

Ciencia de datos en la optimización de recursos hídricos, una aplicación para Irrigación



Autores

MSC, Lic. y Prof. Daniel Guillermo Cavaller Riva, Cdor. Cristian Darío Ortega Yubro,
Lic. Emiliano Andrés Dueñas, Lic. Héctor Nicolás Sosa, Ing. Rubén Villodas.

Colaborador

Martín Mauricio Villodas Maizon

<mailto:{daniel.cavaller; cristian.ortega; hector.sosa; emiliano.duenas; ruben.villodas}@fce.uncu.edu.ar>
<http://fce.uncu.edu.ar>

Resumen: La Provincia de Mendoza puede administrar la gestión del agua utilizando herramientas digitales que se emplean para las Ciencias de la Tierra, y con la ayuda de esas aplicaciones optimizar el uso del recurso, con un impacto inherente en las Ciencias Económicas, es decir proyecciones de su matriz productiva.

Palabras claves: Mapas satelitales, Landsat, historiografía de ríos en Mendoza, Irrigación, caudal de río, comparativa mapas satelitales contra datos de hídricos geoposicionados, bandas satelitales, temperaturas de superficie, Google Earth Engine, GEE, analítica de imágenes, analítica de datos, algoritmos, folium, Python, Jupyter Notebooks, Machine Learning, Google Colaboratory, Google Colab, NDWI.

DATA SCIENCE IN WATER RESOURCE OPTIMIZATION, AN APPLICATION FOR IRRIGATION

Resumen: The Province of Mendoza can administer water management using digital tools that are used for Earth Sciences, and with the help of these applications, optimize the use of the resource, with an inherent impact on Economic Sciences, that is, projections. of its productive matrix.

Palabras claves: Satellite maps, Landsat, historiography of rivers in Mendoza, Irrigation, river flow, comparative satellite maps against geo-positioned water data, satellite bands, surface temperatures, Google Earth Engine, GEE, image analytics, data analytics, algorithms, folium, Python, Jupyter Notebooks, Machine Learning, Google Colaboratory, Google Colab, NDWI.

Google Colab: <https://github.com/Ciencia-de-datos-en-la-optimizacion-de-recursos-hidricos>

1. Introducción

De acuerdo a las características de la Provincia de Mendoza en cuanto a la relación con su recurso hídrico y la distribución del suministro de agua, a cargo de Irrigación (anteriormente denominada Gobernanza del Agua), es conveniente y fundamental conocer la distribución espacial y temporal de los recursos hídricos superficiales ([Pekel et al., 2014](#)) es decir: masas de agua que se mueven siempre en una misma dirección, como los ríos, riachuelos, arroyos, manantiales, etc., lo cual podría realizarse con la utilización de herramientas de las Ciencias de Datos que contribuyen al análisis de las Ciencias de la Tierra, para optimizar el uso de los recursos hídricos, con un impacto en las Ciencias Económicas. El recurso hídrico de la Provincia de Mendoza puede analizarse con imágenes satelitales y con ellas desarrollar modelos utilizando algoritmos de aprendizaje automático, logrando así información precisa que contribuye a la toma de decisiones y aporten conocimiento valioso para empezar a valorar más el agua, y proyectar esos resultados a la matriz productiva de la provincia. El conjunto de datos libres se obtiene de la aplicación Google Earth Engine, que permite construir modelos que proporcionan evidencia del estado y el cambio de los ecotonos que indican las áreas de transición entre biomas, como por ejemplo, el cambio en superficies con agua y sin agua. La herramienta GEE permite trabajar en la nube, aprovechando el poder computacional. La utilización de otras herramientas de código abierto necesitan el desarrollo de plataformas propias, como el presente equipo de investigación no posee esos recursos computacionales, se optó por la herramienta de Google Earth Engine, la cual es una PaaS¹.

El objetivo de la presente investigación es validar imágenes satelitales multitemporales y multiespectrales, detectando automáticamente las superficies de aguas y monitoreando esas imágenes, con la aplicación de algoritmos específicos para ese tipo de análisis de datos, a través de las herramientas disponibles y de la aplicación del índice de agua de diferencia normalizada (NDWI). GEE contiene diferentes métodos de procesamiento de imágenes, ejemplo para las imágenes de Landsat aplica algoritmos a medida con los cuales se pueden inferir en la reflectancia superficial, algoritmo que necesita una compensación atmosférica tal como la temperatura y el vapor de agua, datos que son volcados en los Centros Nacionales para la Predicción Ambiental (NCEP). Hay que tener presente que las imágenes de satélite poseen espectros que no son visibles tales como las banda de infrarrojo y la banda de infrarrojo cercano. Cada píxel de las imágenes satelitales tienen un valor de reflectancia. La reflectancia indica características específicas. Con el lenguaje Python, y la aplicación de los algoritmos y operaciones matemáticas, se pueden clasificar los diferentes pixeles de las imágenes satelitales de un punto seleccionado, en virtud de las características, e interpretar tal clasificación.

2. Área de estudio

Los recursos hídricos en la Provincia de Mendoza se monitorean con sensores de control de caudales heterogéneos, los que pueden consultarse en la página web del Departamento General de Irrigación denominada Modelo de Indicadores de Distribución Operativa

¹ PaaS: Plataforma como servicios, proveedor de servicios que ofrece acceso a un entorno de trabajo en la nube para que los usuarios de esa plataforma puedan desarrollar, crear y distribuir aplicaciones.

(«MIDO», s. f.). El sistema MIDO monitorea seis cuencas, y cada cuenca posee las siguientes cantidades de puntos de control, de acuerdo a lo informado en la página web:

- Río Mendoza, 178 puntos de control.
- Zona Riego Malargüe, 33 puntos de control.
- Río Atuel, 103 puntos de control.
- Río Tunuyán Superior, 177 puntos de control.
- Río Tunuyán Inferior, 169 puntos de control.
- Río Diamante, 174 puntos de control.

Una de las herramientas seleccionadas para el análisis del agua de la provincia se realiza a través de la API de GEE integrada a un entorno similar al de Jupyter Notebooks, denominado Colab de Google, que utiliza el lenguaje Python. De esa forma se puede clasificar imágenes satelitales multitemporales con múltiples sensores, como Landsat 8 y Landsat 7 ([Shelestov, Lavreniuk, Kussul, Novikov, & Skakun, 2017](#)). Un gran avance en el uso de las herramientas detalladas, es el desarrollado por el Instituto Argentino de Nivología, Glaciología y Ciencias Ambientales, IANIGLA dependiente del Conicet, la Universidad Nacional de Cuyo y del Gobierno de la Provincia de Mendoza, tal como se lo puede constatar en el siguiente enlace: [Nieve en Mendoza](#) («Nieve en Mendoza», s. f.)

Se puede observar del enlace anterior, el análisis de un catálogo de imágenes obtenidos de MODIS de la colección MOD10A1.006 Terra Snow Cover Daily Global 500 metros, que contiene datos de la cobertura de nieve, albedo de nieve, capa de nieve fraccional y evaluación de calidad de la misma («MODIS Collections in Earth Engine | Earth Engine Data Catalog», s. f.). Los datos de cobertura de nieve se basan en un algoritmo de mapeo de nieve que emplea un Índice de Nieve de Diferencia Normalizada (NDSI) y otras pruebas de criterios. Este estudio es un gran aporte para la optimización de los recursos hídricos. Lo mismo podría realizarse para el estudio hidrológico de la Provincia de Mendoza.

3. Metodología

Se utiliza la API de GEE («Python installation | Google Earth Engine | Google Developers», s. f.) en Google Colab («Google Colaboratory», s. f.). Se instala con el siguiente comando: (con una instalación pip desde Terminal (en MacOs))

```
pip install earthengine-api
```

Si se quiere saber acerca de la API instalada se utiliza el siguiente comando:

```
pip show earthengine-api
```

Y se obtendrá la siguiente información:

```
Name: earthengine-api
Versión: 0.1.209
Summary: Earth Engine Python API
Home-page: http://code.google.com/p/earthengine-api/
Author: Noel Gorelick
Author-email: gorelick@google.com
```

3.1. Conjunto de Datos

El conjunto de datos del satélite consultado se aplica para las coordenadas de la Provincia de Mendoza, latitud -32.9946 y longitud -69.1280, resultando visible el Dique Potrerillos.

Imágen N° 1 - Coordenadas Dique Potrerillos



3.1.1. USGS Landsat 8 Collection 1 Tier 1 TOA Reflectance

Este conjunto de datos («USGS Landsat 8 Collection 1 Tier 1 TOA Reflectance», s. f.) contiene la reflectancia superficial atmosféricamente corregida de los sensores del satélite Landsat 8, que forma parte del programa de NASA y del USGS. Estas imágenes múltiples bandas de infrarrojo cercano y visible (VNIR), 2 bandas de infrarrojo de onda corta (SWIR) procesadas para reflectancia de superficie, y dos bandas de infrarrojo térmico (TIR) procesadas para temperatura, entre otras bandas. Estos datos están corregidos atmosféricamente incluyendo máscara de nubes, sombras, agua y nieve producida, así como una máscara de saturación por píxel. La resolución de la imagen es de 30 metros y de 15 metros respectivamente, y las imágenes son capturadas aproximadamente una vez cada dos semanas en todo el mundo, conteniendo datos multiespectrales y térmicos de cada rincón del planeta.

3.1.2. Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI)

El índice de agua de diferencia normalizada (NDWI) (McFeeters, 2013) es un índice de teledetección vinculado al agua líquida en virtud de las bandas que se tomen como observación para monitorear los cambios relacionados con el contenido del agua en los cuerpos de agua, en este caso, usando la banda de longitud de onda verde y la banda de infrarrojo cercano. Las bandas consultadas para elaborar el modelo con el editor de Google Earth Engine:

- B3: reflectancia superficial verde.
- B7: reflectancia superficial infrarrojo de onda corta 2.

$$NDWI = \frac{(B3 - B7)}{(B3 + B7)}$$

Se afirma que los valores de NDWI mayores que cero suponen que representan superficies de agua, mientras que los valores menores o iguales a cero se suponen que son superficies que no son de agua.

3.1.3. Landsat 8 Collection 1 Tier NDWI Composite

Estos conjuntos de imágenes de la colección Landsat 8 Collection 1 Tier 1 NDWI están hechos de escenas ortorectificadas, utilizando la reflectancia computarizada de la parte superior de la atmósfera (TOA). Las imágenes se obtienen en períodos de 8 días que comienza desde el primer día del año y continúa hasta el día 360 del año.

3.2. Google Colab

3.2.1. Autenticación

Lo primero que debe realizarse es la carga de la librería de Earth Engine, lo que requiere de autenticación. El código es el siguiente:

```
import ee
ee.Authenticate()
ee.Initialize()
```

La autenticación requiere seguir un enlace, copiar una clave, pegarla en la celda de código y ejecutarla. Esa tarea debe hacerse cada vez que se quiera ejecutar GEE.

3.2.2. Librerías para el mapa interactivo

En primer lugar se deben activar las librerías necesarias para el desarrollo del análisis del conjunto de datos en Google Colab, de la siguiente forma:

```
import sys
import folium
import pandas as pd
import webbrowser
```

Folium es el paquete necesario para visualizar los mapas, si la ejecución de esta celda arroja un error, entonces debe previamente instalarse el paquete que resulte en error, con pip, desde la Terminal, en el caso de una MacOs, o desde la Ventana de Comandos (CMD) en el caso de Windows.

3.2.3. Localización y bandas satelitales

Se define la variable “potrerillos” con las coordenadas expresadas en latitud y longitud. Luego se define la variable “punto” con las coordenadas correspondientes a una localización dentro del lago potrerillos, esta variable se utilizará configurar el punto de una geometría en la colección de imágenes.

```
potrerillos = [-32.9946, -69.1280]
```

```
punto = [-69.1603, -32.9781]
```

Luego se define el mapa con la variable “map” en el que se agrega información a través de diferentes capas y se indican las diferentes bandas satelitales de Landsat 8 que se tendrán en cuenta, a través del siguiente código:

```
map = folium.Map(location = potrerillos, position='Center',
                 tiles='OpenStreetMap', zoom_start=12.5)

bands = ['B2', 'B3', 'B4', 'B5', 'B6', 'B7']
```

3.2.4. Conexión con Landsat 8 Toa Reflectance

En primer lugar se define una variable para identificar el satélite del cual se obtendrán las imágenes:

```
IDcollection = 'LANDSAT/LC08/C01/T1_SR'
```

Luego se procede al filtrado de las imágenes que se obtengan, filtros como plazo del tiempo y el punto definido para la geometría.

```
l8sr = ee.ImageCollection(IDcollection)
ICFilter = l8sr.filterDate('2018-01-01', '2019-12-28')
GP = ee.Geometry.Point(punto)
ICFilter = ICFilter.filterBounds(GP)
```

Si bien con esos comandos se obtiene una colección de imágenes, las imágenes contienen nubes, por lo que es necesario aplicar un filtro que elimine las nubes y de esa forma obtener imágenes sin nubes que no alteran el análisis de esas imágenes. El código utilizado para lograr la máscara de nubes, es el siguiente:

```
def maskL8sr(image):
    cloudShadowBitMask = ee.Number(2).pow(3).int()
    cloudsBitMask = ee.Number(2).pow(5).int()
    qa = image.select('pixel_qa')
    mask = qa.bitwiseAnd(cloudShadowBitMask).eq(0).And(
        qa.bitwiseAnd(cloudsBitMask).eq(0))
    return image.updateMask(mask).select(bands).divide(10000)
```

3.2.5. Definiendo el conjunto de imágenes

Se define la variable “image” tomando la conexión con landsat 8 y el filtrado de nubes. A ello se le aplica la media, y se obtiene una imagen limpia. En el caso del conjunto de imágenes correspondientes a Landsat 8 Collection 1 Tier 1 TOA Reflectance, se aplica la función de media tal como se visualiza en el código siguiente. Tal corrección no sería necesaria para el conjunto de imágenes Landsat 8 Collection 1 Tier NDWI Composite, porque el conjunto de datos se encuentran ajustadas para la interpretación del índice.

```
image = ICFilter.map(maskL8sr).median()
```

3.2.6. Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI)

El comando que se utiliza en Python, para el conjunto de imágenes Landsat 8 Collection 1 Tier 1 TOA Reflectance, para calcular el índice NDWI es el siguiente:

```
NDWI = image.normalizedDifference(['B3', 'B6'])
```


Lo mismo puede realizarse realizando primeramente una diferencia entre la banda B3 y B6, guardando el resultado en una variable definida "diferencia", y luego realizar la suma, adicionando la banda B3 a la B6, guardando ese resultado a otra variable definida "suma". Una vez realizadas las operaciones matemáticas anteriormente detalladas, debe dividirse la variable "diferencia" con la variable "suma", guardando ese resultado en una variable que resulta ser el índice NDWI. Logrado el índice, se habilitan las diferentes capas deseadas en el mapa, para poder ver los resultados, exportando la imagen lograda. Si bien el NDWI se conformó con las bandas B3 (green surface reflectance, de 0.533-0.590 μm) y la banda B6 (shortwave infrared 1 surface reflectance, de 1.566-1.651 μm), lo que se recomienda es que las bandas que se utilicen posean otros valores (Gao, 1996) tal como se expresa en el siguiente resumen:

$$NDWI = [p(0.86, um) - p(1.566, um)] / [p(0.86, um) + p(1.566, um)]$$

Si se toman en cuenta esos valores con respecto a las bandas definidas para Landsat 8, entonces la banda a tener en cuenta debería ser la banda B5.

Imágen N° 2 - Bandas y valores de bandas

B1	0.0001	0.435- 0.451 μm	Band 1 (ultra blue) surface reflectance
B2	0.0001	0.452- 0.512 μm	Band 2 (blue) surface reflectance
B3	0.0001	0.533- 0.590 μm	Band 3 (green) surface reflectance
B4	0.0001	0.636- 0.673 μm	Band 4 (red) surface reflectance
B5	0.0001	0.851- 0.879 μm	Band 5 (near infrared) surface reflectance
B6	0.0001	1.566- 1.651 μm	Band 6 (shortwave infrared 1) surface reflectance
B7	0.0001	2.107- 2.294 μm	Band 7 (shortwave infrared 2) surface reflectance

El índice NDWI puede ser útil para la percepción remota del estado del agua líquida desde el espacio a través de las imágenes satelitales. Téngase presente que se aplica este índice sobre áreas que no contienen vegetación, tal como se puede visualizar en la Imágen N° 3. La aclaración previa corresponde porque el índice NDWI puede considerarse también como un índice de vegetación independiente, complementario, pero no sustituto del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

4. Resultados obtenidos

Los resultados que se obtienen resultan en imágenes libres de nubes, con el filtrado de las bandas, y la aplicación del índice NDWI, para la media del período de tiempo seleccionado, impactando de esta forma en la aplicación de aprendizaje automático desarrollada para Irrigación.

Con las bandas B4 (red surface reflectance), B3 (green surface reflectance) y B2 (blue surface reflectance) se generan las capas del RGB, y se aplican al mapa. Nótese en el mapa las diferentes tonalidades de agua sobre el dique potrerillos, lo que indica profundidad basado solamente en el color. Las bandas utilizadas en el análisis son las siguientes: B2, B3, B4, B5, B6 y B7.

Imágen N° 4 - B4, B3 y B2 (RGB)



```
mapid = image.getMapId({'bands': ['B4', 'B3', 'B2'], 'min': 0,
'max': 0.3, 'gamma': 1.3})
folium.TileLayer(tiles=mapid['tile_fetcher'].url_format,
attr='Map Data &copy; <a href="https://earthengine.google.com/">Google
Earth Engine</a>', overlay=True, show=False, name='RGB').add_to(map)
```

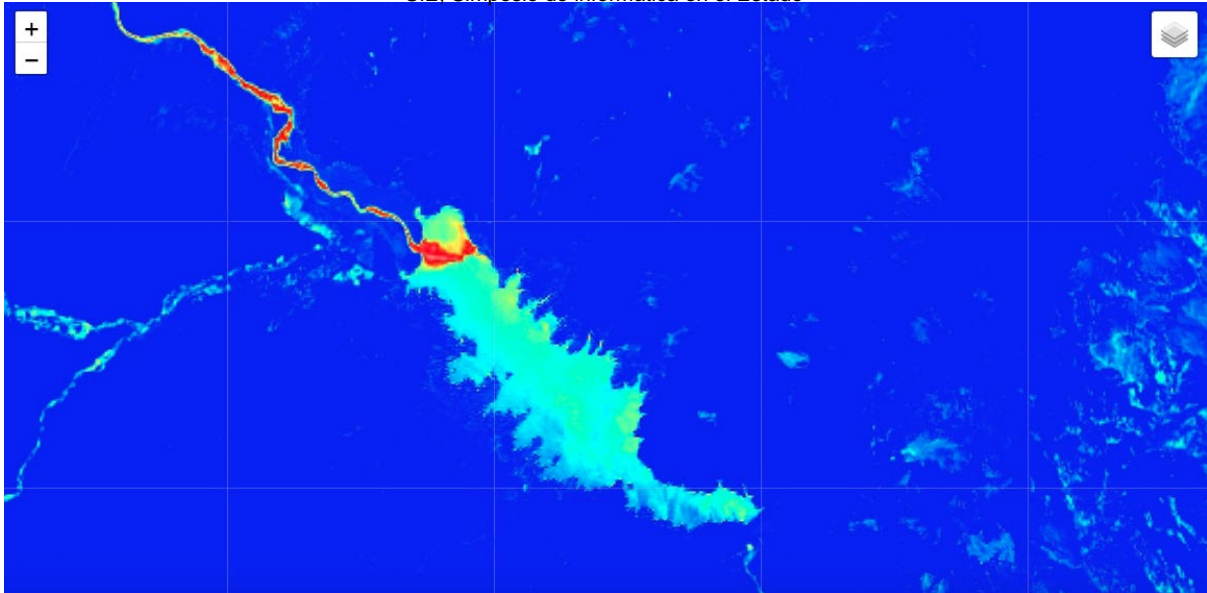
Ahora bien, el índice de agua de diferencia normalizada NDWI genera diferentes valores, y los potenciales valores oscilan entre -1 y 1. Estos valores describen superficies de agua en zonas terrestres y con ausencia de humedad.

5. Conclusiones y Proyecciones

5.1. Conclusiones

Los catálogos de datos disponibles de Google Earth Engine constituyen un monitoreo continuo de imágenes satelitales de alta resolución de toda la tierra. Con las coordenadas expresadas en latitud y longitud, se puede acceder a una colección de imágenes capturadas con diferentes sensores, expresadas en las distintas bandas satelitales. Estas bandas le suministran características a las imágenes, y su correcta interpretación genera información muy valiosa. Con las imágenes se pueden generar modelos que permitan optimizar los recursos hídricos de la provincia de Mendoza a cargo de Irrigación. Estos modelos pueden basarse en la interpretación del índice NDWI.

Imágen N° 5 - índice NDWI



5.2. Proyecciones

La utilización de los catálogos de datos de Google Earth Engine («Earth Engine Data Catalog | Google Developers», s. f.), como soporte en el análisis de las Ciencias de la Tierra permite la generación de varias líneas combinadas de estudios, de acuerdo con los siguientes conjuntos de datos:

- **Clima y Tiempo:**
 - Temperatura de la superficie terrestre y marina derivados de varios sensores de naves espaciales, incluidos MODIS, ASTER y AVHRR, además de datos térmicos sin procesar de Landsat.
 - Modelos climáticos para generar predicciones a largo plazo e interpolaciones históricas de variables de superficie. El catálogo de Google Earth Engine incluye datos históricos, conjuntos de datos meteorológicos, salidas de modelos climáticos y las proyecciones climáticas de la NASA Earth Exchange.
 - Datos atmosféricos para ayudar a corregir datos de imágenes de otros sensores. El catálogo de Earth Engine incluye conjuntos de datos atmosféricos como los datos de ozono de la NASA y el producto atmosférico MODIS.
 - Datos meteorológicos que describen las condiciones pronosticadas y medidas en períodos cortos de tiempo, incluidas las precipitaciones, la temperatura, la humedad y el viento, y otras variables. Google Earth Engine incluye datos de pronóstico del Sistema de Pronóstico Global y el Sistema de Pronóstico Climático.
- **Análisis de Imágenes Satelitales:**
 - Colección de Imágenes Landsat, que es un programa conjunto del USGS y la NASA, el cual ha estado observando la Tierra continuamente desde 1972 hasta la actualidad. Hoy en día, los satélites Landsat toman imágenes de

toda la superficie de la Tierra con una resolución de 30 metros aproximadamente con datos multispectrales y térmicos.

- Colección de Imágenes Sentinel, a través del Programa Copérnico que es una iniciativa encabezada por la Comisión Europea en conjunto con la Agencia Espacial Europea (ESA) que incluyen imágenes de radar para todo clima (Sentinel-1A y -1B), imágenes ópticas de alta resolución (Sentinel 2A y 2B), así como datos oceánicos y terrestres adecuados para el monitoreo ambiental y climático (Sentinel 3).
- Colección de Imágenes MODIS, a través de los satélites Terra y Aqua de la NASA han estado adquiriendo imágenes de la Tierra a diario desde 1999, incluidas imágenes diarias, reflectancia de superficie y productos derivados como índices de vegetación y cubierta de nieve.
- Geofísicos:
 - Modelos digitales de elevación que describen la forma del terreno de la Tierra, como los datos de la Misión de Topografía por Radar Shuttle (SRTM) a una resolución de 30 metros, modelos digitales de elevación regionales a resoluciones más altas y productos derivados como la base de datos de hidrología.
 - Mapas de cobertura del suelo que describen el paisaje físico en términos de clases de cobertura del suelo, como bosques, praderas y agua, incluidos productos globales como los mapas anuales de cobertura terrestre derivados de MODIS de la NASA y GlobCover.
 - Datos sobre tierras de cultivo, clave para comprender el consumo mundial de agua y la producción agrícola, como las capas de datos de tierras de cultivo NASS del USDA, así como capas de los datos de análisis de soporte de seguridad alimentaria global (GFSAD), que incluyen la extensión de las tierras de cultivo, el dominio de los cultivos y las fuentes de riego.

Referencias Bibliográficas

Gao, B. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257-266. doi: 10.1016/S0034-4257(96)00067-3

Google Colaboratory. (s. f.). Recuperado 18 de enero de 2020, de <https://colab.research.google.com/notebooks/welcome.ipynb>

McFeeters, S. K. (2013). Using the Normalized Difference Water Index (NDWI) within a Geographic Information System to Detect Swimming Pools for Mosquito Abatement: A Practical Approach. *Remote Sensing*, 5(7), 3544-3561. doi: 10.3390/rs5073544

MIDO. (s. f.). Recuperado 31 de diciembre de 2019, de <http://www.irrigacion.gov.ar/telemetria>

MODIS Collections in Earth Engine | Earth Engine Data Catalog. (s. f.). Recuperado 25 de enero de 2020, de <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/modis?hl=es>

Nieve en Mendoza. (s. f.). Recuperado 25 de enero de 2020, de <http://estaciones.ianigla.mendoza-conicet.gob.ar/nieve/>

Pekel, J.-F., Vancutsem, C., Bastin, L., Clerici, M., Vanbogaert, E., Bartholomé, E., & Defourny, P. (2014). A near real-time water surface detection method based on HSV transformation of MODIS multi-spectral time series data. *Remote Sensing of Environment*, 140, 704-716. doi: 10.1016/j.rse.2013.10.008

Python installation | Google Earth Engine | Google Developers. (s. f.). Recuperado 18 de enero de 2020, de https://developers.google.com/earth-engine/python_install?hl=es

Shelestov, A., Lavreniuk, M., Kussul, N., Novikov, A., & Skakun, S. (2017). Exploring Google Earth Engine Platform for Big Data Processing: Classification of Multi-Temporal Satellite Imagery for Crop Mapping. *Frontiers in Earth Science*, 5. doi: 10.3389/feart.2017.00017

USGS Landsat 8 Collection 1 Tier 1 TOA Reflectance. (s. f.). Recuperado 8 de febrero de 2020, de https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LC08_C01_T1_TOA?hl=es

Enlaces

- Google Earth Engine, conjunto de datos de aguas superficiales globales

https://developers.google.com/earth-engine/tutorial_global_surface_water_01

https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/MODIS_006_MOD44W

<https://global-surface-water.appspot.com/map>

- Agua superficial global, conjunto de datos 1984 - 2018.

<https://global-surface-water.appspot.com/download>

<http://www.arcgis.com/home/item.html?id=5d65be95ccc341d587896a81794021bf>

- Visor de agua superficial, Naciones Unidas.

<https://www.sdg661.app/>

<https://www.sdg661.app/data-products/surface-water-viewer>

- Librería folium para visualizar mapas

<https://python-visualization.github.io/folium/>

- Indicador NDWI, índice diferencial de agua normalizado, hidratación de la vegetación y la humedad del suelo

<https://greenurbandata.com/2019/04/30/ndwi/>

- Capas SIG

<https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/InformacionGeoespacial/CapasSIG>

- Biblioteca de código abierto de mapas interactivos

<https://leafletjs.com/>

- Centros Nacionales para la Predicción Ambiental

<https://www.ncep.noaa.gov/>

- Ciencias de la Tierra. Google Earth Engine

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feart.2017.00017/full>

- USGS Landsat 8 Surface Reflectance Tier 1

https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LC08_C01_T1_SR

- USGS Landsat 7 Collection1 Tier 1 y datos en tiempo real TOA Reflectance

https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/LANDSAT_LE07_C01_T1_RT_TOA

- Nieve en Mendoza, Conicet

<http://estaciones.ianigla.mendoza-conicet.gob.ar/nieve/>