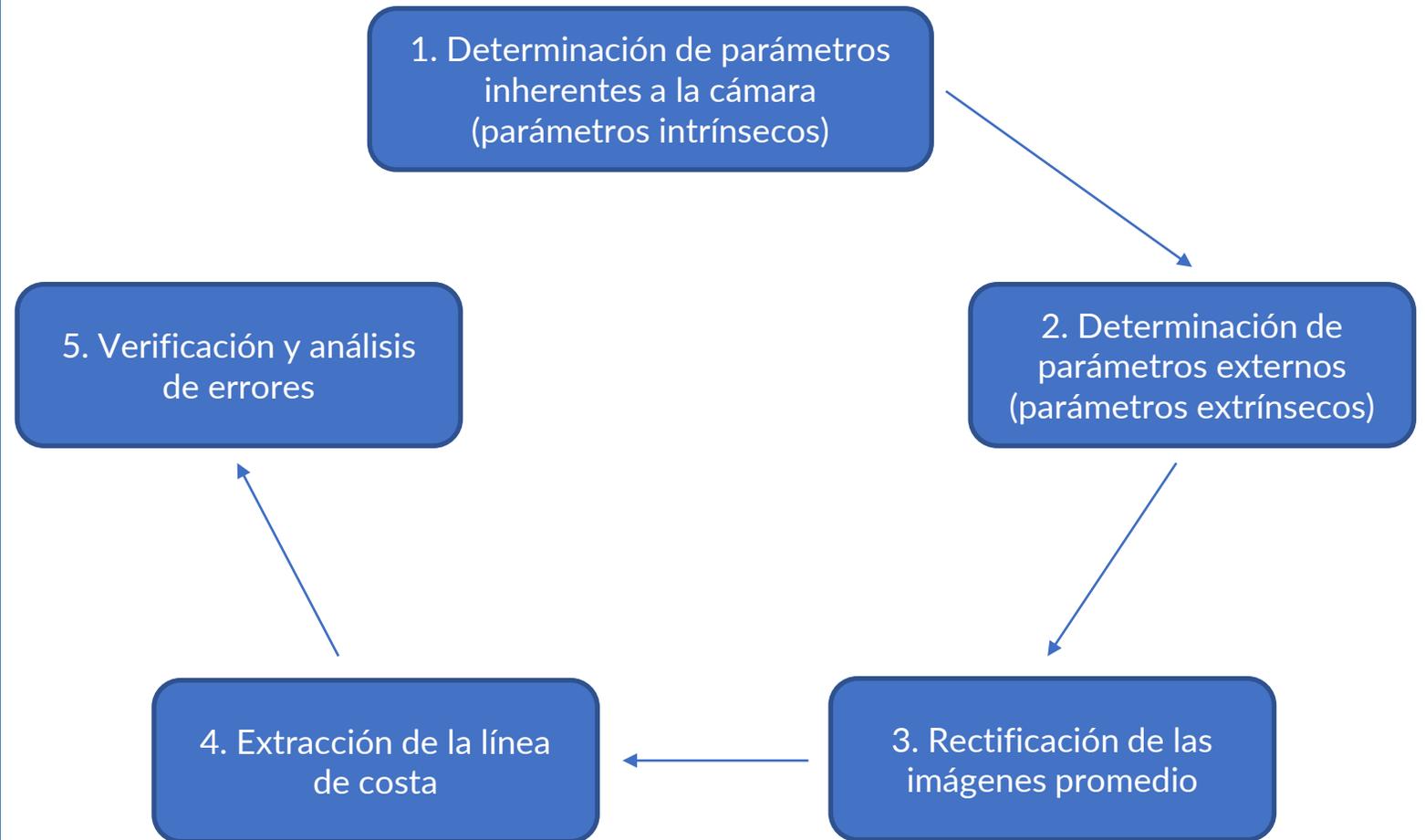
Imagen promediada. 20/4/2022 11 :00

# Monitoreo en base a imágenes



Sistema de cámaras de video.

Detección de la línea de costa a partir de imágenes promedio.



# Monitoreo en base a imágenes

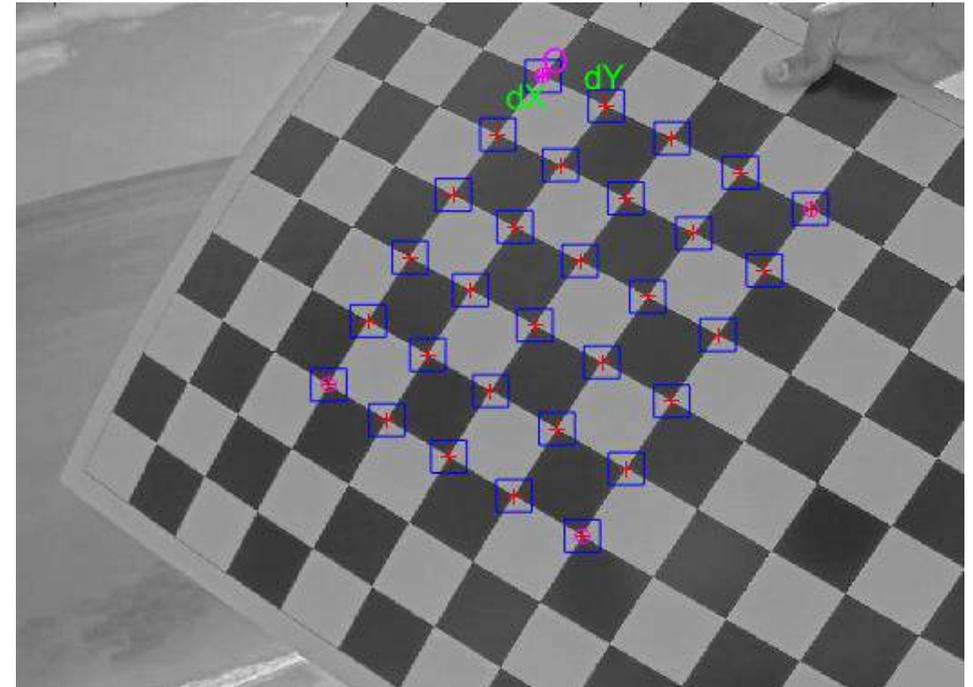


Sistema de cámaras de video.

Detección de la línea de costa a partir de imágenes promedio.

## 1. Determinación de parámetros intrínsecos

- ❖ Tablero cuadriculado blanco y negro
- ❖ ~20 imágenes del tablero cubriendo toda la visual de la cámara
- ❖ Se aplica [CIRN-Quantitative-Coastal-Imaging-Toolbox](#) (Caltech)



# Monitoreo en base a imágenes

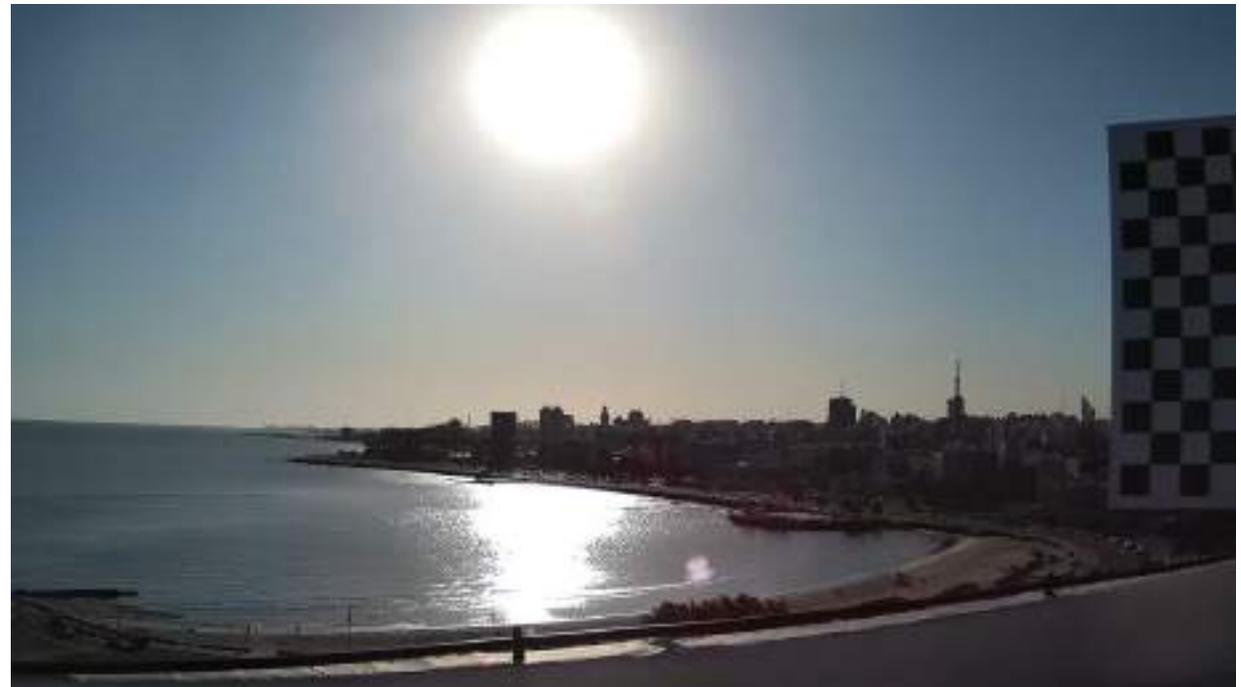


Sistema de cámaras de video.

Detección de la línea de costa a partir de imágenes promedio.

## 1. Determinación de parámetros intrínsecos

- ❖ Tablero cuadriculado blanco y negro
- ❖ ~20 imágenes del tablero cubriendo toda la visual de la cámara
- ❖ Se aplica [CIRN-Quantitative-Coastal-Imaging-Toolbox](#) (Caltech)



# Monitoreo en base a imágenes



Sistema de cámaras de video.

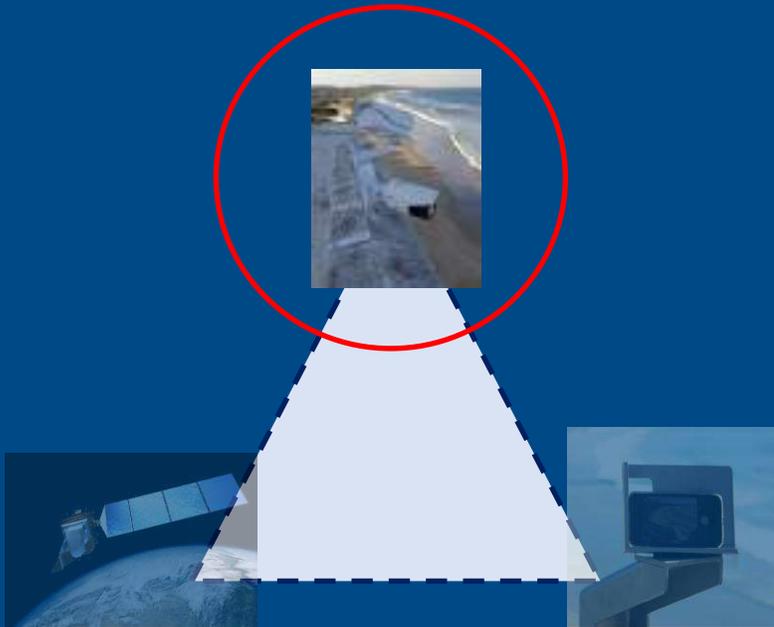
Detección de la línea de costa a partir de imágenes promedio.

## 1. Determinación de parámetros intrínsecos

- ❖ Tablero cuadriculado blanco y negro
- ❖ ~20 imágenes del tablero cubriendo toda la visual de la cámara
- ❖ Se aplica [CIRN-Quantitative-Coastal-Imaging-Toolbox](#) (Caltech)



# Monitoreo en base a imágenes



Sistema de cámaras de video.

Detección de la línea de costa a partir de imágenes promedio.

## 2. Determinación de parámetros extrínsecos

- ❖ Conocer posición de la cámara (x,y,z).
- ❖ ~10-30 puntos de control relevados con GPS-RTK cubriendo toda el área capturada por la cámara.
- ❖ Se aplica [CIRN-Quantitative-Coastal-Imaging-Toolbox](#) (Caltech)



# Monitoreo en base a imágenes

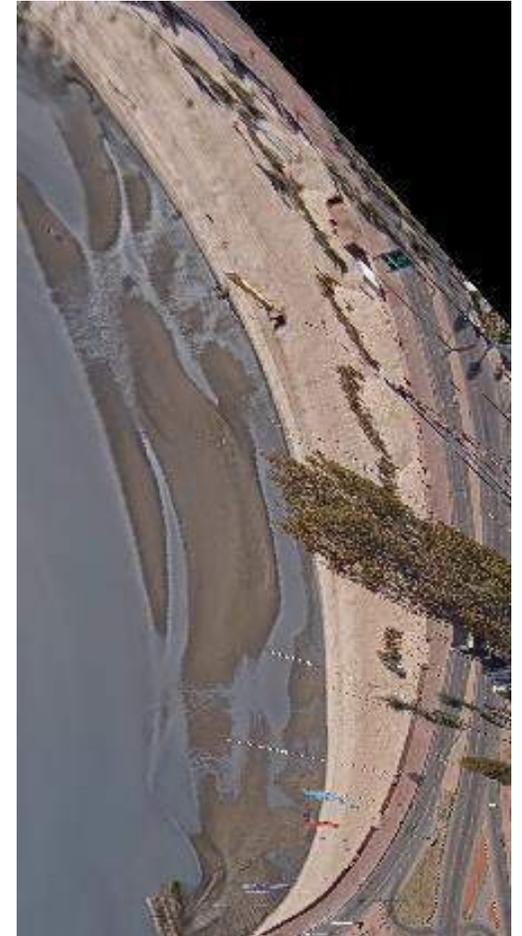


Sistema de cámaras de video.

Detección de la línea de costa a partir de imágenes promedio.

## 3. Rectificación de las imágenes

- ❖ A partir de los parámetros intr. y extr. determinados.
- ❖ Se selecciona área a rectificar.



Ejemplo Ramírez



Piriápolis Puntos relevados y reprojectados.



Costa Azul. Puntos relevados y reproyectados.



Ramírez. Puntos relevados y re proyectados.

# Monitoreo en base a imágenes

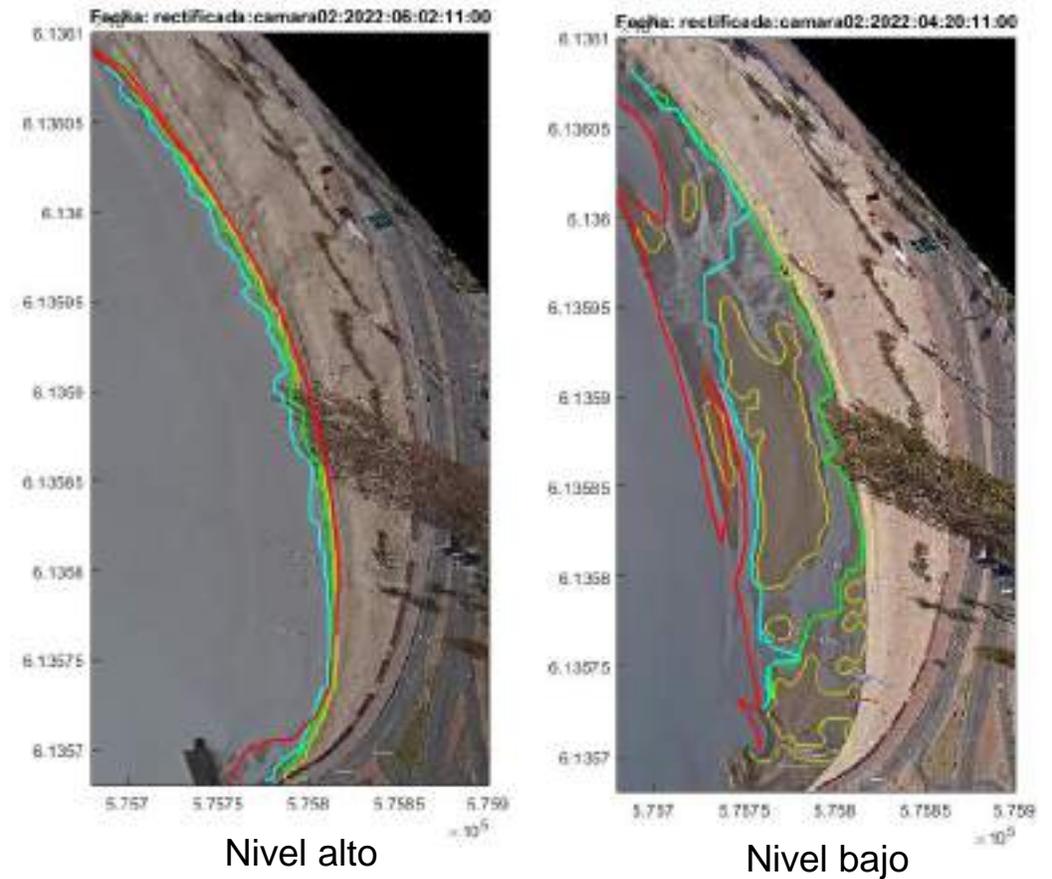


Sistema de cámaras de video.

Detección de la línea de costa a partir de imágenes promedio.

## 4. Detección de la línea de costa

- ❖ Se están probando distintos algoritmos.
- ❖ El algoritmo a aplicar puede depender de cada sitio



# Monitoreo en base a imágenes



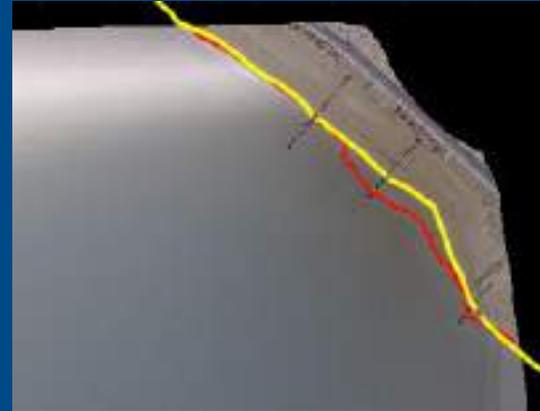
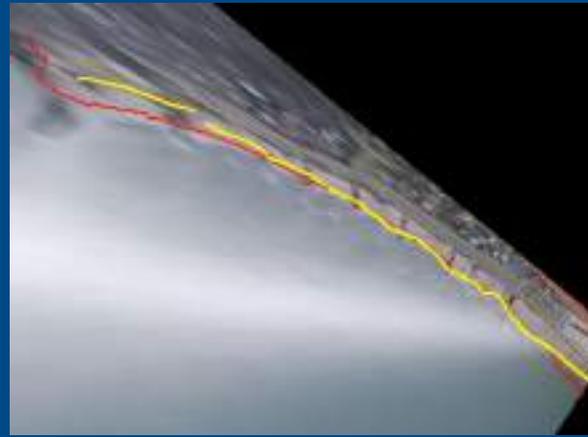
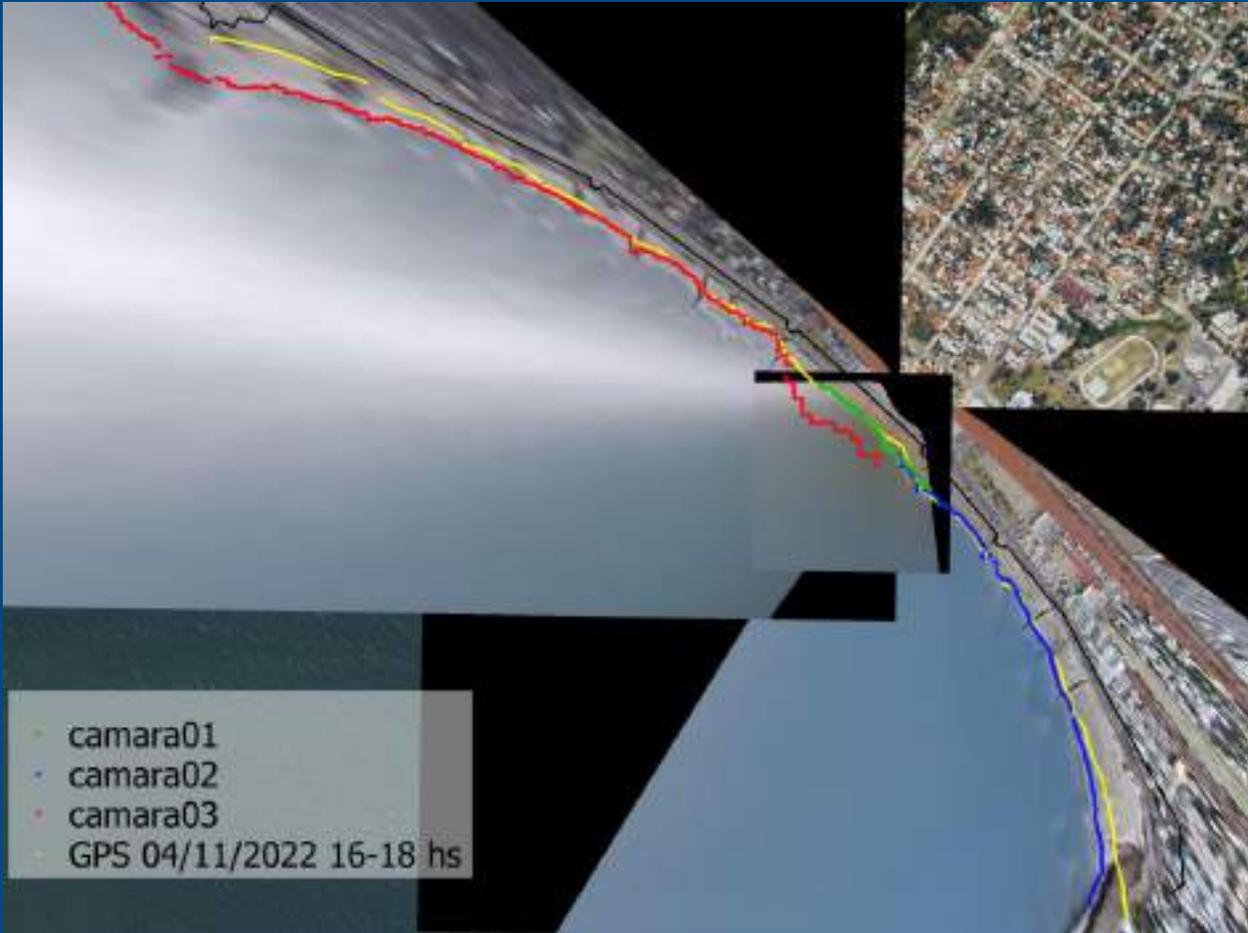
Sistema de cámaras de video.

Detección de la línea de costa a partir de imágenes promedio.

## 5. Verificación y análisis de errores

- ❖ Contrastando con relevamientos de línea de costa a partir de GPS-RTK



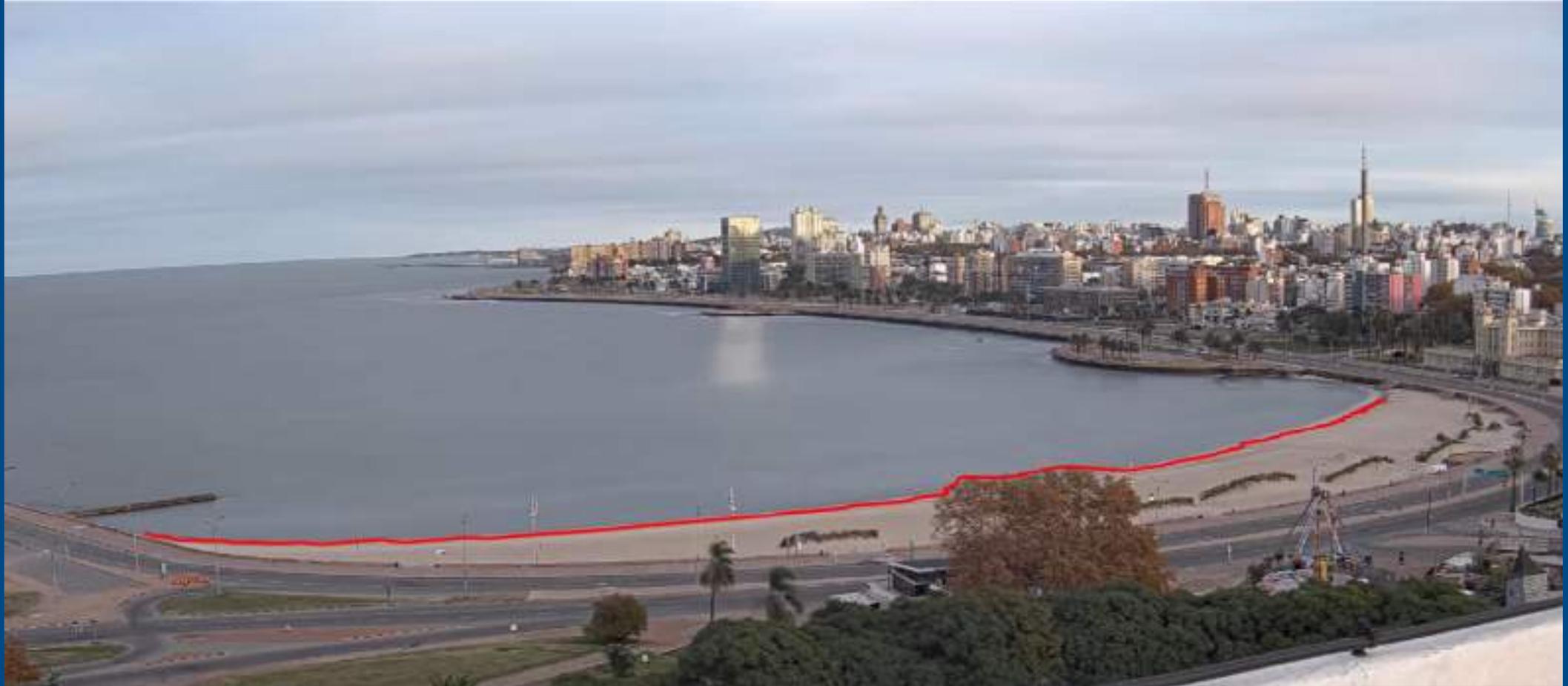


Verificación de la detección de la línea de costa Playa Ramírez



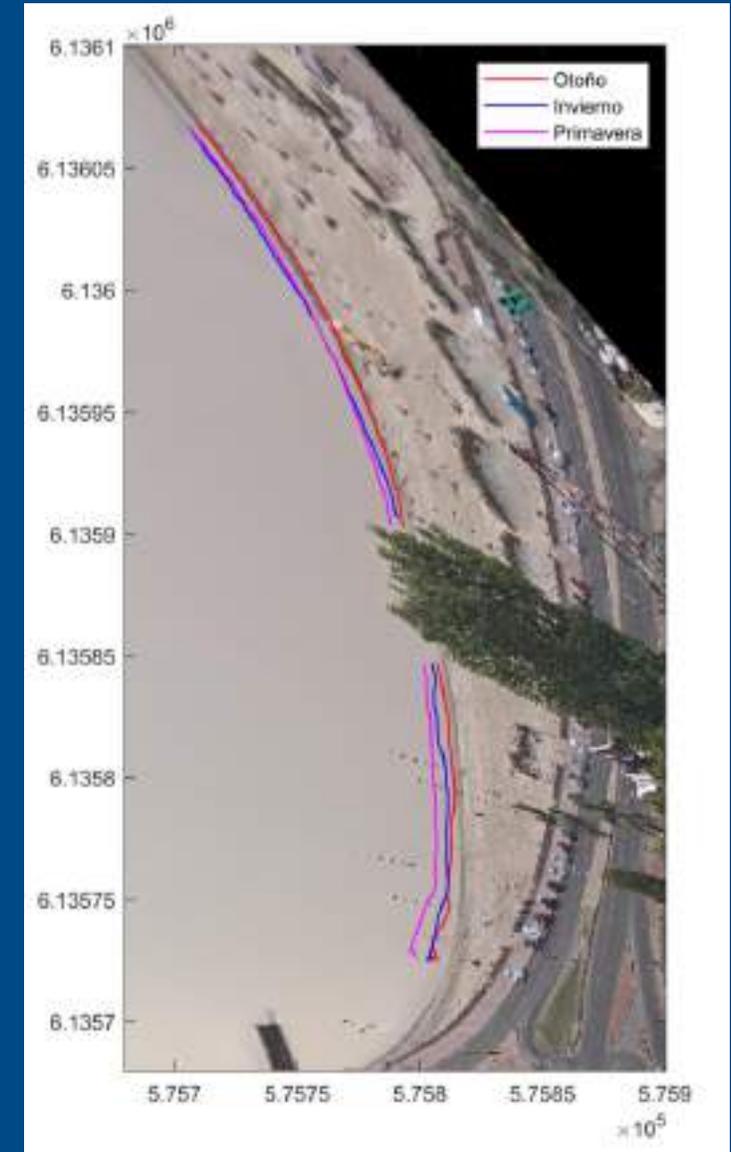
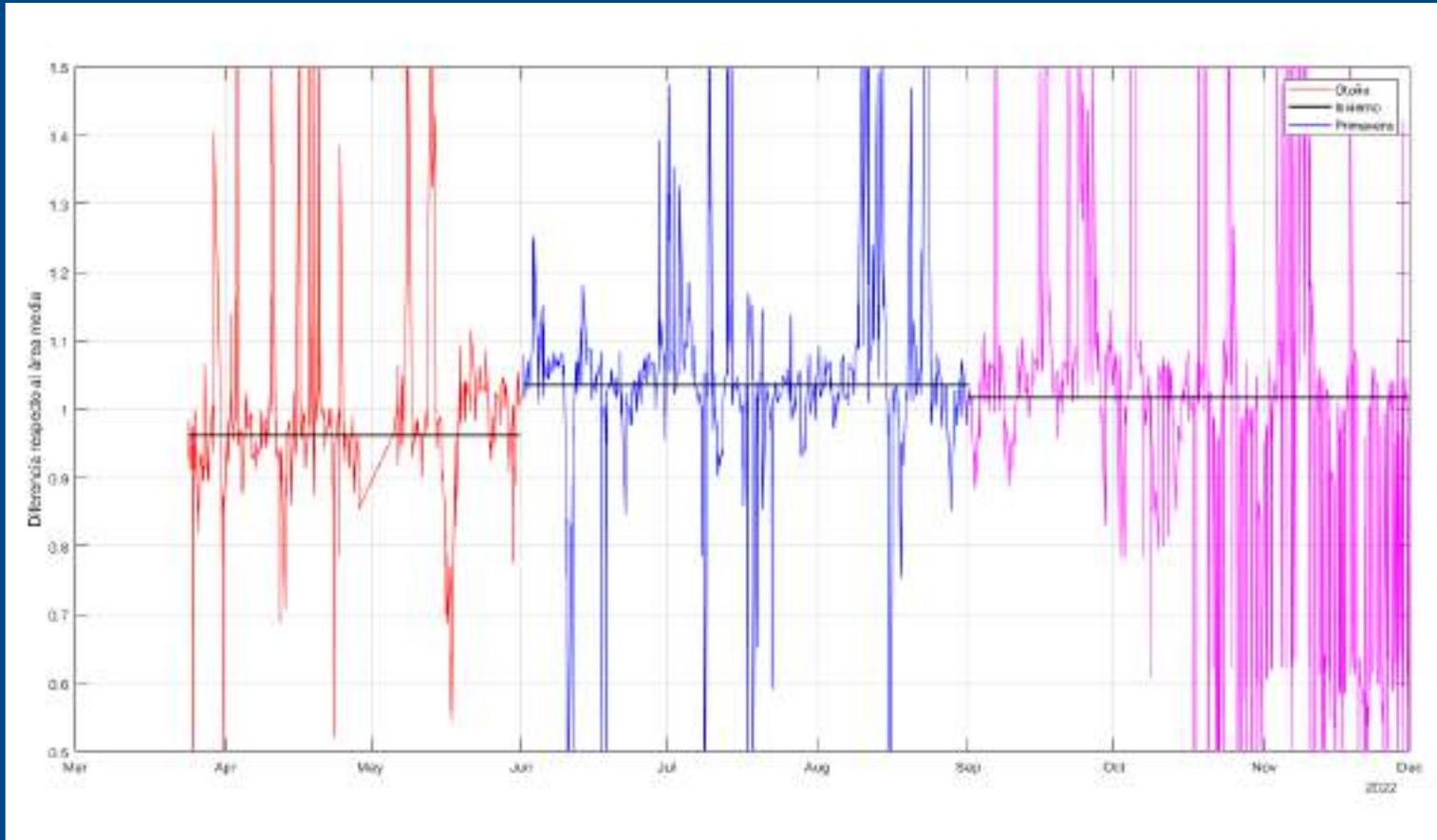
Verificación de la detección de la línea de costa Playa Ramírez

# Sistema de cámaras de video Resultados preliminares. Estación Ramírez



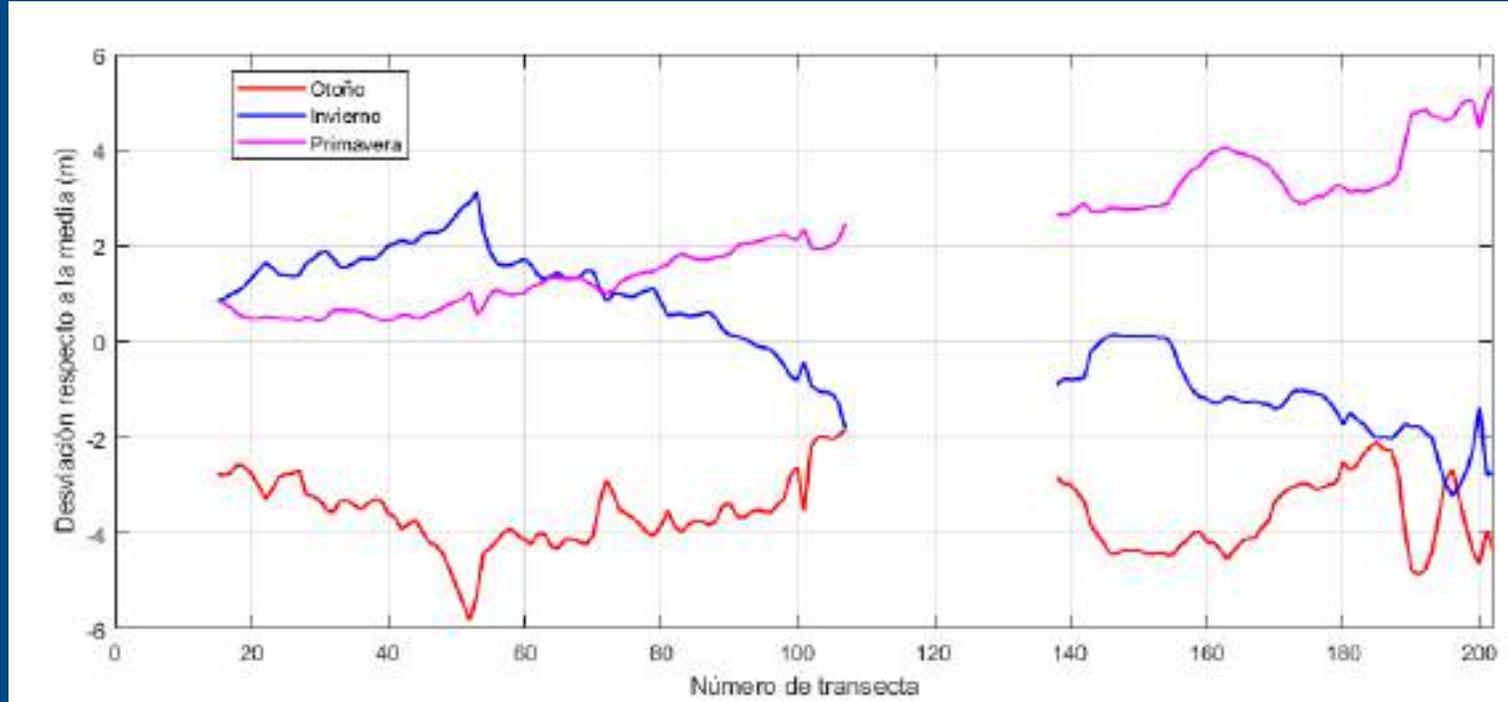
# Sistema de cámaras de video

## Resultados preliminares. Estación Ramírez



# Sistema de cámaras de video

## Resultados preliminares. Estación Ramírez



# Monitoreo en base a imágenes



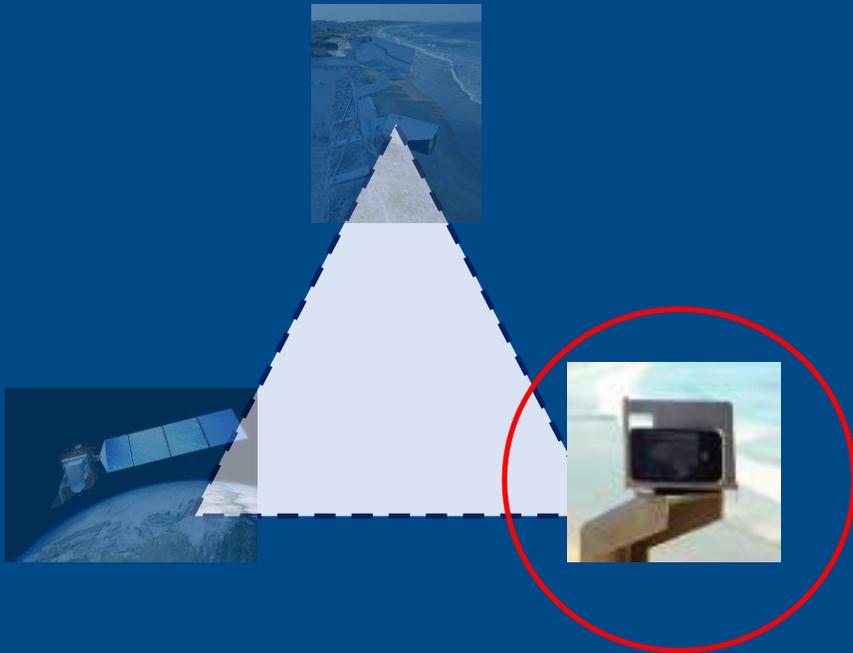
Sistema de cámaras de video.  
Futuros pasos.

- ❖ Consolidar la obtención de la línea de costa en las 4 estaciones
- ❖ Investigar sobre nuevas aplicaciones
- ❖ Definir como darle sostenibilidad en el tiempo

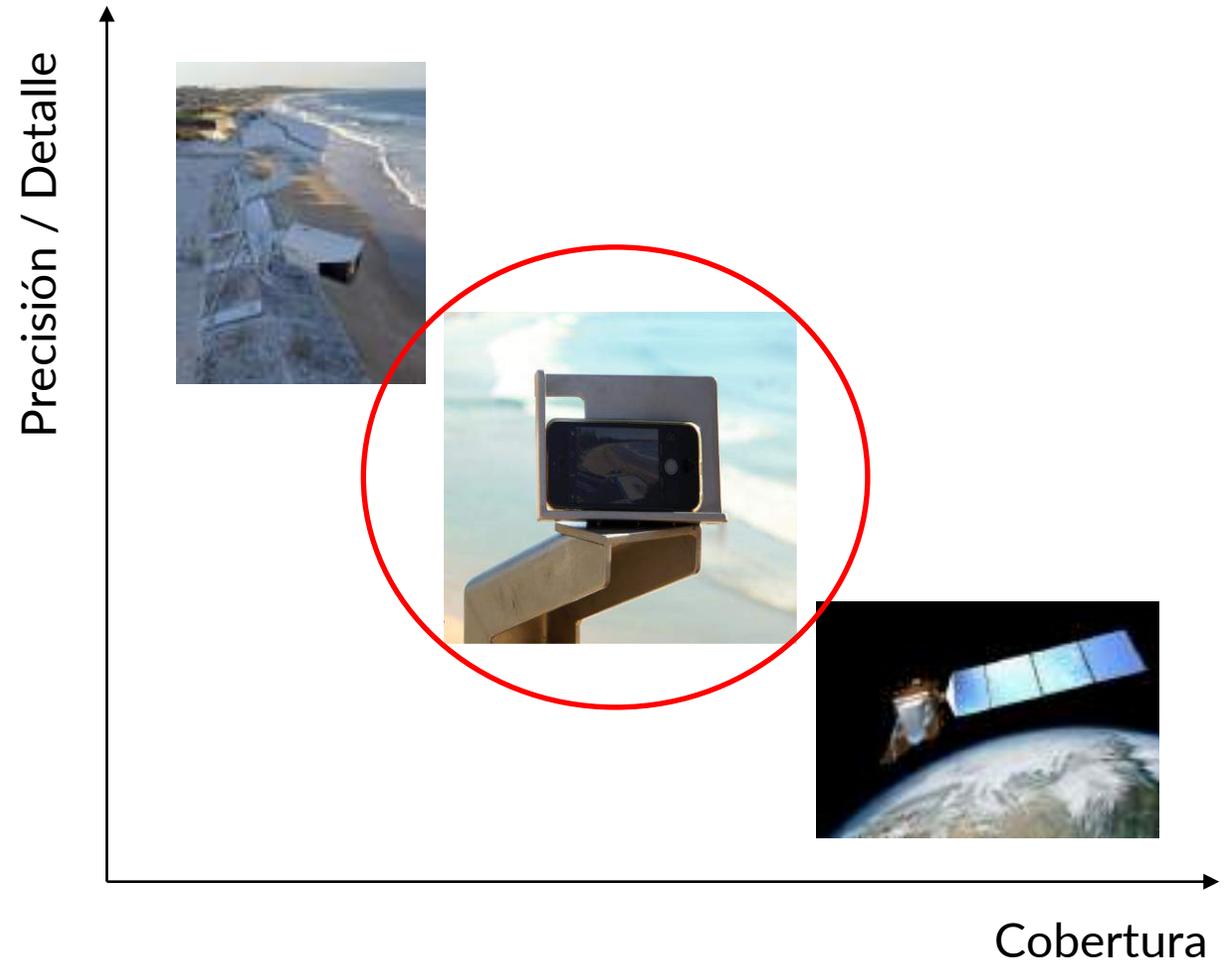
Mantenimiento de las estaciones

Almacenamiento y distribución de la información

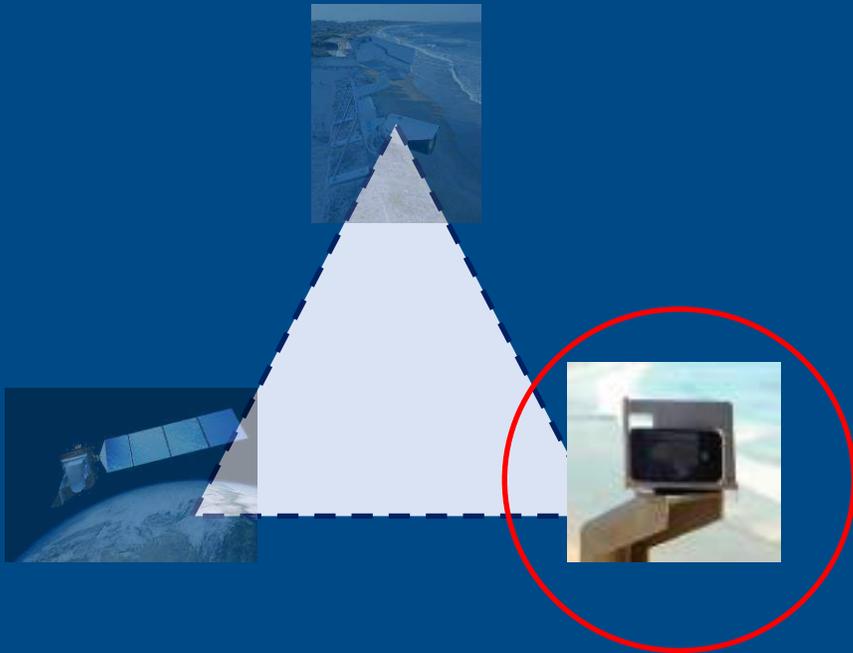
# Monitoreo ciudadano (CoastSnap\_Uy)



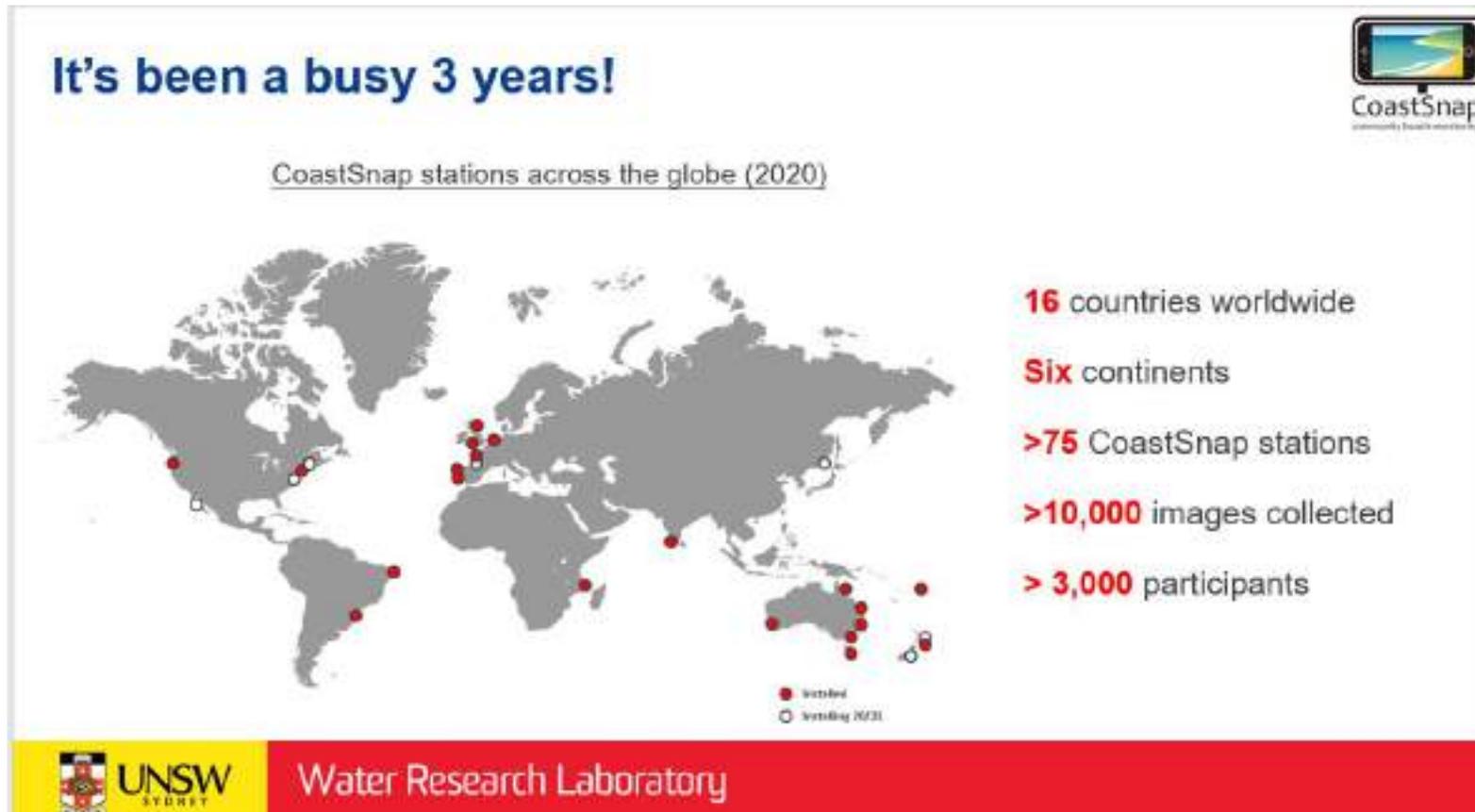
Complementa las otras dos fuentes de imágenes involucrando a la comunidad



# Monitoreo ciudadano (CoastSnap\_Uy)



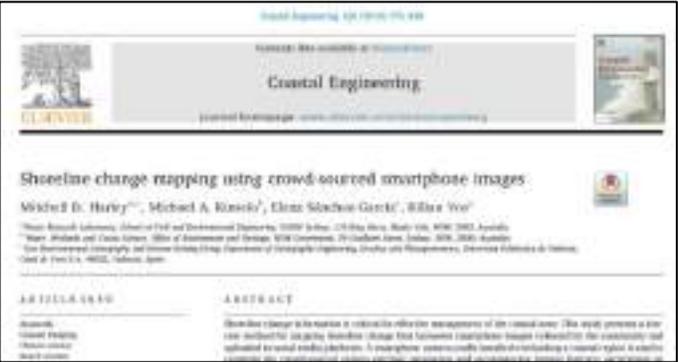
Aplicación local del proyecto global de ciencia ciudadana CoastSnap, iniciado por UNSW-WRL (Australia) en 2017



Rápida expansión: Algoritmos y tutoriales disponibles libremente

Buena precisión independientemente de la calidad de la cámara y de la compresión de la imagen

# Monitoreo ciudadano (CoastSnap\_Uy)



Harley et al. (2019) Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images, *Coastal Engineering*



# MONITOREO CIUDADANO LAS GRUTAS



Registremos los cambios en la costa:  
Tomá una foto y compartila



## 1 ▶ Fotografíar

Posicionamos el teléfono en el soporte

## 2 ▶ Compartir

Por redes sociales (en escala original, sin filtros e indicando fecha y hora) con el hashtag #CoastSnapUy o enviarla por mail o Whatsapp:

 @coastsnapuy

 092 957 622

 @coastsnap\_uy

 coastsnapuy@gmail.com

 @coastsnap\_uy

## 3 ▶ Seguirnos en las redes

Para más información y ver los resultados



Ministerio  
de Ambiente



Intendencia de Maldonado  
CONSTRUYENDO FUTURO

Basado en CoastSnap





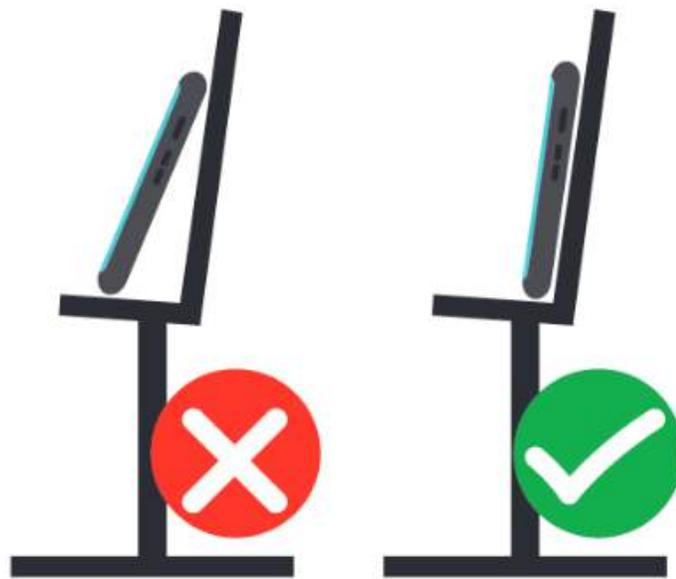
# MONITOREO CIUDADANO

## Registremos los cambios de la costa

**1** Posicionar el celular.

**2** Tomar la foto. Sin filtros y en escala original.

**3** Compartir indicando fecha y hora.



**#CoastSnapUy**

Fecha: 16/03/22 - 17:12



# Monitoreo ciudadano (CoastSnap\_Uy)



Pasos realizados

Carteles ✓

Soportes ✓



12 soportes en acero inoxidable 316 y 6 mm de espesor.  
Inclinaciones entre  $14^\circ$  y  $16^\circ$

# Monitoreo ciudadano (CoastSnap\_Uy)



## Pasos realizados

Carteles ✓

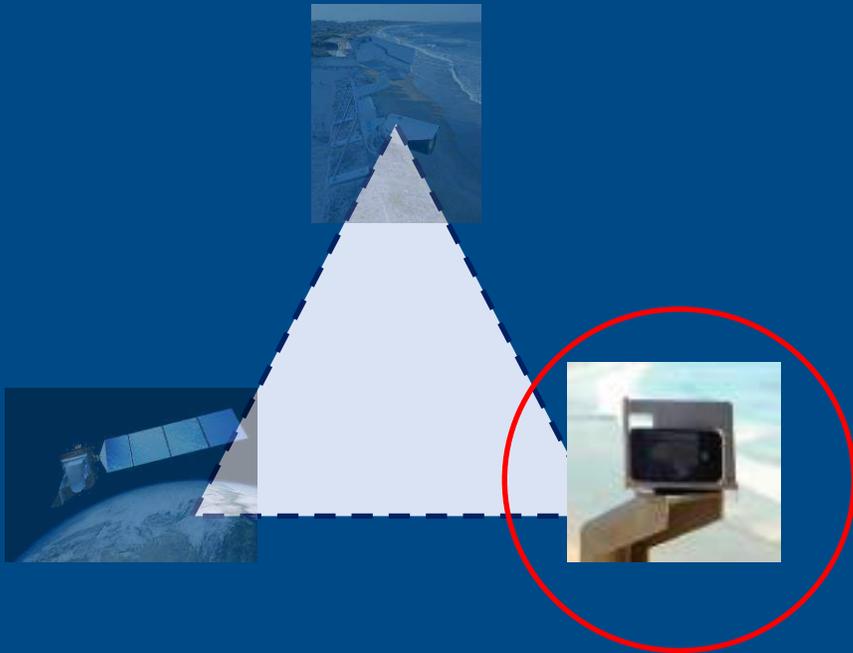
Soportes ✓

Relevamiento de  
potenciales sitios ✓



Próximo lunes vamos a  
San José y Colonia

# Monitoreo ciudadano (CoastSnap\_Uy)



## Pasos realizados

Carteles ✓

Soportes ✓

Relevamiento de posibles sitios ✓

Implementación de las primeras estaciones ✓



# Monitoreo ciudadano Atlántida



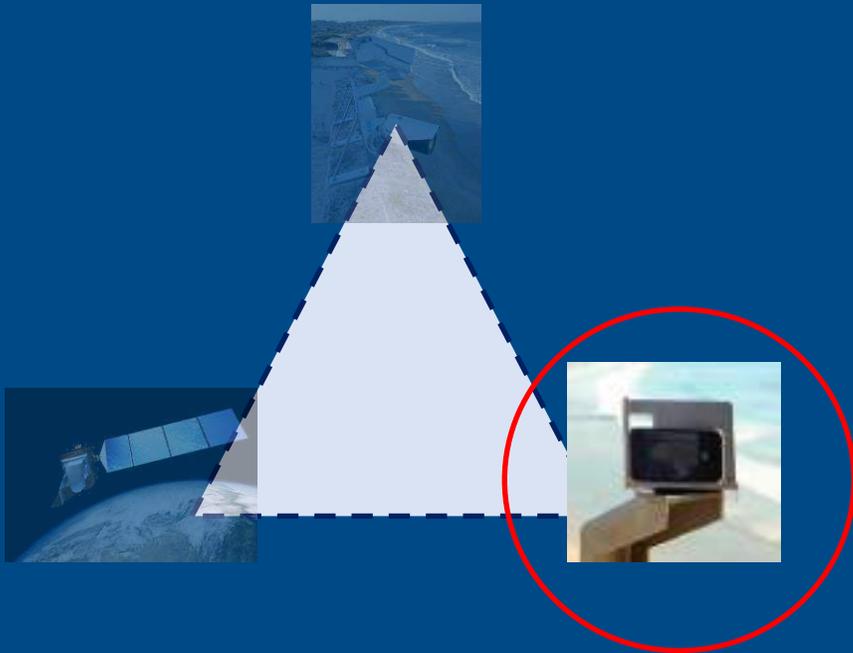
# Monitoreo ciudadano La Aguada



# Monitoreo ciudadano Las Grutas



# Monitoreo ciudadano (CoastSnap\_Uy)



## Pasos realizados

Carteles ✓

Soportes ✓

Relevamiento de posibles sitios ✓

Implementación de las primeras estaciones ✓

Redes sociales ✓



# Monitoreo ciudadano (CoastSnap\_Uy)



## Pasos realizados

Carteles ✓

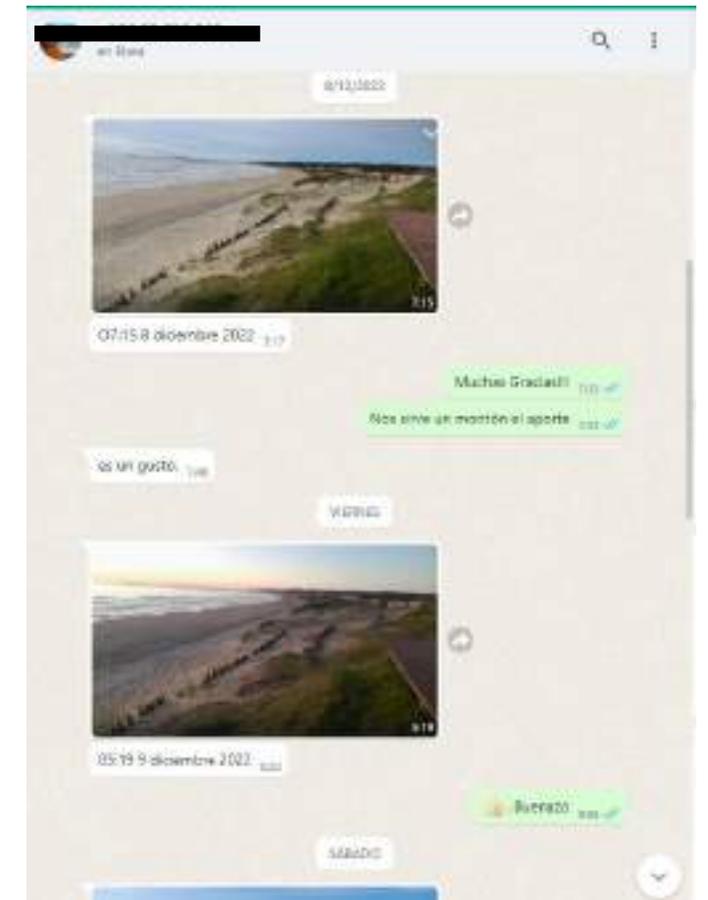
Soportes ✓

Relevamiento de posibles sitios ✓

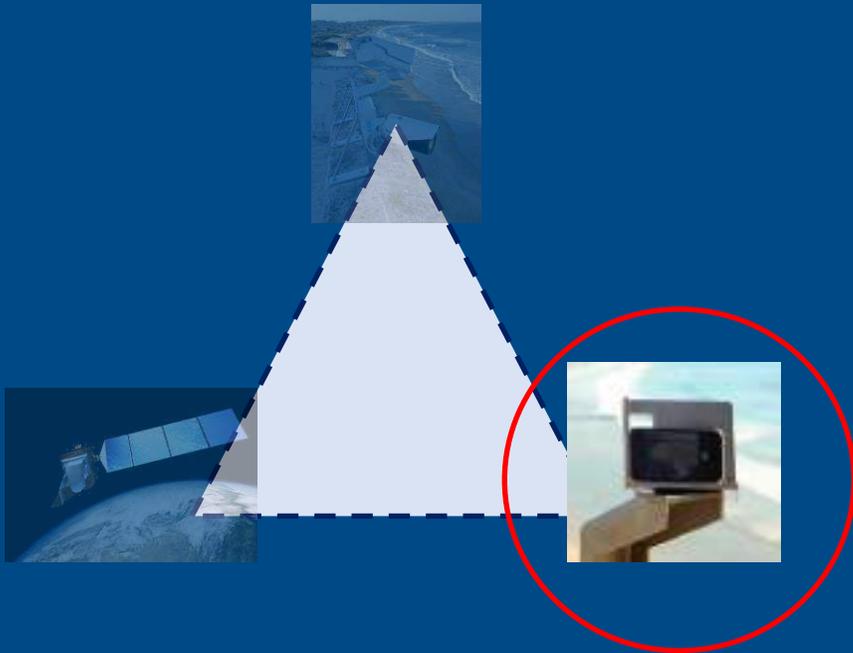
Implementación de las primeras estaciones ✓

Redes sociales ✓

Recolección de fotos ✓



# Monitoreo ciudadano (CoastSnap\_Uy)



## Pasos realizados

Carteles ✓

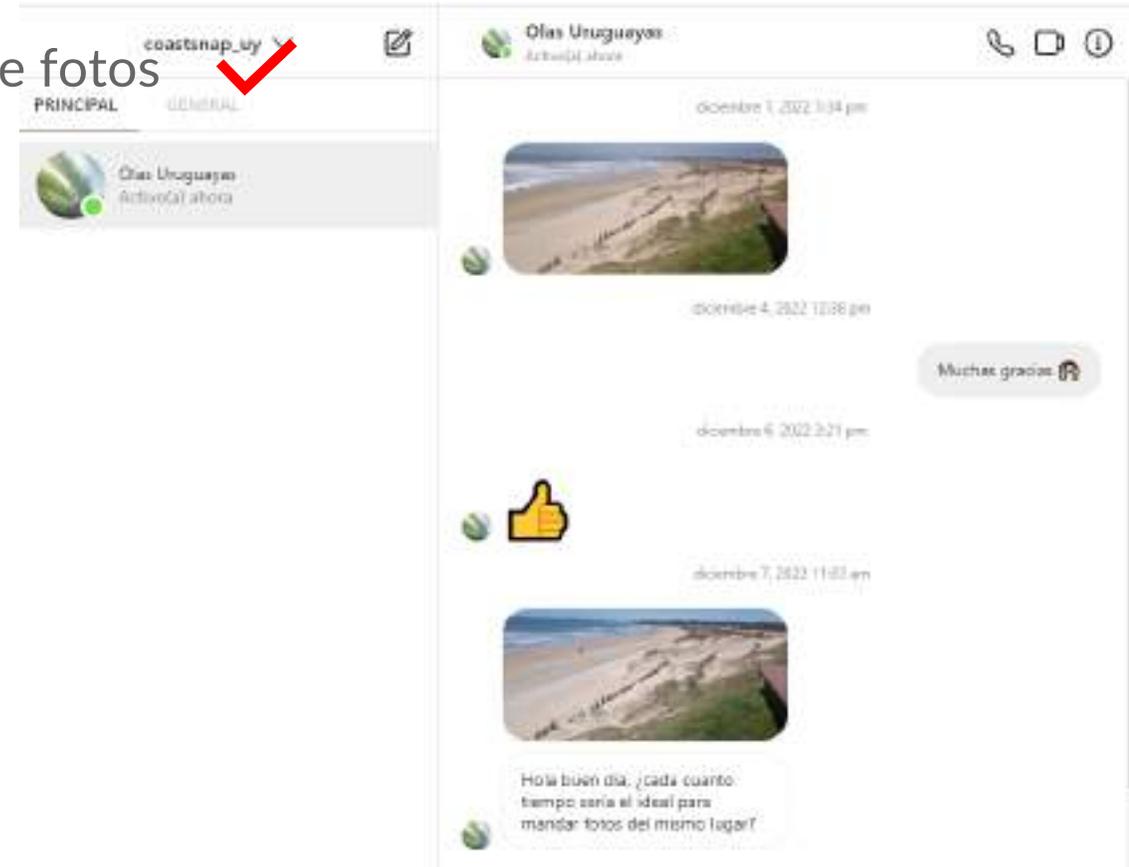
Soportes ✓

Relevamiento de posibles sitios ✓

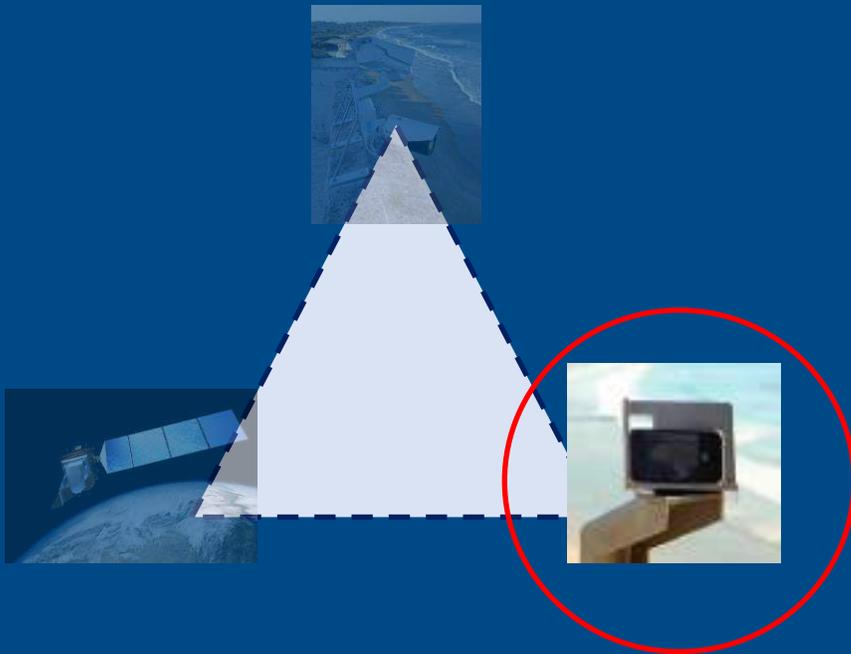
Implementación de las primeras estaciones ✓

Redes sociales ✓

Recolección de fotos ✓



# Monitoreo ciudadano (CoastSnap\_Uy)



## Pasos realizados

Carteles ✓

Soportes ✓

Relevamiento de posibles sitios ✓

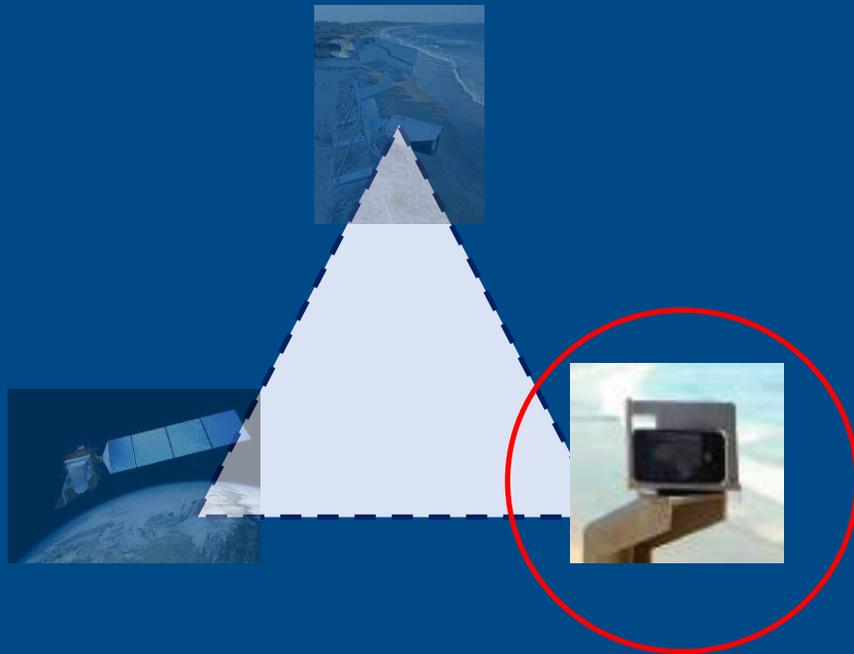
Implementación de las primeras estaciones ✓

Redes sociales ✓

Recolección de fotos ✓



# Monitoreo ciudadano (CoastSnap\_Uy)



## Pasos realizados

Carteles ✓

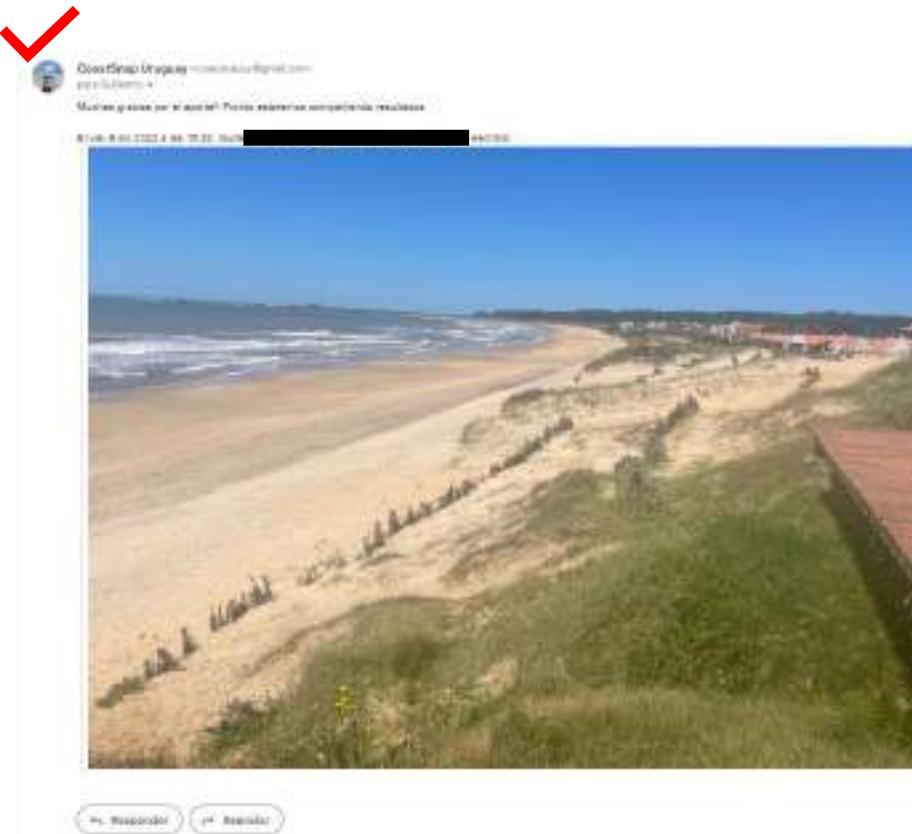
Soportes ✓

Relevamiento de posibles sitios ✓

Implementación de las primeras estaciones ✓

Redes sociales ✓

Recolección de fotos ✓



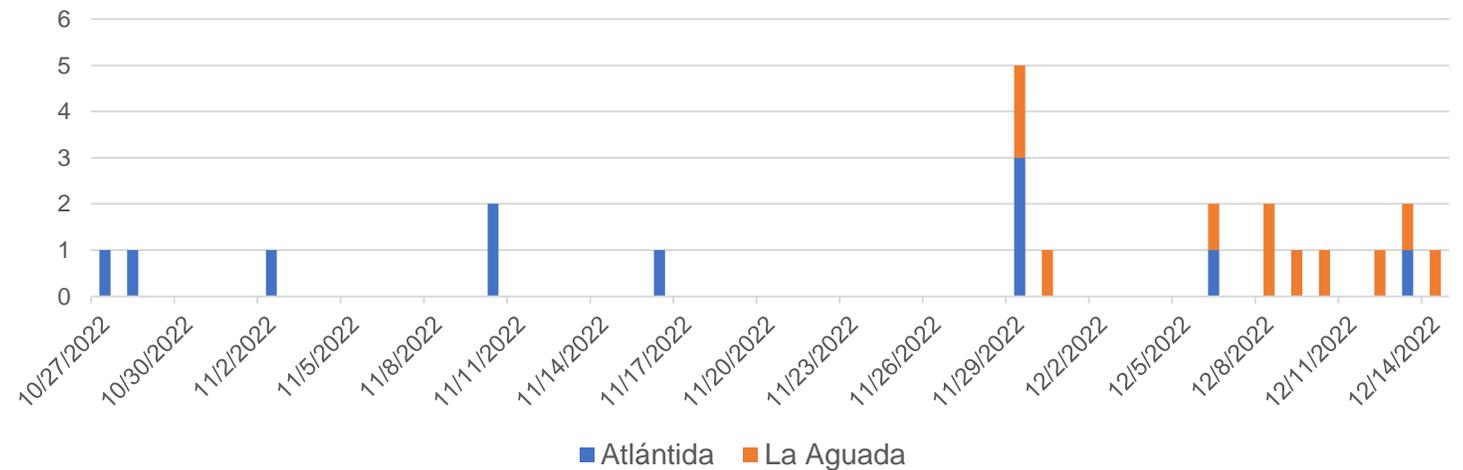
# Monitoreo ciudadano (CoastSnap\_Uy)



## Pasos realizados

- Carteles ✓
- Soportes ✓
- Relevamiento de posibles sitios ✓
- Implementación de las primeras estaciones ✓
- Redes sociales ✓
- Recolección de fotos ✓

Cantidad de imágenes recibidas



# Monitoreo ciudadano (CoastSnap\_Uy)



## Pasos realizados

Carteles ✓

Soportes ✓

Relevamiento de posibles sitios ✓

Implementación de las primeras estaciones ✓

Redes sociales ✓

Recolección de fotos ✓

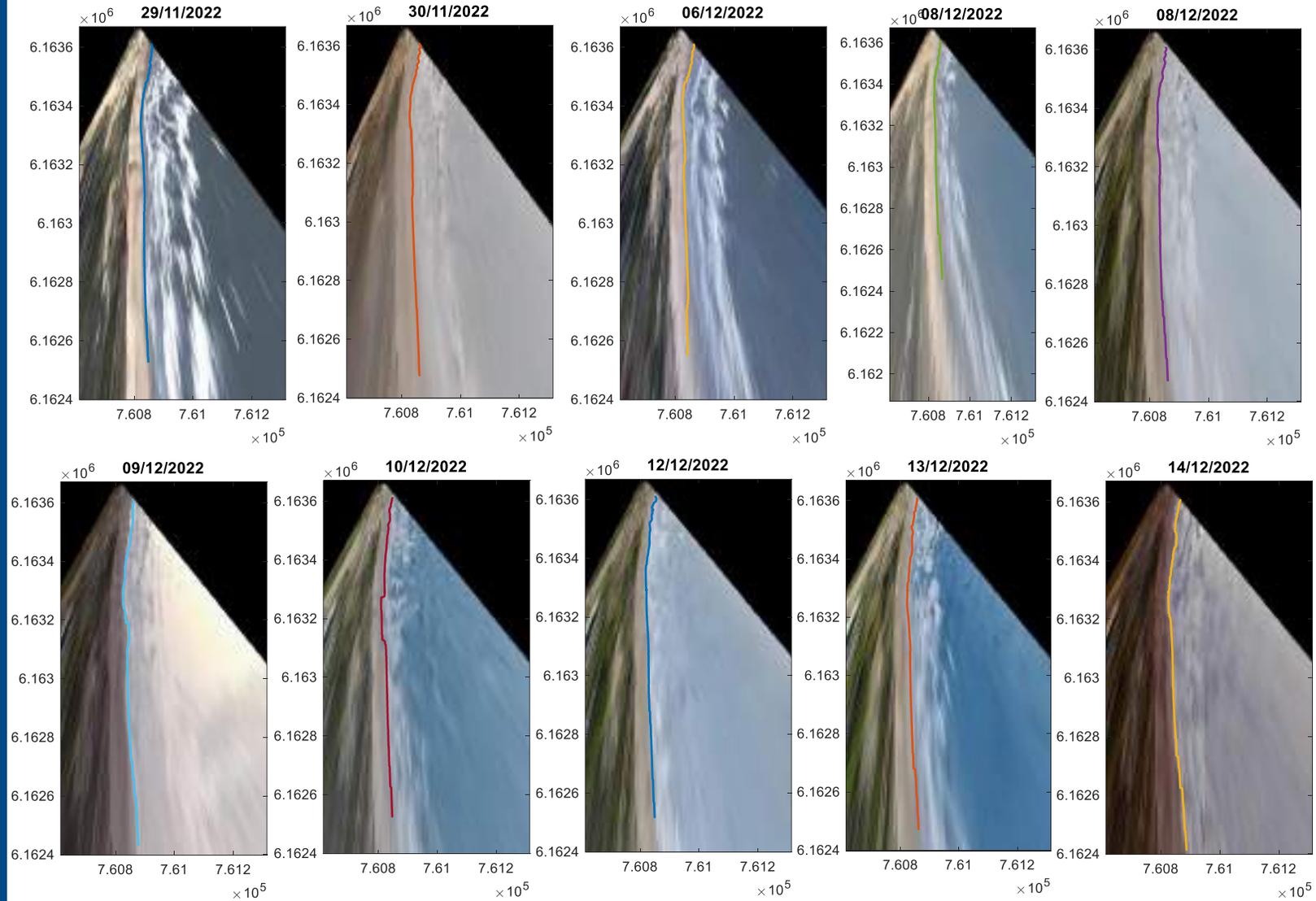
Relevamientos de puntos de control ✓



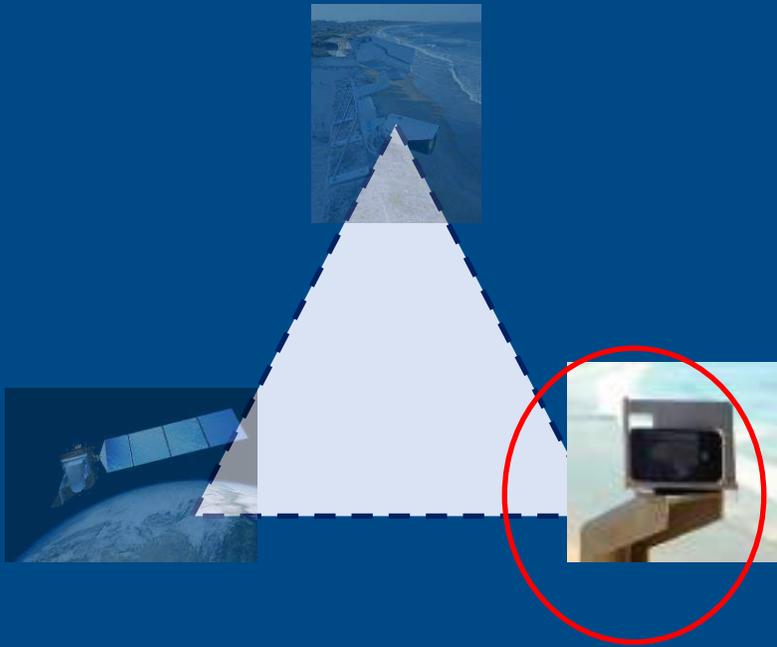
# Monitoreo ciudadano (CoastSnap\_Uy)



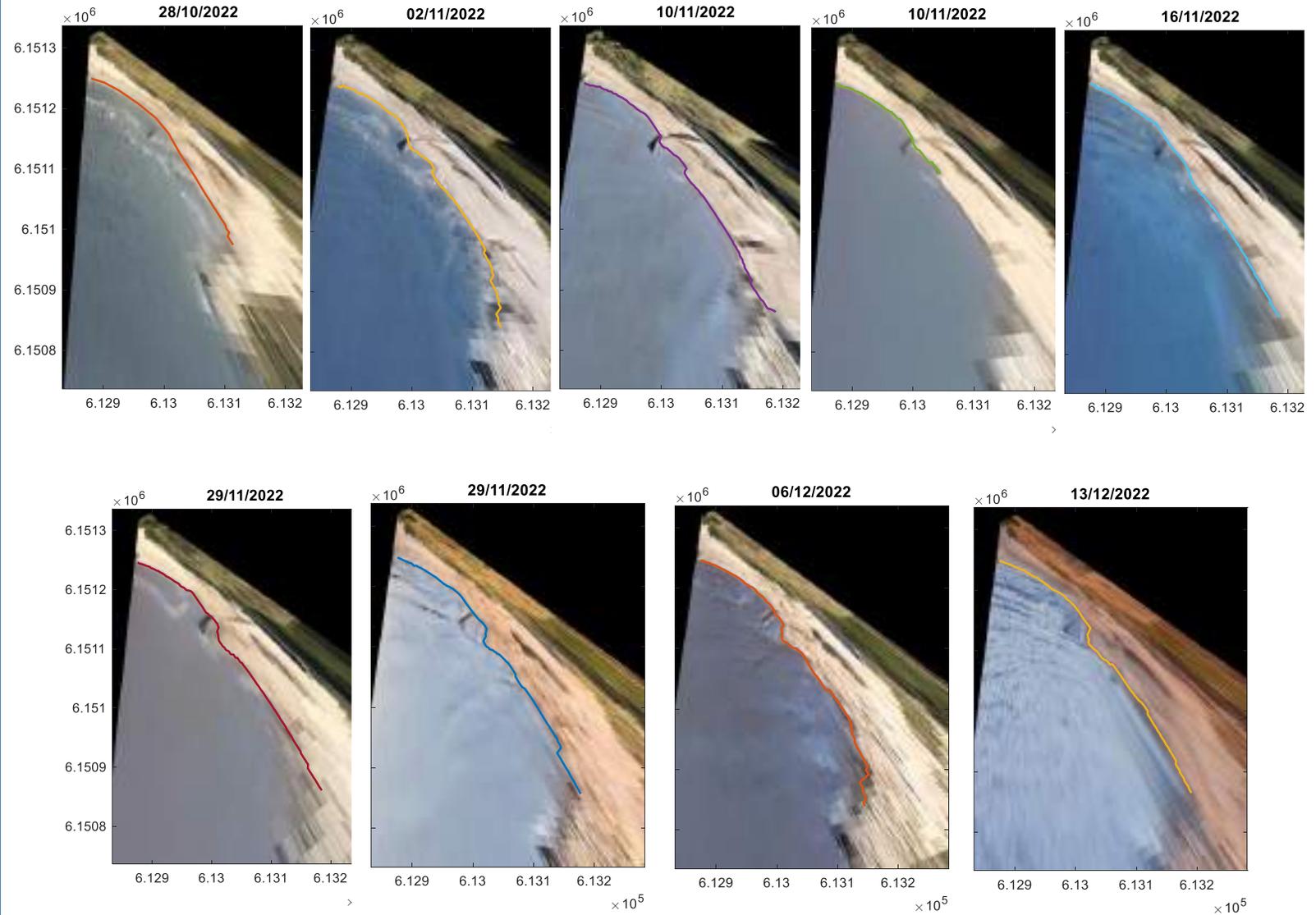
## Resultados preliminares. La Aguada



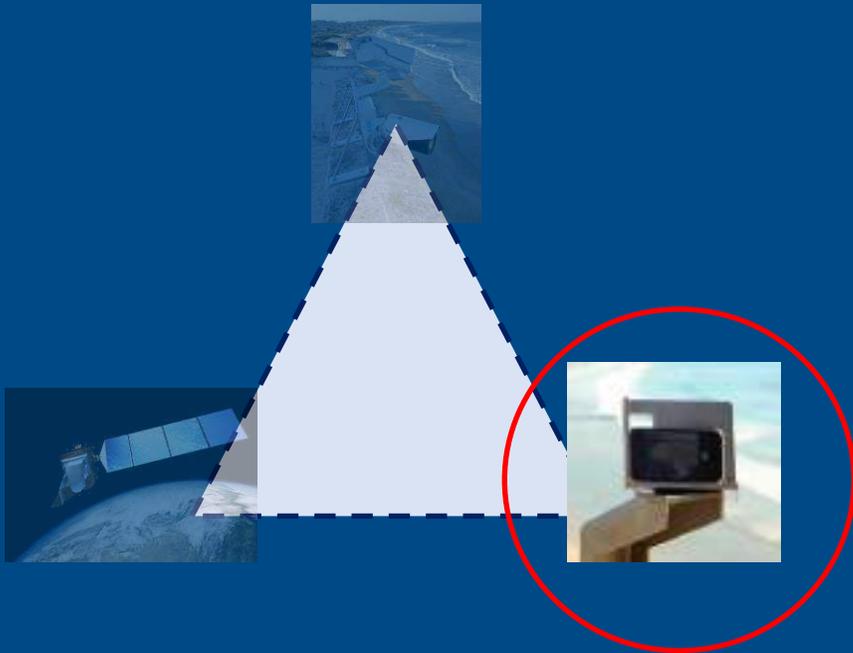
# Monitoreo ciudadano (CoastSnap\_Uy)



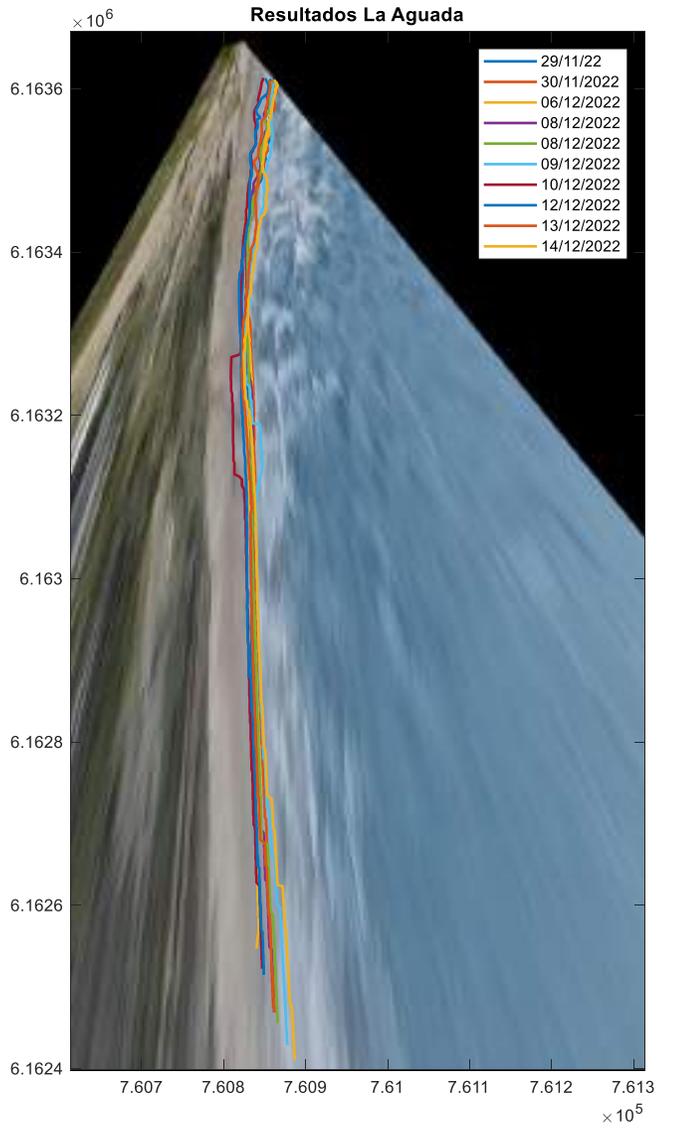
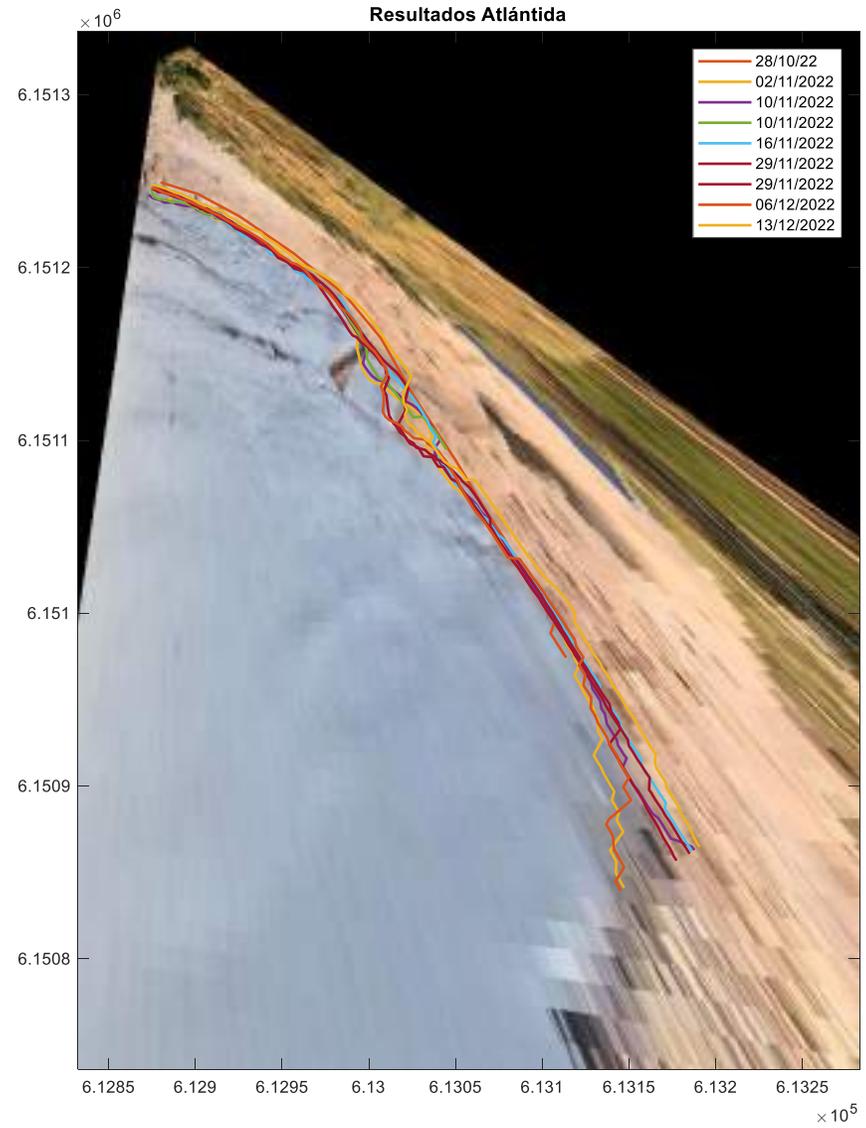
## Resultados preliminares. Atlántida



# Monitoreo ciudadano (CoastSnap\_Uy)



d



# Monitoreo en base a imágenes



Monitoreo ciudadano.  
Futuros pasos.

❖ Nuevas estaciones ¿Dónde?

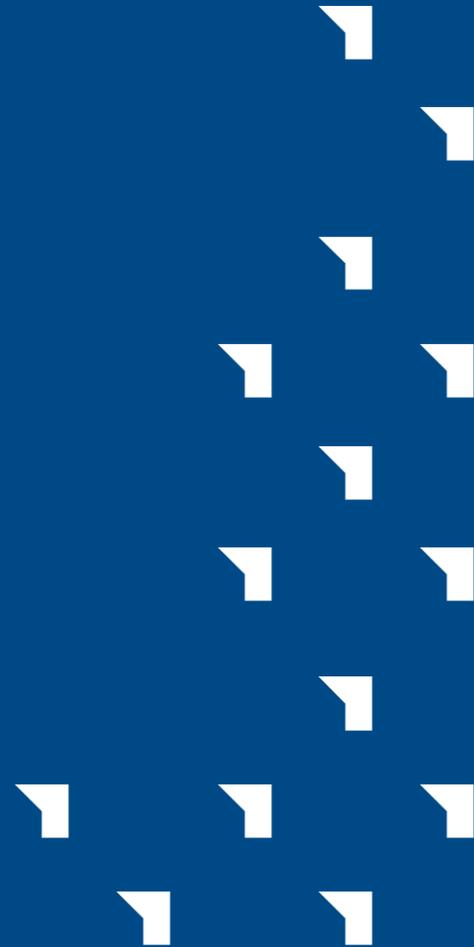
❖ Definir como darle sostenibilidad en el tiempo

Mantenimiento de las estaciones (vandalismo, degradación)

# Referencias

**Harley et al.** (2019) *Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images*, Coastal Engineering. 150, 175-189

**Vos, K., Splinter, K.D., Harley, M.D., Simmons, J.A., Turner, I.L.** (2019). *CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery*. Environ. Model. Softw. 122, 104528. Sydney, Australia.



# Muchas gracias

[ralonso@fing.edu.uy](mailto:ralonso@fing.edu.uy)