



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

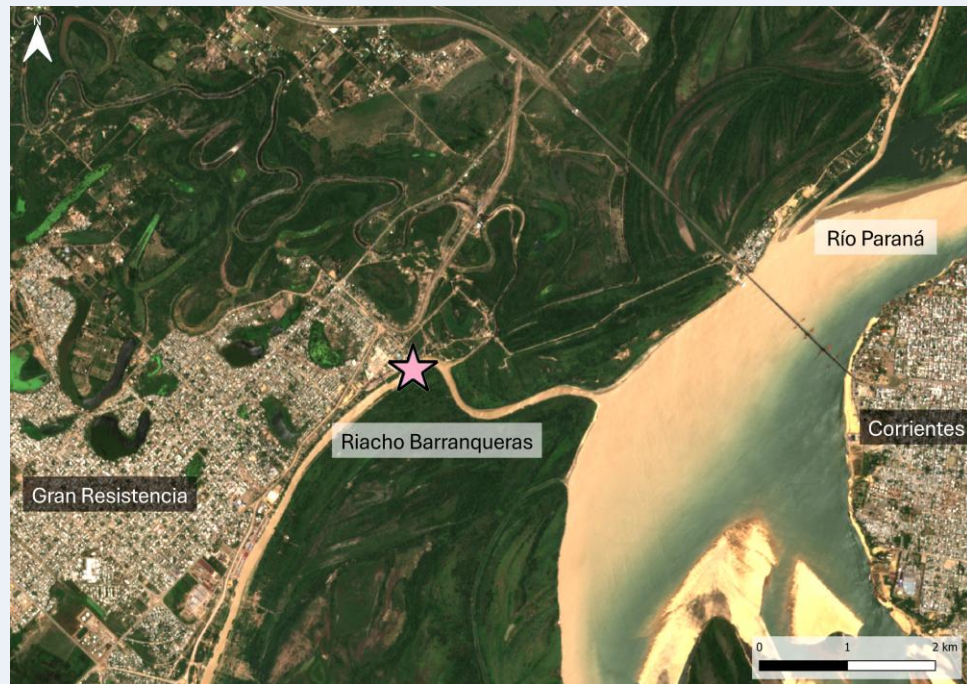
- **Caracterización fisicoquímica de cuerpos de aguas continentales para la evaluación de la utilización de algoritmos en el monitoreo satelital de la calidad del agua (MSPPBRE0008091). 2021—2022.**



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*

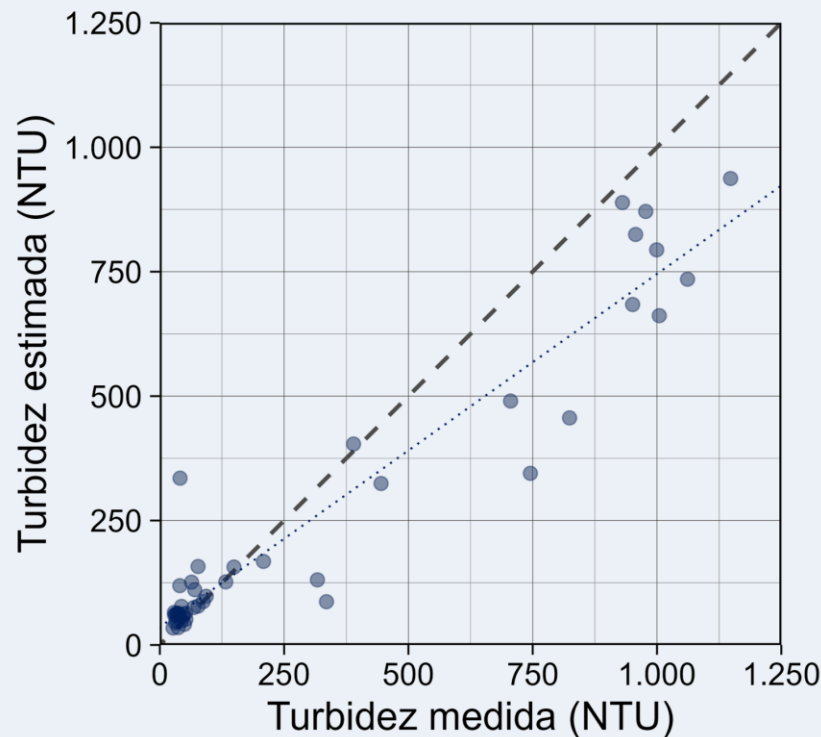
- 75% entrenamiento
- 25% validación

turbidez = f (todas las bandas)

► Optimización de hiperparámetros

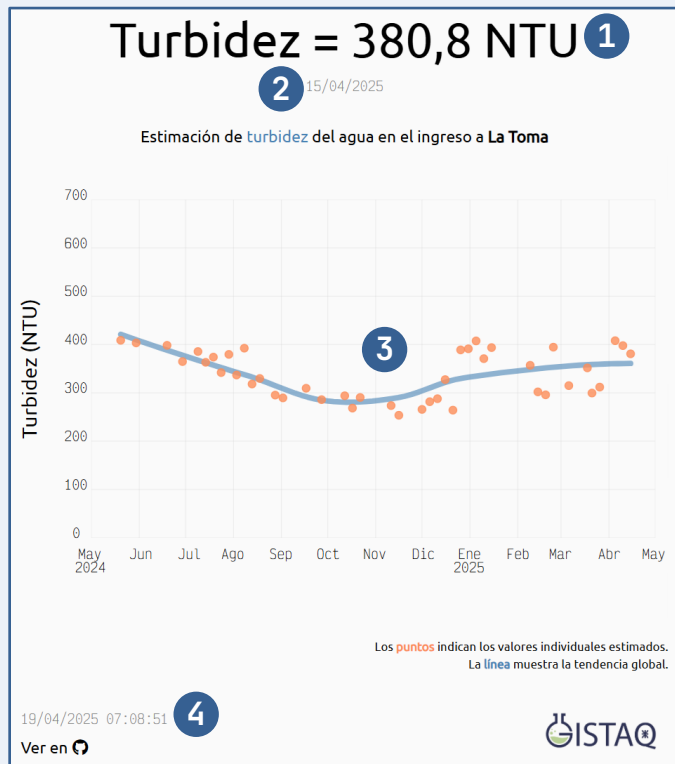
- Búsqueda de cuadrícula
- árboles = 1000
- mtry = 5
- $\min_n = 10$

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



Características del desarrollo web

Características del desarrollo web



- 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.

vhgauto.github.io/sameep/

PROYECTO

REGIÓN

MODELO

DESARROLLO WEB

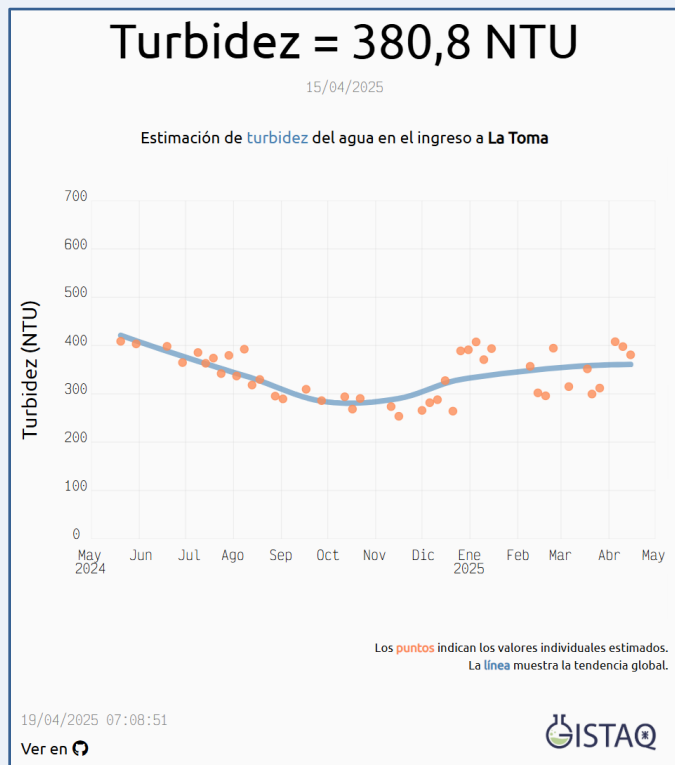
HERRAMIENTAS

EJECUCIÓN

ADAPTACIÓN

CONCLUSIONES

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/

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 Pages



- ▶ 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 crear y activar *environments*. Descarga y gestión de librerías.

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 desde los scripts para la ejecución de comandos.
- ▶ 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

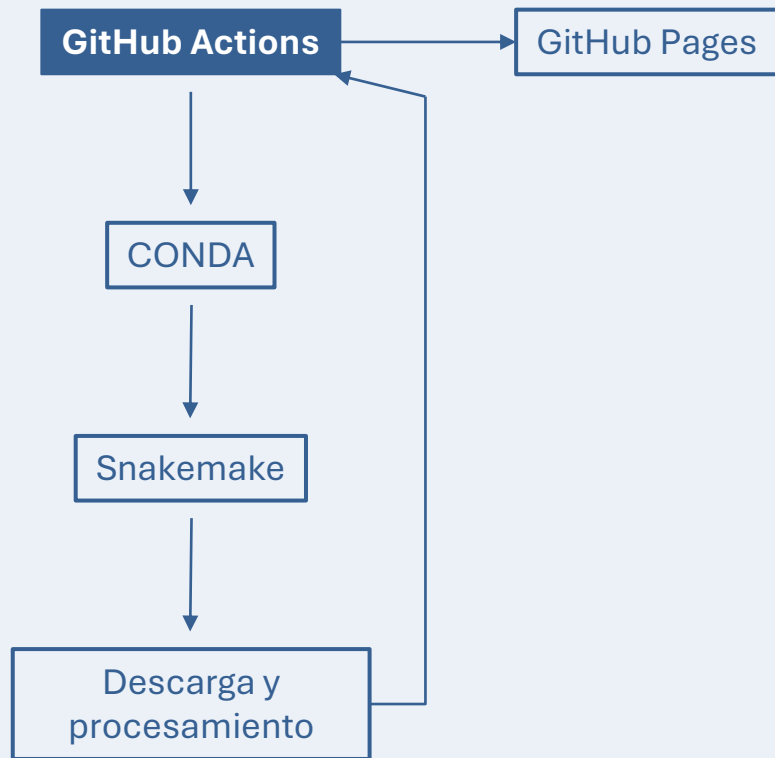


Conexión con GitHub



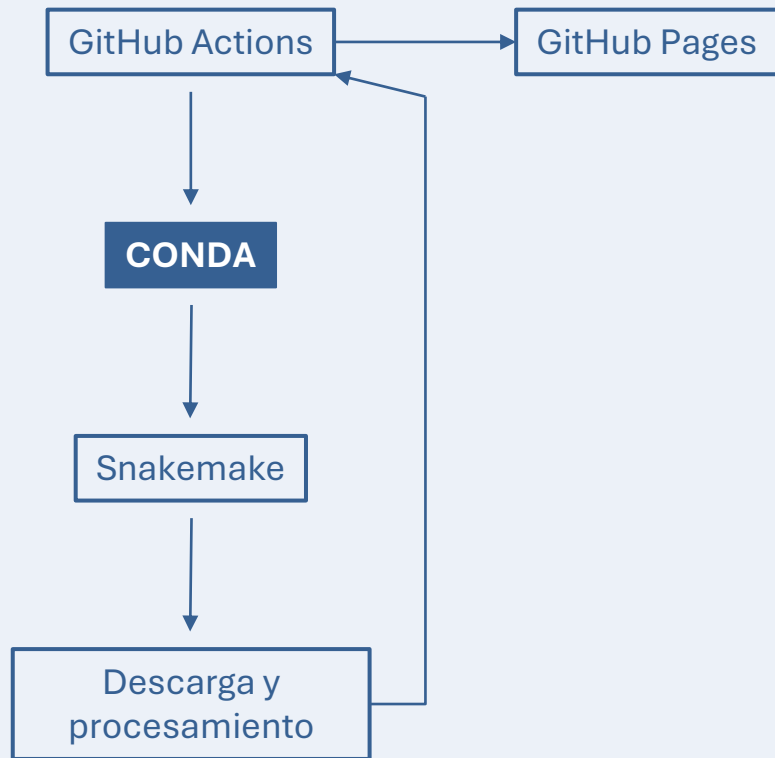
Tareas ejecutadas automáticamente

Tareas ejecutadas automáticamente



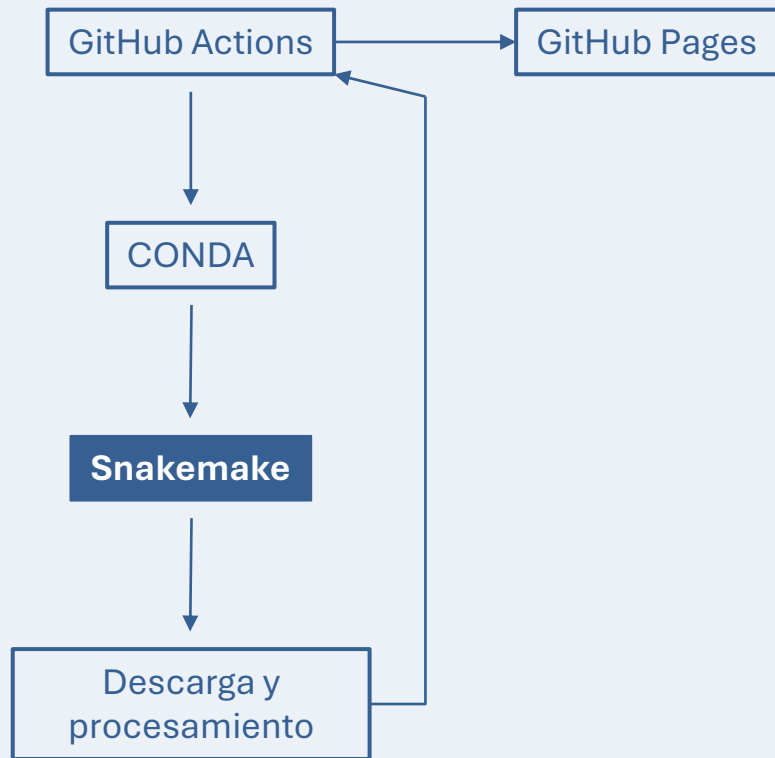
- ▶ **Todos los días, ~ 7AM. Establece un *runner* con Ubuntu y copia los datos del repositorio.**
- ▶ Crea el entorno de ejecución. Instala todos los programas necesarios y los paquetes en las versiones indicadas.
- ▶ Ejecuta los comandos en orden. Si encuentra un error, sigue con el siguiente comando.
- ▶ 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



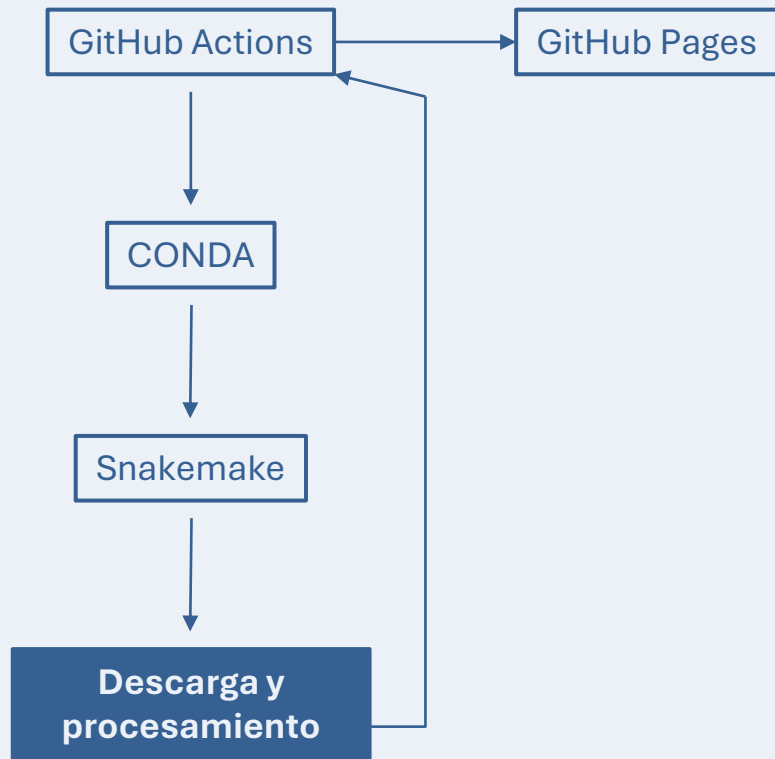
- ▶ Todos los días, ~ 7AM. Establece un *runner* con Ubuntu y copia los datos del repositorio.
- ▶ **Crea el entorno de ejecución. Instala todos los programas necesarios y los paquetes en las versiones indicadas.**
- ▶ Ejecuta los comandos en orden. Si encuentra un error, sigue con el siguiente comando.
- ▶ 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



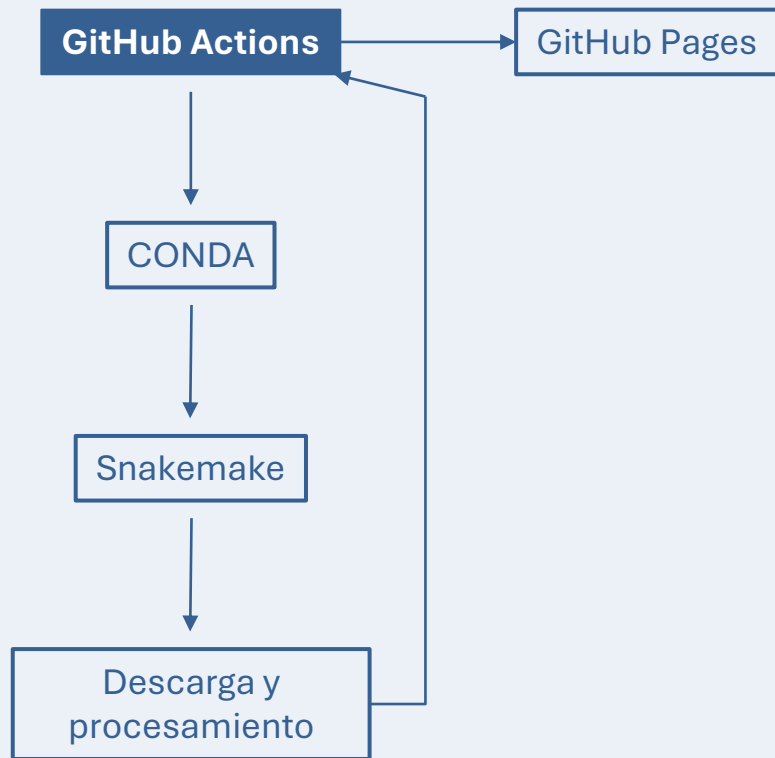
- ▶ Todos los días, ~ 7AM. Establece un *runner* con Ubuntu y copia los datos del repositorio.
- ▶ Crea el entorno de ejecución. Instala todos los programas necesarios y los paquetes en las versiones indicadas.
- ▶ **Ejecuta los comandos en orden. Si encuentra un error, sigue con el siguiente comando.**
- ▶ 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



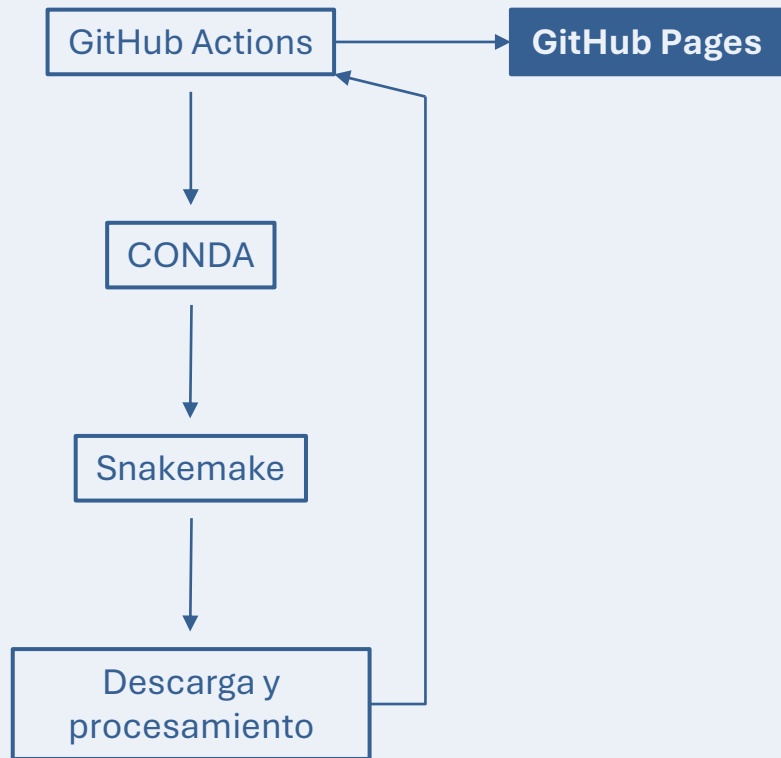
- ▶ Todos los días, ~ 7AM. Establece un *runner* con Ubuntu y copia los datos del repositorio.
- ▶ Crea el entorno de ejecución. Instala todos los programas necesarios y los paquetes en las versiones indicadas.
- ▶ Ejecuta los comandos en orden. Si encuentra un error, sigue con el siguiente comando.
- ▶ **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.

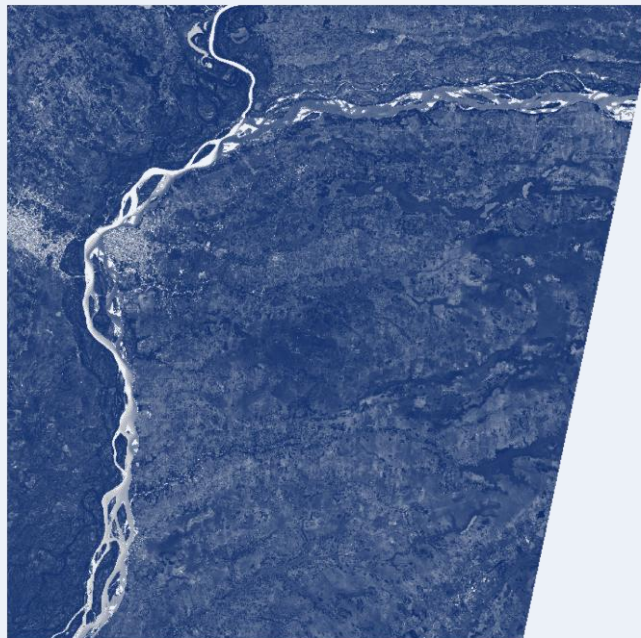
Tareas ejecutadas automáticamente



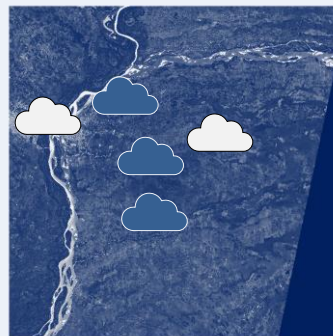
- ▶ Todos los días, ~ 7AM. Establece un *runner* con Ubuntu y copia los datos del repositorio.
- ▶ Crea el entorno de ejecución. Instala todos los programas necesarios y los paquetes en las versiones indicadas.
- ▶ Ejecuta los comandos en orden. Si encuentra un error, sigue con el siguiente comando.
- ▶ 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

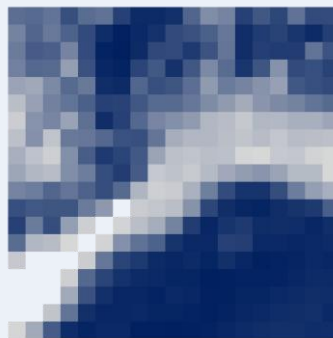
Búsqueda, descarga y procesamiento del producto



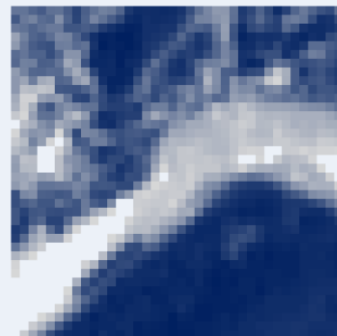
► Presencia de nubes



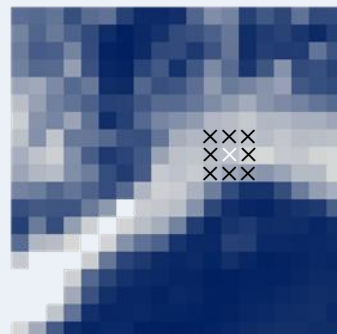
► Remuestreo



► Recorte



► Extracción



PROYECTO

REGIÓN

MODELO

DESARROLLO WEB

HERRAMIENTAS

EJECUCIÓN

ADAPTACIÓN

CONCLUSIONES

Potencialidad en adaptación a otras regiones

Potencialidad en adaptación a otras regiones



- ▶ **Algoritmo**
Incluyendo parámetros e hiperparámetros, 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

- Fisicoquímicos (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

- ▶ 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 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.
- ▶ 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 generar el sitio web.
- ▶ **Revisar el modelo actual** y testear otros modelos.
- ▶ **Conservar el modelo** como archivo mediante `{vetiver}`.
- ▶ Crear **mapas interactivos** usando `{leaflet}`.
- ▶ Incorporar nuevos datos para generar un **modelo actualizado**.

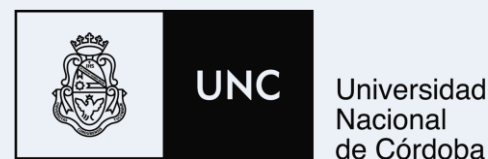


Recursos

- [!\[\]\(6841ca9b0e023296428e7c9e683b9367_img.jpg\) !\[\]\(e258e347e7683f87061f627f84598eb5_img.jpg\) R for Data Science \(2e\)](#)
- [!\[\]\(1233990ad3f0b7475c568d7bf16af31f_img.jpg\) !\[\]\(18570b67a4686b081406cd3de636c1c3_img.jpg\) ggiraph-book](#)
- [!\[\]\(411af059a517db12f1097bc63c4fbe36_img.jpg\) !\[\]\(ed2b7fb1e3bd6514676d2ab3c70d5776_img.jpg\) R Markdown: The Definitive Guide](#)
- [!\[\]\(63f22f364560f085b88206f094473649_img.jpg\) !\[\]\(1167d0d640d4660b041f4c30896eb62c_img.jpg\) Tidy Modeling with R](#)
- [!\[\]\(e32ea7ee1d8d316e68314dd7b0885d06_img.jpg\) !\[\]\(5fb1f24875e954b62806996a167f04fe_img.jpg\) Snakemake Basics: An example workflow](#)
- [!\[\]\(0086bf642f401643513fe1a1251873a5_img.jpg\) !\[\]\(4dcc71cec3ea08e94fd945b9c1c7e90b_img.jpg\) Getting started with conda](#)
- [!\[\]\(2b1d69386a6edb44816277545cd6b85f_img.jpg\) !\[\]\(7398a6e6517c1c70369e9b41e0faa04f_img.jpg\) CONDA CHEAT SHEET](#)
- [!\[\]\(b8a1aa136b4b7f9adf95b51b6a188633_img.jpg\) !\[\]\(3389610d51787bef082c2c5fa7b771b1_img.jpg\) Quickstart for GitHub Actions](#)
- [!\[\]\(ed0c1c345f68b5466d78c392f4872360_img.jpg\) !\[\]\(a20afda83a875fed17fe0a6ad97246f8_img.jpg\) Setup Miniconda in GitHub Actions](#)
- [!\[\]\(d0d467b9ec9223dea73f4e3b6b0a4542_img.jpg\) !\[\]\(b4aac84962516e28563851a7e077892e_img.jpg\) Dataspace Copernicus API, Odata](#)
- [!\[\]\(2c0c91021f4737a82a364d0c805a9739_img.jpg\) !\[\]\(237c729811fa0070c54a074c5705c583_img.jpg\) Hyperparameters and Tuning Strategies for Random Forest](#)



 **Esta presentación** 



@ 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 7354-9812