



**CENTRO ARGENTINO DE CARTOGRAFÍA**

69 años promoviendo la ciencia cartográfica

**Ciclo de Actividades Científico Técnicas 2025**

# **TECNOLOGÍA APLICADA AL MONITOREO DEL AGUA**

**Creación de una Plataforma para estimar la Turbidez en La Toma, Chaco**

**A cargo de:** MS Ing. Qco. Víctor Gauto

victor.gauto@ca.frre.utn.edu.ar

**05/mayo/2025**

# Contenido

- ▶ Proyecto de investigación
- ▶ Región de interés
- ▶ Descripción del modelo de aprendizaje automático
- ▶ Características del desarrollo web
- ▶ Herramientas
- ▶ Tareas ejecutadas automáticamente
- ▶ Potencialidad en adaptación a otras regiones
- ▶ Conclusiones

# Proyecto de investigación

# Proyecto de investigación

- **Caracterización fisicoquímica de cuerpos de aguas continentales para la evaluación de la utilización de algoritmos en el monitoreo satelital de la calidad del agua (MSPPBRE0008091). 2021—2022.**



# Proyecto de investigación

- **Caracterización fisicoquímica de cuerpos de aguas continentales para la evaluación de la utilización de algoritmos en el monitoreo satelital de la calidad del agua (MSPPBRE0008091). 2021—2022.**



PROYECTO

REGIÓN

MODELO

DESARROLLO WEB

HERRAMIENTAS

EJECUCIÓN

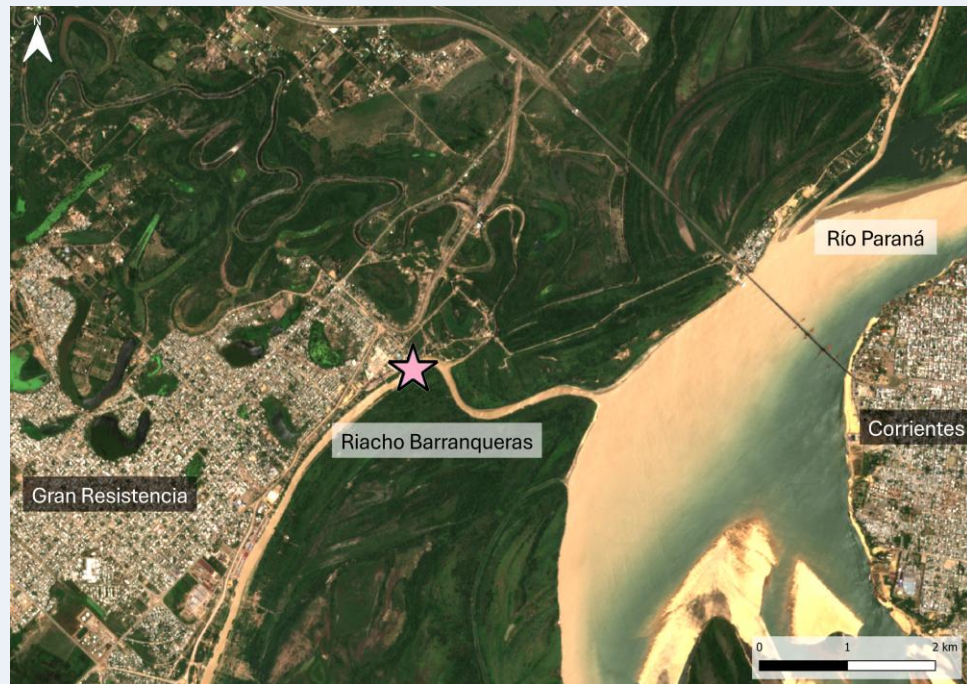
ADAPTACIÓN

CONCLUSIONES

# Región de interés

# Región de interés

- ▶ Provincia del Chaco
- ▶ La Toma, Barranqueras
- ▶ Planta potabilizadora
- ▶ Río Paraná y Riacho Barranqueras



# Región de interés

- ▶ Provincia del Chaco
- ▶ La Toma, Barranqueras
- ▶ Planta potabilizadora
- ▶ Río Paraná y Riacho Barranqueras





# Descripción del modelo de aprendizaje automático

# Descripción del modelo de aprendizaje automático

## ► Datos de laboratorio

- Mediciones diarias
- 2017-01-01—2021-09-03
- 1732 valores

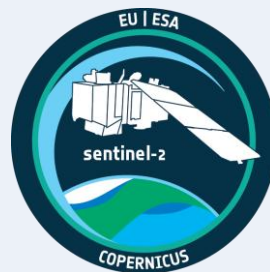


## ► Datos satelitales

- S2-MSI, L2A
- 11 bandas espectrales
- 382 imágenes



PROGRAMME OF  
THE EUROPEAN UNION



# Descripción del modelo de aprendizaje automático

## ► Aprendizaje automático, *random forest*

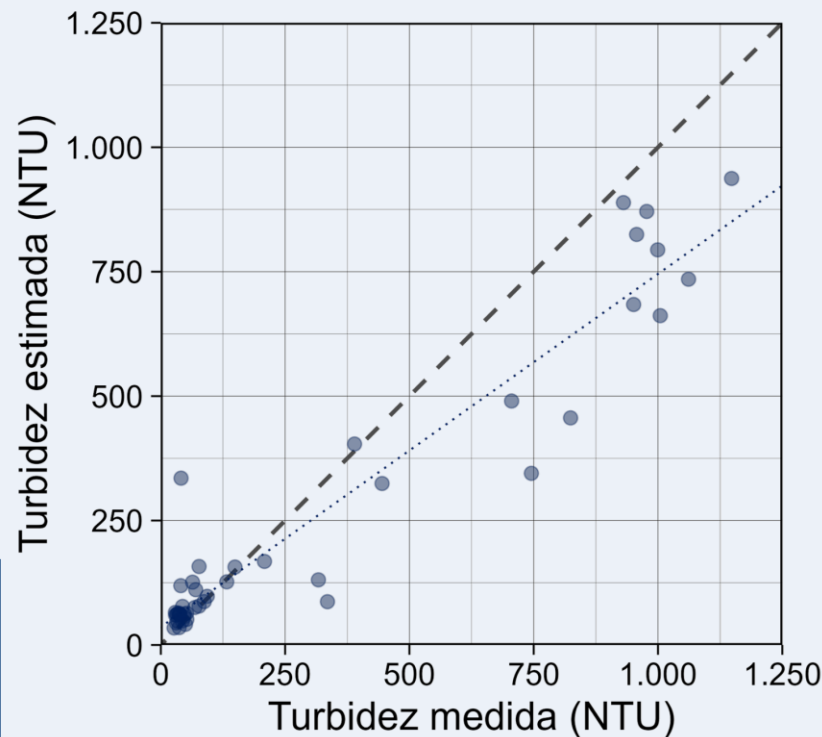
- 75% entrenamiento
- 25% validación

**turbidez =  $f$ (todas las bandas)**

## ► Optimización de hiperparámetros

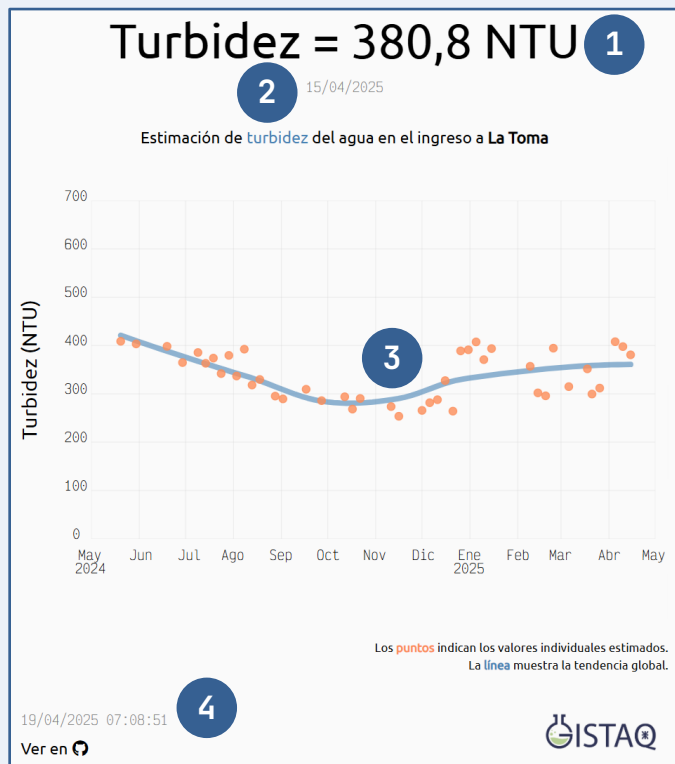
- Búsqueda de cuadrícula
- árboles = 1000
- mtry = 5
- $\min_n = 10$

$R^2 = 0,91$   
RMSE = 146 NTU  
MAE = 90 NTU



# Características del desarrollo web

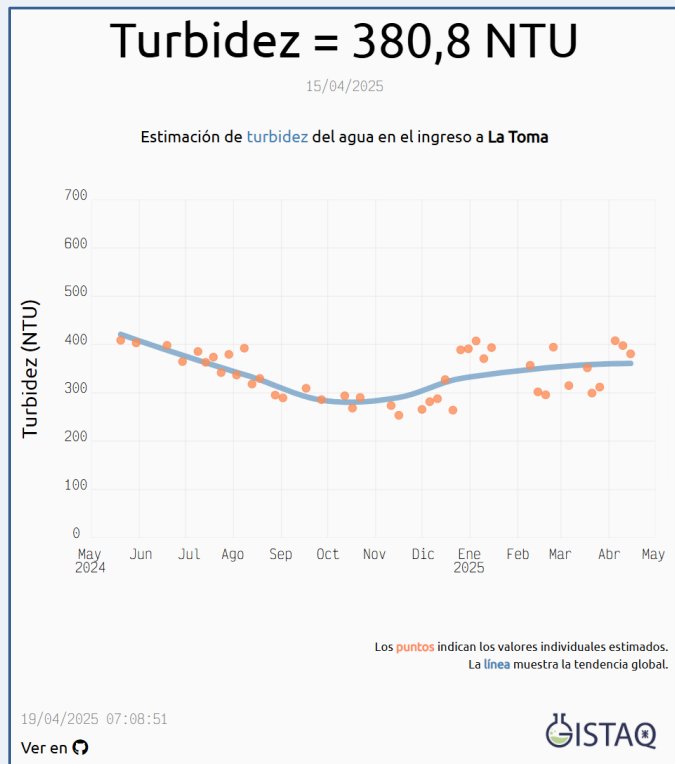
# Características del desarrollo web



[vhgauto.github.io/sameep/](https://vhgauto.github.io/sameep/)

- ① ▶ Último valor estimado de turbidez.
- ② ▶ Fecha de la última estimación de turbidez.
- ③ ▶ Serie temporal del año anterior, interactiva.
- ④ ▶ Fecha y hora de actualización del sitio web.

# Características del desarrollo web



- ▶ Descarga de producto S2-MSI.
- ▶ Extracción de valores de píxel.
- ▶ Modelado de aprendizaje automático para estimación de turbidez.
- ▶ Almacenamiento de las estimaciones.
- ▶ Generación de sitio web.
- ▶ Actualización automática.

[vhgauto.github.io/sameep/](https://vhgauto.github.io/sameep/)

PROYECTO

REGIÓN

MODELO

DESARROLLO WEB

HERRAMIENTAS

EJECUCIÓN

ADAPTACIÓN

CONCLUSIONES

# Herramientas

# Herramientas

Ejecución en la nube



# Herramientas

Ejecución en la nube

## GitHub Actions



- ▶ Permite la ejecución automática del repositorio, a intervalos definidos (*cron*).
- ▶ Conexión con el repositorio en GitHub para ejecutar scripts.
- ▶ Almacenamiento de los resultados en el repositorio.
- ▶ Registro en tiempo real de la ejecución de los scripts.

# Herramientas

Alojamiento del sitio web

# Herramientas

Alojamiento del sitio web

## GitHub Actions



- ▶ A partir de un archivo (*index.html*) genera un sitio web y el enlace de acceso.
- ▶ Funciona de manera automática.

# Herramientas

Entorno de ejecución

# Herramientas

Entorno de ejecución

## CONDA



- ▶ **CONDA** permite activar y cambiar de *environments*.

## Mamba



- ▶ **Mamba** es un gestor de librerías.

# Herramientas

**Concatenación de  
funciones**

# Herramientas

Concatenación de  
funciones

## Snakemake



- ▶ Ejecución secuencial de comandos, de acuerdo con una serie de objetivos (*targets*).
- ▶ Los *targets* se conectan entre sí, generando un orden natural de progreso.
- ▶ Las salidas de los *targets* son a su vez las entradas de otros targets, estableciendo las dependencias internas.

# Herramientas

**Obtención del producto  
satelital**



# Herramientas

Obtención del producto  
satelital

## Python



- ▶ Búsqueda y descarga de producto Sentinel-2 MultiSpectral Instrument (S2-MSI).



- ▶ Interfaz de programación de aplicación (API) de OData.

# Herramientas

**Manejo de credenciales**

# Herramientas

Manejo de credenciales

## GitHub Secrets



- ▶ Permite crear variables de entorno ocultas.
- ▶ Pueden leerse con los comandos de acuerdo con el lenguaje de programación.
- ▶ Las credenciales se cargan durante la ejecución de **GitHub Actions**.

# Herramientas

**Procesamiento de datos y  
modelado**

# Herramientas

## Procesamiento de datos y modelado

R



- ▶ Manejo de datos y visualización de resultados.
- ▶ Lectura, recorte y extracción de los valores de píxel de la región de interés.
- ▶ Modelado y estimación de turbidez.



# Herramientas

**Sitio web interactivo**

# Herramientas

Sitio web interactivo

R



- ▶ Sitio web para mostrar los resultados.



- ▶ Figura interactiva de la serie temporal de estimación de turbidez.



# Herramientas

- ▶ Ejecución en la nube
- ▶ Alojamiento del sitio web
- ▶ Entorno de ejecución
- ▶ Concatenar funciones
- ▶ Obtención del producto satelital
- ▶ Manejo de credenciales
- ▶ Procesamiento de datos y modelado
- ▶ Sitio web interactivo

## Sistema operativo



## Entorno de desarrollo integrado



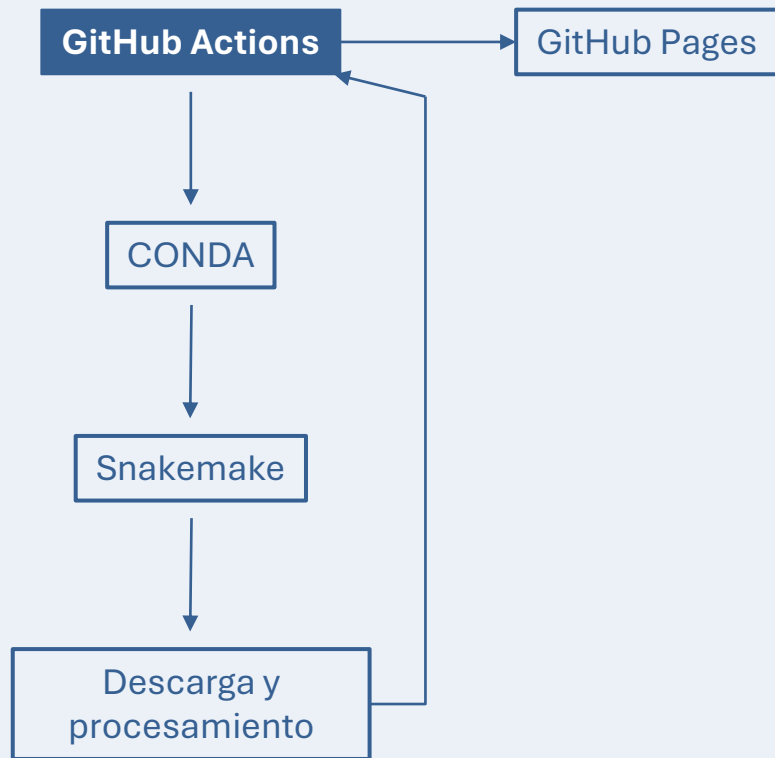
## Conexión con GitHub





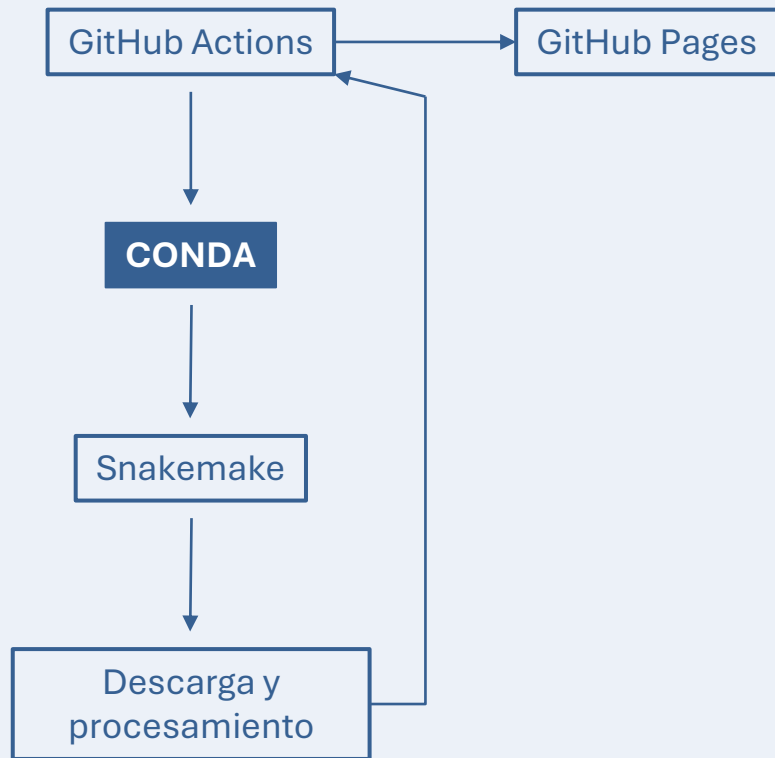
# Tareas ejecutadas automáticamente

# Tareas ejecutadas automáticamente



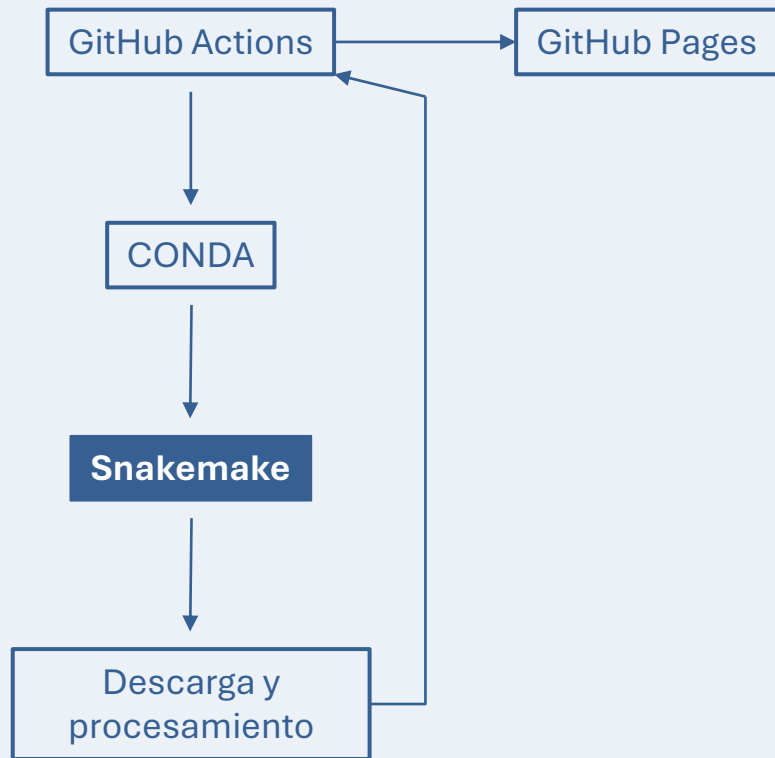
- ▶ **Todos los días, ~ 7am. Establece un *runner* con Ubuntu y copia los datos del repositorio.**
- ▶ Crea el entorno de ejecución. Instala todos los programas necesarios y los paquetes en las versiones indicadas.
- ▶ Ejecuta los comandos en orden. Si encuentra un error, sigue con el siguiente comando.
- ▶ Búsqueda del producto satelital, descarga, extracción y almacenamiento de los valores de píxel. Modelado y estimación de turbidez. Creación del sitio web con resultados.
- ▶ Actualiza resultados en el repositorio y remueve todo el contenido en el *runner*.
- ▶ Creación del sitio web.

# Tareas ejecutadas automáticamente



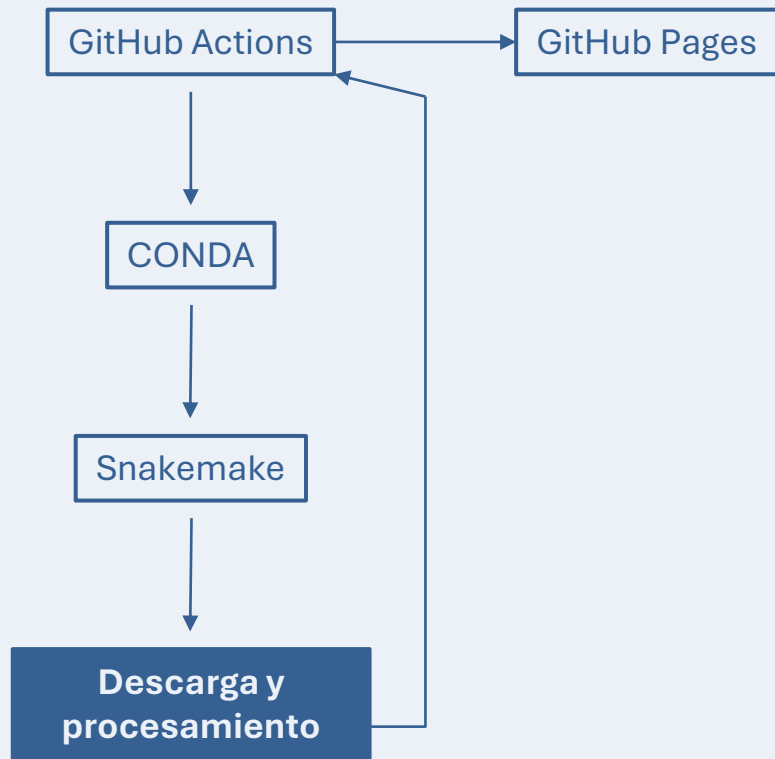
- ▶ Todos los días, ~ 7am. Establece un *runner* con Ubuntu y copia los datos del repositorio.
- ▶ **Crea el entorno de ejecución. Instala todos los programas necesarios y los paquetes en las versiones indicadas.**
- ▶ Ejecuta los comandos en orden. Si encuentra un error, sigue con el siguiente comando.
- ▶ Búsqueda del producto satelital, descarga, extracción y almacenamiento de los valores de píxel. Modelado y estimación de turbidez. Creación del sitio web con resultados.
- ▶ Actualiza resultados en el repositorio y remueve todo el contenido en el *runner*.
- ▶ Creación del sitio web.

# Tareas ejecutadas automáticamente



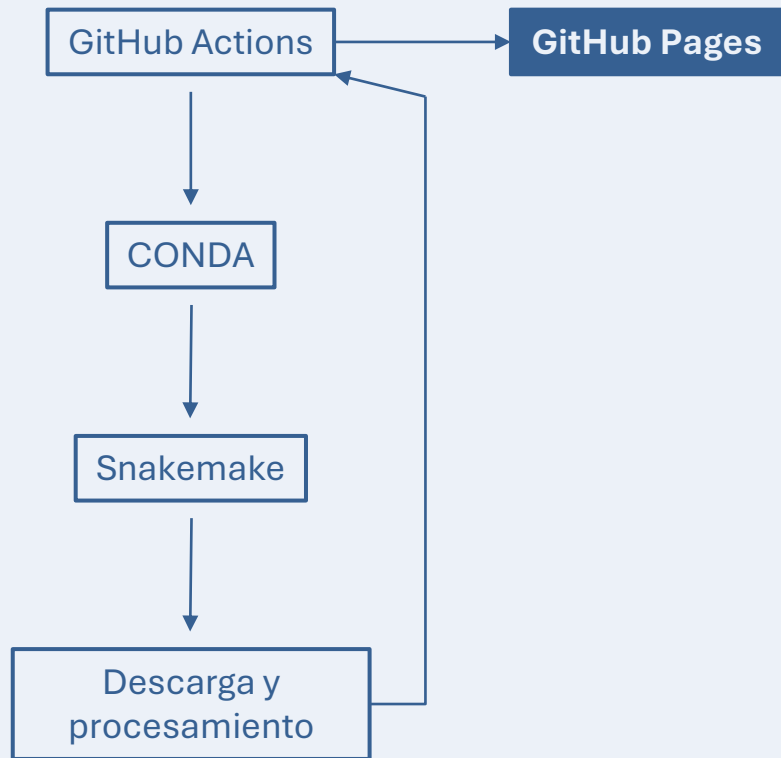
- ▶ Todos los días, ~ 7am. Establece un *runner* con Ubuntu y copia los datos del repositorio.
- ▶ Crea el entorno de ejecución. Instala todos los programas necesarios y los paquetes en las versiones indicadas.
- ▶ **Ejecuta los comandos en orden. Si encuentra un error, sigue con el siguiente comando.**
- ▶ Búsqueda del producto satelital, descarga, extracción y almacenamiento de los valores de píxel. Modelado y estimación de turbidez. Creación del sitio web con resultados.
- ▶ Actualiza resultados en el repositorio y remueve todo el contenido en el *runner*.
- ▶ Creación del sitio web.

# Tareas ejecutadas automáticamente



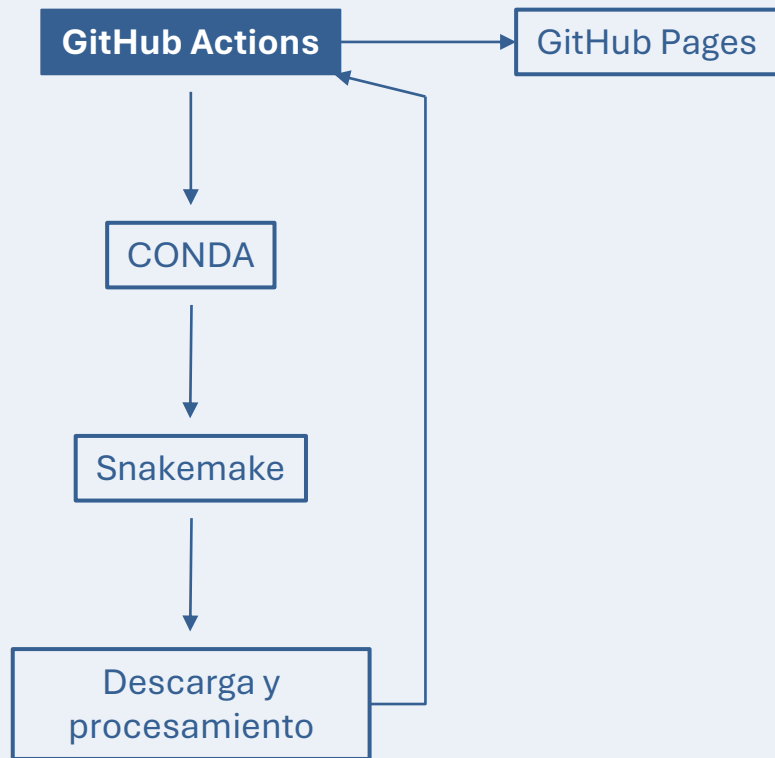
- ▶ Todos los días, ~ 7am. Establece un *runner* con Ubuntu y copia los datos del repositorio.
- ▶ Crea el entorno de ejecución. Instala todos los programas necesarios y los paquetes en las versiones indicadas.
- ▶ Ejecuta los comandos en orden. Si encuentra un error, sigue con el siguiente comando.
- ▶ **Búsqueda del producto satelital, descarga, extracción y almacenamiento de los valores de píxel. Modelado y estimación de turbidez. Creación del sitio web con resultados.**
- ▶ Actualiza resultados en el repositorio y remueve todo el contenido en el *runner*.
- ▶ Creación del sitio web.

# Tareas ejecutadas automáticamente



- ▶ Todos los días, ~ 7am. Establece un *runner* con Ubuntu y copia los datos del repositorio.
- ▶ Crea el entorno de ejecución. Instala todos los programas necesarios y los paquetes en las versiones indicadas.
- ▶ Ejecuta los comandos en orden. Si encuentra un error, sigue con el siguiente comando.
- ▶ Búsqueda del producto satelital, descarga, extracción y almacenamiento de los valores de píxel. Modelado y estimación de turbidez. Creación del sitio web con resultados.
- ▶ **Actualiza resultados en el repositorio y remueve todo el contenido en el *runner*.**
- ▶ Creación del sitio web.

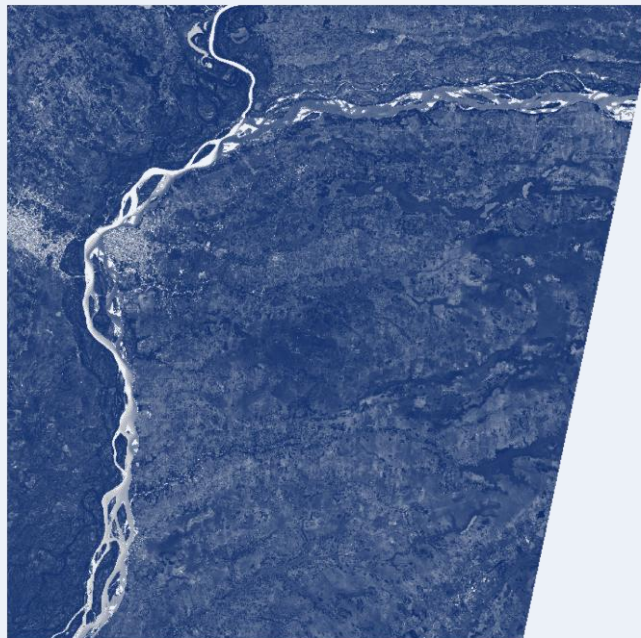
# Tareas ejecutadas automáticamente



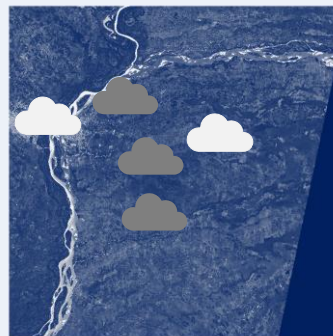
- ▶ Todos los días, ~ 7am. Establece un *runner* con Ubuntu y copia los datos del repositorio.
- ▶ Crea el entorno de ejecución. Instala todos los programas necesarios y los paquetes en las versiones indicadas.
- ▶ Ejecuta los comandos en orden. Si encuentra un error, sigue con el siguiente comando.
- ▶ Búsqueda del producto satelital, descarga, extracción y almacenamiento de los valores de píxel. Modelado y estimación de turbidez. Creación del sitio web con resultados.
- ▶ Actualiza resultados en el repositorio y remueve todo el contenido en el *runner*.
- ▶ **Creación del sitio web.**

# Tareas ejecutadas automáticamente

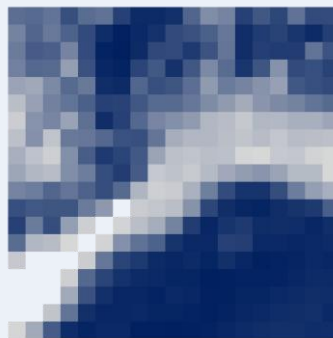
Búsqueda, descarga y procesamiento del producto



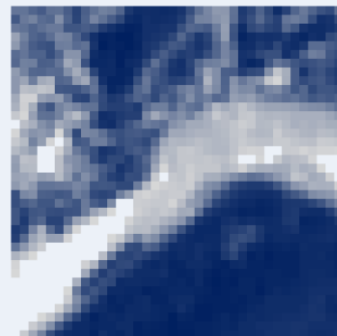
► Presencia de nubes



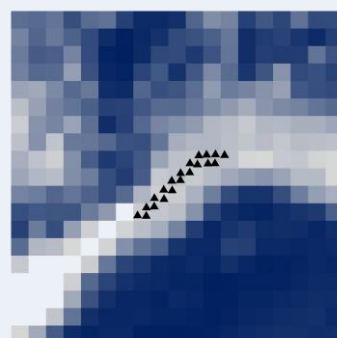
► Remuestreo



► Recorte



► Extracción



PROYECTO

REGIÓN

MODELO

DESARROLLO WEB

HERRAMIENTAS

EJECUCIÓN

ADAPTACIÓN

CONCLUSIONES



# Potencialidad en adaptación a otras regiones

# Potencialidad en adaptación a otras regiones



## Algoritmo

Con un algoritmo definido, indicando las variables predictoras y de respuesta.



## Sitio de interés

Indicar las coordenadas geográficas de los puntos de muestreo. Generar un contorno para evitar efecto de borde.



## Producto satelital

La plataforma y el nivel de procesamiento del producto dependen del algoritmo, la frecuencia de adquisición, tamaño de píxel.

# Potencialidad en adaptación a otras regiones

## ► Producto

- Sitio web
- Alertas por correo electrónico
- Reportes actualizados (.pdf, .html)
- Panel (*dashboard*)
- Mapas interactivos




## ► Modelo

- Propio, referencias
- Simple, *machine learning*
- Actualizado incorporando nuevos datos

## ► Datos

- Físicoquímicos (clorofila-a, sólidos suspendidos, turbidez, etc.)
- Espectrales (S2-MSI, MODIS, Landsat-OLI/TIRS, etc.)
- Correcciones atmosféricas propias (ACOLITE, 6S)

## ► Plataforma

- GitHub
- Amazon Web Service 
- Google Cloud 
- Posit Connect 

# Conclusiones

# Conclusiones

- ▶ El uso de múltiples lenguajes de programación, softwares y aplicaciones permitió el **desarrollo de un sitio web**, que de manera **automática** calcula, registra y muestra estimaciones periódicas de turbidez en el agua.
- ▶ La combinación de **datos de laboratorio y espectrales** a partir de plataformas satelitales permitió el desarrollo de un algoritmo para la **estimación de turbidez** en el agua.
- ▶ El modelado vía aprendizaje automático por *random forest* fue **entrenado y validado**, mostrando altos valores de desempeño.
- ▶ El uso de herramientas de software **libre, gratuito y de código abierto** permiten un desarrollo con mínima inversión económica, con soporte de la comunidad y abundante material de consulta.

# Conclusiones

## Aspectos a mejorar:

- ▶ Mejorar la **documentación** del repositorio.
- ▶ Reemplazar `{rmarkdown}` por **Quarto** para generación del sitio web.
- ▶ Verificar **otros modelos** de aprendizaje automático.
- ▶ Almacenar el modelo como **archivo** mediante `{vetiver}`.
- ▶ Crear **mapas interactivos** usando `{leaflet}`.
- ▶ Incorporar nuevos datos para generar un **modelo actualizado**.



# Recursos

[!\[\]\(35e4f762fc1cfea5610d92e2d225d5b4\_img.jpg\) !\[\]\(b6a97e4835c8c5eb846fcac2cc15117e\_img.jpg\) Esta presentación !\[\]\(4e1ebd2bb71a2d60c971116ed24790bb\_img.jpg\)](#)

[!\[\]\(d84e7ea36f695d92cb39ec32c307ac93\_img.jpg\) !\[\]\(db9b0c6fa4ac1078c53d7f74438ad75d\_img.jpg\) R for Data Science \(2e\)](#)

[!\[\]\(feabb98897b440bc8695a03336a6e2df\_img.jpg\) !\[\]\(c7f935293d8062fa748ed86b74d28761\_img.jpg\) ggiraph-book](#)

[!\[\]\(9dfdaff1d86ba3c1f8353b4d1b61b8c5\_img.jpg\) !\[\]\(bcef2083a617d3f771f1bcdf2f97158d\_img.jpg\) R Markdown: The Definitive Guide](#)

[!\[\]\(83f22ed94ec5517769dd76d702c6bfd8\_img.jpg\) !\[\]\(58518edde73d42d67a35a8ed26134c7b\_img.jpg\) Snakemake Basics: An example workflow](#)

[!\[\]\(8d0f0e0fe25b320c33272c52aec1fbca\_img.jpg\) !\[\]\(c1e4487e48462435243c9e117557e045\_img.jpg\) Getting started with conda](#)

[!\[\]\(642aa997563f9a325b310230bb5078b7\_img.jpg\) !\[\]\(9bef82f5a53106f2ad06a2de7acf5bcf\_img.jpg\) CONDA CHEAT SHEET](#)

[!\[\]\(2b376d1a92330ab09dad2665d2f89bf5\_img.jpg\) !\[\]\(fcaee6d397c07452e54229b176f1295d\_img.jpg\) Quickstart for GitHub Actions](#)

[!\[\]\(3cb60d42b10e53f9522bb0b392c1c4cd\_img.jpg\) !\[\]\(6ee5a6cf4633ecad4ab1623b5ee8b864\_img.jpg\) Setup Miniconda in GitHub Actions](#)

[!\[\]\(d0262bbe9d2356661a2e89321dfcc781\_img.jpg\) !\[\]\(8572950e410320d7dd023da827ff014d\_img.jpg\) Dataspace Copernicus API, Odata](#)





@ victor.gauto@ca.frre.utn.edu.ar

🏠 vhgauto.github.io

📷 🐦 📧 🦋 /vhgauto





**CENTRO ARGENTINO DE CARTOGRAFÍA**

69 años promoviendo la ciencia cartográfica

**Ciclo de Actividades Científico Técnicas 2025**

**¡GRACIAS POR SU  
ATENCIÓN!**



**centro.de.cartografia@gmail.com**



**<https://www.instagram.com/centrodecartografia>**



**<https://www.facebook.com/centroargentinodecartografia>**

**+54 9 11 5808-4326**