

Vietto Herrera, Santiago

**Obtención automatizada del
índice de precipitación
estandarizado para cuencas
de embalses de la Provincia
de Córdoba**

**Tesis para la obtención del título de
grado de Ingeniero Civil**

Directores:

Carreño, Ignacio Luciano

Porrini, Federico Eduardo

Documento disponible para su consulta y descarga en Biblioteca Digital - Producción Académica, repositorio institucional de la Universidad Católica de Córdoba, gestionado por el Sistema de Bibliotecas de la UCC.



[Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento- Compartir igual 4.0 Internacional.](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Universidad Católica de Córdoba
Facultad de Ingeniería

Proyecto:

**Obtención Automatizada del Índice de
Precipitación Estandarizado para Cuencas de
Embalses de la Provincia de Córdoba**



Informe Final de Grado

Alumno:

- Vietto Herrera Santiago -1802890

Directores:

- Ing. Carreño Ignacio Luciano
- Ing. Porrini Federico Eduardo

Co-Director:

- Dr. Ing. Carlos Gastón Catalini

04 de Noviembre de 2024

Córdoba - Argentina



ACEPTACIÓN DEL TRABAJO FINAL

Universidad Católica de Córdoba
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería en Sistemas

Título:
**Obtención Automatizada del Índice de Precipitación Estandarizado para Cuencas de
Embalses de la Provincia de Córdoba**

Autor:
Vietto Herrera Santiago

Calificación:

.....
Firma y Aclaración de Presidente de Mesa Examinadora

.....
Firma y Aclaración de Vocal de Mesa Examinadora

.....
Firma y Aclaración de Vocal de Mesa Examinadora

Córdoba, de de 20....



Agradecimientos:

Principalmente a mis directores de trabajo final los Ingenieros en Sistemas Ignacio Luciano Carreño y Federico Eduardo Porrini por haberme guiado y brindado sus saberes con gran claridad, esencial en el desarrollo del presente trabajo final.

En una mención especial, agradecer al co-director Dr. Ingeniero Civil Carlos Gastón Catalini por permitirme formar parte del grupo de investigación bajo su dirección, y por incentivarme para el desarrollo del trabajo final, brindando en todo momento su tiempo, sus conocimientos, su apoyo, paciencia y motivación que han sido fundamentales en el desarrollo del mismo.

Agradecer a todos los profesores y autoridades de la Universidad Católica de Córdoba, Facultad de Ingeniería en Sistemas, por los conocimientos y valores transmitidos a lo largo de la carrera.

A mi madre, padre y hermanos, por ser los principales promotores de mis sueños, gratitud por cada día confiar y creer en mis expectativas, como así también brindarme su cariño, apoyo incondicional y valores morales.

Agradecer del mismo modo a todos mis seres queridos, familiares y amigos, que me acompañaron a lo largo de mi carrera, alentandome en todo momento y ayudándome de manera permanente y desinteresada.

A Dios, camino, verdad y vida.

Con amor y cariño.

Muchas Gracias.



Índice

Índice	3
1. Resumen	7
2. Abstract	8
3. Introducción	9
3.1 Hipótesis de Trabajo	12
3.1.1 La variabilidad climática	12
3.1.2 Componentes de abordaje a la hipótesis de trabajo	12
3.1.2.1 Modelo Hidrológico	12
3.1.2.2 Metodología actual de Procesamiento y Cálculo del SPI	13
3.2 Objetivos	15
3.2.1 Objetivo General	15
3.2.2 Objetivos Específicos	15
4. Marco Teórico	15
4.1. Conceptos hidrológicos básicos	15
4.1.1 Gestión de Riesgos	15
4.1.2 Visión Ingenieril: El Riesgo Hídrico	16
4.1.2.1 Diseño hidrológico	16
4.1.2.2 ¿Que se busca mitigar?	16
4.1.2.3 ¿Qué medidas cabe tomar?	17
4.1.2.4 ¿Para qué sirve un modelo?	17
4.1.2.5 ¿Sustentabilidad o Sostenibilidad Hídrica?	18
4.1.3 Panorama de Riesgo Actual: El contexto del riesgo asociado al agua.	18
4.1.3.1 Riesgo de Catástrofes Naturales	18
4.1.3.2 Panorama de Riesgo Actual	19
4.1.3.3 Amenazas Potenciales	20
4.1.3.4 Sistemas de Gestión de Amenazas (SGA)	21
4.1.4 Conocer al Recurso Hídrico	22
4.1.4.1 Disponibilidad Hídrica en el Valle de Punilla	22
4.1.4.2 Fuentes de Información	23
4.1.4.3 Año Hidrológico	24
4.1.4.4 Precipitaciones	25
4.1.5 Valorar la Amenaza Hídrica: Déficit/Excesos de los Recursos Hídricos.	26
4.1.5.1 Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)	26
4.1.5.2 SPI vs SOI	32
4.2. Análisis de campo	34
4.2.1 Técnicas de Relevamiento	34
4.2.1.1 Entrevistas	34
I. Entrevista 1	34
II. Entrevista 2	42
III. Entrevista 3	43
4.2.1.2 Brainstorm	45



4.2.1.3 Observación de Metodologías de Trabajo	45
I. Proceso de Obtención del SPI	45
II. Visualización de Datos en QGIS	52
4.3. Opciones Similares en el Mercado	57
4.3.1 Sistema de Información sobre Sequías para el Sur de Sudamérica (SISSA)	57
4.3.2 Sistema de Gestión de Amenazas (SGA)	58
4.3.3 Precipitaciones Diarias de Diseño a partir de datos satelitales	58
4.3.4 Sistema de Alerta Temprana (SAT)	59
4.4. Tecnologías Disponibles	60
4.4.1 Lenguajes de Programación	60
4.4.1.1 Python	60
4.4.1.2 JavaScript	60
4.4.2 Entornos Virtuales en Python	61
4.4.2.1 Venv	63
4.4.2.2 Conda	63
4.4.3 Interfaces Gráficas en Python	64
4.4.3.1 Tkinter	64
4.4.3.2 CustomTkinter	64
4.4.3.3 Flet	64
4.4.4 Herramientas Geoinformáticas	65
4.4.4.1 Google Earth Engine	65
4.4.4.2 GeoServer	68
4.4.5 Frameworks y Librerías para Desarrollo Web	70
4.4.5.1 Flask	70
4.4.5.2 React	70
4.4.5.3 Vite	71
4.4.6 Servicio de Almacenamiento en la Nube	71
4.4.6.1 Amazon Simple Storage Service (Amazon S3)	71
4.4.7 Framework para Pruebas End-To-End	72
4.4.7.1 CodeceptJS	72
5. Propuesta de solución	73
5.1 Alcance Funcional	74
5.1.1 Diagrama de Casos de Uso	75
5.1.2 Historias de Usuario	77
5.1.2.1 Ver Pagina Inicial	77
5.1.2.2 Modificar Zoom	78
5.1.2.3 Visualizar Escala	78
5.1.2.4 Visualizar Coordenadas	79
5.1.2.5 Visualizar Capas de Referencia	80
5.1.2.6 Buscar Ubicación	80
5.1.2.7 Visualizar PTM	81
5.1.2.8 Visualizar SPI	81
5.1.2.9 Cambiar Opacidad	82
5.1.2.10 Descargar PTM	82



5.1.2.11 Descargar SPI	83
5.1.2.12 Copiar Datos	84
5.1.2.13 Visualizar Informacion del Mapa	84
5.1.2.14 Peticion de Descarga Remota	85
5.1.2.15 Notificacion de Finalizacion de Descarga Remota	86
5.1.2.16 Notificacion de Finalizacion de Proceso de SPI	86
5.2 Diseño	88
5.2.1 Arquitectura	88
5.2.2 Prototipado	91
5.2.2.1 Vista Principal	92
5.2.2.2 Vista de Capas de Referencia	93
5.2.2.3 Vista de PTM	94
5.2.2.4 Vista de SPI	95
5.2.2.5 Vista de Buscar Ubicación	96
5.2.2.6 Vista de Descarga de Datos	97
5.3 Implementación	98
5.3.1 Desarrollo backend	99
5.3.1.1 Creacion de Entorno Virtual de Python	99
I. Instalación de Conda	99
II. Configuración de Archivo YML	100
5.3.1.1 Modulo Proceso EHCPA	100
I. Submódulo Descarga de Backup	103
II. Submódulo Descarga de Imágenes Satelitales IMERG de Precipitación Diaria	103
III. Submódulo Cálculo de Precipitación Mensual Acumulada	104
IV. Submódulo Creación de Backup	104
V. Submódulo Concatenación y Reordenamiento	104
VI. Submódulo Conversión y Corte de PTM	105
VII. Submódulo Generación de SPI	105
VIII. Submódulo Conversión y Corte de SPI	105
IX. Submódulo Importar Datos a GeoServer	106
X. Submódulo Notificación de Finalización de Proceso EHCPA via Gmail	106
5.3.1.2 Modulo Proceso de Descarga Remota	107
I. Submódulo Recibir Petición de Descarga Remota	108
II. Submódulo Notificación de Finalización de Descarga Remota	109
5.3.1.3 Modulo Descarga de Datos PTM y SPI	110
5.3.1.4 Modulo Obtencion de Fechas	110
5.3.2 Amazon S3	111
5.3.2.1 Creación de Usuario	111
5.3.2.2 Generación de Claves de Acceso	113
5.3.2.3 Creación de Bucket	114
5.3.3 Habilitación de Gmail EHCPA	115
5.3.4 GeoServer	116
5.3.4.1 Instalación de Java	116



5.3.4.2 Instalación de GeoServer	117
5.3.4.3 Creación de Espacio de Trabajo	119
5.3.4.4 Creación de Capas de Referencia	120
5.3.4.5 Creación de Estilos	122
5.3.4 Desarrollo Frontend	125
5.3.4.1 Instalacion de Node.js y NPM	125
5.3.4.2 Modulo Visualizacion de Mapa	127
5.3.4.3 Modulo Calculo de Coordenadas	127
5.3.4.4 Modulo Modificar Zoom	127
5.3.4.5 Modulo Visualización de Escala	127
5.3.4.6 Modulo Buscar Ubicación	128
5.3.4.7 Modulo Visualización de Capas de Referencia	128
5.3.4.8 Modulo Visualización de PTM	129
5.3.4.9 Modulo Visualización de SPI	129
5.3.4.10 Modulo Visualizar Información del Mapa	130
5.3.4.11 Modulo Descargar Datos	131
5.3.6 Control de Versiones	131
5.3.6.1 Instalacion de Git	131
5.3.6.1 Repositorio de GitHub	132
5.3.7 Despliegue	133
5.5 Pruebas	134
5.5.1 Pruebas de Integración	134
5.5.1.1 Caso de Prueba Visualizar y Descargar PTM	134
5.5.1.2 Caso de Prueba Visualizar y Descargar SPI	135
5.5.1.3 Caso de Prueba Buscar Ubicación	136
6. Beneficios Post-Implementación	137
7. Impacto Económico	138
7.1 Desarrollo e Implementación	138
7.2 Sector Productivo	139
7.2.1 Producción Agrícola	139
7.2.2 Construcción de Obras Civiles	139
8. Impacto Social	140
9. Impacto Medioambiental	141
10. Conclusión	142
11. Anexo	143
10.1 Instalación QGIS	143
10.2 Creación de Entorno Virtual mediante Conda	144
12. Glosario	145
13. Referencias Bibliográficas	148

1. Resumen

El presente trabajo final se desarrolló en el grupo de investigación de Estudios Hidrológicos en Cuencas Pobrementemente Aforadas (EHCPA) de la Universidad Católica de Córdoba en vinculación con el Instituto Nacional del Agua y su Centro de la Región Semiárida (INA - CIRSA), con la finalidad de contribuir en la optimización y adecuada gestión del recurso hídrico, principalmente en lo referido a la estimación de las condiciones en las cuencas de embalse de la Provincia de Córdoba, continuando con trabajos antecedentes realizados por el mismo grupo, mediante el desarrollo de una herramienta que permita la obtención automatizada y la visualización interactiva del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI por sus siglas en Inglés). Esta variable hidro-meteorológica, permite estudiar procesos hidrológicos a nivel de cuenca, facilitando la generación de evaluación de amenazas hidrometeorológicas y por ende avisos tempranos ante eventos hidrológicos extremos.

La obtención del SPI, por parte del grupo de investigación, ha necesitado de la intervención humana. Este procedimiento manual abarcaba desde la descarga de información satelital de precipitación diaria, su posterior procesamiento, mediante la ejecución de diferentes scripts y comandos, hasta obtener los resultados buscados por parte del investigador. Esta metodología eficaz pero poco eficiente no solo consume tiempo, sino que también es propensa a la propagación de errores, debido a la falta de conocimientos en el ámbito de la programación y sistemas, por parte de los miembros del equipo de investigación.

Para abordar estas limitaciones, el presente trabajo propone el desarrollo un sistema web, implementado mediante las tecnologías más requeridas en el mundo del desarrollo de software en la actualidad, que por medio de su lógica realice la descarga y el procesamiento de datos de precipitación de fuentes remotas, generando el SPI de forma sistemática y automatizada, permitiendo visualizar finalmente los resultados de manera interactiva en un sitio web.

La automatización de este índice, además de independizar al grupo de investigación del proceso de obtención de datos, posibilita que la información esté disponible para una toma de decisiones más rápida y precisa por parte de instituciones públicas y privadas dedicadas a la gestión hídrica, planificación territorial y mitigación de riesgos ante eventos climáticos extremos, así como la futura implementación de modelos y algoritmos que integren esta información a otros Sistemas. Esto no solo respalda una gestión eficiente y sostenible del recurso hídrico, sino que también promueve la seguridad hídrica y la resiliencia frente al cambio climático; un aspecto crítico para las comunidades locales y la biodiversidad.



2. Abstract

The present final project was developed within the research group for Hydrological Studies in Poorly Gauged Basins (EHCPA) at the Catholic University of Córdoba, in collaboration with the National Water Institute and its Semi-Arid Region Center (INA - CIRSA). The goal was to contribute to the optimization and proper management of water resources, focusing primarily on estimating conditions in the reservoir basins of the Province of Córdoba. This project builds upon previous studies conducted by the same group through the development of a tool that enables the automated acquisition and interactive visualization of the Standardized Precipitation Index (SPI).

This hydro-meteorological variable facilitates the study of hydrological processes at the basin level, enabling the evaluation of hydrometeorological hazards and providing early warnings for extreme hydrological events. Previously, the process of obtaining the SPI within the research group required manual intervention. This manual workflow included downloading daily precipitation satellite data, processing it using various scripts and commands, and obtaining the desired results. While effective, this approach was inefficient, time-consuming, and prone to errors due to the team's limited programming and systems knowledge.

To address these limitations, this project proposes the development of a web-based system implemented with cutting-edge software development technologies. This system automates the downloading and processing of precipitation data from remote sources, systematically and automatically generating the SPI. It also provides interactive visualization of the results on a web platform.

Automating the calculation of this index not only frees the research group from the burdensome data acquisition process but also ensures that the information is readily available for faster and more accurate decision-making by public and private institutions involved in water management, territorial planning, and risk mitigation for extreme weather events. Furthermore, it enables the future integration of models and algorithms that incorporate this information into other systems. This initiative not only supports efficient and sustainable water resource management but also fosters water security and resilience to climate change—a critical aspect for local communities and biodiversity.



3. Introducción

La Ingeniería de Sistemas es un campo interdisciplinario que permite estudiar y comprender la realidad, con el propósito de implementar u optimizar sistemas complejos. Este enfoque busca resolver problemas complejos del mundo moderno desde la óptica de satisfacer necesidades críticas, especialmente en el de investigación. Con énfasis en el análisis de requerimientos, diseño de modelos, control de calidad, y eficiencia en la gestión de datos, el producto final de esta construcción es un sistema capaz de mejorar la comprensión y respuesta ante fenómenos complejos, como los relacionados con el cambio climático y la seguridad hídrica. Es una área específica de la planificación y diseño de proyectos aplicados a la investigación, desarrollo, implementación y mantenimiento de sistemas computacionales para la ciencia y la tecnología.

En la actualidad, la digitalización y la automatización de procesos, son esenciales para las investigaciones científicas referidas a la gestión de riesgos hídricos, convirtiéndose en factores clave para mejorar la adaptabilidad a escenarios complejos y la resiliencia frente a eventos extremos como inundaciones o sequías.

La ingeniería se enfrenta a desafíos continuos para desarrollar modelos matemáticos que permitan emular las condiciones naturales, evaluar escenarios, monitorear y pronosticar el comportamiento hídrico, en un contexto de creciente variabilidad climática para mitigar los desastres generados, salvar vidas y reducir pérdidas económicas.

La digitalización se hace presente para facilitar las tareas de los investigadores, por medio de diferentes herramientas, nuevas metodologías y alternativas de solución, que mejoren sus métodos de trabajo con el objetivo de llegar a los resultados deseados de forma óptima y eficiente.

En el contexto de la gestión del riesgo hídrico, tanto la digitalización como la automatización, brindan una oportunidad invaluable para optimizar el manejo de grandes volúmenes de datos con los que se opera, obtenidos de diferentes fuentes de información las cuales reflejan las distintas variables intervinientes, como ser: modelos meteorológicos de corto plazo, información proveniente de sensores satelitales, estaciones meteorológicas, entre otras, las cuales son utilizadas posteriormente como datos de entrada en modelos hidrológicos, los cuales serán los responsables de asignar magnitud y probabilidad de ocurrencia. De esta manera, se simplifican las actividades rutinarias como la recolección y procesamiento de datos, generando que la investigación científica resulte en un análisis de alto valor, mejorando así la precisión y eficiencia en el estudio hidrológico llevado a cabo.

Es fundamental que estos datos de entrada a los modelos hidrológicos, estén correctamente generados y verificados, ya que ellos validarán las estimaciones de eventos hídricos extremos, y permitirán reflejar adecuadamente la calibración del modelo, permitiendo mejorar su capacidad de reproducción de un evento complejo.

Por su parte, la digitalización facilita la comunicación y colaboración entre investigadores y otros organismos, mejorando el acceso a la información, el flujo de trabajo, y fomentando un entorno ágil y colaborativo, que a su vez permita una rápida comunicación de los resultados. El objetivo final, es alcanzar una mejor comprensión y concientización, respecto al riesgo hídrico y permitir así a los tomadores de decisión definir con información pertinente y en tiempo útil, las estrategias de mitigación frente a eventos extremos, en regiones vastas que por lo general carecen de información en el terreno.

Este cambio de paradigma (acceso a la información y libre disponibilidad) no solo permite una gestión más sustentable y eficiente de los recursos hídricos, debido a la optimización en los procesos de creación de modelos hidrológicos, sino que también



promueve la seguridad y resiliencia frente al cambio climático, protegiendo tanto a las comunidades locales como a la biodiversidad.

En este contexto, el presente trabajo final surge con la finalidad de resolver una necesidad del grupo de investigación de Estudios Hidrológicos en Cuencas Pobrementemente Aforadas (EHCPA), de Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Córdoba, referido a la implementación de soluciones digitales y automatizadas en los procesos de análisis e investigación que contribuyen a la gestión del recurso hídrico, la gestión de riesgos y la toma de decisiones, de una de las variables hidrometeorológicas, el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI).

Por otro lado, el trabajo al abordar un problema complejo, obliga a un cambio de paradigma al interrelacionar conceptos teóricos, técnicos y prácticos, interdisciplinarios de la ingeniería, como son la ingeniería en Sistemas, Civil, Computación, Meteorología, hidrología, y agricultura, así como con procesos productivos e industriales y sociales, sobre todo de las poblaciones expuestas a fenómenos extremos y su consecuencia.

El grupo de investigación EHCPA, aborda el estudio de variables hidrológicas, en sistemas que se caracterizan por la total falta o escasez de información hidrológica adecuada para su aplicación en fines ingenieriles. Este grupo de investigación desarrolla herramientas que permiten cuantificar el recurso hídrico, para ello infiere información en base a sensores remotos, datos observados disponibles, series temporales, etc., contemplando la formación de recursos humanos especializados, quienes se benefician de la colaboración con equipos técnicos externos a la institución universitaria, pioneros en el abordaje de esta problemática.

Las actividades llevadas a cabo por el grupo de investigación consisten en la “Evaluación de Variables Hidrológicas en la Provincia de Córdoba”. En sus líneas de investigación más recientes se ha avanzado en la estimación del índice de Precipitación Estandarizado (SPI) como variable representativa, al mostrar este índice normalizado una factibilidad y adaptación para representar indirectamente otras variables hidrológicas de interés. Además de permitir cuantificar o evaluar el riesgo hídrico, ante excesos o déficits de agua, contemplando principalmente a la Provincia de Córdoba, pero también evaluando la capacidad de regionalización de esta información, se aplica el análisis para todo el territorio continental de Argentina. El grupo de investigación creado en 2006, ha logrado ser referente en el área del Diseño Hidrológico, y en optimizar la gestión integrada del recurso hídrico, evaluar amenazas y gestionar riesgos. Utilizando el SPI, el grupo de investigación incursiona en un área potencial que permita estimar y comparar las condiciones de excesos y déficit hídrico entre diferentes regiones y climatología variada, lo que permitirá una mejor comprensión, evaluación de escenarios y respuesta a eventos extremos.

El presente trabajo final, forma así parte de un proyecto de investigación más ambicioso, generando un módulo que abarca las actividades mencionadas anteriormente, dentro del proyecto denominado “Actualización y validación paramétrica de funciones intensidad-duración-Recurrencia (IDF), con fines de Diseño Hidrológico en la Provincia de Córdoba”. El título del módulo hace referencia al suministro de herramientas para ser empleadas en el Diseño Hidrológico, es decir, proporcionar herramientas que puedan dar sustento a obras de infraestructura, planificación territorial, manejo del recurso hídrico, evaluación de escenarios de cambio climático y control de excedentes y déficits hídricos.

Enmarcando, dentro de la línea de investigación sobre la variable Lluvia y sus aplicaciones a nivel Nacional y Provincial (Figura 1).

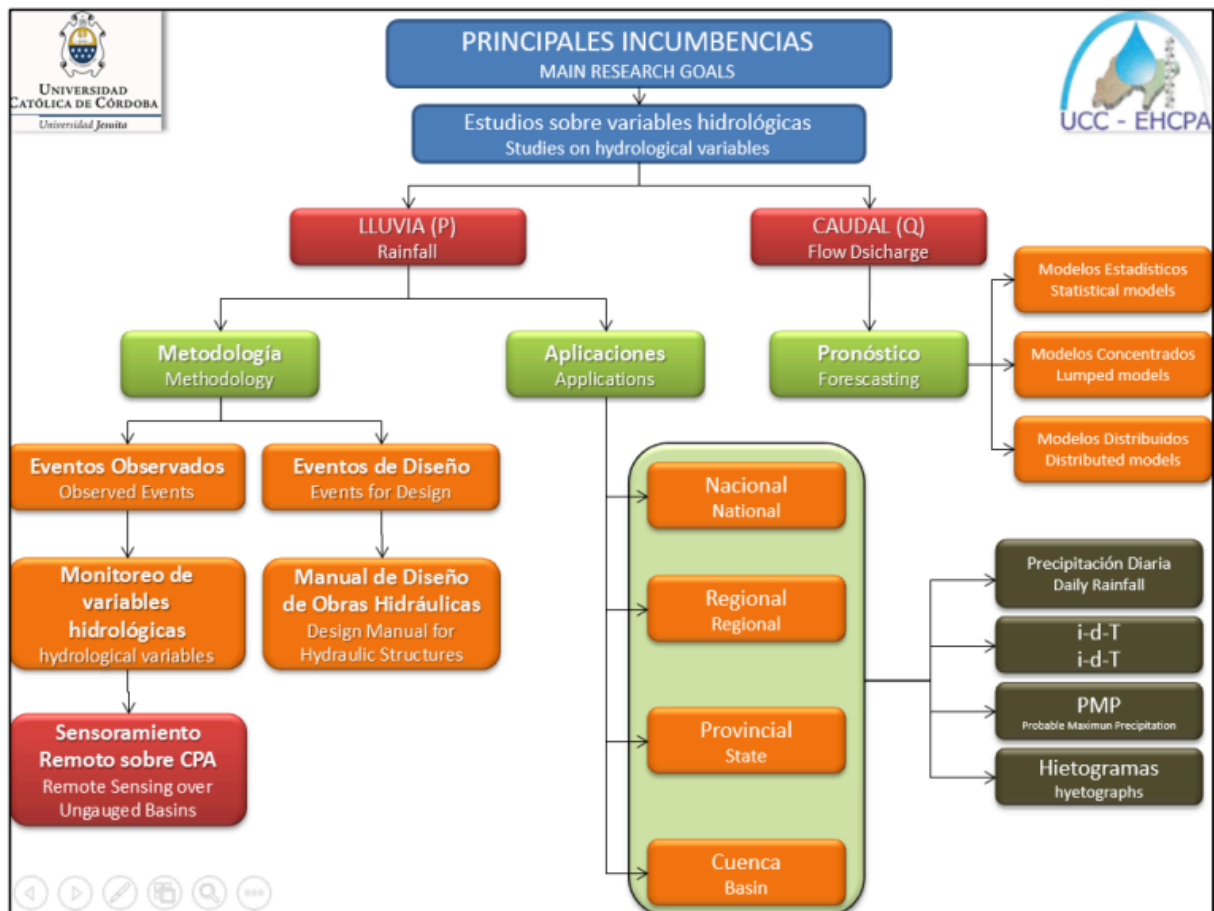


Figura 1: Principales líneas de investigación del EHCPA.

Por último, este trabajo final, se integra como parte del Proyecto PREVEN.IR, mediante una práctica profesional supervisada realizada por el autor en el Instituto Nacional del Agua y su Centro de la Región Semiárida (RESOL-2019-263-APNINA#MI, anexo I). Es una colaboración entre Argentina y Japón para desarrollar un sistema de alerta temprana para inundaciones urbanas repentinas. El proyecto tiene como objetivo mejorar la capacidad de predicción y alerta en áreas densamente pobladas, utilizando tecnologías avanzadas y la cooperación entre instituciones de ambos países. El trabajo contribuye de manera significativa a los objetivos de dicha iniciativa, proveyendo la materia prima necesaria para generar un sistema que permita a instituciones encargadas de la gestión hídrica tomar decisiones de forma rápida y precisa.

Además como corolario, parte de lo desarrollado en este trabajo ha sido enviado para su publicación y defensa en el Congreso Internacional “The Jesuit university in the 21st century: A project of hope for the world”. A realizarse entre el 4 y 6 de junio de 2025 en la Universidad de Loyola, Sevilla España. El artículo de coautoría se titula “Estimación de Volúmenes en Presas Basados en el Índice Estandarizado de Precipitación mediante el Empleo de Redes Neuronales Artificiales (Córdoba, República Argentina)” y el abstract se encuentra en proceso de evaluación para su aceptación.

3.1 Hipótesis de Trabajo

3.1.1 La variabilidad climática

Actualmente, la variabilidad climática ha planteado un nuevo desafío, un aumento sostenido tanto en frecuencia y magnitud de eventos hidrológicos severos, afectado por la coincidencia de multiplicidad de factores, como el cambio de uso de suelo, densidad poblacional, alteración del entorno natural e influencia climática, lo cual ha ocasionado una alteración de la percepción del riesgo y amenaza hidrológica. Estos y otros factores, han remarcado la necesidad de desarrollar sistemas de evaluación de amenazas hidrológicas y modelos hidrológicos efectivos y adaptables a condiciones cambiantes. La gestión adecuada de los recursos hídricos y la planificación de infraestructura resiliente dependen así, de datos precisos, disponibles en tiempo útil y con la capacidad para pronosticar estos fenómenos con suficiente antelación. Sin embargo, el acceso limitado a información en tiempo real y la dependencia de procesos manuales de recolección y análisis de datos representan un obstáculo significativo para la toma de decisiones informada y oportuna en instituciones públicas y privadas.

En el contexto de las cuencas de embalse de Córdoba, esta situación se agrava debido a la falta de herramientas automatizadas que permitan obtener y procesar datos de precipitación de manera rápida y fiable. Sin sistemas automatizados, la generación de índices críticos como el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), que es fundamental para estudiar y prever la disponibilidad hídrica, requiere de la intervención constante de personal capacitado, lo cual consume tiempo y recursos de alto nivel no siempre disponibles. Estos condicionantes no sólo ralentizan el proceso, sino que limita la capacidad de respuesta ante escenarios de emergencia hídrica y dificulta el monitoreo continuo.

3.1.2 Componentes de abordaje a la hipótesis de trabajo

3.1.2.1 Modelo Hidrológico

El grupo de investigación Estudios Hidrológicos en Cuencas Pobremente Aforadas (EHCPA) en conjunto con el Instituto Nacional del Agua (INA - CIRSA), por medio de una vinculación científico-técnica con la Universidad Católica de Córdoba (UCC), actualmente están llevando a cabo diversos proyectos de investigación sobre la variabilidad climática y su impacto en los procesos hidrológicos. En particular, afecta a este proyecto la aplicación de los resultados en la “Aproximación de Volúmenes en Presas, basados en estimaciones del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)”, con el fin de optimizar el manejo de los embalses de la Provincia, en función de diferentes condiciones de exceso o déficit hídrico en sus cuencas de aporte.

Esta investigación forma parte de un programa de investigación, el cual trabaja en el desarrollo de un Modelo Hidrológico Automatizado basado en redes neuronales artificiales (RNA, por sus siglas en Inglés) de pronóstico, que mediante el uso del SPI junto con otras variables relevantes de entrada al modelo, permitan predecir y pronosticar eventos hidrológicos extremos, tales como sequías e inundaciones, para luego ser finalmente implementado en un Sistema de Gestión de Amenazas Hidrológicas (SGA), que provea dicha información de forma pública para contribuir en la toma de decisión y mitigación de desastres.



El desarrollo de un modelo hidrológico puede dividirse en tres fases o módulos, de los cuales el presente trabajo final forma parte, a saber:

- Fase 1 - Procesamiento y Cálculo Automatizado del SPI: Abarca desde la descarga y obtención de la información satelital IMERG, la cual consiste en una estimación indirecta de precipitación, el procesamiento de esta para la generación de los valores de precipitación mensual acumulada, y su procesamiento para el cálculo del SPI (fase comprendida por el presente trabajo final).
- Fase 2 - Generación del Modelo Hidrológico: Consiste en un algoritmo de transformación lluvia-caudal el cual, considerando variables físicas, hidrológicas y meteorológicas, de la cual el dato del SPI y la información que proviene tanto de las estaciones meteorológicas como de las imágenes IMERG forman parte, permita simular la transformación de la lluvia-caudal con una aceptable precisión. Con este modelo de transformación, se espera poder pronosticar la reacción hidrológica de la cuenca y establecerán umbrales de amenaza así como predecir el comportamiento ante posibles escenarios. En pocas palabras, representaría un pronóstico hidrológico basado en información de sensoriamiento remoto para cuencas pobremente aforadas.
- Fase 3 - Calibración Automatizada del Modelo y Visualización de datos: Un modelo es un conjunto de ecuaciones el cual necesita calibrar sus parámetros. Esta calibración se hace en base a registros históricos y de la identificación adecuada del acontecimiento de eventos severos. Razón por la cual, es importante guardar registro para que estos modelos en el futuro puedan cotejar lo sucedido, contemplando las condiciones existentes y su impacto, lo cual permitiría en el futuro pronosticar la respuesta del sistema bajo estudio, e incluso evaluar escenarios ante posibles variaciones climáticas o de uso del suelo. Un modelo automatizado, podría entrenarse sistemáticamente, ya que este sería capaz de determinar si hay precipitaciones y le va a consultar al sistema si la cuenca está húmeda o seca, y en base al resto de los parámetros que utiliza, podría detectar variaciones o alteraciones, que ameriten su recalibración, y aquí entra el desarrollo de nuevas capacidades tecnológicas, su evaluación y validación.

Cada una de las fases requieren ser desarrolladas de manera individual y secuencialmente, por lo que terminada una fase, recién comienza el desarrollo de la siguiente, y posteriormente se integran para conformar un sistema complejo en su totalidad.

En la actualidad, de los tres módulos que conforman la creación del modelo hidrológico, el módulo uno, de Procesamiento y Cálculo del SPI, es el único que se encuentra en una fase investigativa y operativa. Esto se debe a la importancia de hacer foco en la calidad de los datos de entrada al modelo, para garantizar la precisión en los datos de salida.

3.1.2.2 Metodología actual de Procesamiento y Calculo del SPI

Por otra parte, en lo que respecta al proceso efectuado para la obtención del SPI, actualmente, un miembro del grupo de investigación es el responsable de la obtención del índice, basado principalmente en su experiencia y capacitación en el ámbito de la geoinformática.

Aun así, a pesar de contar con los conocimientos necesarios en el manejo de todas las herramientas de software requeridas para la obtención del índice, el procedimiento



efectuado es realizado de forma manual, mes a mes, a través de una notebook personal de forma eficiente pero ineficaz. El procedimiento realizado abarca las siguientes etapas:

1. Descarga manual de imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria para un mes completo desde el generador de la información.
2. Obtención de acumulados mensuales de precipitación, procesando todas las imágenes satelitales IMERG descargadas a través de un script, desarrollado en el lenguaje Python.
3. Generación del SPI, a través de una secuencia de comandos ejecutados manualmente, por medio de la consola o terminal del sistema operativo.

Hasta el momento, no ha sido implementada la automatización en ninguno de los pasos del proceso de obtención del SPI, por lo tanto el mismo requiere constantemente la intervención humana.

Por otro lado, los archivos de las imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria que se procesan comienzan desde el 01 de junio del año 2000, sumado a que todos los meses, al final de cada uno, se añaden en promedio treinta archivos nuevos al procesamiento (para que la información sea completa y no parcial). Teniendo en cuenta esto, el sistema sobre el cual se efectúa el procesamiento requiere de una capacidad de cómputo considerable, que no todas las computadoras personales disponen.

Una vez que los datos son obtenidos, dicha información es provista a los demás integrantes del equipo de investigación para que puedan trabajar y operar con este en sus correspondientes actividades. Si bien esto corresponde al modus operandi del grupo de investigación en la cotidianeidad de sus actividades, surge la motivación para desarrollar una solución informática innovadora, que facilite la obtención del SPI sin necesidad de requerir intervención alguna y garantice su disponibilidad no solo para los miembros del equipo de investigación, sino también para distintos actores que pueden requerir de la misma y contemplar características locales.



3.2 Objetivos

3.2.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema automatizado que adquiera información meteorológica desde el generador de la misma, la procese y determine localmente el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) en las cuencas de embalse de la provincia de Córdoba, optimizando y acelerando el proceso de obtención resultados, en un tiempo útil para la toma de decisiones, e independizándose de la intervención humana, que permita además su futura integración con las etapas posteriores de acuerdo al programa de Investigación descripto.

3.2.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar un algoritmo capaz de calcular y obtener de forma automatizada el SPI para las escalas mensuales 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 60, y 72, abarcando el proceso de descarga de imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria y el proceso de cálculo de precipitación mensual acumulada.
- Diseñar y desarrollar una interfaz gráfica que permita la visualización de forma interactiva de los resultados del SPI obtenidos para cada una de las escalas, y por otro lado que permita la descarga individual de cada uno de ellos.

4. Marco Teórico

4.1. Conceptos hidrológicos básicos

4.1.1 Gestión de Riesgos

El ingeniero se especializa en la gestión de riesgos, para mitigar inundaciones o regular excedentes hídricos mediante diferentes obras, proyectos o estrategias. Los desastres son ocasionados por fenómenos de origen natural, sobre los cuales la intervención humana es limitada. Entre estos fenómenos se incluyen terremotos, inundaciones, deslizamientos, ciclones tropicales, erupciones volcánicas, incluyendo también a las sequías y con estas a los incendios forestales, entre otros. Su impacto abarca desde la pérdida de vidas humanas y la destrucción de infraestructura económica y social, hasta efectos negativos en ecosistemas frágiles.

Los impactos generados por los desastres naturales muchas veces son difíciles de cuantificar o asignarles un número, y más aún cuando se intenta relacionar dichos fenómenos con los efectos del cambio climático, los cuales es evidente que existen, pero que también hay muchos intereses encontrados en esos términos. Esto se debe a que, no todo por lo que se lo culpa al cambio climático, es por culpa de este mismo, y a veces no se culpa al cambio climático por cosas en las que sí tiene que ver.

En los últimos 60 años, se ha determinado un incremento significativo en la ocurrencia, severidad e intensidad de los desastres, manifestando el riesgo para el desarrollo sostenible, lo cual implica continuar promulgando y ejecutando acciones enfocadas a la prevención, a partir del conocimiento del riesgo como base para la toma de decisiones.

4.1.2 Visión Ingenieril: El Riesgo Hídrico

La ingeniería aborda el riesgo mediante una concepción cuantitativa, definiéndolo matemáticamente como la probabilidad de ocurrencia de un evento en un periodo de tiempo determinado, lo cual depende de la extensión de la serie de datos disponibles en los registros. Sin embargo, es importante señalar que se trata de una probabilidad asignada; en un contexto de cambio, cualquier variación en las condiciones iniciales implicará una modificación en dicha probabilidad.

$$R = 1 - \left[1 - \left(\frac{1}{T} \right) \right]^n$$

Figura 2: Ecuación del Riesgo.

En el ámbito de las ciencias naturales, el enfoque cambia: se habla de amenaza, inherente al fenómeno peligroso, y de vulnerabilidad, asociada a los elementos expuestos. La amenaza es constante, por ejemplo, siempre puede ocurrir una tormenta. Sin embargo, el riesgo se genera cuando algo se expone a esa amenaza, como en el caso de una urbanización en una zona baja con probabilidad de inundación. En esta situación, la amenaza existía de manera latente, pero se convirtió en vulnerabilidad al momento de realizar el desarrollo urbano.

Este criterio permite a los ingenieros identificar las medidas y herramientas de mitigación adecuadas, tanto estructurales (obras) como no estructurales (alternativas complementarias).

4.1.2.1 Diseño hidrológico

El Diseño Hidrológico se refiere, por un lado, a la evaluación del impacto de los procesos hídricos y, por otro, a la estimación de variables aptas que permitan modificar dicho impacto. Esto es así, debido a que todo fenómeno hídrico posee dos concepciones:

- Impacto positivo: En el que se considera al fenómeno como un recurso hídrico, y que provoca efectos beneficiosos.
- Impacto negativo: En el que se considera al fenómeno como una amenaza hídrica, y que provoca efectos perniciosos.

El impacto depende del contexto espacial y temporal; en ciertas situaciones, un exceso de agua puede tener efectos negativos cuando en realidad se requiere menor cantidad, mientras que en otras, la escasez de agua produce consecuencias adversas.

Por ende, el objetivo es modificar el impacto hídrico incrementando el aprovechamiento del recurso, regulando tanto los excesos como los déficits. Esto implica el control de eventos extremos, que tradicionalmente se asociaban a inundaciones, aunque en la actualidad también incluyen períodos de sequía. La gestión y planificación territorial juegan un rol fundamental en este contexto.

4.1.2.2 ¿Que se busca mitigar?

Mediante el Diseño Hidrológico lo que se busca es mitigar los desastres. Un desastre es un suceso repentino e inesperado que causa perjuicios y daños severos a una comunidad, colectividad, región, o incluso a uno o más países, con consecuencias como



muerte o enfermedad, destrucción o pérdida de bienes, desorden socioeconómico, y daños marcados al ambiente.

En este contexto se habla de desastres generados por causas naturales, los cuales responden a amenazas que no pueden ser neutralizadas, porque difícilmente no es posible intervenir en su génesis. Aunque en ciertos casos, gracias a los avances científicos, es posible controlar parcialmente sus efectos, mediante diferentes estrategias de mitigación, pero aún no es viable intervenir en su origen.

4.1.2.3 ¿Qué medidas cabe tomar?

Las medidas para mitigar los desastres pueden dividirse en dos categorías:

Medidas estructurales

Estas medidas requieren de recursos significativos, lo cual exige una planificación cuidadosa para determinar qué obras se deben realizar, en qué momento y en qué ubicación. Incluyen la construcción de obras hidráulicas como presas, aliviaderos, puentes, canales, alcantarillas, acueductos, defensas y desagües pluviales, así como el manejo de suelos, control de erosión y planificación del desarrollo urbano.

Medidas no estructurales

En esta categoría se incluyen la planificación y gestión del territorio, difusión de información, elaboración de mapas de riesgo, sistemas de gestión de amenazas, sistemas de alerta temprana, regulación legal del uso del suelo, catastros preventivos de inversión, entrenamiento para emergencias y docencia.

Por otra parte, es importante considerar las características naturales del territorio en la planificación de estas medidas. Por ejemplo, en la región sur de la Provincia Córdoba, la acción eólica genera naturalmente zonas de depresiones, que en períodos húmedos se convierten en áreas anegadas, por lo que, con una adecuada planificación del uso del suelo y una inversión preventiva, estas áreas pueden aprovecharse en períodos de sequía debido a su mayor disponibilidad hídrica. Incentivar la inversión en estas zonas, evaluando los riesgos y vulnerabilidades, resulta beneficioso cuando se tiene en cuenta la divulgación de conocimientos y la formación en gestión de riesgos.

4.1.2.4 ¿Para qué sirve un modelo?

Un modelo es un algoritmo o una función matemática. En este contexto, ingenieros de diversas especialidades y meteorólogos colaboran, mediante la aplicación de modelos, en la elaboración de pronósticos y predicciones, herramientas clave para la planificación y gestión de riesgos.

Pronóstico

Pronosticar consiste en asignar magnitud y tiempo preciso en un determinado momento. Esta se utiliza con fines de alerta y operación.

- Establece la cantidad y el momento de ocurrencia de un evento.
- Constituye un anticipo a corto plazo basado en indicadores premonitorios.



- Determina si un evento es previsible o imprevisible.
- Informa la inminencia de un fenómeno peligroso real.
- Integra sistemas de alerta.
- Opera durante emergencias.

Predicción

Predecir consiste en asignar probabilidad a un determinado monto con fines de planificación y de diseño.

- Estima la magnitud de un evento hipotético crítico, dada su recurrencia, o bien del evento máximo probable.
- Asume que el evento ocurrirá en algún momento de un lapso plurianual, vinculado a la planificación o al diseño.
- Integra los Sistemas de Gestión de Amenazas.

4.1.2.5 ¿Sustentabilidad o Sostenibilidad Hídrica?

Aunque los términos sostenibilidad y sustentabilidad están relacionados, presentan matices diferentes:

Sostenibilidad

Se refiere al uso responsable y equilibrado de los recursos naturales, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Este enfoque busca un equilibrio entre el desarrollo económico, la protección ambiental y el bienestar social. Cuando el daño ambiental ya ha ocurrido, se debe procurar que este no aumente mientras las operaciones o actividades continúan.

Un proceso sostenible es aquel que se mantiene por sí mismo a lo largo del tiempo, aunque lograrlo resulta extremadamente desafiante.

Sustentabilidad

Apunta a la autosuficiencia y se enfoca en mantener una práctica o proceso sin agotar los recursos. La meta principal es alcanzar la eficiencia.

Un proceso sustentable es aquel que se sostiene en el tiempo con el apoyo de algún factor externo, procurando que este apoyo sea lo más eficiente posible.

4.1.3 Panorama de Riesgo Actual: El contexto del riesgo asociado al agua.

Tradicionalmente, el riesgo hídrico se asociaba principalmente a grandes inundaciones. Sin embargo, en los últimos años, esta visión ha evolucionado para incluir también los períodos de sequía, reconociendo ambos fenómenos como amenazas significativas.

4.1.3.1 Riesgo de Catástrofes Naturales

A pesar de que los fenómenos naturales han aumentado en magnitud e intensidad, la cantidad de víctimas ha permanecido constante e incluso ha disminuido, en gran parte

gracias a los avances tecnológicos y a los nuevos sistemas de evaluación. No obstante, las pérdidas económicas asociadas a estos eventos no han mostrado la misma tendencia y continúan siendo elevadas.

Durante el periodo 1970-2019, las amenazas que más han provocado pérdidas de vidas humanas han sido, tormentas con 805322 muertes, sequías con 702075 muertes, inundaciones con 330388 muertes, y temperaturas extremas con 185843 muertes.

Mientras que la cantidad de desastres geofísicos (terremotos y deslizamientos de tierras) se mantienen estables desde 1996, el número y magnitud de los desastres de naturaleza hídrica aumentaron.

La inercia política y la falta de plena conciencia sobre la magnitud del problema del riesgo explican por qué no se adoptaron a tiempo las medidas correctivas. Sin embargo, gracias al uso de la tecnología y la emisión de alertas tempranas, el número de vidas perdidas es casi tres veces menor hoy en día.

4.1.3.2 Panorama de Riesgo Actual

El Foro Económico Mundial establece cinco categorías de riesgo global (Figura 3), que van desde lo económico, ambiental, político, sociedad y tecnológico, definido para el periodo 2023-2024. A su vez, hay cinco referentes para cada categoría, en donde al primer lugar lo ocupa el clima extremo con el 66%, el segundo lo ocupa la desinformación generada por la inteligencia artificial, en el tercer lugar se encuentra la polarización social o política, en cuarto lugar se posiciona la crisis del costo de vida, y el último lugar es ocupado por los ciberataques.

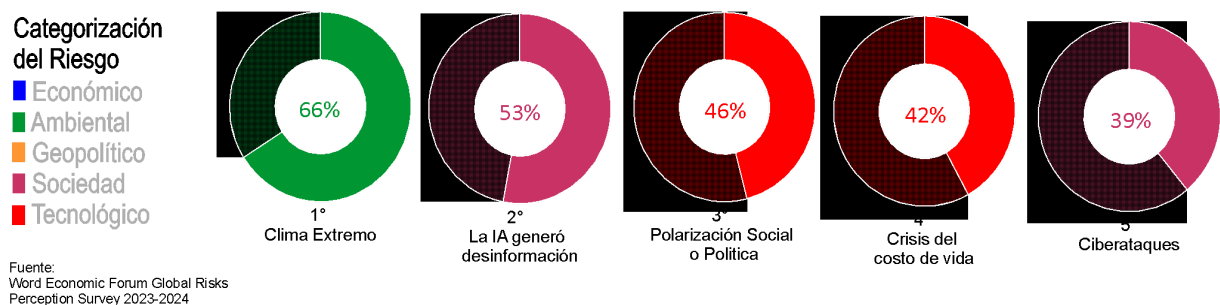


Figura 3: Categorización del Riesgo. World Economic Forum Global Risks Perception Survey 2023-24.

Ahora bien, al analizar el riesgo climático extremo a nivel mundial (Figura 4), este se divide en diferentes categorías, y la realidad es muy diferente dependiendo de la región.

En cuanto a la periodicidad de eventos climáticos extremos, las crecidas representan un 44%, seguidas de tormentas severas como tifones, huracanes o tormentas tropicales con un 35%, y otros fenómenos como sequías y deslizamientos de tierra en menor proporción. En términos de mortalidad, las tormentas encabezan la lista con un 39%, seguidas de las sequías con un 34%. Las pérdidas económicas a nivel mundial se distribuyen principalmente entre tormentas y crecidas.

Al observar la región de América Latina, estos indicadores muestran variaciones importantes. En esta región, las crecidas son predominantes en la ocurrencia de eventos, representando un 59%, seguidas por tormentas con un 10%, y deslizamientos de tierra con un 14%. En cuanto a la pérdida de vidas humanas, un 77% corresponde a crecidas, un 16% a deslizamientos de tierra, y el resto se distribuye entre los otros riesgos climáticos.

Respecto a las pérdidas económicas en América Latina, aunque las crecidas siguen siendo una causa significativa, las sequías también generan un impacto importante,

especialmente en países con economías basadas en la agricultura, como Argentina. En la provincia de Córdoba, los fenómenos de inundaciones y sequías son responsables de aproximadamente el 70% de las pérdidas económicas derivadas de eventos climáticos, subrayando su impacto directo en la región.

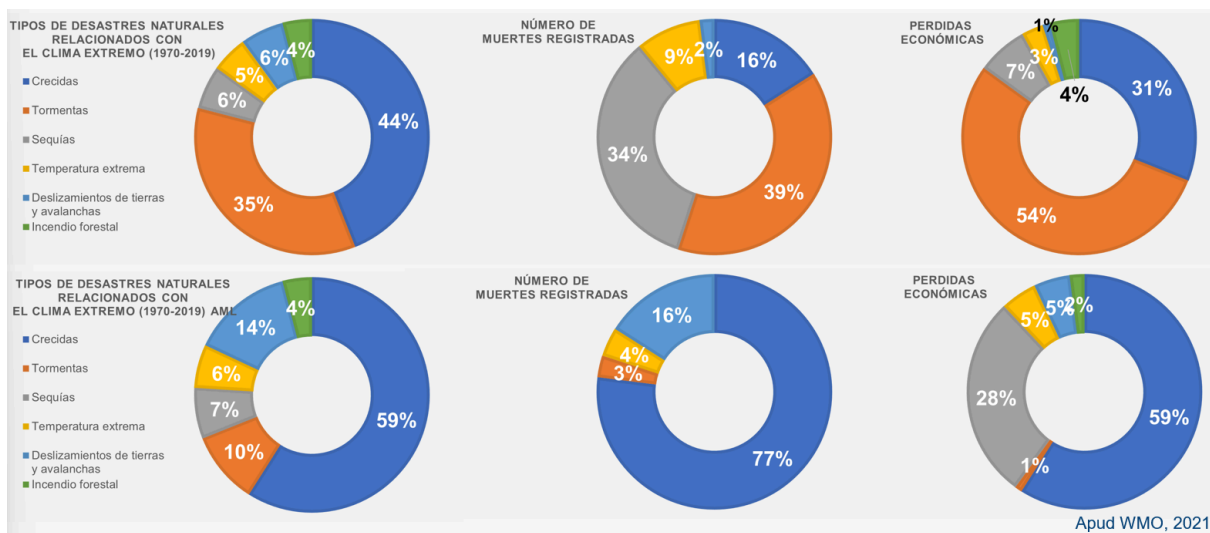


Figura 4: Tipos de Desastres Naturales relacionados con el Clima Extremo (1970-2019).

4.1.3.3 Amenazas Potenciales

Por otra parte, es fundamental comprender el contexto actual, en términos de amenazas potenciales.

En lo que respecta a la región de Argentina, a pesar de contar con disponibilidad hídrica y abundancia de recursos naturales en ciertas áreas, gran parte de su territorio se caracteriza por condiciones áridas y semiáridas, lo que implica una escasez de precipitaciones a lo largo del año.

A nivel global, los sistemas de tierras secas (Figura 5) ocupan una extensa superficie. En total, el 41,3% de las áreas terrestres del mundo están clasificadas como tierras secas, y en el año 2000, el 34,7% de la población mundial vivía en estas áreas.

El Índice de Aridez (AI) representa la media a largo plazo de la relación entre la precipitación anual promedio de un área y su evapotranspiración potencial anual promedio, proporcionando un indicador clave de las condiciones de sequedad en distintas regiones.

Otro problema significativo en Argentina, en lo que respecta a amenaza potencial, es la calidad del agua, la cual hoy en día enfrenta serias limitaciones debido a la contaminación.

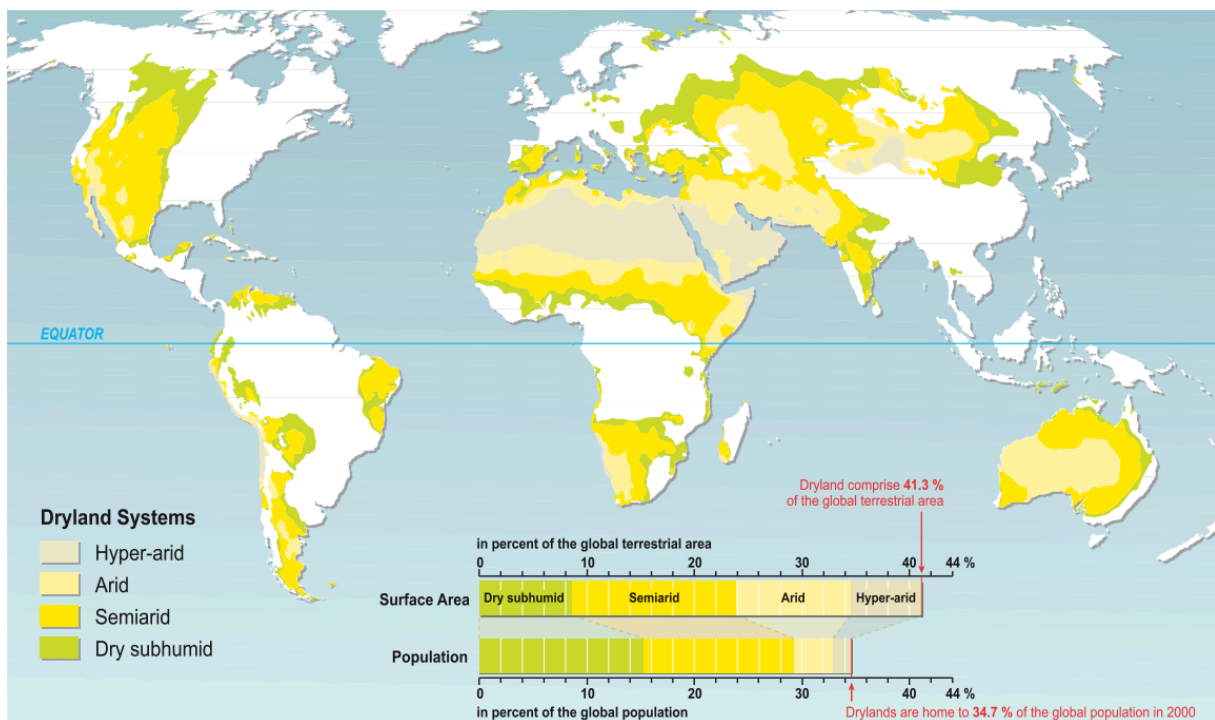


Figura 5: Extensión de los Sistemas de Tierras Secas en todo el Mundo.

4.1.3.4 Sistemas de Gestión de Amenazas (SGA)

La complejidad del ambiente, las variaciones climáticas, el cambio climático, el aumento de la población, la falta de planificación, el desarrollo urbano y las demandas agropecuarias y productivas han llevado a un cambio de paradigma en la gestión de recursos y amenazas. Por estas razones, resulta necesario diseñar Sistemas Integrados de Gestión Multi-amenazas, los cuales involucren múltiples tipos de amenazas, tanto hidrológicas como meteorológicas.

El acceso a información meteorológica, el uso de sensores remotos y las posibilidades que ofrece la inteligencia artificial, hacen factible el desarrollo de estos sistemas.

Los SGA no solo se enfocan en un único factor, sino que abarcan múltiples variables o factores, tales como el mapeo de riesgos, los pronósticos, la probabilidad de afectación a la población y la consideración tanto de excesos como de déficits de agua, incluyendo precipitaciones excesivas y períodos de sequía.

En el ámbito de los recursos hídricos, los sistemas tradicionales se centraban exclusivamente en la gestión de excedentes hídricos. Actualmente, es necesario contemplar aspectos relacionados con:

- Cantidad y disponibilidad de recurso hídrico.
- Calidad del recurso hídrico.
- Evaluación de amenazas y cuantificación del riesgo.

Por otra parte, este enfoque integral contribuye a redefinir el papel de la gestión pública en la administración de recursos hídricos y en la adaptación a un entorno de crecientes desafíos.

4.1.4 Conocer al Recurso Hídrico

El estudio del recurso hídrico plantea el desafío de comprender y caracterizar el agua, evaluando cuándo se considera un recurso y cuándo se percibe como una amenaza. Esta evaluación depende de sus impactos y usos en distintos contextos.

Como recurso, el agua tiene efectos beneficiosos y desempeña un papel crucial en diversos sectores, como el doméstico, agrícola, energético y ecológico. Como amenaza, se asocia con impactos negativos relacionados con excesos o déficits hídricos, afectaciones a la infraestructura y problemas de contaminación.

La comprensión de su naturaleza y clasificación depende de la disponibilidad hídrica, lo cual permite determinar si se está frente a una amenaza o a un recurso. Abordar esta problemática requiere un enfoque interdisciplinario, que contemple tanto los aspectos positivos como los negativos del agua en función de su contexto y uso.

4.1.4.1 Disponibilidad Hídrica en el Valle de Punilla

El grupo de investigación EHCPA analiza la disponibilidad hídrica en el Valle de Punilla, de la Provincia de Córdoba, mediante el estudio del comportamiento de la Cuenca del Embalse del Lago San Roque (Figura 6). Esta misma se utiliza como zona de ensayo debido a su importancia como fuente de abastecimiento de agua para aproximadamente 1 millón de habitantes en la ciudad de Córdoba, así como para los habitantes de diversas localidades dentro del Valle de Punilla. Y por otro lado es un área de alto valor turístico, con localidades que dependen de su gestión y preservación.

La cuenca San Roque posee una superficie de 1650 km², abarcando prácticamente todo el valle, se considera atípica debido a la gran cantidad de sistemas de medición implementados, tanto por el Instituto Nacional del Agua (INA) como por el gobierno Provincial, los cuales permiten realizar análisis y monitoreos que no son posibles en otras presas o puntos del país, mediante una extensa red telemétrica orientada principalmente a los sistemas de alerta y control de crecidas.

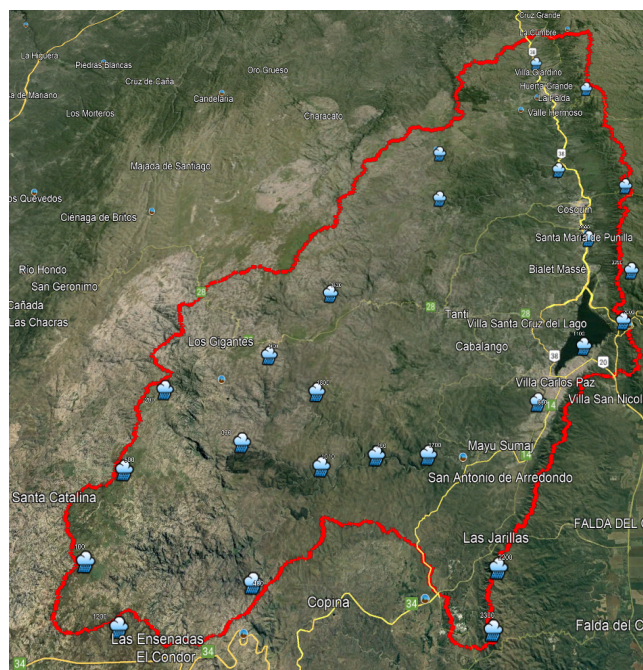


Figura 6: Cuenca del Embalse San Roque.



4.1.4.2 Fuentes de Información

El análisis y relevamiento hídrico sobre la cuenca San Roque, como así también en otras cuencas en la Provincia de Córdoba, se lleva a cabo mediante el uso de redes telemétricas de estaciones terrestres y en imágenes satelitales.

Redes Telemétricas

Una Red Pluviométrica de Alta Frecuencia es un sistema que mide la cantidad e intensidad de precipitación en intervalos de tiempo muy cortos, como segundos o minutos, ofreciendo datos precisos y en tiempo real. La Cuenca del Embalse San Roque cuenta con 21 estaciones instaladas desde 1985.

Además, se lleva a cabo su implementación en el Sistema de Gestión de Amenazas Hidrológicas INA-SGA, sistema desarrollado por el Instituto Nacional del Agua (INA), el cual proporciona herramientas para la gestión de amenazas hidrológicas.

Imágenes Satelitales IMERG

El satélite geoestacionario GPM (Global Precipitation Measurement) produce el producto global de lluvia y nevadas más completo de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) hasta la fecha, llamado Integrated Multi-Satellite Retrievals for GPM (IMERG), en colaboración con la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA).

El conjunto de imágenes satelitales IMERG proporciona tasas de precipitación para todo el mundo cada 30 minutos, un día o mensualmente, con una resolución espacial de 0,1 grado, es decir, aproximadamente 100 km², en tres niveles de procesamiento:

- Early: Genera estimaciones poco después de la observación y resulta útil para el monitoreo en tiempo real, ya que la disponibilidad es casi inmediata.
- Late: Proporciona mejores estimaciones al incorporar datos y correcciones por parte de modelos meteorológicos, ofreciendo mayor precisión.
- Final: Este nivel de procesamiento es el más refinado, ya que incorpora correcciones meteorológicas y climatológicas, obteniendo un dato con una alta calibración para investigaciones, pero con la desventaja de que los datos están disponibles cada cuatro meses aproximadamente.

Si los datos obtenidos de la red telemétrica de estaciones pluviométricas en una Provincia o, particularmente, en una Cuenca, se validan con las estimaciones de las imágenes satelitales IMERG, esta información podría extrapolarse a áreas sin cobertura de datos permitiendo, por ejemplo, gestionar presas que no cuentan con monitoreo directo y validar los valores de precipitación en dicha zona. Por ende, el análisis hidrológico es un proceso que implica un contraste de información.



4.1.4.3 Año Hidrológico

En el contexto de la gestión de recursos hídricos, es esencial comprender cómo se catalogan los periodos de tiempo, especialmente en función de las fuentes de información disponibles. Para esto, se establece la diferencia entre Año Calendario y Año Hidrológico.

Año Calendario (Gregoriano)

- Definición: Periodo de tiempo comúnmente utilizado, que divide el año en 12 meses, desde el 01 de enero hasta el 31 de diciembre.
- Objetivo: Organizar actividades cotidianas, laborales y sociales.
- Base: Basado en la rotación de la Tierra alrededor del Sol.

Año Hidrológico

- Definición: Periodo utilizado para estudiar los ciclos del agua y los recursos hídricos, sin coincidir con el año calendario.
- Objetivo: Permite analizar patrones de precipitación, escorrentía, evapotranspiración y otros procesos hídricos a lo largo de un ciclo anual completo.
- Duración e inicio: Varía según la región y el clima. En la Provincia de Córdoba, el año hidrológico comienza el 30 de junio y finaliza el 1 de julio del año siguiente, alineándose con el periodo de mayor precipitación en la región.

Entonces, para efectuar el análisis, los ingenieros utilizan el año hidrológico, que difiere del año calendario. En la Provincia de Córdoba, el año hidrológico abarca el periodo de junio a julio, lo cual no coincide con el ciclo anual comúnmente utilizado de enero a diciembre para el año calendario.

A menudo, se afirma que un año es "el más seco" o "el más lluvioso de la historia"; sin embargo, esta percepción puede cambiar cuando se observa desde la perspectiva hidrológica. Es posible que un periodo de enero a diciembre registre una gran concentración de precipitaciones y sea considerado un año muy lluvioso, aunque al analizarlo desde el año hidrológico, el valor se mantenga dentro de la normalidad.

Esta perspectiva permite observar que, a pesar del cambio climático, en la región no se ha registrado un aumento en los niveles totales de precipitación, es decir, no hay más milímetros, pero tampoco menos. En lugar de ello, se observa una variación o corrimiento en la distribución o serie temporal de las lluvias. Las precipitaciones, que solían ocurrir de octubre a febrero con eventos esporádicos en marzo o abril, se comprueba estos últimos años que los milimetrajés siguen siendo los mismos pero mucho más concentrados en periodos más breves, resultando en eventos más intensos. Esto implica que algunas infraestructuras, diseñadas para una intensidad específica, pueden ser insuficientes, a pesar de que el total anual de precipitaciones no ha cambiado.

Además, los periodos secos tienden a extenderse, en donde por ejemplo, la lluvia que se esperaba que finalicen a lo mejor en marzo, finalmente terminan en abril, pero las secas están llegando de noviembre a diciembre. Por esta razón se trabaja con el año hidrológico y se interactúa con otras disciplinas, para gestionar la planificación agrícola y otras actividades dependientes del agua.

Esta concepción es fundamental para la gestión de los recursos hídricos, la agricultura, la planificación de infraestructuras hidráulicas y la evaluación de los impactos del

cambio climático en los sistemas hidrológicos. A diferencia del año calendario, el ciclo del agua responde a su propio ritmo natural, lo cual requiere una adaptación en los modelos de análisis y planificación.

4.1.4.4 Precipitaciones

Tras validar los datos obtenidos de las imágenes satelitales, es posible utilizar esta información para generar mapas de Precipitación Total Mensual (PTM) en intervalos de días, en cualquier punto de interés. Las imágenes satelitales IMERG permiten un monitoreo detallado de las condiciones de precipitación en amplias regiones prácticamente en tiempo real, gracias a su resolución espacial y su disponibilidad.

A continuación, se presentan los mapas de PTM en la Provincia de Córdoba (Figura 8), generados a partir de imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria en distintos periodos del año 2024. En estos mapas, los colores fríos representan valores bajos de precipitación en milímetros, mientras que los colores cálidos indican valores altos de precipitación en milímetros (Figura 7).



Figura 7: Escala de colores de los valores de Precipitación Total Mensual en milímetros.

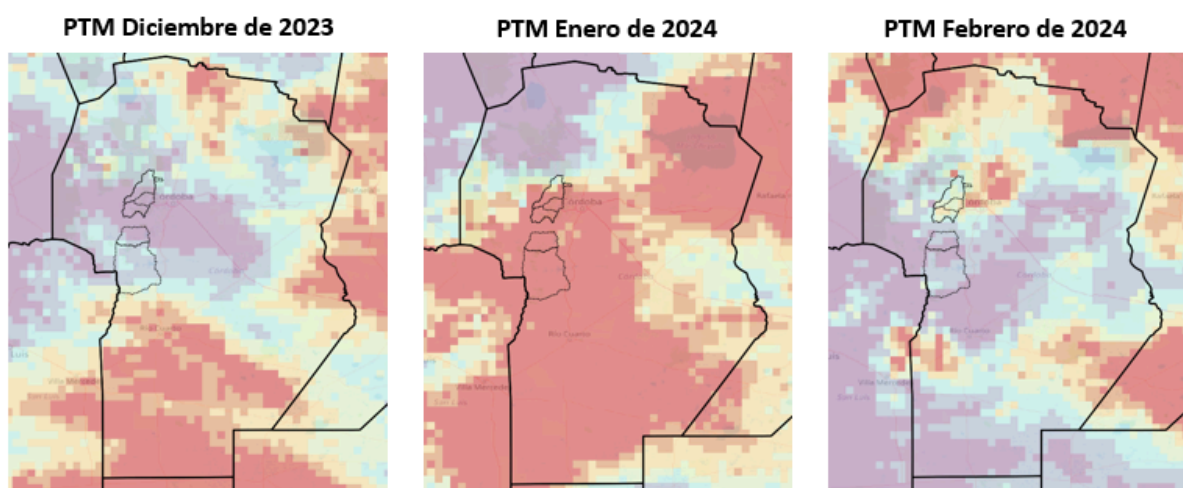


Figura 8: Precipitación Total Mensual en la Provincia de Córdoba en periodo 2023-2024.

Esta información puede compararse, por ejemplo, con el último periodo de sequía significativa en las Sierras de Córdoba, que abarcó desde 2014 hasta 2015 (Figura 9).

Por ende, esta comparación permite identificar cuáles fueron los meses más secos o más húmedos a lo largo de un año o un periodo de análisis.

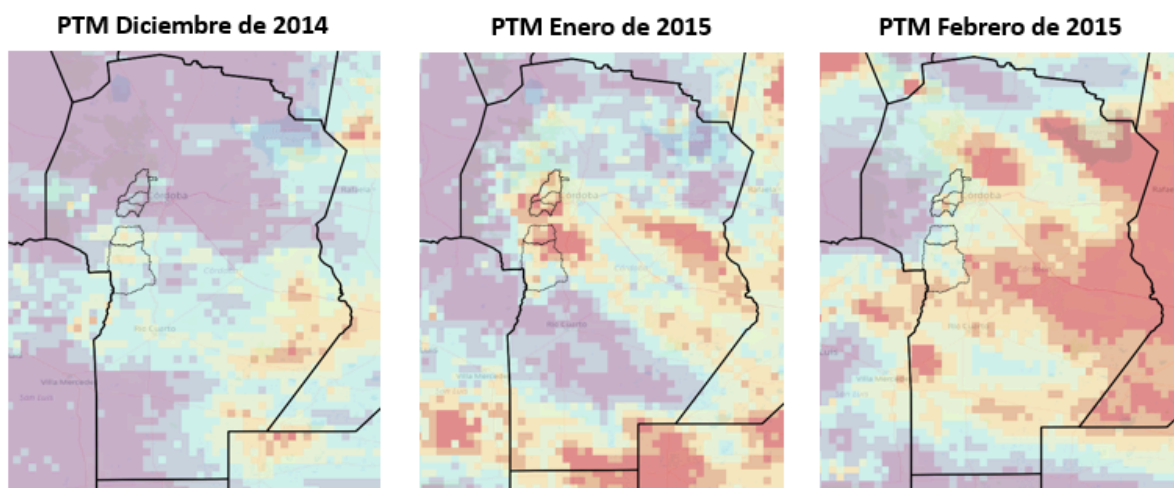


Figura 9: Precipitación Total Mensual en la Provincia de Córdoba en periodo 2014-2015.

Sin embargo, es importante destacar que esta evaluación es subjetiva ya que se basa únicamente en milimetrajes. Al analizar el estado de una cuenca, es posible que esta se considere seca, aun cuando ciertos puntos específicos registren precipitaciones mínimas. En ocasiones, uno o dos píxeles de las imágenes satelitales pueden indicar pequeñas áreas pero con suficiente precipitación como para impactar en el balance de la cuenca. Sin embargo, en términos generales, la cuenca puede permanecer mayormente seca en extensión.

Es por eso que surge la necesidad de homogeneizar y normalizar ciertas variables para una comparación adecuada. Y para esto existen índices que facilitan el análisis comparativo de fenómenos, como el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), el cual se utiliza para cotejar datos de precipitaciones con volúmenes de las presas, proporcionando una herramienta objetiva de comparación.

4.1.5 Valorar la Amenaza Hídrica: Déficit/Excesos de los Recursos Hídricos.

4.1.5.1 Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)

Eventos hidrometeorológicos extremos, tales como sequías, olas de calor e inundaciones, están aumentando en frecuencia, intensidad e impacto debido a anomalías en la circulación atmosférica en el contexto de la variabilidad climática. Las sequías son un fenómeno natural frecuente al igual que las inundaciones los cuales causan desastres en las sociedades humanas, y, debido a su cadena de efectos de transmisión, pueden causar una variedad de problemas ecológicos, tales como déficit hídrico en la vegetación, reducción de la red primaria de producción, cambios en la diversidad de especies de la vegetación, reducción de la resiliencia del ecosistema, etc.



El Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), desarrollado por los científicos estadounidenses McKee, Doesken y Kleist en 1993, es uno de los índices más comúnmente utilizados por el sensoramiento remoto de datos y puede ser calculado empleando solamente registros de precipitación con la misma probabilidad de ocurrencia siendo capaz de representar eventos de excesos y déficit hídrico en estadísticas continuas.

Materiales y Métodos

Se han creado y utilizado índices para caracterizar y cuantificar las anomalías de precipitación, los cuales varían desde unos sencillos a otros más complejos. No obstante, los índices deben ser sencillos y fáciles de calcular, poseyendo pertinencia y significado desde el punto de vista estadístico. El SPI, es un potente y flexible índice sencillo de determinar; de hecho, el único parámetro necesario para su cálculo es la precipitación. Además, es tan efectivo para analizar los períodos comprendidos por ciclos húmedos y secos.

Los datos de precipitación para calcular el índice, pueden ser obtenidos a partir de fuentes remotas como las imágenes satelitales IMERG.

McKee define un sistema de clasificación (Tabla 1) para definir las distintas intensidades de sequía según los valores del SPI. Además, propuso una vinculación del SPI a la severidad del episodio y a la probabilidad de ocurrencia (Tabla 2).

Entonces, el SPI se utiliza como referencia para analizar déficits y excesos de precipitación a distintas escalas temporales, permitiendo evaluar condiciones de humedad y sequía tanto en el corto como en el largo plazo. Este índice normalizado proporciona una evaluación estandarizada donde valores cercanos a 0 representan condiciones normales, mientras que valores negativos indican sequía, y valores positivos indican humedad. Cuanto mayor sea el valor positivo, más intensa es la condición de humedad; cuanto menor sea el valor negativo, más extrema es la sequía.

2,0 y más	Extremadamente húmedo
1,5 a 1,99	Muy húmedo
1,0 a 1,49	Moderadamente húmedo
-0,99 a 0,99	Normal o aproximadamente normal
-1,0 a -1,49	Moderadamente seco
-1,5 a -1,99	Severamente seco
-2 y menos	Extremadamente seco

Tabla 1: Valores del Índice de Precipitación Estandarizado.

Una ventaja significativa del SPI es su capacidad para realizar análisis temporales en diferentes intervalos, permitiendo una comparación entre distintos periodos. Por ejemplo, el índice permite analizar una ventana de un mes a lo largo de la serie histórica y comparar ese mes con otros meses similares, lo cual es útil para detectar patrones de precipitación en diferentes contextos temporales. El SPI puede aplicarse en intervalos de 1, 3, 6, 12, 24, 36,



48, 60, y hasta 72 meses, proporcionando una visión amplia sobre las condiciones de humedad y sequía. Las distintas escalas del SPI se interpretan de la siguiente manera:

- SPI a 1 mes: Refleja condiciones a corto plazo, relacionadas con sequía meteorológica y el estrés hídrico en cultivos.
- SPI a 2-3 meses: Indica condiciones de humedad en el corto y mediano plazo, proporcionando una estimación estacional de precipitación.
- SPI a 6-9 meses: Representa tendencias de precipitación inter-estacionales, reflejando caudales fluviales y niveles de almacenamiento anómalos.
- SPI a 12 meses o más (hasta 72 meses): Permite analizar patrones de precipitación de largo plazo.

Y como bien se ha mencionado, otra gran ventaja que tienen estos índices es que es posible asignar el concepto de probabilidad y establecer determinados valores, en donde por ejemplo, una sequía leve, entre los valores de 0 a -0,99 se espera aproximadamente una vez cada tres años, luego una sequía moderada, entre los valores de -1 a -1,49, tiene una recurrencia estimada de una vez cada diez años, y las sequías más extremas, con valores inferiores a -2, pueden esperarse una vez cada cincuenta años o más.

SPI	Categoría	Número de veces en 100 años	Severidad del episodio
0 a -0,99	Sequía leve	33	1 en 3 años
-1,0 a -1,49	Moderadamente seco	10	1 en 10 años
-1,5 a -1,99	Severamente seco	5	1 en 20 años
-2 y menos	Extremadamente seco	2,5	1 en 50 años

Tabla 2: Probabilidad de Recurrencia.

De la misma manera, los periodos húmedos se interpretan en función de sus valores positivos, permitiendo una gestión de riesgos y recursos hídricos tanto para condiciones de déficit como de exceso. Esta capacidad de adaptación a distintas escalas y probabilidades hace del SPI una herramienta valiosa en la planificación hidrológica, agrícola y en la gestión de emergencias.

A continuación, se realiza un análisis del SPI en la Provincia de Córdoba en diferentes periodos mensuales, para observar las distintas condiciones de sequía y humedad, y como se interpreta en función del tipo de escala observada. Para representar el índice en los mapas, se utiliza un rango de colores para representar cada valor (Figura 10).

■	$\leq -2,0$	Extremadamente Seco
■	$-2,0 - -1,5$	Severamente Seco
■	$-1,5 - -1,0$	Moderadamente Seco
■	$-1,0 - 1,0$	Normal o Aproximadamente normal
■	$1,0 - 1,5$	Moderadamente Húmedo
■	$1,5 - 2,0$	Muy Húmedo
■	$2,0 - 4,0$	Extremadamente Húmedo

Figura 10: Valores del Índice de Precipitación Estandarizado.

Observación SPI de 1 mes

El mapa para el SPI de 1 mes (Figura 11) sería similar a un mapa que muestre el porcentaje de precipitación normal para un período de 30 días. Por ejemplo, el SPI de 1 mes al final de diciembre compara el total de precipitación de 1 mes para diciembre de ese año particular, con los totales de la precipitación para diciembre de todos los años del registro, permitiendo reflejar para este caso una condición de extrema sequía al centro de la Provincia de Córdoba. En cambio para junio, un mes en el que tradicionalmente se espera sequedad, el análisis muestra una condición moderada.

Habida cuenta de que el SPI de 1 mes refleja las condiciones a corto plazo, su aplicación puede relacionarse estrechamente con tipos meteorológicos de sequía junto con la humedad del suelo y el estrés de los cultivos a corto plazo, especialmente durante la estación de crecimiento.

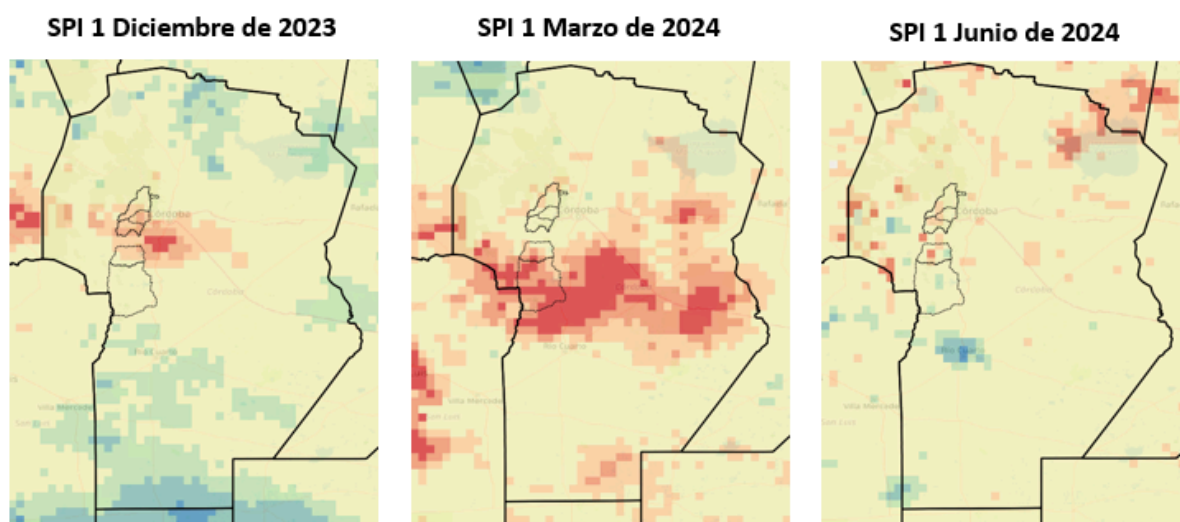


Figura 11: Índice de Precipitación Estandarizado Escala 1 Mensual, en la Provincia de Córdoba en periodo 2023-2024

Observación SPI de 3 meses

Cuando el análisis del SPI se realiza en una escala de 3 meses, la información obtenida presenta variaciones significativas en comparación con la escala mensual, ya que el periodo de observación abarca estaciones completas, como otoño, invierno, primavera o verano. El SPI de 3 meses ofrece una comparación de la precipitación a lo largo de un período específico de 3 meses con los totales de precipitación del mismo período de 3 meses de todos los años incluidos en el registro histórico.

En diciembre del año 2023 (Figura 12), el SPI refleja las condiciones de precipitación acumulada para los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2023, en donde se compara con los valores promedio históricos para esos tres meses. Es posible observar para este caso una condición de extrema sequedad. Sin embargo, para marzo la mayoría de las precipitaciones ya han ocurrido, lo que resulta en una condición de humedad generalizada. Y en junio, aunque existe una pequeña área en condición de sequedad, se identifica una zona central con condiciones relativamente húmedas.

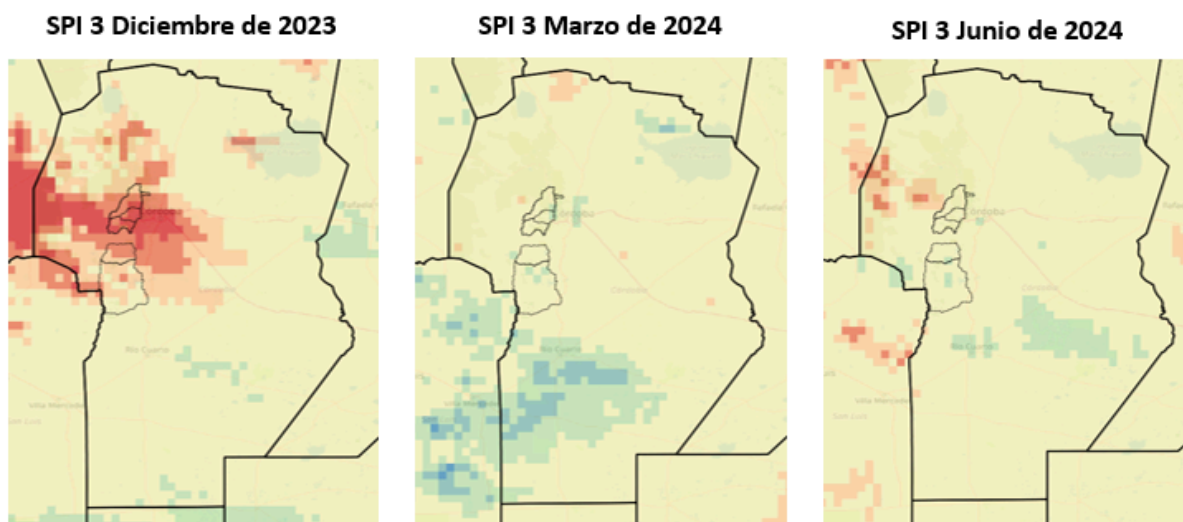


Figura 12: Índice de Precipitación Estandarizado Escala 3 Mensual, en la Provincia de Córdoba en periodo 2023-2024

Observación SPI de 12 meses

El SPI a partir de los 12 meses refleja patrones de precipitación a largo plazo. Un SPI de 12 meses es una comparación de la precipitación de 12 meses consecutivos con la registrada en los mismos 12 meses consecutivos de todos los años precedentes para los que se dispone de datos.

Es posible observar para marzo (Figura 13), que el centro de la Provincia de Córdoba presentaba condiciones de extrema sequía. Por otro lado, en marzo la provincia estuvo relativamente cerca a los valores normales. Y finalmente en junio, se presentaron condiciones de sequía en el noroeste de la provincia y condiciones de humedad en el sur.

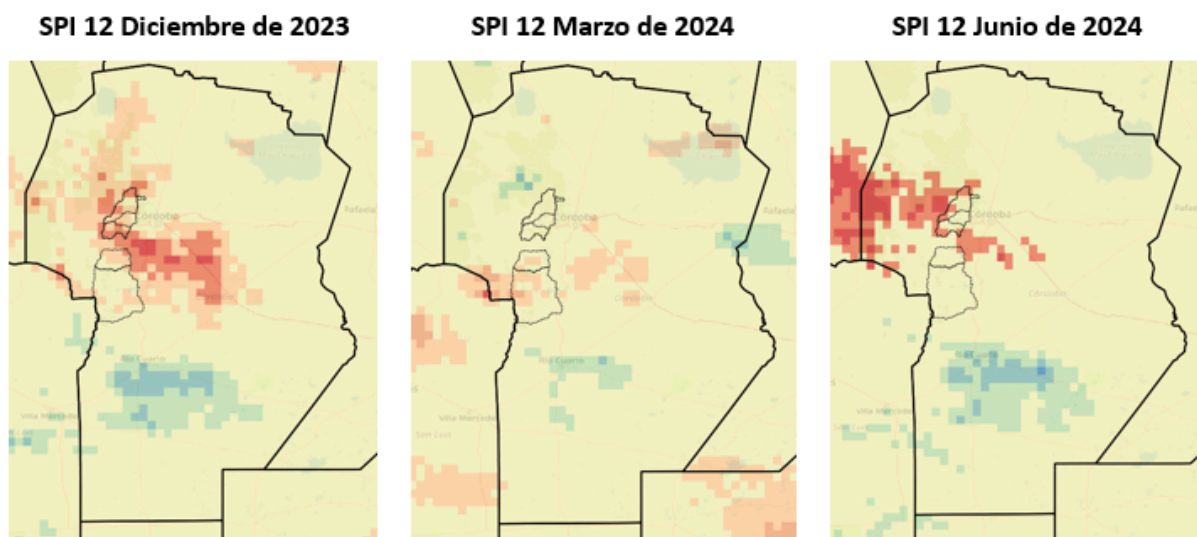


Figura 13: Índice de Precipitación Estandarizado Escala 12 Mensual, en la Provincia de Córdoba en periodo 2023-2024

Observación SPI de 72 meses

Al extender el periodo de análisis a una ventana de 72 meses (6 años), un intervalo relevante para evaluar la recarga de los acuíferos, los resultados (Figura 14) muestran que en diciembre toda la provincia se encontraba en condiciones de extrema sequía, mientras que en junio, la región sur de Córdoba también exhibía una sequía extrema en este contexto temporal. Esto significa, que a pesar del aumento de condiciones de humedad que han ocurrido en diferentes periodos a corto plazo, no han logrado revertir por completo la condición de extrema sequía que se mantuvo en un periodo a largo plazo como lo son 6 años.

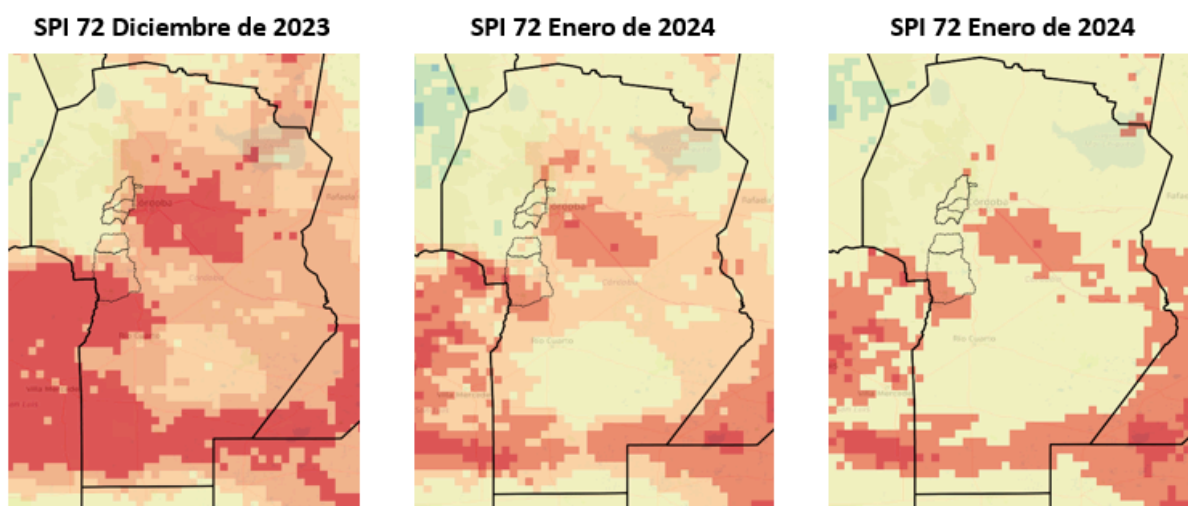


Figura 14: Índice de Precipitación Estandarizado Escala 72 Mensual, en la Provincia de Córdoba en periodo 2023-2024

Este tipo de análisis en serie proporciona una visión ingenieril del comportamiento hídrico, aunque requiere validación en campo. Si bien la información satelital no sustituye los



datos medidos por medio de las redes telemétricas, constituye un complemento valioso para obtener una perspectiva general sobre las condiciones hídricas en la región.

4.1.5.2 SPI vs SOI

El uso del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), facilita la comparación de condiciones climáticas al normalizar los datos de precipitación, lo cual permite relacionarlos con otros índices, como el Índice de Oscilación del Pacífico (SOI).

El SOI es un índice climático que mide la diferencia de presión atmosférica entre las islas de Tahití (en el Pacífico Sur) y Darwin (en el norte de Australia). Esta diferencia de presión está estrechamente relacionada con los cambios en la temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial, que son los principales responsables de los eventos de El Niño y La Niña. Este índice es un indicador clave para predecir el desarrollo y la intensidad de los eventos de El Niño y La Niña, lo que permite a los científicos y tomadores de decisiones anticiparse a sus impactos. Al monitorear la evolución del SOI, los expertos pueden seguir de cerca el progreso de estos fenómenos y emitir alertas tempranas.

La Niña

La Niña es un fenómeno del Océano Pacífico asociado a oscilaciones de la temperatura. En algunas regiones, cuando la oscilación es positiva (SOI positivo), indicando un fenómeno de La Niña, produce condiciones de precipitación por debajo de la normal, dicho de otra forma, implica valores de precipitación con valores usualmente por debajo de las medias históricas. En general representa déficit, pero que se produzca una condición de sequía o no, depende de lo severo que sea el evento. En otras regiones, dependiendo de la latitud, longitud y altitud de la región en el planeta, la misma Niña puede presentar condiciones de exceso.

En Argentina, normalmente La Niña se asocia con valores de déficit, es decir, que cuando ocurre un fenómeno de La Niña, es muy probable que los valores de precipitación están por debajo de la normal, y debido a eso el SPI es negativo.

Pero la realidad en el análisis es que no siempre cuando hay Niña se ha cumplido la condición anterior, ya que hay otros fenómenos como lo son la Oscilación del Atlántico que es más acotada en cuanto a duración, y otros fenómenos atmosféricos ligados al Amazonas, que alteran esa influencia. A pesar de esto, es posible afirmar que aproximadamente el 60% de las veces que ocurre un fenómeno de La Niña, en la región central de Argentina, fue una situación de déficit hídrico, por lo que en este caso siempre se esperaba que lloviera menos.

El Niño

Al igual que La Niña, El Niño es un fenómeno del Océano Pacífico asociado a oscilaciones de la temperatura. En algunas regiones, cuando la oscilación es negativa (SOI negativo), indicando un fenómeno de El Niño, representa valores de precipitación por arriba de la media histórica. Por ende, en la región de Argentina se esperaba que lloviera más.

Comparación SPI con SOI

Es posible combinar el SPI con el SOI, para comprender la influencia de este último, para una escala de tiempo determinada. Dado el siguiente análisis temporal de 12 meses (Figura 15) de precipitaciones para la Provincia de Córdoba, observamos en naranja el SOI y en azul el SPI calculado a partir de la precipitación estimada por satélite.

Es posible observar períodos de SOI negativo, en donde los valores de SPI son positivos indicando que ocurrieron precipitaciones, por lo tanto se cumplió la condición del Niño. De igual manera, es posible observar períodos de SOI positivo, en donde los valores de SPI son negativos indicando que ocurrieron sequías, por lo tanto se cumplió la condición de La Niña.

Pero hay casos en donde en un periodo negativo de SOI, indicando condición del Niño, el SPI es negativo, por lo que se esperaba un periodo de lluvias pero en realidad ocurrió un periodo de sequía. De igual manera, es posible observar períodos positivos de SOI, indicando condiciones de La Niña, pero con valores de SPI positivos, por lo que en dichos periodos en los que se esperaban pocas precipitaciones, terminó lloviendo más de lo esperado.

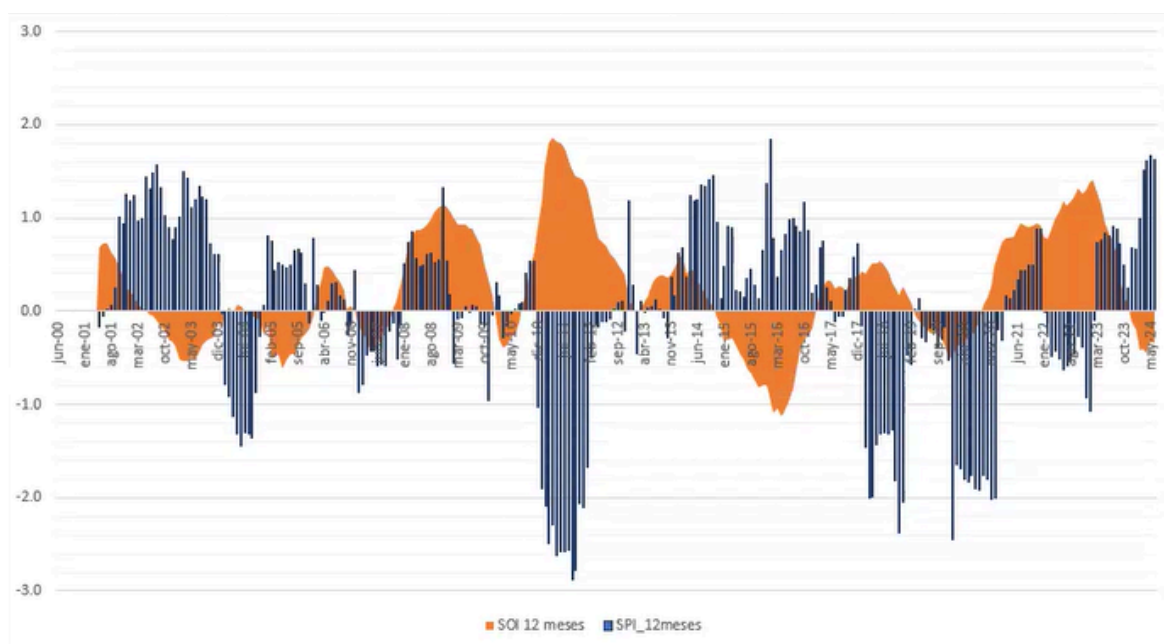


Figura 15: Comparación SPI vs SOI, en la Provincia de Córdoba en un periodo anual.

De esta manera es posible entender la influencia de fenómenos como el SOI y las consecuencias en las diferentes condiciones de precipitación y sequía sobre la región. Otro fenómeno que también interviene es el el Índice del Océano Atlántico, que también desempeña un papel relevante en la variabilidad climática de Sudamérica, aunque su influencia es más compleja y menos directa que la del océano Pacífico.



4.2. Análisis de campo

4.2.1 Técnicas de Relevamiento

Las siguientes técnicas de relevamiento fueron empleadas para recopilar toda la información necesaria para el planteamiento de una posible solución en base a las necesidades del grupo de investigación EHCPA y sus métodos de trabajo.

4.2.1.1 Entrevistas

Todas las entrevistas realizadas, fueron programadas y organizadas con antelación, en coordinación con los entrevistados, garantizando una recolección de datos eficiente y alineada con los objetivos del relevamiento.

I. Entrevista 1

Institución: Universidad Católica de Córdoba

Entrevistado: Dr. Ing. Carlos Gastón Catalini, director del grupo de investigación EHCPA.

Fecha: 16/05/2024

1. Antes de comenzar la entrevista, ¿podría presentarse dando una breve descripción de su perfil profesional?

Mi nombre es Carlos Gastón Catalini, Ingeniero civil egresado de la Universidad Católica de Córdoba, Doctor en Ciencias de la Ingeniería Mención en Recursos Hídricos de la Universidad Nacional de Córdoba, y especialista en Hidrología y Geoinformática, lluvias de diseño y extremos hidrológicos.

Soy investigador del Instituto Nacional del Agua (INA - CIRSA), docente en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Córdoba (Grado y Posgrado), por nombrar algunas materias como Mecánica de los fluidos e Hidrología, secretario de Investigación y Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UCC, y director del grupo de investigación Estudios hidrológicos en Cuencas Pobrementemente Aforadas de la UCC desde el 2006 hasta la actualidad.

Como ingenieros civiles empezamos a trabajar orientados hacia la emergencia, y particularmente hacia la emergencia hídrica. En mis primeros años de profesión, fui becario en el INA y trabajamos en los sistemas de alerta de crecida en la Provincia de Córdoba.

Por otro lado participe en la creación del Sistema de Gestión de Amenazas Hidrológicas. Como ingenieros estamos acostumbrados a proyectar obras de infraestructura, entonces al comienzo, este sistema estaba orientado hacia la emergencia cuando el agua tocaba el suelo. Pero luego de avanzar con muchos otros proyectos, mencionando algunos como el Proyecto Relámpago en colaboración con la Universidad de Illinois de Estados Unidos, los cuales estuvieron cazando tormentas en la Provincia de Córdoba en el año 2018, o así también el Proyecto PREVEN.IR en colaboración con la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), en los cuales se ha llevado a cabo un trabajo interdisciplinario, se determinó que el problema no solo es cuando el agua escurre sino que también debe incluir la parte meteorológica, cambiando el



enfoque y mutando la ingeniería hacia lo climatológico y ambiental, abordando problemas interdisciplinarios.

2. ¿Cuál es su visión respecto a la Gestión de Riesgos?

El ingeniero está acostumbrado a trabajar en la gestión de riesgos, por ejemplo, para proyectar una obra para frenar una inundación o regular los excedentes.

Los desastres son causados por fenómenos de origen natural, y nosotros no vamos a tener mucha injerencia sobre ellos. Hablamos de terremotos o inundaciones, pero también ahora, empezamos a hablar de sequías, y con estas también vienen los problemas relacionados con los incendios forestales. Entonces, esto causa impactos que uno no estaba acostumbrado a cuantificar o ponerle un número, y más aún con las cuestiones de los cambios climáticos que sabemos que existen pero que también hay muchos intereses encontrados en esos términos. No todo lo que se le culpa al cambio climático es por el cambio climático, y a veces no se culpa al cambio climático por cosas en las que sí tiene que ver.

3. ¿A que hace mención el nombre del grupo de investigación: Estudios Hidrológicos en Cuencas Pobrementemente Aforadas?

Cuando hablamos de Estudios Hidrológicos nos referimos a la determinación predictiva del comportamiento del agua sobre la superficie, incluyendo también la gestión óptima del recurso hídrico, la calidad, y la gestión del riesgo hídrico como consecuencia de dicho comportamiento y la mitigación en caso de desastres.

Una cuenca es una porción del territorio en la que todas las áreas tienden a desagotar por un mismo punto de salida, como por ejemplo, la cuenca que rodea al Embalse San Roque, en donde el agua finalmente termina en dicha presa. Los límites de las cuencas no tienen relación con los límites interprovinciales o internacionales.

Y por otro lado, el término "Pobrementemente Aforadas" se refiere a la carencia de equipos de medición en las cuencas, del término en inglés ungauged Basins. Es por eso que recurrimos a los sensores remotos, porque pocas cuentan con estaciones de medición.

4. Una de las actividades del grupo de investigación es la "Actualización y validación paramétrica de funciones intensidad-duración-Recurrencia (IDF), con fines de diseño hidrológico en la Provincia de Córdoba.", ¿a que hace referencia este nombre?

Ese título está acotado a una parte del trabajo del grupo que son las herramientas para diseño hidrológico.

Básicamente lo que nosotros hacemos es justamente eso, suministrar herramientas para ser empleados en el Diseño Hidrológico, es decir, herramientas para la determinación de variables hidrológicas, que puedan dar sustento a las obras de infraestructura, planificación territorial, manejo del recurso hídrico, evaluación de escenarios climáticos y control de excedentes y déficits.

Entre las cuales podemos mencionar el análisis implementado mediante el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), el cual permite valorar la amenaza hídrica, y definir el déficit y el exceso del recurso hídrico.



5. ¿Por qué el SPI y no otro índice?

El SPI es un índice estandarizado a nivel mundial, que el único dato que requiere es la precipitación. Como es un parámetro estadístico válido, es un índice muy fácil de calcular y de forma automática. El Índice de Palmer, por ejemplo, necesita índices relacionados con la vegetación, tornando más complejo su cálculo y no es conveniente para un uso inmediato. Por eso se estandariza el SPI, y entre otros índices como el Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), ya que son índices que se basan en una variable.

Si el SPI se combina con otras herramientas como el NDVI, índice que permite saber el estado de humedad de la vegetación que también se obtiene mediante imágenes satelitales, podríamos saber el estado de estrés por el que está pasando la planta, por ejemplo, un olivo en La Rioja. Esto quiere decir que, si el mes pasado el SPI fue negativo indicando sequía y el NDVI que reacciona al mes posterior, lo que se puede hacer es generar una política de riego, para que el mes siguiente, a pesar de que el SPI indique sequía, le proveemos a las plantas una cierta cantidad de agua que hace que la planta no sufra de estrés hídrico y produzca. Se puede planificar, en caso de cultivos de estacionalidad, estrategias para determinar si es momento de sembrar un cultivo u otro.

6. ¿Qué refleja el SPI como dato crudo sin ser implementado en un modelo? ¿Que permite observar o entender?

El SPI es un reflejo de la media y el desvío, es decir, muestra que tan alejado está de la normalidad un número, en este caso la precipitación. Dependiendo la escala temporal que analicemos, si estamos viendo un mes por ejemplo, el valor 0 del mismo, entre -1 y 1, de SPI significa un valor normal en comparación con todos los otros meses, y si no puede ser más húmedo o más seco.

Si utilizamos una escala temporal más grande, como tres meses, lo que podemos determinar es, si tal estacionalidad (otoño, invierno, primavera o verano) es más húmeda o más seca que la de la anterior, y así sucesivamente. Lo mismo aplicaría para un año o más.

Este análisis también se puede asociar con la severidad de la sequía. En donde si el valor está sobre -2 quiere decir que la sequía es mucho más extrema porque se dio menos veces en la historia, es decir, una vez cada 50 años, es decir, que cada 100 años se dio 2,5 veces. Si es una sequía leve, se da una vez cada 3 años, y en 100 años tendríamos 33 sequías del mismo tipo. Todo esto corresponde a un análisis estadístico.

7. Cuando se obtiene el SPI, a través del método manual, ¿como se trabaja con este?, es decir, ¿cómo sigue el trabajo?. El SPI como dato, ¿es almacenado en otro lugar o permanece donde fue generado y luego en el siguiente momento de cálculo es sobrescrito?

El dato que al grupo de investigación le interesa es el caudal, entonces el SPI, junto con otros índices, permiten determinar el estado en el que se encontraba la cuenca o la región, antes de que se produzca un evento. Por ejemplo, si la cuenca está seca, y venimos de una sucesión de períodos secos, si precipita una lluvia de 100 o 200 milímetros, probablemente salga muy poco volumen de agua o caudal de la cuenca. Por el contrario, si el SPI está en saturación, ya que ha sido un periodo rico de lluvias, es muy probable que el daño que ocasione una lluvia de ese tipo sea muchísimo mayor. Es por eso que el SPI permite determinar el estado de situación de la cuenca, si se produjera tal o tal evento.



Cuando uno hace un modelo de simulación distribuido, los datos como el SPI se utilizan para recalibrar dichos modelos. Un modelo es una ecuación que necesita calibrar sus parámetros, y la calibración se hace en base a la historia, por eso es importante guardar el registro para poder cotejar con lo que pasó y lo que vendrá.

La frecuencia de cálculo del SPI es todos los meses. Nosotros nos encontramos en el módulo de procesamiento, y las siguientes partes del proceso son el módulo del modelo y luego el módulo de calibración.

8. Cuando alguien calcula el SPI, ¿a través de qué medio lo hace?. Y por otro lado, ¿cuál es la herramienta o tecnología con la cual se lleva a cabo el procedimiento?

El medio a través del cual realizó el procedimiento para obtener el SPI es por medio de mi notebook personal.

Para calcular el índice primero descargo manualmente el subset de datos de imágenes satelitales de tipo IMERG, de precipitación diaria, del repositorio GES DISC del sitio web NASA Earth Data, después descargo cada imagen satelital IMERG, dentro del documento del subset a través de una extensión de descargas de Google Chrome, luego proceso dichas imágenes a través de un script de Python para generar los valores de precipitación acumulada mensual, y finalmente ejecutar una secuencia de comandos a través de una terminal de Linux del servidor del INA, el cual posee un entorno de Python que permite procesar los datos y de esta manera obtener el SPI.

9. ¿Existen algunas otras personas que realizan el cálculo del SPI y a los cuales les sería de suma importancia la automatización del cálculo a través de una interfaz gráfica?, es decir, ¿alguien más utilizaría la herramienta o es de uso personal?

Hoy en día la única persona encargada de la obtención de los datos soy yo, y soy además quien provee dichos datos al resto del grupo de investigación. Los demás investigadores no lo calculan al índice ni lo calcularán, ya que no poseen conocimientos de programación al ser en la mayoría Ingenieros Civiles, Geólogos y Cartógrafos, por lo que únicamente trabajan con los datos una vez son obtenidos.

En caso de una herramienta automatizada, todos podrían acceder a los datos sin la necesidad de depender de una sola persona.

10. ¿Por qué se trabaja específicamente con las imágenes satelitales IMERG y no con otras?

La gran ventaja de las imágenes IMERG es la periodicidad con la que tenemos disponible la información. Hay mucha más frecuencia de datos disponibles.

A los datos que obtengo del SPI los proceso en un código desarrollado en el lenguaje de programación R, el cual toma la serie temporal del SPI, y realiza un análisis estadístico del dato. Por ejemplo, para el caso de un SPI de escala 1 mes, el código genera un archivo PDF, que toma los valores del producto final del SPI de dicha escala, y los analiza con distintas herramientas estadísticas.

Lo primero que se intenta observar con esto es si la serie tiene tendencia, y he podido observar que está bastante acotada o estandarizada.

Graficamos el índice en el año calendario, que como ingenieros no nos sirve de mucho, ya que en realidad nos sirve el año hidrológico, permitiéndonos ver en qué



momentos del año hubo periodos ricos, que normalmente en nuestra región comienza en noviembre y termina en febrero, y en qué momentos tuvimos años secos.

Generalmente, la hidrológica responde a un modelo Normal, y con esto determinamos que existe un modelo numérico que puede representar el fenómeno.

Toda esta información, obtenida a partir de las imágenes IMERG, se compara o coteja con datos obtenidos de las imágenes satelitales GPCP (Global Precipitation Climatology Project). Si bien las imágenes GPCP tienen mayor precisión en la estimación y es mucho más larga la serie, al comparar ambos análisis no hay diferencias significativas, por lo que si bien GPCP es más preciso, la gran ventaja de IMERG es la disponibilidad inmediata de los datos lo que permite realizar un análisis hasta el tiempo presente. Por ejemplo, GPCP puede indicar un valor de SPI en escala 1 mes como “1,225 húmedo”, y en el caso de IMERG puede indicar para el mismo dato un valor como “1 húmedo”, pero lo que ganamos es que lo podemos visualizar en el mes actual, a diferencia de GPCP que tenemos que esperar un año.

Por lo tanto, podemos decir que GPCP como herramienta es indudablemente mejor, ya que la información que provee es mejor, el rango temporal es mucho mayor, pudiendo analizar datos desde los años 80, ahora bien, si queremos hacer algo operativo para la persona que está manejando un recurso y debe tomar una decisión inmediata, con esta herramienta la persona deberá esperar un año, y no nos serviría. Por otro lado, la GPCP tiene mayor resolución espacial, en donde en un pixel entran 8x8 píxeles de IMERG, siendo la escala de esta última 100 km² aproximadamente, lo que abarcaría por ejemplo casi toda la Cuenca del San Roque, lo que impide discriminar valores.

Otra herramienta es la CHRIPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data - Grupo de riesgos climáticos Precipitación infrarroja con datos de estaciones).

11. ¿Cuál es la variable de importancia o fundamental que necesitamos de las imágenes satelitales IMERG?

La variable fundamental es la precipitación diaria, ya que con esta calculamos la precipitación mensual acumulada, que es el dato de entrada para el cálculo del SPI, y esto se debe a que el SPI se calcula con datos mensuales.

Entonces, descargamos todas las imágenes de precipitación diarias y se calcula el valor de precipitación mensual.

Se lo podría aumentar cada 15 días, ideal para ver la evolución o el estado de los cultivos, y determinar si requieren de riego, pero para el caso de una presa 15 días no es suficiente.

Además, el SPI se podría calcular diario, pero no tendría sentido ya que sería como indicar que ayer llovió y mañana no, básicamente indicando si llueve o no.

12. ¿Por qué se realiza la descarga de las imágenes IMERG a través del repositorio GES DISC del sitio web NASA Earth Data?, ¿Cuál es la diferencia con los datos extraídos de una estación meteorológica?

Las imágenes las descargo de dicho repositorio debido a que es información pública, solo es necesario registrarse ya que la NASA lleva a cabo un control de usuarios, pero de ahí en más la descarga de cualquier información es gratuita.

El dato de una estación meteorológica es totalmente válido, pero es netamente local. La validez de una estación meteorológica en una zona de llanura son 25 km a la redonda.



Entonces si tenemos una buena densidad de puntos o estaciones en el espacio, sirven. El otro gran problema que tenemos es que si el dato de la estación no es bueno, podemos perder el dato.

La imagen satelital no reemplaza a la estación meteorológica. El dato de la estación es el dato observado y uno puede cotejar con los datos de las imágenes satelitales para determinar que sean similares. Eventualmente uno puede encontrarse en una tendencia con un factor de corrección entre el dato de la estación meteorológica con el de la imagen satelital, y la gran ventaja es que pasamos de un dato puntual a un mapa espacial. Entonces si el cliente no tiene una estación, y necesita saber cuál es su condición, en lugar de decirle cuanto indica una estación externa, nos paramos con el mapa satelital y obtenemos el valor. La disponibilidad del dato observado, depende del mantenimiento, mayormente del estado, y muchas no se paga el mismo. Entonces se utilizan datos que sabemos que son buenos para validar los datos satelitales.

Otro problema es que, puede haber una creciente, y a pesar de que las estaciones estén en funcionamiento, estas pueden marcar 0, ya que no llovió justo donde había una estación. O hay lugares donde no se puede medir, como por ejemplo, en la Cordillera Andina, en donde no hay manera de medir, y dada dicha condición se estima mediante imágenes satelitales.

Ninguna es perfecta, cada una tiene sus pros y sus contras. Si en Catamarca, por ejemplo, quieren hacer un sistema de alerta, al ser una zona de alta cordillera con 40°, no sirve de nada gastar mucho dinero en estaciones porque no se podrá cubrir toda la superficie. Entonces, en ese caso es preferible un sistema un poco menos preciso con imágenes satelitales o con un radar meteorológico y no gastar en estaciones.

13. Una vez que obtenemos el SPI, ¿en qué formato se encuentra el mismo?, ¿cómo podemos visualizar los resultados del mismo?

Inicialmente el formato final del SPI es “.nc4” o “.nc”, un formato de matriz de datos o puntos raster, y uno de los softwares que se utiliza para la visualización es QGIS.

14. Una vez que tenemos todas las precipitaciones diarias desde el 01 de Junio del 2000 hasta la actualidad, ¿por qué las agrupamos mensualmente?, y ¿qué relación tiene esto con el concepto de “bandas” al momento de la visualización en el software QGIS?

Mencionó el sistema RGB como analogía para explicar el concepto de bandas, en donde tenemos la posibilidad de variar la escala de colores de una imagen entre rojo, verde y azul, y en definitiva esta imagen representa un raster o matriz de puntos de tres bandas, en donde en cada pixel de la imagen tenemos tres bandas con distinta información.

Cuando uno abre los archivos resultantes del SPI, las bandas que posee cada punto del espacio representan meses. La banda 1 representa junio del 2000, la banda 2 representa julio del 2000 y así sucesivamente. Entonces, cada banda representa un mes de la serie.

En el caso de los SPI, como la ventana se va moviendo de a meses, para el caso de la escala 72, el mes 1 no es junio del 2000, sino que son 72 meses después de dicho mes. Aplica de igual manera para las demás escalas. En el caso de SPI de escala 1, visualizamos todos los valores de SPI.



Esto es básicamente una matriz de puntos que tiene la superficie de Argentina, en donde en cada punto a su vez tenemos más de casi 300 tablas del mismo dato de distinto momento.

15. ¿Cómo se aplica el SPI, como dato de entrada, a un Modelo Hidrológico?

Todos los modelos se basan en registros históricos. Si nosotros encontramos un modelo, por ejemplo, para la Cuenca del San Roque, el modelo, para poder predecir el futuro, se entrena con el pasado. Entonces, si bien estamos calculando un valor puntual, ese valor puntual es puntual en el espacio, por lo que si calibramos un modelo, obtenemos una función matemática que nos indica cuánto se necesita para que la presa se llene.

Si al QGIS le cargamos esa función matemática que llamamos modelo, y diciendo que dado que pasó tal cosa, por ejemplo, durante todos los eneros de los últimos 30 años, queremos que nos indique que pasara en el enero actual o en febrero, marzo y abril. Y no vamos a tener un gráfico en excel, sino un gráfico en el mapa de una predicción a futuro, que nos va a permitir saber qué volumen de agua vamos a tener disponibles, o si vamos a estar secos o húmedos.

Cuando se hace un modelo de escurrimiento en tiempo real, dada la información del estado de la cuenca, no es lo mismo una cuenca húmeda que una cuenca seca, y si se registraron 100 milímetros, el caudal que saldrá no va a ser el mismo si la cuenca estaba seca o húmeda. A lo mejor en una cuenca seca caen 100 milímetros y el riesgo de inundación es nulo, pero si la cuenca estaba húmeda no hay forma de detener la inundación.

Los Japoneses a esta información le agregan un Modelo Climático, entonces si ya se sabe que a los 15 días se espera una lluvia, así como tenemos el pronóstico, podemos llegar a obtener un modelo de cómo van a estar los ríos al mismo tiempo.

Cuando hacemos la planificación de los cultivos, podemos determinar si sembrar por ejemplo soja o maíz, porque el estado de requerimiento de agua de una parcela, es de un tipo u otro. Si disminuimos la incertidumbre y sabemos que la cuenca va a ser húmeda, a lo mejor la soja se pudre pero el maíz florece. Al revés, si tenemos que hacer una aplicación de un fertilizante, si lo colocamos el día o el mes que llueve se lava todo y no nos sirve. O si tenemos una zona que tiene riego, podremos saber si tenemos que pagar el equipo de bombeo con generadores o no nos va a ser falta regar o quizás regar menos.

En este momento nos encontramos en una etapa de mejorar la estimación. Si a estos datos los cargamos en un modelo o en un algoritmo, vamos a obtener un resultado, pero si los datos no están validados, que en definitiva es nuestro objetivo, terminamos teniendo basura.

16. En el caso de desarrollar una herramienta que obtenga de forma automatizada el SPI, usted, ¿optaría por una solución desktop o un sistema web?

Por cuestiones de practicidad y considerando que este proyecto de automatización es la fase 1 de un proyecto mayor, considero que quizás lo mejor sea una solución desktop, aunque bien venida sea una solución por medio de una página web, lo cual haría más fácil el acceso a los datos desde cualquier computadora, para cualquier ente que los necesite.

17. En caso de construir una aplicación desktop, la cual aprovecharía las capacidades de procesamiento del computador donde esté instalada, ¿en donde se instalaría la misma?



La herramienta podría instalarse o bien en mi computadora personal o en los nuevos workstations de la UCC, para independizar a mi computadora, y que la herramienta quede como un producto de la universidad.

18. En el caso de desarrollar un sistema web, ¿se podría tener acceso al servidor del INA o la UCC para instalarlo?

En ese caso se podría instalar la página o en el servidor del INA, en donde está gestionado la página del Sistema de Gestión de Amenazas (SGA), o en el servidor de la UCC. Por cuestiones de dirigenciales, preferiría que se instale en el servidor de la UCC ya que por cuestiones burocráticas el proyecto se puede perder o dejar de estar en línea ante un cambio de comisión directiva o ante decisiones de fuerza mayor que escapen a uno.

19. Con respecto al almacenamiento de datos, ¿las imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria descargadas se almacenan en algún lado o son descartadas?, en caso de requerir ser almacenadas, ¿donde lo estarían?. Por otro lado, ¿las precipitaciones mensuales acumuladas se almacenan en algún lado o son descartadas?, en caso de requerir ser almacenadas, ¿donde lo estarían?. Y por último, ¿los SPI se almacenan en algún lado o son descartados?, en caso de requerir ser almacenadas, ¿donde lo estarían?.

A las imágenes IMERG de precipitación diaria solo las descargo mes a mes de forma completa y eliminé todas las de los meses anteriores, y almacenarlas sería ocupar espacio innecesario en el disco. Lo que es necesario almacenar son los archivos de precipitación mensual acumulada ya que son fundamentales para el cálculo del SPI, y si estos se borran hay que volver a descargar todos las imágenes diarias desde el 01 junio del 2000 hasta el presente y volver a generar los acumulados mensuales. Y con respecto al SPI, este se sobrescribe con nuevos datos mes a mes para incluir la última banda por así decirlo que es el último mes procesado, por lo que no es necesario almacenar cada archivo generado ya que es el mismo solo que se sobrescribe.

20. Aparte de calcular automáticamente el SPI y proveer dichos datos, y teniendo en cuenta que dichos datos luego se visualizan y analizan en un software como el QGIS, ¿éste sería el único propósito de la página web o es necesario implementar una visualización de los datos?. ¿Dicha visualización sería de forma interactiva?

Considero adecuada la posibilidad de poder visualizar los datos en el sitio web, en caso de que esta sea la solución a implementar. El propósito de la visualización es informativo, y uno debería poder visualizar en un mapa de Argentina la variación del índice según las escalas y poder ver el valor en cada punto del mapa.

En definitiva los datos son utilizados con un fin de hidrología para sistemas de alerta. Se necesitan los datos para modelar y simular operaciones de presas, entre otros usos.

El SPI hace falta como input para los modelos hidrológicos. Los otros módulos incluyen meter los datos en un modelo hidrológico, trabajarlo en caudal y publicar la información de entrada y la alerta.

El Módulo 2 en la construcción del Modelo Hidrológico, se denomina Modelo de transformación lluvia-caudal, el cual tomaría el dato del SPI calculado con las imágenes



IMERG y la información que proviene de las estaciones meteorológicas, para transformar la lluvia en el caudal. El SPI es uno de los datos de entrada, junto con los índices de vegetación, topografía, y demás, en un modelo multicapa, para poder simular numéricamente la cuenca y sus condiciones. Esto va a generar umbrales de alerta y va a permitir predecir cuál sería el comportamiento de los ríos ante un evento que se está empezando a registrar. Construyendo así un pronóstico hidrológico. Si un sistema como estos estuviera funcionando en Brasil, se podría haber estipulado cuáles eran las áreas que se iban a inundar.

Y finalmente el módulo 3, consiste en la calibración del modelo.

21. ¿Quién tiene más peso respecto a los derechos de uso del producto final?, ¿Usted, el INA o la UCC?. Concretamente, ¿a quién estaría dirigida?

La Universidad Católica tiene más peso institucional, ya que el grupo de investigación es el grupo de la universidad. Y en si la herramienta sería un desarrollo de la UCC para el INA a través de un convenio. Ya que la UCC tiene convenios de vinculación científico-técnica con el INA, es decir, una vinculación tecnológica.

La UCC no va a prestar el mismo servicio que el INA, sino que el INA, como así también el grupo PREVEN.IR, van a absorber esos datos.

Pero en definitiva el fin es público, tanto para entes gubernamentales, agencias públicas, o instituciones privadas.

II. Entrevista 2

Institución: Instituto Nacional del Agua (INA - CIRSA)

Entrevistado: Martin Ludueña - Encargado de Informática

Objetivo: Evaluar estado del servidor del INA

1. Respecto al estado actual del servidor del INA, ¿es estable?, ¿qué sistema operativo utiliza?

El servidor opera con un sistema operativo Linux particularmente Ubuntu, pero el mismo se encuentra desactualizado por la edad, y al cumplir con las necesidades y operaciones básicas requeridas por los diferentes proyectos de investigación o trabajos que se realizan, simplemente se lo gestiona lo suficiente como para cumplir con dichos requisitos, pero más allá de eso nunca se evaluó una mejora en la capacidad operativa, en el rendimiento e inclusive en su capacidad de almacenamiento, o dicho de otra forma escalar verticalmente el servidor.

2. En el caso de implementar un sitio web o una aplicación desktop que calcule de manera automática el SPI y a su vez permita la visualización de los resultados, ¿es posible efectuar la instalación de cualquiera de las dos alternativas en el servidor?

El acceso al servidor es por medio de una terminal de linux. El Dr. Catalini actualmente accede a la consola para ejecutar sus procesos para la obtención del SPI, por lo tanto se debería acceder al mismo y comenzar la instalación paso a paso, dependiendo



de la estructura del sistema que se quiere implementar, será la complejidad lógicamente, sumado que no hay una interfaz gráfica como un Windows por ejemplo.

3. Respecto al sitio del Sistema de Gestión de Amenazas (SGA), ¿como esta implementado en el servidor, que servicios utiliza y cómo se obtienen los resultados para mostrarlos en el mismo?

La página web del SGA está implementada en el servidor del INA. La persona que lo desarrolló ya no lo mantiene más y de hecho hay varias funcionalidades que están rotas. Particularmente no intervengo en su funcionamiento por temor a desconfigurar las pocas funciones que corren actualmente.

Básicamente los datos de los sensores que se utilizan son procesados en el servidor, luego se almacenan en una base de datos de tipo postgres, esos datos se suben a una herramienta llamada GeoServer que es un servidor de datos geoespaciales, el cual simplemente tengo acceso pero no se utilizarlo. Y por último, el sitio desarrollado en Angular, consume esos datos desde el GeoServer para que se puedan visualizar en un mapa interactivo.

En conclusión, los cálculos los realiza localmente el servidor, y la página es solo un visualizador de los resultados.

III. Entrevista 3

Institución: Universidad Católica de Córdoba

Entrevistado: Natanael Barone - Departamento de Soporte Técnico

Objetivo: Verificar disponibilidad de recursos informáticos.

1. En el caso de implementar un sitio web o una aplicación desktop que calcule de manera automática el SPI y a su vez permita la visualización de los resultados, como parte del trabajo final en desarrollo, ¿cuáles son los recursos que la universidad dispone para poder efectuar la instalación de cualquiera de las dos alternativas?

En caso de querer desarrollar una aplicación desktop, la misma para efectuar el procedimiento que requiera, deberá aprovechar las capacidades de procesamiento del sistema o PC donde esté instalada, actualmente la universidad recibió nuevas Workstations por parte de la empresa Renault, por lo que en caso de encarar por esta solución, la instalación se podrá efectuar en una de ellas siempre y cuando cumplan con los requisitos de hardware necesarios.

Para la solución web, podemos ofrecer una PC virtual, que forma parte de nuestros servidores. El sistema operativo puede ser Windows o un Linux a elección, dependiendo del sistema operativo en el que sea construido, y el acceso es remoto. El mantenimiento del servidor es todo el año por lo que los problemas de disponibilidad son prácticamente nulos. Y cualquier otro requerimiento que se necesite puede ser implementado, como por mencionar conexión a internet, puertos habilitados, y demás.

2. Se necesitaría almacenar alrededor de 25 años de datos de precipitación en formato mensual, es decir, aproximadamente unos 300 archivos, pesando en total 100



Megabytes. Tanto los workstation como la PC virtual, ¿cuentan con una capacidad de almacenamiento escalable?, caso contrario, ¿existe la posibilidad de acceder a un servicio de almacenamiento en la nube por medio de una licencia institucional?

Con respecto a las nuevas workstation seguro cuentan con una capacidad de almacenamiento considerable y escalable verticalmente considerando que el almacenamiento de su trabajo escala al infinito, aunque en 50 años se almacenen recién 200 Megabytes aproximadamente por lo que las capacidades de almacenamiento requeridas son relativamente bajas.

Por otro lado, se puede asignar también a la máquina virtual una cierta capacidad de almacenamiento como para cubrir varios años de datos.

Y con respecto a un servicio de almacenamiento cloud, la universidad cuenta con Amazon Web Services. El acceso, o dicho de otra forma, la solicitud de licencias para el consumo de diferentes servicios de AWS es muy riguroso y requiere de una evaluación para determinar lo viable y factible que es la otorgación de dicha licencia. Es por eso que sugiero implementar un almacenamiento local en cualquiera de las otras dos alternativas, ya sea en la workstation o en la máquina virtual.

4.2.1.2 Brainstorm

Integrantes: Dr. Ing. Carlos Gaston Catalini y Santiago Vietto Herrera.

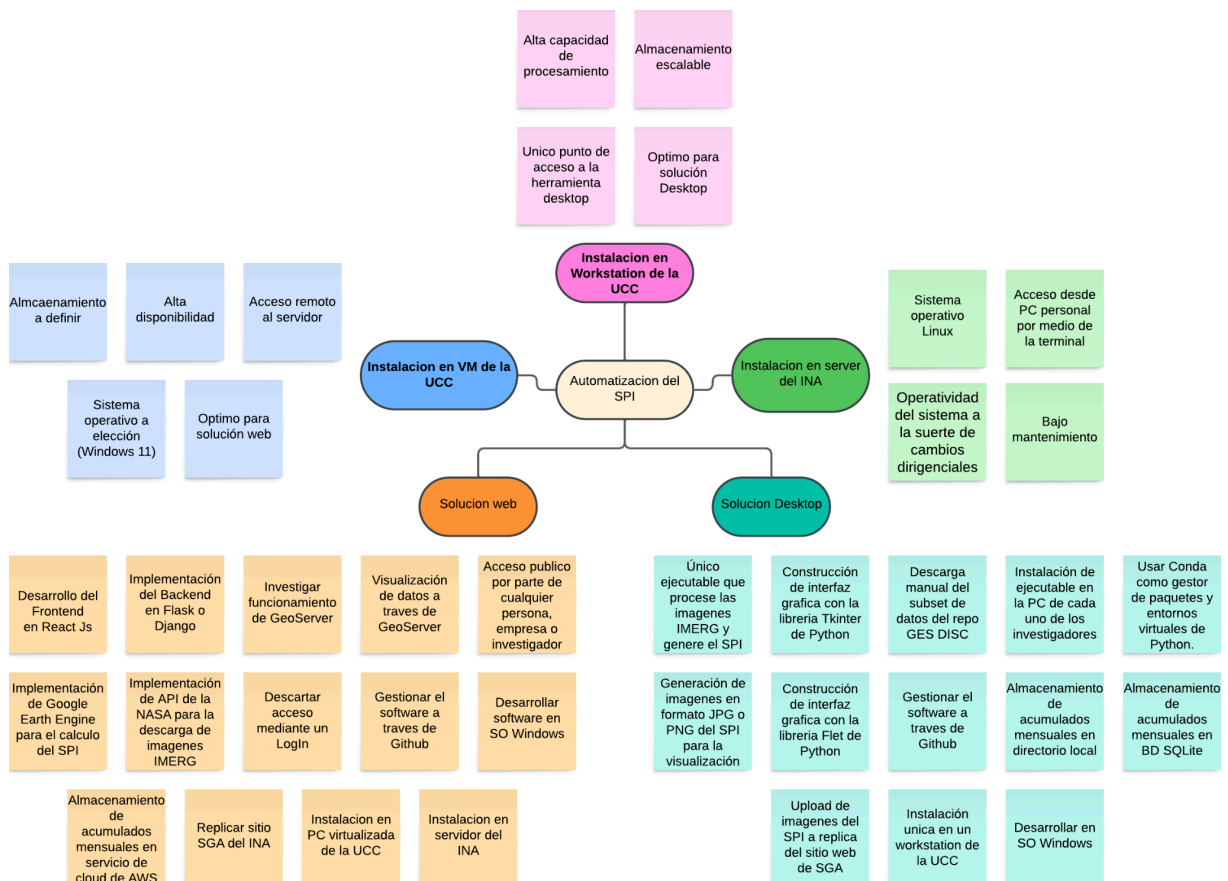


Figura 16: Brainstorm EHCPA.

4.2.1.3 Observación de Metodologías de Trabajo

A continuación, se detalla el proceso de cálculo de SPI efectuado por el grupo de investigación de forma manual.

I. Proceso de Obtención del SPI

Autenticación en sitio web NASA Earthdata

Como primera medida, antes de iniciar el procedimiento, se efectúa la creación de una cuenta en el sitio web NASA Earthdata. El registro simplemente le sirve a la NASA para llevar un control de usuarios, y así poder saber qué es lo que se descarga y quien lo hace. Las descargas son totalmente gratuitas, ya que es información pública.

- Acceso: [Earthdata Login](#)

Colección de imágenes satelitales IMERG

Las imágenes satelitales requeridas para el proceso, son las imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria de tipo Late. La razón por la que se utiliza este tipo de imagen es debido a que poseen un post procesamiento con datos meteorológicos, y además los datos están disponibles rápidamente, con un retraso aproximado de 14 horas con respecto a la hora actual.

La colección se referencia con el siguiente nombre: “GPM IMERG Late Precipitation L3 1 day 0.1 degree x 0.1 degree V07 (GPM_3IMERGDL)”.

- Acceso: [IMERG Late Day](#)

Descarga del subset de datos de imágenes satelitales IMERG

Es posible visualizar en el sitio web de las imágenes satelitales IMERG de tipo Late, una descripción del tipo de imagen, un resumen del producto, el calendario de disponibilidad de datos, y una sección de acceso a los datos la cual permite descargar un subset de las imágenes satelitales IMERG en base a ciertos parámetros de configuración.

1. El método de descarga implementado, en base a los existentes (Figura 17), es OPeNDAP.
 - Archivos originales (Original files): Generan los enlaces o URLs de descarga, de los archivos de las imágenes satelitales IMERG en formato netCDF, del globo terráqueo completo, incluyendo todas las variables y dimensiones.
 - Obtener subset de datos usando OPeNDAP (Get File Subsets using OPeNDAP): Generan los enlaces o URLs de descarga, de los archivos de las imágenes satelitales IMERG en formato netCDF o ASCII, a partir de un recorte geoespacial, y la selección de variables y dimensiones específicas.

Download Method ?

Download Method: ✔ Get File Subsets using OPeNDAP Reset

☐ Get [Original Files](#)
Generate unmodified file links directly from the archive.

☒ Get File Subsets using OPeNDAP [?](#)
Generate file links supporting geo-spatial search and crop and selection of variables and dimensions, in netCDF or ASCII formats.

Figura 17: Métodos de descarga de imágenes satelitales IMERG Late Day Versión 7.

2. Una vez seleccionado el método de descarga, se visualizarán los demás parámetros de configuración, por lo que debe definirse a continuación el rango de fechas de descarga de datos. La fecha de inicio, de disponibilidad de datos, comienza desde el 01 del mes de junio del año 2000.

▼ Refine Date Range: 2000-06-01 to 2024-05-09 Reset

From: To:

< June 2000 >

Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
28	29	30	31	01	02	03
04	05	06	07	08	09	10
11	12	13	14	15	16	17
18	19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30	01
02	03	04	05	06	07	08

< May 2024 >

Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
28	29	30	01	02	03	04
05	06	07	08	09	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	01
02	03	04	05	06	07	08

Available Range: 2000-06-01 to 2024-05-09 **NOTE:** All dates and times are in UTC.

Figura 18: Rango de fechas de descarga de imágenes satelitales IMERG Late Day Versión 7.

3. Debido a que el análisis se realiza en Argentina, se debe realizar un corte geoespacial que abarque toda la región. Para ello se define un polígono con las coordenadas -73.5, -55, -53, -21 en referencia a las dimensiones Oeste, Sur, Este, Norte (West, South, East, North). Las coordenadas para cada referencia son en negativas, debido a que Argentina se encuentra en el hemisferio sur y en el hemisferio occidental.

▼ Refine Region: ✓ -73.5, -55, -53, -21 Reset

+
-
📏



Available Range: -180, -90, 180, 90 Cursor Coordinates: 53.152, -177.539

Figura 19: Corte geoespacial en descarga de imágenes satelitales IMERG Late Day Versión 7.

4. Continuando con la configuración, se selecciona la variable de interés, que en este caso es "precipitation" (precipitación, combinado con microondas infrarrojas y estimación climatológica).



▼ Select Variables: 1 select variable(s) selected [Reset]

- ☐ MWprecipitation
- ☐ MWprecipitation_cnt
- ☐ MWprecipitation_cnt_cond
- ☒ precipitation
- ☐ precipitation_cnt
- ☐ precipitation_cnt_cond
- ☐ probabilityLiquidPrecipitation
- ☐ randomError
- ☐ randomError_cnt
- ☐ time_bnds

▼ Select Dimensions: Get all select dimensions [Reset]

NOTE: Selected download method supports selection of only continuous groups of values. [Expand Tree](#)

☒ nv

Figura 20: Selección de variable Precipitación en descarga de imágenes satelitales IMERG Late Day Versión 7.

5. Se establece “netCDF” como el formato de los archivos de imágenes satelitales IMERG a descargar.

Output format ?

▼ File Format: netCDF [Reset]

- ☐ ASCII
- ☒ netCDF

Figura 21: Formato de archivos en descarga de imágenes satelitales IMERG Late Day Versión 7.

6. Finalmente se procede a efectuar la descarga, lo cual genera un archivo de texto que en su contenido posee, en las dos primeras líneas las URLs de descarga de dos archivos PDF que contienen información general sobre los datos descargados, y por otro lado posee todas las URLs de descarga, correspondientes a cada imagen satelital IMERG de precipitación diaria.

```
https://arthurhou.pps.eosdis.nasa.gov/Documents/IMERG_V07_ATBD_final.pdf
https://gpm1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/GPM_L3/doc/README.GPM.pdf
https://gpm1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/opensap/GPM_L3/GPM_3IMERGDL.07/2000/06/3B-DAY-L.MS.MRG.3IMERG.20000601-S000000-E235959.V07B.nc4.nc4?
precipitation[0:0][1065:1270][349:689],time,lon[1065:1270],lat[349:689]
https://gpm1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/opensap/GPM_L3/GPM_3IMERGDL.07/2000/06/3B-DAY-L.MS.MRG.3IMERG.20000602-S000000-E235959.V07B.nc4.nc4?
precipitation[0:0][1065:1270][349:689],time,lon[1065:1270],lat[349:689]
https://gpm1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/opensap/GPM_L3/GPM_3IMERGDL.07/2000/06/3B-DAY-L.MS.MRG.3IMERG.20000603-S000000-E235959.V07B.nc4.nc4?
precipitation[0:0][1065:1270][349:689],time,lon[1065:1270],lat[349:689]
https://gpm1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/opensap/GPM_L3/GPM_3IMERGDL.07/2000/06/3B-DAY-L.MS.MRG.3IMERG.20000604-S000000-E235959.V07B.nc4.nc4?
precipitation[0:0][1065:1270][349:689],time,lon[1065:1270],lat[349:689]
https://gpm1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/opensap/GPM_L3/GPM_3IMERGDL.07/2000/06/3B-DAY-L.MS.MRG.3IMERG.20000605-S000000-E235959.V07B.nc4.nc4?
precipitation[0:0][1065:1270][349:689],time,lon[1065:1270],lat[349:689]
https://gpm1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/opensap/GPM_L3/GPM_3IMERGDL.07/2000/06/3B-DAY-L.MS.MRG.3IMERG.20000606-S000000-E235959.V07B.nc4.nc4?
precipitation[0:0][1065:1270][349:689],time,lon[1065:1270],lat[349:689]
https://gpm1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/opensap/GPM_L3/GPM_3IMERGDL.07/2000/06/3B-DAY-L.MS.MRG.3IMERG.20000607-S000000-E235959.V07B.nc4.nc4?
precipitation[0:0][1065:1270][349:689],time,lon[1065:1270],lat[349:689]
https://gpm1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/opensap/GPM_L3/GPM_3IMERGDL.07/2000/06/3B-DAY-L.MS.MRG.3IMERG.20000608-S000000-E235959.V07B.nc4.nc4?
precipitation[0:0][1065:1270][349:689],time,lon[1065:1270],lat[349:689]
```

Figura 22: Subset descargado de imágenes satelitales IMERG Late Day Versión 7.



7. El archivo de texto del subset de imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria, se procesa posteriormente a través de una extensión de Google Chrome para descargar a través de las URLs contenidas en el mismo, uno por uno todos los archivos. Posteriormente, se almacenan en un directorio creado manualmente de nombre “ARG_Late”.

Cálculo de la precipitación mensual acumulada

Cada uno de los archivos netCDF descargados son imágenes satelitales de precipitación diaria, pero el dato de necesidad para el cálculo del SPI es la precipitación acumulada mensual. Si bien es posible acceder y descargar directamente datos de precipitación mensual, mediante el tipo de imagen Final Precipitation Month en el repositorio GES DISC, la desventaja de estas es su disponibilidad, ya que poseen un retraso de ocho a diez meses aproximadamente. Por este motivo, los archivos netCDF de precipitación diaria descargados, se procesan para calcular la precipitación mensual acumulada, de forma tal que mes a mes se obtenga el nuevo valor del acumulado mensual.

El procesamiento de los archivos netCDF de precipitación diaria se lleva a cabo en un sistema operativo Windows 11, mediante la ejecución, a través del IDE Visual Studio Code, de un script desarrollado en el lenguaje de programación Python, de nombre “P_acu_mensual_v7”, en referencia a la precipitación acumulada mensual y la versión 7 de los datos de tipo Late Precipitation Day descargados.

El programa procesa todos los archivos netCDF almacenados en el directorio “ARG_Late”. Básicamente, se suman los valores de precipitación diaria de cada uno de los archivos que compartan el mismo mes y año. Por ende, el resultado obtenido es un único archivo netCDF de precipitación acumulada de un mes en particular. Por ejemplo, si se procesan archivos de precipitación diaria desde el 01 de junio del año 2000 hasta el 30 de junio del año 2000, se generará un solo archivo de precipitación acumulada mensual correspondiente al mes de junio del año 2000. Los archivos generados se almacenan en un nuevo directorio de nombre “IMERG_late_month”.

Configuración de entorno virtual

Finalizado el procesamiento de las imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria para obtener la precipitación mensual acumulada, se configura un entorno virtual a través del gestor de paquetes y entornos virtuales Conda, para poder llevar a cabo el cálculo del SPI mediante librerías del lenguaje de programación Python que se ejecutan por medio de comandos a través de la terminal o consola del sistema operativo.

El grupo de investigación posee acceso remoto, por medio de una terminal de Linux, al servidor del INA, el cual posee configurado de antemano un entorno virtual de Conda con todas las dependencias y librerías necesarias para el cálculo del SPI.

El proceso de creación del entorno virtual de Conda y la instalación de librerías se explica en detalle en la sección Creación de Entorno Virtual mediante Conda, del Anexo.



Cálculo del SPI

1. El primer paso consiste en concatenar todos los archivos netCDF de precipitación mensual acumulada en un único archivo para facilitar el proceso de cálculo del SPI. La siguiente sentencia, que utiliza el comando *ncks* de la librería NCO, recorre todos los archivos netCDF de precipitación mensual acumulada almacenados en el directorio "IMERG_late_month" y los modifica de forma tal que la variable tiempo (time) de los mismos, sea la dimensión o variable registrada por la cual se van concatenar los archivos. Luego se ejecuta el comando *ncrcat*, el cual genera un único archivo netCDF cuyo nombre en este caso es "IMERG_concat". El resultado obtenido es un único archivo cuyos datos están representados en formas de bandas.

```
$ for f1 in *.nc4; do ncks --mk_rec_dmn time $f1 -o $f1.TMP; mv $f1.TMP $f1; done  
$ ncrct -h *.nc4 IMERG_concat.nc4
```

- Banda: Cada banda se corresponde a un mes, es decir, el valor de precipitación acumulada de cada mes desde junio del año 2000 hasta el último acumulado mensual generado de un año específico.
2. Para calcular el SPI, la información que posee el archivo concatenado debe estar en un formato apropiado. Es decir, se necesita reordenar las dimensiones del archivo "IMERG_concat", debido a que la NASA estructura las dimensiones de los datos satelitales como tiempo, longitud y latitud, y para operar de forma correcta es necesario reordenar las mismas como latitud, longitud y tiempo. Entonces, a través del comando *ncpdq* de la librería NCO, se genera el reordenamiento del archivo "IMERG_concat" generando un nuevo archivo llamado "IMERG_reord".

```
$ ncpdq -a lat,lon,time IMERG_concat.nc4 IMERG_reord.nc4
```

3. Posterior al reordenamiento, puede suceder que tanto las dimensiones tiempo, como la longitud o latitud, se establezcan como indefinidos (UNLIMITED). Pero generalmente suele suceder con la dimensión latitud. Para solucionar este problema se ejecuta la siguiente sentencia, a través del comando *ncks*, con el objetivo de generar un nuevo archivo reordenado con la dimensión latitud corregida, con el nombre de "IMERG_reord_lat_fix":

```
$ ncks --fix_rec_dmn lat IMERG_reord.nc4 -o outfixed.nc4 ; mv outfixed.nc4 IMERG_reord_lat_fix.nc4
```



4. Sumando al análisis, se incluye la posibilidad de generar un archivo de Precipitaciones Mensuales Totales (PTM), el cual se crea a partir de un nuevo reordenamiento de variables sobre el archivo “IMERG_reord_lat_fix”, de forma tal que las mismas queden en el formato tiempo, latitud, longitud para dicho archivo pueda ser visualizado correctamente en un software como QGIS.

```
$ ncpdq -a time,lat,lon IMERG_reord_lat_fix.nc4 PTM.nc4
```

5. Una vez generado el archivo “IMERG_reord_lat_fix”, reordenado y corregido, el mismo es cambiado de lugar a un nuevo directorio llamado “Input_nc4” mediante el comando “move”. Dicho archivo es el dato de entrada al proceso del cálculo del SPI, y por cuestiones de referencia, se cambia el nombre del mismo a, por ejemplo, “IMERG_months_2000_2024”, en alusión al año del primer acumulado mensual y el año del último acumulado mensual procesado.

```
$ move IMERG_reord_lat_fix.nc4 /Input_nc4/IMERG_months_2000_2024.nc4
```

6. Finalmente, se procede a ejecutar la sentencia que calcula el SPI. A través de la librería *climate indices*, se indica en primer lugar el operador necesitado, que en este caso es *spi*. Luego se define:

- Periodicidad: La periodicidad es mensual, ya que cada banda del archivo de entrada corresponde a un mes
- Escalas: Valores de SPI en escala mensual, en el corto, mediano y largo plazo.
- Periodo de calibración: Año de inicio y fin de la serie.
- Ruta del directorio donde está almacenado el dato de entrada, es decir, el archivo netCDF reordenado y corregido.
- Variable a procesar: En este caso es la precipitación.
- Ruta del directorio donde se almacenarán todos los archivos resultantes, con “nclimgrid” como nombre por defecto.

```
$ spi --periodicity monthly --scales 1 2 3 6 9 12 24 36 48 60 72  
--calibration_start_year 2000 --calibration_end_year 2021 --netcdf_precip  
../Input_nc/IMERG_months_2000_2024.nc4 --var_name_precip precipitation  
--output_file_base ../Output_nc4/nclimgrid --multiprocessing all
```

Como resultado, se generan dos archivos de SPI para cada una de las escalas. Uno de los archivos es el valor del SPI calculado mediante la función matemática Pearson, y el otro archivo es calculado mediante la función matemática a Gamma. Para el análisis, los archivos utilizados son los del SPI calculados mediante la función Gamma.

7. Para poder visualizar los archivos de SPI Gamma de cada escala en un software geoespacial como QGIS, es necesario aplicar en cada una un reordenamiento de sus variables en formato tiempo, latitud, longitud.

```
$ ncpdq -a time,lat,lon nclimgrid_spi_gamma_1_month.nc  
spi_gamma_1_reord.nc4
```

II. Visualización de Datos en QGIS

QGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código abierto desarrollado en C++, compatible con la mayoría de las plataformas Unix, Windows y Mac. El mismo proporciona una interfaz gráfica de usuario (GUI) ligera, intuitiva y fácil de usar, y que permite a su vez visualizar y gestionar datos geoespaciales. QGIS soporta diversos formatos de datos ráster y vectoriales, y permite la adición de diferentes funcionalidades mediante complementos o extensiones.

Implementación

El grupo de investigación EHCPA utiliza el software QGIS para poder visualizar los datos generados después del proceso del cálculo del SPI, para validar los mismos. Es importante mencionar que todos los archivos resultantes del proceso son de tipo ráster.

El siguiente procedimiento resalta los pasos más importantes, implementados por el grupo de investigación, para visualizar en QGIS los archivos ráster generados:

1. Al abrir el software, como primera medida se procede a crear un nuevo proyecto, y para mejorar la visualización de los datos, se descarga el complemento o extensión “QuickMapServices”, el cual añade a la interfaz un mapa gratuito de todo el mundo del servicio “OpenStreetMap”, lo que permite tener una georeferenciación adecuada.

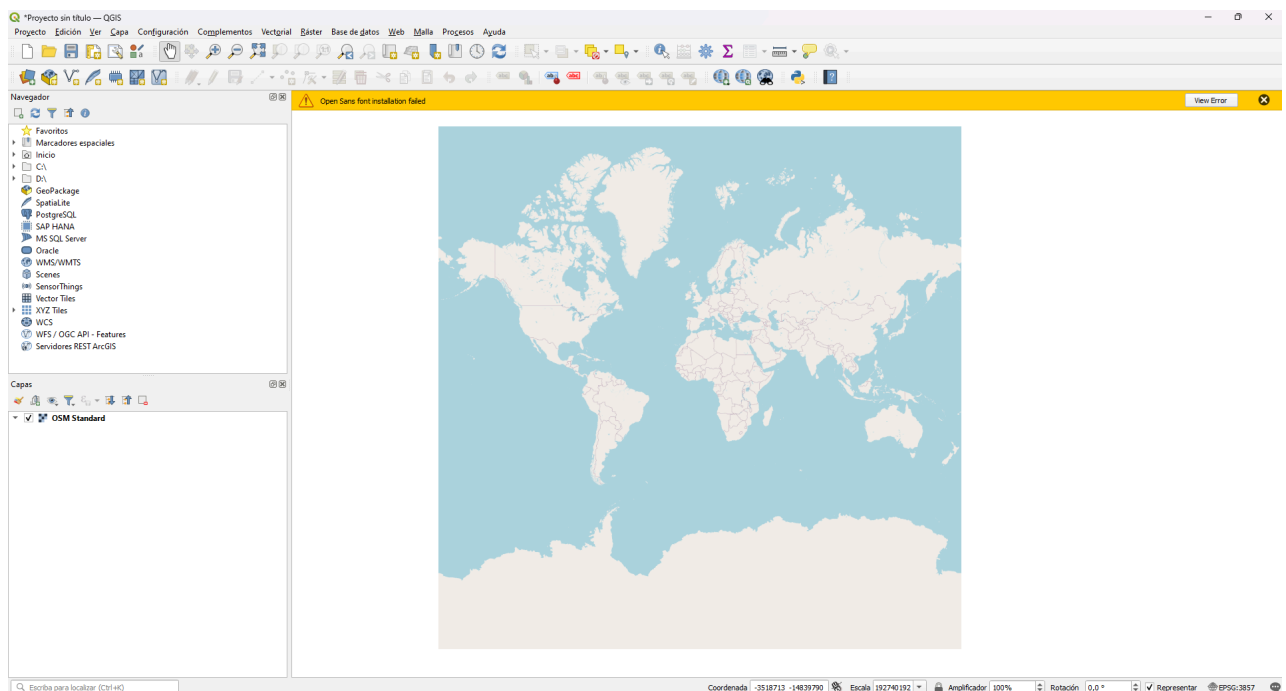


Figura 23: Visualización de mapa del componente QuickMapServices en QGIS.

2. Posteriormente se añaden los diferentes archivos que se desean visualizar. Teniendo en cuenta que todos los archivos netCDF generados en el proceso de SPI son archivos de tipo ráster, estos se añaden en QGIS como capas de dicho formato. A continuación se observa el archivo “IMERG_concat” (Figura 24), en donde es posible observar que se encuentra en una posición horizontal, y esto se debe a que sus dimensiones están en la forma latitud, longitud, tiempo. Por otro lado se visualiza el archivo SPI de escala un mes, de tipo Gamma y reordenado (Figura 25) con las

dimensiones tiempo, latitud, longitud, observando que al tener configurado correctamente las dimensiones, el mismo cubre toda la región de Argentina.

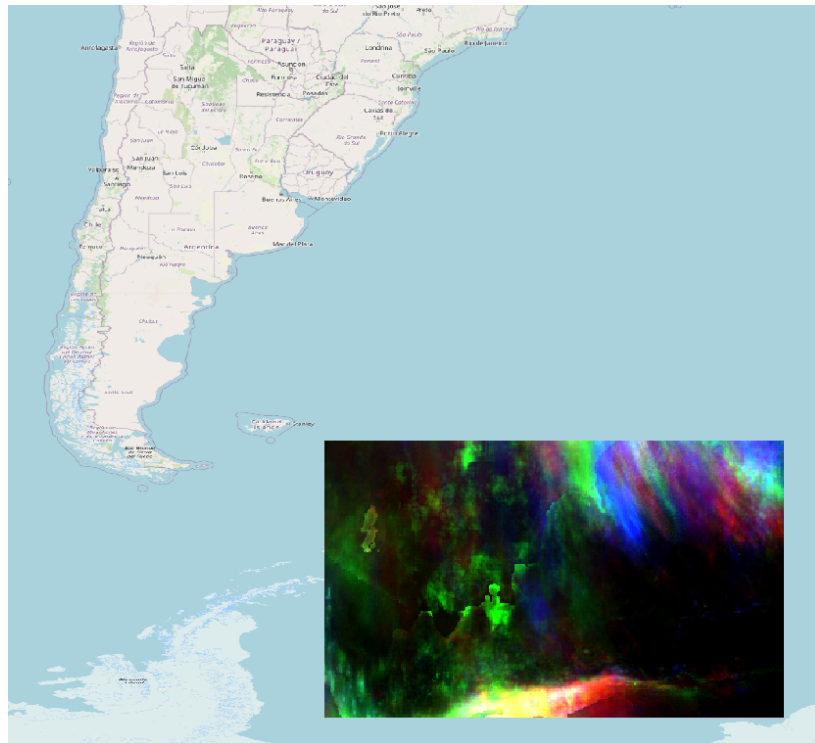


Figura 24: Visualización de archivo IMERG_concat en QGIS.

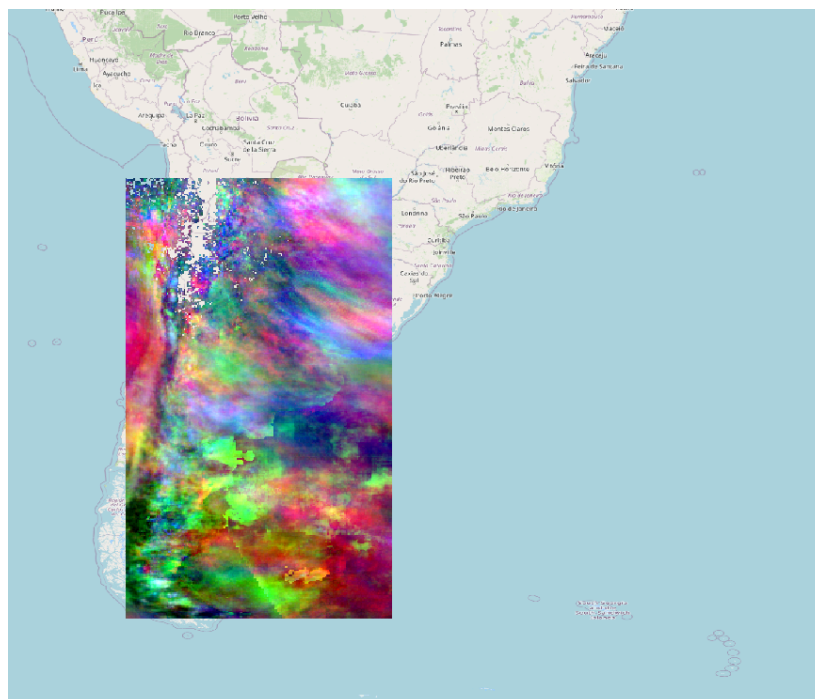


Figura 25: Visualización de archivo SPI escala 1 Gamma Reordenado en QGIS.

3. Es posible efectuar un corte geoespacial sobre los archivos de SPI para que los datos a visualizar únicamente estén validados y contenidos en el territorio argentino. Para llevar a cabo dicha tarea, es necesario utilizar un archivo shape con el contorno de Argentina para poder efectuar el corte. Los archivos shape deben ser añadidos a QGIS como archivos de tipo vectorial, por lo que una vez cargado el mismo, se procede a efectuar el corte sobre el archivo raster deseado, seleccionando el sistema de referencia de coordenadas como EPSG:4326 - WGS 84 para que el archivo se ubique de forma correcta geográficamente. A continuación, se visualiza el resultado final del corte (Figura 26) sobre el archivo de SPI de escala un mes:

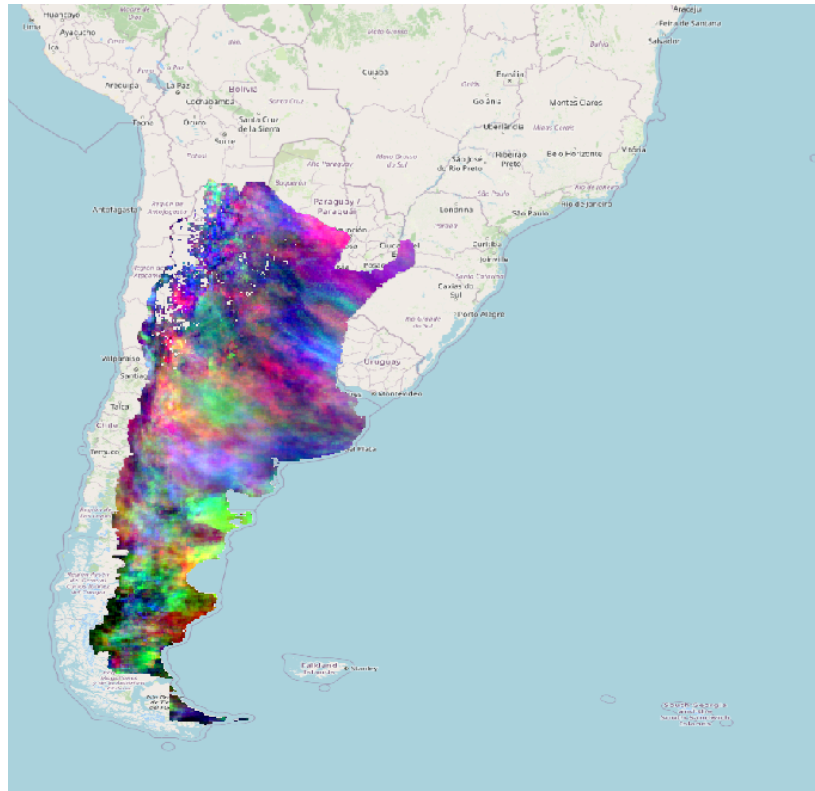


Figura 26: Visualización de archivo SPI escala 1 Gamma Reordenado y con Corte en Argentina en QGIS.

4. Para mejorar la visualización de los archivos, es posible cambiar el estilo de los mismos. Para ello se define una cierta gama de colores que se distribuye en función de diferentes valores, por lo que dependiendo de un valor será el color que va a adquirir cierto punto en el mapa. Por ejemplo, para el caso del SPI, se define un intervalo de siete rangos de valores (Figura 27) para representar cada una de las diferentes condiciones del índice en función de sus valores, y se añade un color para cada intervalo. Al aplicar el estilo es posible visualizar los cambios aplicados en la capa (Figura 28).

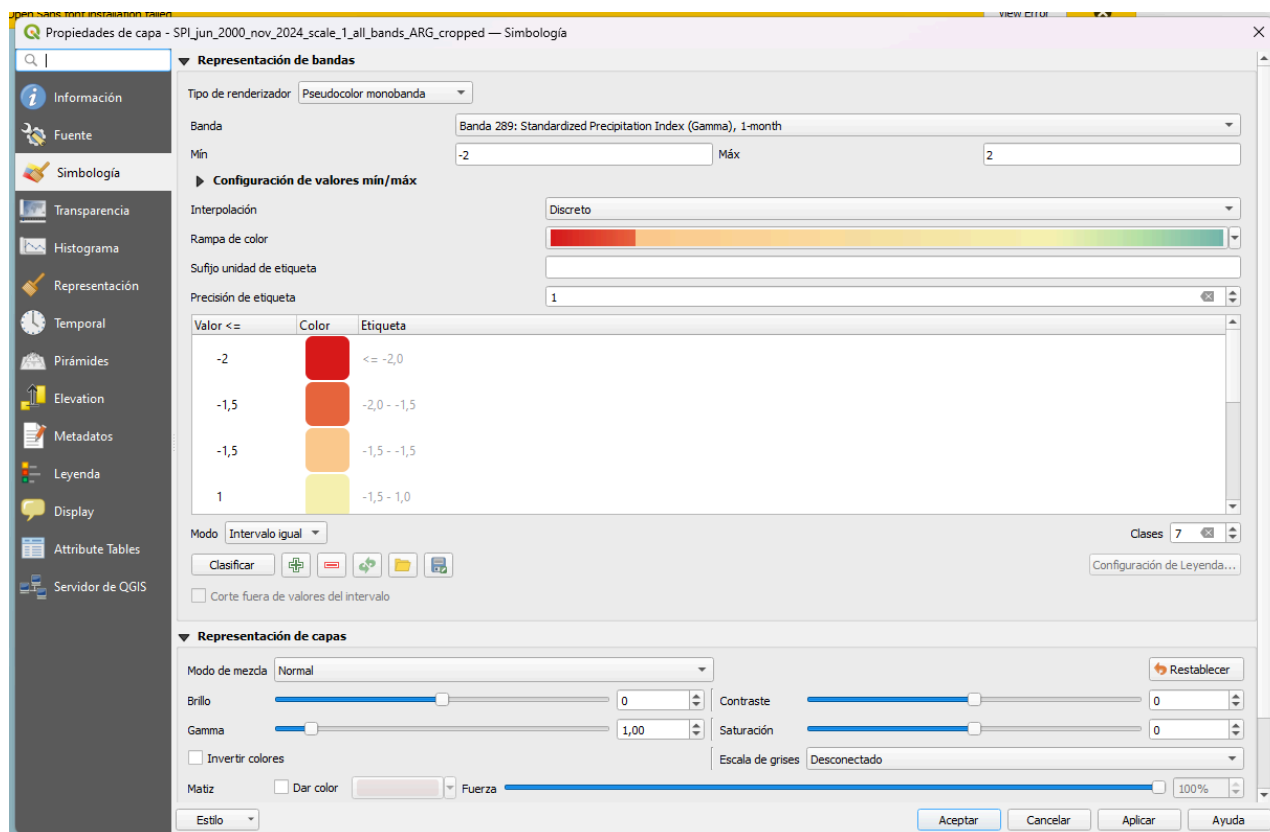


Figura 27: Configuración de estilo para archivo SPI escala 1 Gamma Reordenado y con Corte en Argentina en QGIS.

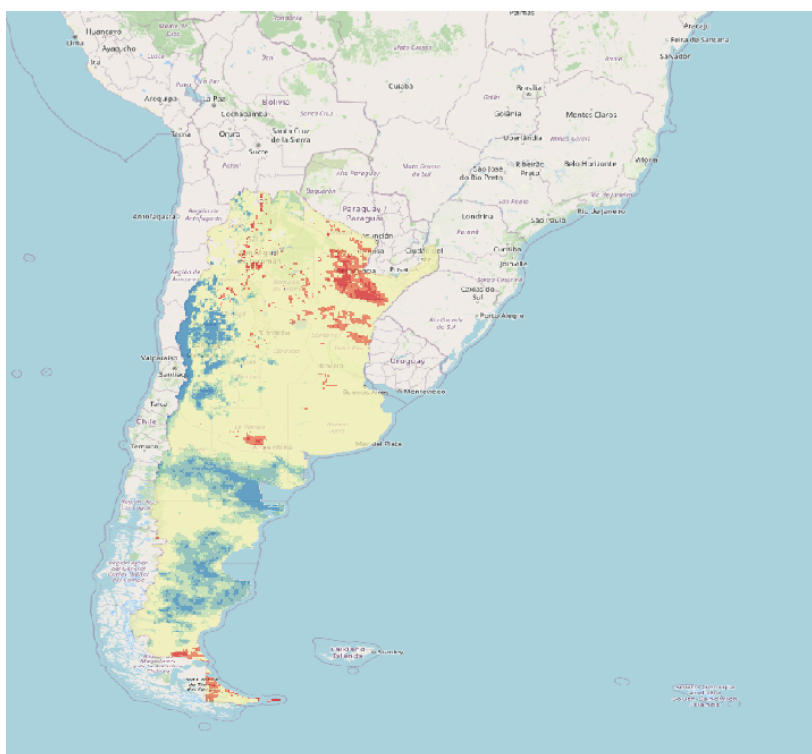


Figura 27: Visualización de estilo aplicado en archivo SPI escala 1 Gamma Reordenado y con Corte en Argentina en QGIS.

5. Finalmente, es posible visualizar el valor de cada una de las bandas de los archivos en un punto en el espacio. Ya sean los valores de precipitación en milímetros de todos los acumulados mensuales del archivo PTM o los valores de SPI en todas las bandas de calibración, para todas las escalas. A continuación, se visualizan los valores de todas las bandas del SPI de escala un mes (Figura 27) para un píxel (de 100 km²) dentro de la región de Argentina

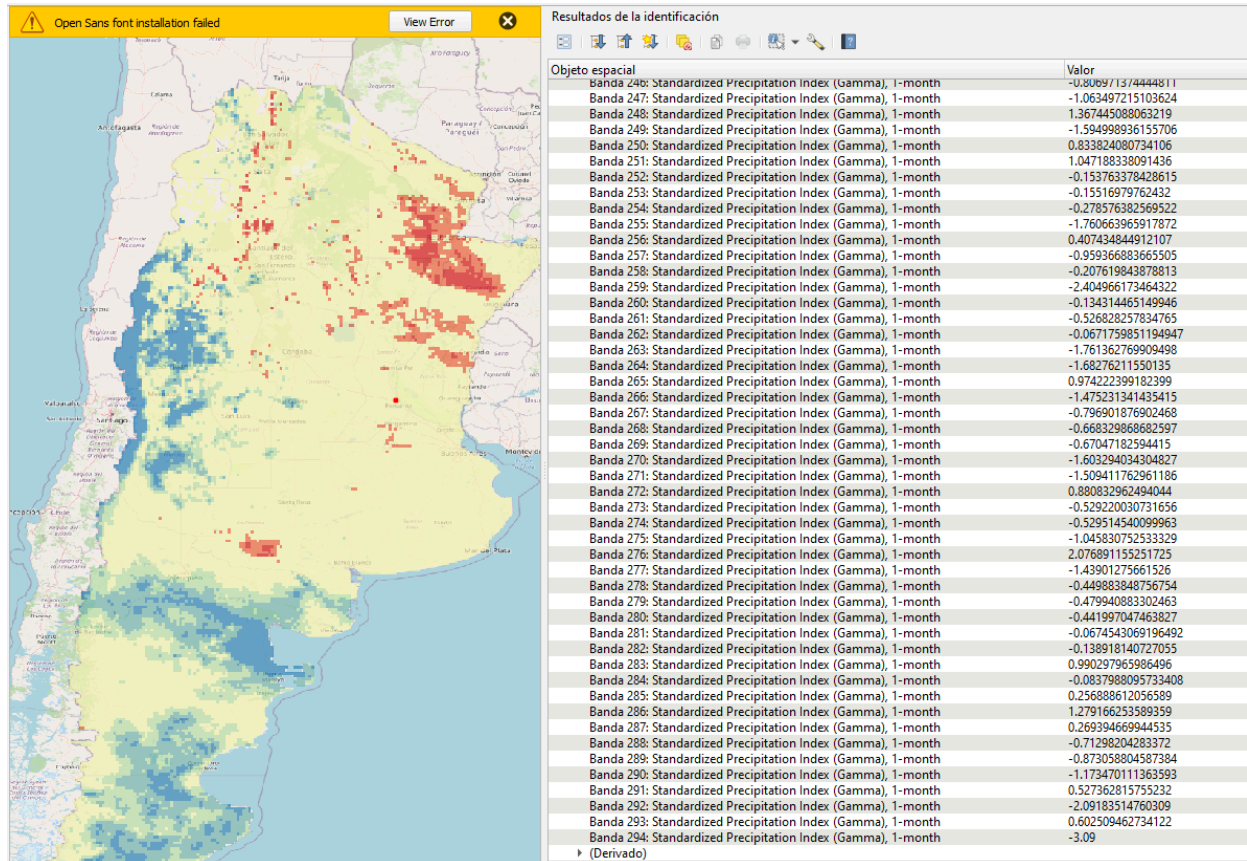


Figura 27: Visualización de bandas en archivo SPI escala 1 Gamma Reordenado y con Corte en Argentina en QGIS.

4.3. Opciones Similares en el Mercado

Como parte de la investigación de una solución óptima para el desarrollo de un sistema que calcule de forma automatizada el SPI y que permita su visualización a través de una interfaz gráfica, a continuación se listan diferentes sistemas que utilizan variables hidrológicas y que son utilizadas para la Gestión del Recurso Hídrico desde el punto de vista de la ciencia e investigación, la meteorología, la gestión de riesgos, la visualización de la variabilidad climática, y de la producción agrícola. Además, estas herramientas, a pesar de ofrecer servicios y funcionalidades diferentes, comparten la particularidad de ser sistemas web.

4.3.1 Sistema de Información sobre Sequías para el Sur de Sudamérica (SISSA)

El SISSA es el Sistema de Información sobre Sequías para el sur de Sudamérica, el cual provee herramientas e información sobre las sequías y sus impactos a gobiernos, instituciones no gubernamentales y privadas, e individuos. Es una institución virtual en la que participan agencias gubernamentales, instituciones académicas, organizaciones no gubernamentales y el sector privado de los países miembros del Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur (CRC-SAS): Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay.

- Acceso: <https://sisa.crc-sas.org/monitoreo/>

El SISSA tiene como propósito principal:

- Reemplazar las acciones reactivas frente a una sequía por un enfoque proactivo que permita gestionar riesgos y reducir vulnerabilidades.
- Proveer herramientas, datos y análisis para anticipar impactos en sectores económicos y comunidades.
- Facilitar la planificación y preparación previa a eventos de sequía, para mitigar daños, aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad.
- Contribuir a reducir los impactos económicos, sociales y ambientales de las sequías en sectores como la producción agropecuaria, la generación hidroeléctrica y la navegación fluvial.
- Mejorar las capacidades institucionales regionales en términos de gobernanza y gestión de riesgos.

El servicio provisto utiliza como dato de entrada fundamental el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), pero el cálculo es efectuado utilizando imágenes satelitales CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data), que son utilizadas principalmente para agronomía.

Dentro de las funcionalidades de monitoreo y visualización que el sistema provee se encuentran:

- Estado actual de la sequía: Mapas y visualizaciones que resumen el estado actual de la sequía en el sur de Sudamérica.
- Índices de sequía en estaciones meteorológicas: Visualizaciones de diferentes índices de sequía calculados a partir de datos de estaciones meteorológicas.
- Estimaciones de precipitación con CHIRPS: Mapas y visualizaciones de precipitación (totales, anomalías, percentiles e índice SPI) para períodos de 3, 6 y 12 meses.
- Los datos de precipitación provienen del producto satelital CHIRPS.

4.3.2 Sistema de Gestión de Amenazas (SGA)

El Sistema de Gestión de Amenazas Hidrológicas (SGA) es una aplicación en línea desarrollada por el CIRSA del INA para la gestión de alertas hidrológicas en base a la información suministrada por el Sistema de Adquisición de Datos Hidrometeorológicos en Tiempo Real de la provincia de Córdoba.

- Acceso: <https://sgainacirsa.ddns.net/cirsa/>

El SGA tiene como propósito:

- Proveer información para los sistemas de alerta temprana de lluvias mediante datos hidrometeorológicos en tiempo real.
- Procesar y presentar información hidrológica utilizando algoritmos supervisados por profesionales del INA-CIRSA.
- Facilitar la visualización de datos para la gestión de riesgos y la planificación ante eventos meteorológicos severos.

Aunque los datos son referenciales y sujetos a revisión, el sistema ofrece herramientas útiles para la interpretación de fenómenos hidrológicos. Entre las funcionalidades del SGA se encuentran:

- Gestión de datos hidrometeorológicos: Recolecta datos en tiempo real desde estaciones de medición instaladas en campo con tecnología ALERT.
- Visualización de información meteorológica: Presenta imágenes generadas por el Sistema Nacional de Radares Meteorológicos (SiNaRaMe), que muestran el Factor de Reflectividad Equivalente, útil para identificar eventos atmosféricos severos como tormentas intensas o granizo.
- Alertas tempranas: Ofrece información hidrometeorológica esencial para sistemas de alerta temprana de lluvias, promoviendo una mejor respuesta ante eventos climáticos.

Aunque cuenta con niveles de acceso según el tipo de usuario, el sistema es de acceso libre y no requiere usuario ni contraseña.

4.3.3 Precipitaciones Diarias de Diseño a partir de datos satelitales

El Grupo de Investigación, Desarrollo y Transferencia en Recursos Hídricos y Saneamiento (GRHiS) de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, desarrollo el Mapa de Precipitaciones Diarias de Diseño a partir de datos satelitales.

- Acceso: <https://mapascordoba.gob.ar/viewer/mapa/461>

El sistema web muestra la distribución espacial de las precipitaciones diarias de diseño, con una resolución de 5 km y una cobertura temporal de entre 2 y 100 años. Fue generado a partir del procesamiento de datos derivados del satélite DPDS del producto CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data), calibrados en base a 64 estaciones pluviométricas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y validados con 30 estaciones seleccionadas del Servicio Nacional de Información Hídrica (SNIH).

Las precipitaciones de diseño son un insumo básico en las tareas de diseño hidrológico. Son utilizadas por ingenieros (civiles, ambientales, agrónomos), geólogos, entre otros profesionales, para estimar en forma indirecta los caudales erogados por una cuenca hidrográfica, en especial aquellas que no cuentan con registros de caudales.

Los datos elaborados por el grupo de investigación, alcanzan prácticamente la totalidad (95%) del territorio continental argentino, exceptuando la Isla Grande de Tierra del Fuego y el extremo sur de Santa Cruz.



Este recurso integra información de radios municipales, datos de cuerpos de agua naturales, embalses y cursos de agua de la Administración Provincial de Recursos Hídricos (APRHI) y el catastro parcelario, lo que permite consultar información específica para una ciudad, sector urbano o área rural. De igual modo, posibilitan a los usuarios localizarse por el número de cuenta de Rentas, la nomenclatura catastral, nombre de la localidad o lugar, o las coordenadas que brinda el GPS del celular.

Los datos de precipitaciones modelados, pueden visualizarse en los mapas online o bien, descargarse o consumirse en línea como Geoservicios, ya sea para usar en un SIG de escritorio (QGIS, ArcGIS, AutoCAD Map, etc.) o soluciones geográficas personalizadas.

4.3.4 Sistema de Alerta Temprana (SAT)

El Sistema de Alerta Temprana (SAT) es una herramienta desarrollada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) que ofrece información oportuna frente a la posible ocurrencia de una amenaza meteorológica, con el objetivo de apoyar la toma de decisiones de todos los sectores de la población. El SAT proporciona a la sociedad un sistema de información gráfica sobre potenciales amenazas meteorológicas y su vigilancia. El fin del SAT es ayudar a tomar medidas pertinentes ante un posible riesgo.

- Acceso: <https://www.smn.gob.ar/alertas>

Las advertencias y los alertas brindan información para que la población se informe o prepare con anticipación al fenómeno meteorológico. Generalmente se emiten 24, 48 o 72 horas previas al evento. Por otro lado, los Avisos a muy Corto Plazo (ACP) instan a la población a tomar acciones rápidamente, ya que el fenómeno puede ocurrir desde unos pocos minutos hasta 3 horas luego de su emisión.

En este sistema, el SMN unifica la comunicación de los alertas, las advertencias y los ACP. El SAT está diseñado para que el usuario pueda visualizar rápidamente qué región del país puede ser afectada por fenómenos meteorológicos adversos, el nivel de intensidad de los fenómenos y el tiempo de duración de la situación meteorológica.

A continuación, se listan algunas de las características que tiene el SAT:

- Unifica en un mismo sector la información sobre las advertencias, los alertas y los avisos a muy corto plazo
- Toda la información se muestra en mapas.
- En los alertas se usa una escala de colores para identificar la intensidad del fenómeno.
- En alertas y advertencias se incluyen símbolos para representar a los fenómenos que constituyen una posible amenaza.
- Los alertas y las advertencias están acompañadas de una línea de tiempo para conocer la evolución de la intensidad de los fenómenos y un texto descriptivo de la situación meteorológica prevista.
- Los alertas y las advertencias incluyen las medidas de prevención.



4.4. Tecnologías Disponibles

En la presente sección se detallan diferentes productos y herramientas, implementadas en el desarrollo de software, manipulación de datos geoespaciales, almacenamiento de datos y testing. El relevamiento y la comprensión sobre el propósito y el funcionamiento de dichas tecnologías, constituye un proceso fundamental en el marco de la búsqueda de una solución óptima y eficiente.

4.4.1 Lenguajes de Programación

4.4.1.1 Python

Python es un lenguaje de programación de alto nivel interpretado. Se clasifica como uno de los lenguajes de programación más populares, y se caracteriza por ser multiparadigma, ya que soporta parcialmente la orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional. El mismo posee una licencia de código abierto que se puede descargar de forma gratuita.

Los beneficios de Python incluyen los siguientes:

- Sintaxis simple y similar al inglés, fácil de leer y comprender.
- Incluye una amplia biblioteca estándar con códigos reutilizables para diversas tareas.
- Cuenta con una comunidad global activa que brinda soporte rápido.
- Es compatible con múltiples sistemas operativos como Windows, macOS, Linux y Unix.

Python se aplica a varios casos de uso, algunos de estos son:

- Desarrollo web: Se utiliza para funciones complejas de backend en sitios web.
- Automatización: Permite automatizar tareas repetitivas mediante scripts.
- Ciencia de datos y machine learning.
- Desarrollo de software: Ayuda a depurar, crear y administrar proyectos, y a desarrollar aplicaciones con interfaces gráficas de usuario (GUI).

Python posee las siguientes características que lo diferencian de los otros lenguajes de programación:

- Interpretado: Ejecuta el código línea por línea, deteniéndose en caso de error para facilitar la depuración.
- Fácil de usar: Emplea palabras similares al inglés y usa sangría en lugar de llaves.
- Tipado dinámico: No requiere declarar tipos de variables; los asigna en tiempo de ejecución.
- Alto nivel: Es cercano al lenguaje humano y abstrae la arquitectura y administración de memoria.
- Orientado a objetos: Trata todo como objetos, pero admite programación estructurada y funcional.

4.4.1.2 JavaScript

JavaScript es un lenguaje de programación interpretado utilizado para desarrollar páginas web interactivas. Es interpretado porque su código se ejecuta directamente por el motor de JavaScript en tiempo de ejecución, sin necesidad de ser compilado previamente a un lenguaje máquina.

Desde actualizar fuentes de redes sociales a mostrar animaciones y mapas interactivos, las funciones de JavaScript pueden mejorar la experiencia del usuario de un



sitio web. Como lenguaje de scripting del lado del servidor, se trata de una de las principales tecnologías de la World Wide Web.

Anteriormente, las páginas web eran estáticas, a través de las cuales mostraban principalmente información en un diseño fijo y no todo aquello que esperamos de un sitio web moderno. JavaScript surgió como una tecnología del lado del navegador para hacer que las aplicaciones web fueran más dinámicas. Por medio de JavaScript, los navegadores son capaces de responder a la interacción de los usuarios y cambiar la distribución del contenido en la página web.

- JavaScript del lado del cliente: Funciona en el navegador con un motor de JavaScript incorporado para interactuar con HTML y CSS mediante eventos como clicks o movimientos del mouse.
 - Modelo DOM: El navegador convierte la página y sus elementos en el modelo de objetos del documento (DOM) al cargarla.
 - Conversión de código: El motor JavaScript traduce el código en código intermedio que es interpretado para modificar el DOM según los eventos.
 - Actualización del DOM: Los cambios realizados por JavaScript en el DOM se reflejan en la visualización de la página en el navegador.
- JavaScript del lado del servidor: Se ejecuta en el servidor, accediendo a bases de datos, realizando operaciones lógicas y personalizando respuestas basadas en derechos de acceso y solicitudes.

HTML, CSS y JavaScript trabajan conjuntamente para crear una experiencia positiva para el usuario en cualquier sitio. Aunque HTML y CSS principalmente pueden manipular el contenido estático, también se pueden integrar con el código JavaScript del cliente para actualizar el contenido de forma dinámica.

El uso de JavaScript provee los siguientes beneficios:

- Fácil de aprender: Su sintaxis basada en Java es sencilla de entender y codificar.
- Independencia de plataformas: Funciona en cualquier página web y máquina, siendo compatible con diversos marcos y lenguajes.
- Reduce la carga del servidor: Realiza operaciones lógicas en el cliente, disminuyendo la congestión de red.
- Mejora la interfaz: Permite crear sitios web sofisticados que optimizan la experiencia del usuario.
- Admite simultaneidad: Permite la ejecución de múltiples instrucciones en paralelo.

4.4.2 Entornos Virtuales en Python

Un entorno virtual de Python es un espacio aislado que incluye su propia versión específica de Python junto con las librerías y dependencias necesarias para un proyecto particular. Estos entornos permiten gestionar proyectos de manera independiente, evitando conflictos entre versiones de paquetes y librerías instaladas en el sistema operativo o en otros proyectos.

La utilidad de los entornos virtuales radica en su capacidad para mantener la consistencia en las dependencias, lo que resulta especialmente importante en proyectos de mediana o gran escala. Al trabajar con diversas versiones de librerías, que a menudo tienen interdependencias específicas, los entornos virtuales aseguran que cada proyecto opere en un entorno controlado sin afectar la instalación base de Python ni comprometer la estabilidad del sistema operativo.

Asimismo, esta práctica protege la configuración principal de Python, permitiendo crear y utilizar múltiples entornos virtuales con diferentes configuraciones según las necesidades del proyecto. En caso de que un entorno virtual falle, la instalación base de Python permanece intacta.

Los entornos virtuales de Python nos van las siguientes ventajas:

- Aislamiento de proyectos: Permite ejecutar proyectos con diferentes versiones de Python o bibliotecas sin conflictos.
- Entornos específicos: Cada proyecto usa un entorno virtual configurado con las bibliotecas necesarias.
- Protección del entorno global: Evita errores y la sobreescritura no deseada en la instalación global de Python.
- Compatibilidad garantizada: Asegura que cada proyecto utilice la versión adecuada de Python y sus bibliotecas.
- Facilita el mantenimiento: Agiliza pruebas y refactorización de código al mantener entornos independientes.

La instalación base de Python es la configuración inicial de este lenguaje en un sistema operativo. Puede provenir de la distribución oficial descargada desde el sitio web de Python o de Anaconda, una distribución que incluye herramientas y librerías populares para análisis de datos y aprendizaje automático, junto con una interfaz gráfica y el gestor de paquetes y entornos Conda.

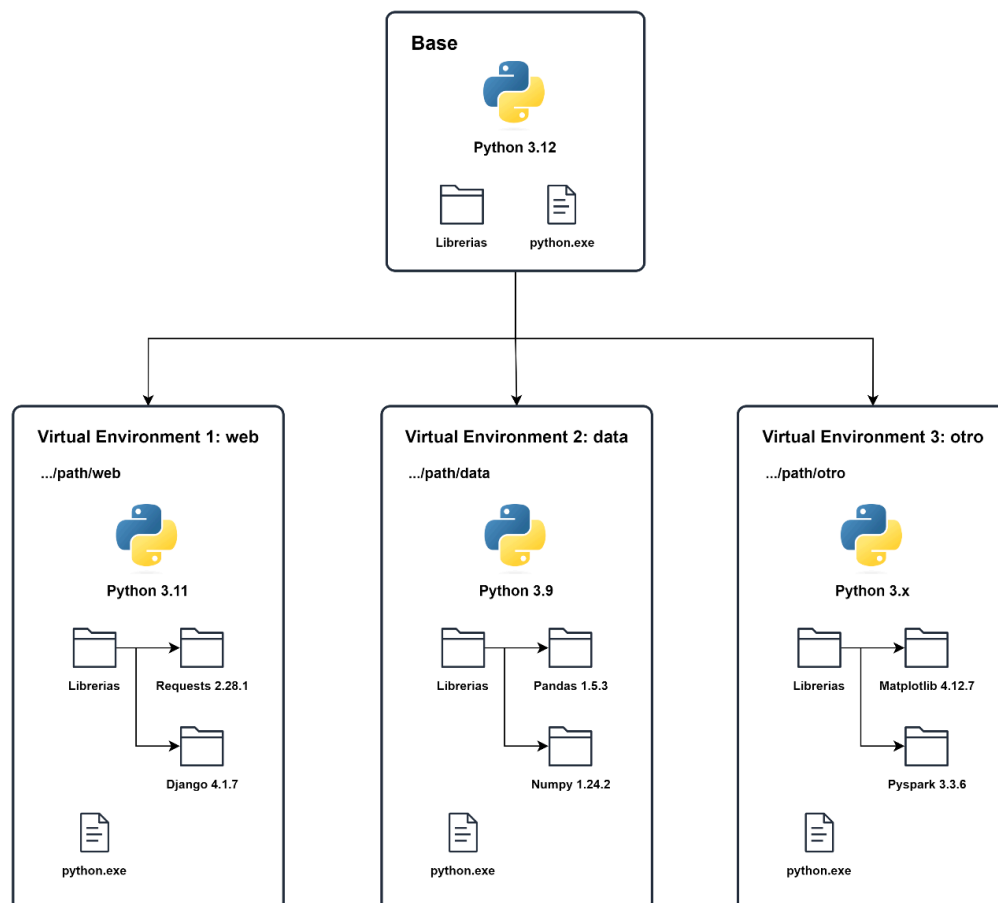


Figura 28: Entornos Virtuales de Python.



A partir de esta instalación base, se pueden crear múltiples entornos virtuales con configuraciones específicas (Figura 28), como diferentes versiones de Python o librerías. Sin embargo, si todos los proyectos comparten las dependencias globales de la instalación base, cualquier cambio en estas podría afectar el funcionamiento de otros proyectos con requisitos distintos. Por ello, instalar librerías de manera global no es recomendable, ya que puede generar conflictos y complicar la gestión de dependencias.

Los entornos virtuales solucionan este problema al aislar las configuraciones de cada proyecto, permitiendo trabajar con dependencias específicas sin interferencias. Por ejemplo, un entorno "web" puede incluir Python y librerías como Django o Requests, mientras que otro entorno "data" podría utilizar una versión distinta de Python y librerías como Pandas o NumPy. Estos entornos, definidos en rutas específicas, facilitan la organización y estabilidad de los proyectos según sus requisitos individuales.

4.4.2.1 Venv

Venv es la herramienta estándar de Python para crear entornos virtuales aislados. Está integrado en Python, es decir, su uso está disponible una vez que instalamos Python en el sistema desde el sitio web oficial, por ende, decimos que es nativo de Python.

Sus ventajas son:

- Simplicidad: Se centra únicamente en la creación de entornos Python aislados.
- Ligero: Es parte de la biblioteca estándar de Python, por lo que no hay nada adicional que instalar.
- Especificidad: Es específico de Python, lo que la convierte en una herramienta enfocada para los desarrolladores de dicho lenguaje.

Se recomienda su uso en los siguientes casos:

- Proyectos centrados o que son puramente de Python.
- Necesidades ligeras: Proyectos más pequeños o simples.
- Distribución estándar de Python: Es decir, cuando no se trabaja con Anaconda.

4.4.2.2 Conda

Conda es un administrador de paquetes y entornos virtuales, multiplataforma, que se instala como complemento del software Anaconda.

Sus ventajas son:

- Versatilidad: Gestiona tanto paquetes como entornos virtuales.
- Gestión de paquetes: Permite instalar paquetes de múltiples bibliotecas de Python.
- Gestión de entornos: Soporta dependencias tanto de Python como de otros lenguajes.
- Dependencias complejas: Ideal para proyectos con redes de dependencias no solo de Python.
- Ciencia de datos: Muy utilizado en análisis de datos por su integración con paquetes específicos.
- Desarrollo multiplataforma: Ofrece una gestión coherente de entornos entre diferentes plataformas.



4.4.3 Interfaces Gráficas en Python

4.4.3.1 Tkinter

Tkinter es una librería por defecto del lenguaje de programación Python utilizada para la creación y el desarrollo de aplicaciones de escritorio. Dicha librería posee un kit de herramientas para el desarrollo de interfaces gráficas de usuario (GUI) que funcionan en los sistemas operativos Windows, Mac OS y Linux. Además, está diseñado y preparado para lenguajes dinámicos con un alto nivel, como pueden ser Ruby o Perl, entre otros.

La misma funciona mediante:

- **Widgets:** Controles de las ventanas de aplicación, los cuales se encargan de realizar las acciones de la aplicación creada. Pueden ser cuadros de texto (donde el usuario podrá escribir), etiquetas de texto (el programa comunicará texto que no se podrá modificar), botones, e inclusive la ventana principal de la aplicación es un widget en sí mismo. Los controles tienen una posición y estilo que pueden modificarse. Además, responderán acciones del usuario, es decir, los eventos gestionados.

4.4.3.2 CustomTkinter

CustomTkinter es una extensión del módulo Tkinter en Python. Proporciona elementos de interfaz de usuario adicionales en comparación con Tkinter y se pueden personalizar de varias formas posibles. Por ejemplo, es posible personalizar un botón, realizar personalizaciones como agregar una imagen, redondear los bordes, agregar bordes alrededor, etc. Al ser una biblioteca para interfaz de usuario para Python que se basa en Tkinter, utiliza todo el código de este último y añade el suyo propio. Esta biblioteca proporciona a su vez widgets completamente personalizables, modernos y visualmente muy atractivos. Por otro lado, tanto Tkinter como CustomTkinter comparten la misma sintaxis.

4.4.3.3 Flet

Flet es un framework que permite crear interfaces gráficas de usuario (GUI). Python habilita la construcción fácil y rápida de aplicaciones Flutter por medio de Flet. Flutter es un marco de código abierto de Google para crear aplicaciones multiplataforma, pero utilizando como lenguaje de programación base Dart. En este caso, Flet permite a los desarrolladores crear fácilmente aplicaciones web, móviles y de escritorio en tiempo real en Python, sin la necesidad de requerir experiencia en desarrollo frontend.

Algunas de sus características son:

- Desarrollo rápido de aplicaciones.
- Arquitectura monolítica sencilla.
- Únicamente necesita de un IDE para su ejecución, sin la necesidad de instalar dependencias específicas.
- Es independiente del idioma, por lo que se puede desarrollar aplicaciones mediante Python, Go, C#, entre otros.



4.4.4 Herramientas Geoinformáticas

4.4.4.1 Google Earth Engine

Google Earth Engine es una plataforma geoinformática basada en la nube que permite a los usuarios visualizar y analizar imágenes de satélites del planeta tierra. Científicos, investigadores, desarrolladores y organizaciones sin fines de lucro utilizan Google Earth Engine para llevar a cabo estudios de teledetección remota, predecir brotes de enfermedades, gestionar recursos naturales, detectar cambios, mapear tendencias y cuantificar diferencias en la superficie de la Tierra.

El catálogo de Earth Engine es uno de los catálogos de datos públicos más grandes, con más de 90 petabytes de imágenes satelitales listas para el análisis y más de 1000 conjuntos de datos geoespaciales seleccionados. Incluye más de 50 años de imágenes históricas, actualizadas y ampliadas a diario, en resoluciones de un metro por píxel. Algunos ejemplos incluyen Landsat, MODIS y Sentinel, el Programa Nacional de Imágenes de la Agricultura (NAIP), datos climáticos y meteorológicos como las imágenes satelitales IMERG y CHIRPS, datos geofísicos, incluidos los datos del terreno, la cobertura terrestre y las tierras de cultivo. El catálogo ofrece datos sobre todo el planeta, lo que permite a los usuarios comprender los cambios en la Tierra que son relevantes para sus objetivos de sustentabilidad.

Google Cloud hace posible la ejecución en paralelo de procesamientos a gran escala con miles de computadoras. La combinación del catálogo de datos de Earth Engine con la capacidad computacional y las herramientas de análisis de datos de Google Cloud hace que de la misma una plataforma revolucionaria para analizar y visualizar datos de la Tierra a gran escala.

Editor de código

El editor de código de Earth Engine es un entorno de programación basado en la Web diseñado para que el desarrollo de flujos de trabajo geoespaciales complejos sea más rápido y fácil con los siguientes elementos:

- Editor de código JavaScript.
- Visualización del mapa para visualizar conjuntos de datos geoespaciales.
- Consola de resultados.
- Herramientas de dibujo de geometría.

Por otro lado, se provee una API de Python para Earth Engine que permite a los usuarios utilizar las herramientas de Python para el aprendizaje automático y el análisis, incluidas las destinadas a cargas de trabajo geoespaciales, como GeoTiffs y GeoPandas optimizados para Cloud.

Además, es posible acceder al editor de código a través de una cuenta comercial o empresarial, o a través de una cuenta no comercial o gratuita.



Precios para investigación comercial

Los precios de Earth Engine se basan en el uso de los recursos (unidades de procesamiento y almacenamiento) y una tarifa mensual de la plataforma. Las tarifas de la plataforma se cobran mensualmente, y los créditos se vuelven a cargar al comienzo de cada ciclo de facturación y se prorratan para meses parciales. Una vez que se agoten los créditos, se aplicarán tarifas por uso estándar.

El costo de los planes es el siguiente:

Planes y uso	Descripción	Precio (USD) por mes
Básico	Ideal para organizaciones con equipos y cargas de trabajo pequeñas. Incluye 2 licencias de desarrollador, 20 solicitudes simultáneas a la API de gran volumen y hasta 8 tareas de exportación por lotes simultáneas.	\$500
Professional	Ideal para organizaciones con equipos de tamaño moderado y cargas de trabajo predecibles, urgentes y a gran escala. Incluye 5 licencias de desarrollador, 500 solicitudes simultáneas a la API de gran volumen y hasta 20 tareas de exportación por lotes simultáneas.	\$2000
Premium	Ideal para equipos más grandes con cargas de trabajo a gran escala, urgentes y críticas para la empresa. Las asignaciones del plan Premium se pueden personalizar. Comunícate con tu representante de ventas de Google Cloud para obtener más información.	Es necesario comunicarse con el servicio de ventas.

Tabla 3: Precio de planes de Google Earth Engine.

Las Earth Engine Compute Units (EECU) representan una unidad de medida de potencia de procesamiento en Google Earth Engine. Es un concepto utilizado para cuantificar el uso de cómputo, es decir, la capacidad de procesamiento necesaria para realizar operaciones en la plataforma. Las EECU permiten facturar el consumo de cómputo de manera precisa.

Los precios de procesamiento se cobran por hora de EECU y las tarifas varían según el entorno de procesamiento que se utilice.

- Asignación de EECU: Cada tarea que se ejecuta en Google Earth Engine, ya sea de procesamiento en línea o por lotes, consume una cantidad específica de EECU en función de los recursos de procesamiento utilizados. Esta cantidad depende de la complejidad y el tamaño de los datos procesados.
- Consumo: El consumo de EECU aumenta a medida que se realizan operaciones más intensivas en el cómputo. Por ejemplo, tareas complejas como el análisis de grandes áreas geográficas o el procesamiento de datos históricos en grandes volúmenes pueden requerir más EECU.

Tenemos dos tipos de cómputo EECU:

- Cómputo en línea: Procesos en tiempo real que generan resultados inmediatos.



- **Cómputo por lotes:** Procesos que pueden programarse para ejecutarse en segundo plano, lo que resulta en una tarifa más baja por EECU en comparación con el cómputo en línea.

A continuación, visualizamos las tarifas por uso de cómputo (procesamiento) y almacenamiento. El uso se factura según el modelo de pago por uso, donde se paga por el procesamiento y almacenamiento de datos.

- **EECU en línea:** Ejecuta los cálculos de forma síncrona y, además, incluye el resultado directamente en la respuesta.
 - \$1,33 USD por hora de EECU.
- **EECU por lotes:** Ejecuta cálculos de forma asíncrona y genera resultados para acceder a ellos más tarde (en Google Cloud Storage, en el almacén de recursos de Earth Engine, etcétera).
 - \$0,40 USD por hora de EECU.
- **Almacenamiento:** \$0.026 USD por GB al mes.

Límites para investigación no comercial

Google Earth Engine sigue disponible sin costo adicional para organizaciones sin fines de lucro, científicos investigadores y otros usuarios de impacto, para sus proyectos de investigación y no comerciales.

A continuación, se detallan los principales límites aplicables a la versión no comercial:

- **Máximo de solicitudes concurrentes:** 40 solicitudes simultáneas por proyecto.
- **Tasa máxima de solicitudes:** 100 solicitudes por segundo (6000 por minuto) por proyecto y por cuenta.
- **Promedio de tareas concurrentes:** 2 tareas en promedio por proyecto.
- **Espacio máximo de almacenamiento:** 250 Gigabytes por proyecto.
- **Número máximo de activos:** 10000 activos por proyecto.

Estos límites son adecuados para proyectos de investigación que requieren un análisis de datos geoespaciales de complejidad media. Sin embargo, para proyectos comerciales o de mayor envergadura, podrían ser necesarios planes con mayores capacidades para evitar interrupciones o limitaciones en el flujo de trabajo.

Implementación de API

Google Earth Engine es una API de Google Cloud, lo que implica que todas las interacciones con Earth Engine se gestionan a través de proyectos de Google Cloud. Esta integración permite a los usuarios aprovechar las capacidades de Google Cloud Platform (GCP), como la gestión de recursos, control de acceso y facturación centralizada.

Un proyecto de Google Cloud actúa como un contenedor que organiza todos los recursos y servicios relacionados con una aplicación o conjunto de aplicaciones. En el contexto de GEE, un proyecto de Google Cloud es esencial para:

- **Habilitar la API de Earth Engine:** Para utilizar GEE, es necesario habilitar su API en un proyecto de Google Cloud.
- **Gestión de recursos y permisos:** Los proyectos permiten asignar roles y permisos específicos, controlando quién puede acceder y modificar los recursos de GEE.
- **Facturación y monitoreo:** Los proyectos facilitan el seguimiento del uso de recursos y los costos asociados, proporcionando transparencia y control sobre el consumo.



Todos los usuarios de GEE deberán utilizar un proyecto de Google Cloud para acceder a la plataforma. Esta transición busca mejorar la seguridad, escalabilidad y gestión de recursos. Los usuarios deben crear y configurar un proyecto de Google Cloud, habilitar la API de Earth Engine y registrar el proyecto para su uso con GEE.

La API de Earth Engine permite a los desarrolladores interactuar con GEE, facilitando la creación de aplicaciones personalizadas y automatización de flujos de trabajo. La API está disponible para los lenguajes de programación JavaScript y Python, y se puede utilizar en diferentes entornos, como aplicaciones web del lado del cliente.

Google Cloud ofrece una prueba gratuita donde es posible explorar y evaluar los diferentes productos y servicios de Google Cloud, incluyendo para este caso la API de Google Earth Engine.

Los detalles de la prueba gratuita son los siguientes:

- Duración: 90 días a partir de la activación.
- Créditos: \$300 USD para gastar en cualquier servicio de Google Cloud.
- Nivel gratuito: Acceso a más de 20 productos con uso gratuito dentro de límites mensuales específicos.

Durante la prueba gratuita, es posible habilitar y utilizar la API de Earth Engine dentro de los créditos disponibles. Es importante monitorear el uso para no exceder los créditos asignados.

Los costos de la API de Earth Engine son los mismos que se establecen en la sección de precios para investigación comercial.

Una vez finalizada la prueba gratuita o agotados los créditos, se aplicarán las tarifas estándar de Google Cloud para los servicios utilizados, incluyendo la API de Earth Engine. Y los costos específicos dependerán del uso sobre de los recursos.

4.4.4.2 GeoServer

GeoServer es un servidor de datos geoespaciales de código abierto, escrito en el lenguaje de programación Java, que permite a los usuarios compartir y editar datos geoespaciales. Diseñado para la interoperabilidad, GeoServer publica los datos de cualquier fuente de datos espaciales utilizando estándares abiertos.

A continuación, se mencionan algunas características:

- Posee frecuentes actualizaciones.
- Comunidad muy activa.
- Soporte para multitud de orígenes de datos.
- Interfaz amigable.
- Extensiones al estándar SLD, para el soporte de estilos CSS.

Sus componentes son los siguientes:

- Espacio de trabajo: Un espacio de trabajo o workspace es un contenedor usado para agrupar capas. Se ha diseñado para ser un espacio separado y aislado, relacionado con un determinado proyecto. Utilizando espacios de trabajo es posible utilizar capas con nombres idénticos (en otros workspaces), sin ningún conflicto. En GeoServer todas las capas y almacenes de datos deben tener un espacio de trabajo asociado (con excepción de los grupos de capas).
- Almacén de datos: Se denomina almacén de datos o store al contenedor de datos geográficos. El almacén de datos o store es el contenedor de datos geográficos. Un almacén de datos se conecta a una fuente de datos que contiene datos raster o vectoriales. Un origen de datos puede ser un archivo (como un geopackage) o grupo

de archivos, una tabla de una base de datos o un directorio. Cada almacén de datos debe estar asociado a un workspace (sólo a uno).

- Capas: Una capa se refiere a los datos raster o vectoriales que contienen los elementos geográficos. Las capas representan cada objeto geográfico (feature) que debe ser mostrado en un mapa. Geoserver almacena información asociada a la capa, como la proyección, cuadro delimitador o el estilo asociado. Cada capa debe tener asociado un workspace (espacio de trabajo).
- Grupos de capas: Un grupo de capas es un contenedor en el que las capas y otros grupos pueden ser organizados en una estructura jerárquica. Los grupos de capas también permiten combinar datos de distinta geometría y contenido. Los grupos de capas no respetan el concepto de workspace, siendo solo relevantes para las peticiones WMS.

Fuentes de datos y servicios

GeoServer puede leer de muchas fuentes de datos diferentes, desde archivos guardados en el disco local de tipo vectorial como shapefiles de ESRI, GeoPackage, bases de datos PostGIS, archivos raster como ArcGrid, GeoPackage en formato raster, GeoTIFF, ImageMosaic o WorldImage.



Figura 28: Fuentes de datos y servicios de GeoServer.

GeoServer implementa los protocolos estándares open web que establece el Open Geospatial Consortium (OGC), y es un servidor de alto rendimiento compatible con la certificación Web Map Service (WMS), y de hecho es la implementación de referencia de las normas OGC Web Feature Service (WFS) y Web Coverage Service (WCS). Además, se puede crear WPS (un Servicio de Procesamiento Web para la publicación de procesos geoespaciales, algoritmos y cálculos), y el servicio de catálogo CSW.

Interfaz de administración web

GeoServer incluye una interfaz de administración web a través de la cual es posible acceder a la mayor parte de la configuración de los datos y de los servicios. Esta interfaz reduce la necesidad de editar los archivos de configuración a mano.



Para acceder a la misma, en primer lugar debe instalarse de forma local en el sistema operativo, y luego iniciar el servicio, que correrá en un puerto determinado durante la instalación, aunque es posible especificar que el servicio inicie automáticamente. Por otro lado, para realizar la mayoría de las tareas de administración es necesario autenticarse con usuario y contraseña.

4.4.5 Frameworks y Librerías para Desarrollo Web

4.4.5.1 Flask

Flask es un micro-framework de código abierto para desarrollo web en Python. Es fácil de aprender y usar, amigable para principiantes, ya que no tiene código repetitivo ni dependencias, lo que puede distraer la atención de la función principal de una aplicación. Para su instalación es necesario contar con Python en el sistema operativo.

Algunas características que hacen de Flask un marco ideal para el desarrollo de aplicaciones web son:

- Proporciona un servidor de desarrollo backend y frontend.
- Proporciona un depurador.
- Posee un diseño liviano y modular, por lo que es fácil transformarlo en el marco web que necesita con algunas extensiones sin sobrecargarlo.
- La API de base básica posee una forma agradable y es coherente.
- La documentación de Flask es completa, está llena de ejemplos y está bien estructurada.
- Funcionalidad de manejo de solicitudes HTTP.
- Alta flexibilidad.
- La configuración es aún más flexible que la de Django, lo que le brinda una gran cantidad de soluciones para cada necesidad de producción.

Flask se conoce como microestructura porque es liviano y sólo proporciona los componentes necesarios para el desarrollo web, como enrutamiento, manejo de solicitudes, sesiones, etc. Para las otras funcionalidades, como el manejo de datos, el desarrollador puede escribir un módulo personalizado o usar una extensión. Este enfoque evita el código repetitivo innecesario, que ni siquiera se utiliza.

4.4.5.2 React

React.js, comúnmente conocido como React, es una biblioteca de JavaScript diseñada para construir interfaces de usuario. Su principal enfoque es el uso de componentes reutilizables, que representan diferentes partes de una interfaz, como una barra de navegación, un pie de página o el contenido principal. Estos componentes permiten evitar la repetición de código, al centralizar la lógica y reutilizarla en diversas partes de la aplicación.

React se utiliza para crear aplicaciones de una sola página (SPA), lo que elimina la necesidad de recargar toda la página al cambiar de contenido. En su lugar, los componentes se actualizan dinámicamente, mejorando el rendimiento y ofreciendo una experiencia de usuario fluida. La mayoría de las aplicaciones React se desarrollan con JSX, una extensión de JavaScript que combina lógica y diseño, facilitando el desarrollo aunque su uso no es obligatorio.

Antes de utilizar React, es imprescindible instalar Node.js y NPM, ya que son necesarios para su configuración y manejo de dependencias.



Las características más destacadas de React son:

- Facilidad de aprendizaje: Su extensa documentación y una comunidad activa proporcionan numerosos recursos educativos.
- Componentes reutilizables: Cada componente tiene su lógica independiente, lo que simplifica la creación y mantenimiento del código.
- Mejor rendimiento: Gracias al DOM virtual, React optimiza la renderización y, junto con bibliotecas como React Router, permite navegar entre páginas sin recargar.
- Extensibilidad: React se centra en la interfaz de usuario, permitiendo a los desarrolladores elegir otras herramientas complementarias para diseño, enrutamiento o gestión de estados según las necesidades del proyecto.

4.4.5.3 Vite

Vite es una herramienta de compilación diseñada para ofrecer una experiencia de desarrollo más rápida y eficiente en proyectos web modernos. Compatible con diversos frameworks, permite iniciar proyectos en JavaScript puro (vanilla JS) o con herramientas como Vue, React, Preact, Svelte o Lit, utilizando JavaScript o TypeScript.

Los componentes principales de Vite son:

1. Servidor de desarrollo: Proporciona funcionalidades avanzadas, como un reemplazo rápido de módulos en caliente (Hot Module Replacement, HMR), optimizando la experiencia de desarrollo.
2. Comando de compilación: Utiliza Rollup para empaquetar el código, generando recursos estáticos altamente optimizados para producción.

A medida que las aplicaciones web crecen, el número de módulos y la complejidad del código afectan la velocidad de los servidores de desarrollo, reduciendo la productividad. Vite resuelve estos problemas aprovechando avances como los módulos ES nativos en los navegadores y herramientas de JavaScript desarrolladas en lenguajes de compilación a nativo.

Vite destaca por su simplicidad, velocidad y flexibilidad en la configuración, lo que lo convierte en una herramienta ideal para proyectos en React. De hecho, la documentación oficial de React ahora recomienda Vite en lugar de "create-react-app" para la creación de nuevos proyectos. Además, Vite cuenta con una comunidad activa y una documentación extensa que facilita su adopción.

Para iniciar un proyecto, es necesario tener previamente instalados Node.js y NPM.

4.4.6 Servicio de Almacenamiento en la Nube

4.4.6.1 Amazon Simple Storage Service (Amazon S3)

Amazon Simple Storage Service (Amazon S3) es un servicio de almacenamiento de objetos que ofrece escalabilidad, disponibilidad de datos, seguridad y rendimiento líderes del sector. Los clientes de todos los tamaños y sectores pueden utilizar Amazon S3 para almacenar y proteger cualquier cantidad de datos para diversos casos de uso, tales como sitios web, aplicaciones móviles, copias de seguridad y restauración, archivado, aplicaciones empresariales, dispositivos IoT y análisis de big data.

Amazon S3 proporciona funciones de gestión para que pueda optimizar, organizar y configurar el acceso a sus datos para satisfacer sus requisitos empresariales, organizativos y de conformidad específicos.



Sus componentes principales son:

- **Bucket:** Un bucket es un contenedor para objetos almacenados en Amazon S3. Se pueden almacenar cualquier cantidad de objetos dentro del mismo, y se puede tener hasta 100 buckets en una cuenta. Es posible aplicar a los buckets poseen la política AWS Identity and Access Management basada en recursos (IAM) para conceder permisos de acceso al bucket y a los objetos que contiene. Solo el propietario del bucket puede asociar una política a un bucket. Los permisos asociados a un bucket se aplican a todos los objetos del bucket que son propiedad de la cuenta de propietario del bucket. Por otro lado, es posible elegir la Región de AWS geográfica donde Amazon S3 almacenará los buckets. Se puede elegir una región para optimizar la latencia, minimizar los costos o cumplir con requisitos legales. Los objetos almacenados en una Región de AWS nunca abandonan la región, a menos que se transfieran o repliquen expresamente a otra región.
- **Objetos:** Los objetos son las entidades fundamentales almacenadas en Amazon S3. Los objetos se componen de datos de objetos y metadatos. Los metadatos son conjuntos de pares nombre-valor que describen el objeto. Incluyen algunos metadatos predeterminados, como la fecha de la última modificación y los metadatos HTTP estándar. También se puede especificar metadatos personalizados en el momento en que se almacena el objeto. Un objeto se identifica de forma exclusiva dentro de un bucket mediante una clave (nombre), y un ID de versión, en caso de que el control de versiones de S3 está habilitado en el bucket.

Licencia gratuita

La versión gratuita de Amazon S3 permite a los nuevos clientes de AWS familiarizarse con el servicio sin incurrir en costos durante los primeros 12 meses. Esta versión incluye:

- Almacenamiento: 5 GB en la clase de almacenamiento S3 Standard.
- Solicitudes: Hasta 20000 solicitudes GET y 2000 solicitudes PUT por mes.
- Transferencia de datos: 100 GB de transferencia de datos salientes hacia Internet, otras regiones de AWS o Amazon CloudFront por mes.

Es importante destacar que, una vez superados estos límites mensuales o transcurrido el período de 12 meses, se aplicarán las tarifas estándar correspondientes al uso adicional. Para evitar cargos inesperados, es posible monitorear regularmente el uso de los recursos de AWS y configurar alertas en el panel de facturación y gestión de costos de AWS.

4.4.7 Framework para Pruebas End-To-End

4.4.7.1 CodeceptJS

CodeceptJS es un framework de testing de código abierto de Javascript, diseñado para realizar tests de integración o de extremo a extremo (E2E) en aplicaciones web y móviles. Se centra en la simplicidad y la claridad, ofreciendo una experiencia de usuario amigable que permite escribir pruebas desde la perspectiva del usuario.

A continuación, se mencionan sus características principales:

- **Orientado a escenarios:** Los tests se escriben como historias fáciles de seguir, simulando la experiencia del usuario.



- Independiente de drivers: Funciona con múltiples motores de prueba sin cambiar el código al alternar entre ellos.
- Localizadores: Facilita la búsqueda precisa de elementos con selectores semánticos y CSS.
- Page Objects: Promueve un código de prueba reutilizable y estable, ideal para proyectos de gran escala.

Para usar CodeceptJS, se necesita un entorno de Node.js, además de configurar uno de los motores de prueba soportados (Playwright, Puppeteer, etc).

Playwright

Playwright es una herramienta de pruebas End-To-End para aplicaciones web modernas, enfocada en la confiabilidad y velocidad. Ofrece un solo API compatible con varios navegadores (Chromium, Firefox, WebKit), y permite realizar pruebas de forma consistente en diferentes plataformas (Windows, Linux, macOS) y lenguajes de programación (JavaScript, Python, Java, .NET).

Funciona con los principales motores de renderizado y permite realizar pruebas tanto en escritorio como en móvil.

5. Propuesta de solución

En el marco de la propuesta de solución, en sintonía con la hipótesis de trabajo planteada, los objetivos definidos, y con el relevamiento del contexto general del problema, diferentes productos y tecnologías, se detalla a continuación, tres alternativas de solución, para el desarrollo de un sistema que automatice el cálculo del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y que permita la visualización de los resultados obtenidos a través de una interfaz gráfica interactiva, de las cuales solo una resulta ser la más eficiente.

La implementación de una solución basada en una aplicación desktop, cuya ejecución permitiera el procesamiento automático del SPI y posteriormente visualizar a través de su propia interfaz gráfica el resultado obtenido en un formato de imagen estática, resulta en una alternativa poco práctica y eficiente. La razón de esto se debe a que, por un lado, existiría un único punto de acceso a la aplicación, por ejemplo, en base a los recursos disponibles por la Universidad Católica de Córdoba, la aplicación podría instalarse en uno de los nuevos workstations adquiridos, pero en definitiva dicho computador sería el único punto de acceso a la aplicación, por lo que si cualquiera de los miembros del grupo de investigación EHCPA quisiera hacer uso de la aplicación, debería tener acceso al workstation, o en definitiva que la aplicación sea instalada en cada uno de los computadores de aquellos que necesiten trabajar con la misma, lo cual no solo haría del proceso de instalación una tarea repetitiva y lenta, sino que habría que realizar modificaciones en parámetros y variables dentro de la lógica de aplicación para que se adapte a los diferentes sistemas operativos donde será instalada, lo cual haría de esto una solución compleja. Por otro lado, cualquiera sea cual sea el computador donde sea instalada la aplicación, el mismo deberá contar con la capacidad de cómputo necesaria para poder soportar el procesamiento que efectúa el cálculo del SPI, si bien hoy en día los computadores modernos cuentan con niveles de procesamiento considerables, resulta en un limitante para aquellos que no disponen de uno. Finalmente, las problemáticas planteadas hacen que dicha alternativa resulte descartada.



Como segunda alternativa de solución, aparece Google Earth Engine como una de las herramientas de procesamiento de datos geoespaciales más potentes y utilizadas en el ámbito de la ciencia de datos y la geoinformática. El desarrollo de un sistema web, que permita acceder a los datos del SPI y a su vez visualizar el mismo a través de un mapa interactivo, por medio del consumo de la API de Earth Engine, resulta en una alternativa altamente superior en cuanto a capacidades de cómputo y almacenamiento se refiere, debido a que todo el procesamiento de cálculo del SPI sería efectuado por el motor de Google Cloud, lo que garantiza una alta disponibilidad de los datos con tiempos de espera de apenas unos minutos, en comparación con el tiempo de procesamiento efectuado en un computador ordinario, y sin la necesidad de requerir almacenamiento para datos de imágenes satelitales debido a que Google Earth Engine posee su propio catálogo de imágenes satelitales mediante los cuales accede a los mismos para efectuar el cálculo del índice. Pero implementar esta alternativa resulta inviable debido a los altos costos que implica el uso de Google Earth Engine, si bien es posible acceder a la versión no comercial de la herramienta, esta misma cuenta con una capacidad de cómputo limitada por lo que no podría efectuar el cálculo del SPI para Argentina en un periodo de tiempo que escala al infinito, y además, para acceder a dicha herramienta a través de un sistema web externo, es necesario hacer uso de la API, la cual requiere de un proyecto de Google Cloud que si bien cuenta con una prueba gratuita, esta tiene un límite de duración y consumo, haciendo que esta alternativa sólo pueda ser implementada en el corto plazo.

Finalmente, aparece como solución definitiva, el desarrollo de un sistema web que efectúe por detrás, toda la lógica necesaria para el proceso del cálculo del SPI, y que permita acceder a una interfaz por medio de un navegador web, en la cual sea posible por un lado descargar los datos generados, y por otro lado visualizar los mismos mediante un mapa interactivo. La solución estaría implementada en un único servidor, provisto por la Universidad Católica de Córdoba, sobre el cual se realizaría el procesamiento, y garantizando por un lado, el mantenimiento del sistema, y por otro lado que el servicio esté siempre disponible y pueda ser accedido de forma pública por estudiantes, investigadores, entes gubernamentales, instituciones privadas y diferentes organizaciones.

5.1 Alcance Funcional

En el contexto del desarrollo de un sistema web, se define a continuación el alcance funcional del mismo.

El sistema cuenta con dos tipos de usuarios diferentes, por un lado un usuario web, y por otro lado un usuario administrador. A pesar de esto, no se requiere autenticación para acceder al sitio web, ni la creación de nuevos usuarios, ya que la distinción se crea únicamente para diferenciar las funcionalidades que pueden realizar cada uno.

Usuario web

Un usuario web representa cualquier persona o institución que acceda al sitio web para interactuar con el mismo a través de las funcionalidades ofrecidas.

El sistema debe permitir a un usuario web:

- Habilitar capas del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) para las escalas 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 60 y 72 para la visualización en el mapa.
- Visualizar los valores del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) para las escalas 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 60 y 72.



- Copiar los valores del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) para las escalas 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 60 y 72.
- Descargar el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) para las escalas 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 60 y 72.
- Cambiar opacidad de las capas del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) para las escalas 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 60 y 72.
- Habilitar capa de Precipitación Total Mensual (PTM) para la visualización en el mapa.
- Visualizar los valores de la Precipitación Total Mensual (PTM).
- Copiar valores de la Precipitación Total Mensual (PTM).
- Descargar la Precipitación Total Mensual (PTM).
- Cambiar opacidad de la capa de Precipitación Total Mensual (PTM).
- Habilitar capas de referencia (Cuencas de Embalse de la Provincia de Córdoba y límites Provinciales).
- Visualizar capas de referencia (Cuencas de Embalse de la Provincia de Córdoba y límites Provinciales).
- Cambiar opacidad de las capas de referencia (Cuencas de Embalse de la Provincia de Córdoba y límites Provinciales).
- Buscar ubicación en el mapa.
- Aplicar zoom in y zoom out en el mapa.
- Visualizar escala del mapa.
- Visualizar coordenadas en el mapa.
- Copiar coordenadas.
- Visualizar información del mapa.

Usuario administrador

El usuario administrador representa en este caso, al Dr. Ing. Carlos Gaston Catalini, director del grupo de investigación Estudios Hidrológicos en Cuencas Pobrementemente Aforadas, quien es el único responsable de gestionar el sistema para validar que el mismo esté funcionando de forma correcta, y notificar al servicio técnico ante cualquier desperfecto.

El sistema debe permitir a un usuario administrador:

- Enviar petición de descarga remota de imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria via Gmail.
- Recibir notificación de finalización con éxito o no, del proceso de descarga remota vía Gmail.
- Recibir notificación de finalización con éxito o no, del proceso de cálculo del SPI vía Gmail.

5.1.1 Diagrama de Casos de Uso

Los Diagramas de Casos de Uso son una técnica de modelado, que permiten especificar requerimientos funcionales o comportamientos del sistema. A través de una abstracción gráfica, y del uso del Lenguaje Unificado de Modelado (UML), es posible visualizar el sistema a desarrollar de forma simplificada, mediante la identificación de actores, es decir, quienes interactúan con el sistema, como lo son en este caso que en este caso son el usuario web y administrador, y por otro lado la identificación de los casos de uso, que representan la funcionalidad del sistema. Las relaciones que se visualizan entre el actor

y los casos de uso, determinan las funcionalidades que el mismo puede realizar, y las relaciones entre casos de uso sirven para expandir las funcionalidades del sistema.

Debido a que el sistema cuenta con dos tipos de usuarios diferentes, se presenta a continuación un diagrama de casos de uso para el usuario web (Figura 29), y por otro lado un diagrama de casos de uso para el usuario administrador (Figura 30), de forma tal que facilite la comprensión e identificación de cada una de las funcionalidades que cada actor del sistema efectúa.

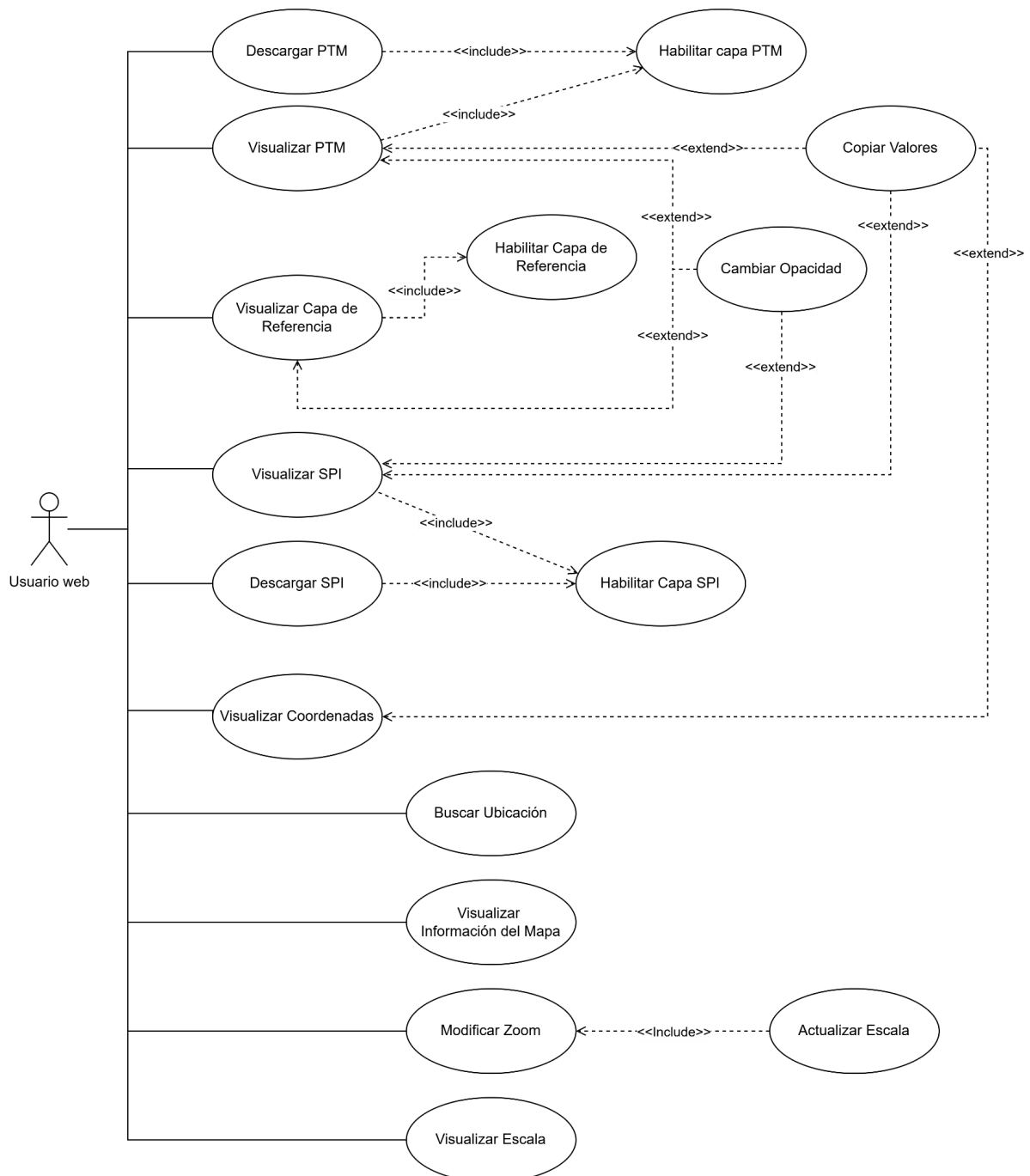


Figura 29: Diagrama de Casos de Uso de Usuario Web.

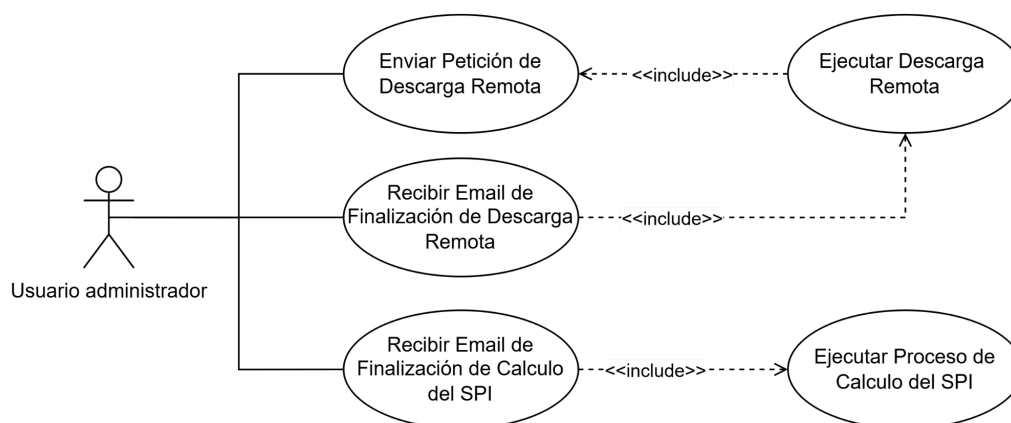


Figura 30: Diagrama de Casos de Uso de Usuario Administrador.

5.1.2 Historias de Usuario

Para describir las funcionalidades del sistema, en base al alcance funcional, se desarrollaron las siguientes historias de usuario, las cuales facilitan la comunicación de los requerimientos, mantienen el enfoque en el usuario, y permiten una planificación flexible y efectiva para desarrollar el sistema en pequeñas iteraciones.

5.1.2.1 Ver Pagina Inicial

Descripción general: Los usuarios de tipo web deben poder acceder a la vista principal del sitio web Estudios Hidrológicos en Cuencas Pobrementemente Aforadas para que puedan interactuar con el mismo.

Narrativa:

Como usuario web

Quiero ver la página inicial

Para poder acceder a las funcionalidades del sistema.

Alcance:

- Visualización de página inicial.
- Visualización de capa de PTM.
- Visualización de Capas de Referencia.
- Verificación de redirecciones a la página inicial y al sitio oficial de la UCC.
- Verificación de valores nulos de coordenadas.
- Verificación de centrado del mapa.
- Verificación de zoom del mapa.
- Verificación de escala.

Criterios de Aceptación:

1. La capa de PTM debe estar activada y visible en el mapa.
2. Todas las capas de referencia deben estar activas y visibles en el mapa (capas de Cuencas y Límites Provinciales).
3. El botón "Hamburger" del menú principal debe estar cerrado.
4. El botón de Capas de Referencias debe estar cerrado.
5. El visualizador de coordenadas debe marcar 0 como valor en la latitud, y 0 en la longitud.
6. El zoom del mapa debe estar establecido en el nivel 7.



7. El mapa debe estar centrado en la Provincia de Córdoba.
8. La escala del mapa debe indicar inicialmente 100 km debido al zoom aplicado por defecto.
9. Al presionar sobre el logo EHCPA el sistema debe refrescar la vista.
10. Al presionar sobre el logo UCC el sistema debe redirigir a la página oficial de la Universidad Católica de Córdoba.

5.1.2.2 Modificar Zoom

Descripción general: El sistema debe permitir a los usuarios de tipo web poder modificar el zoom del mapa interactivo a voluntad, mediante un botón que permite aumentar y disminuir las distancias permitiendo visualizar el terreno desde diferentes perspectivas de altitud.

Narrativa:

Como usuario web

Quiero modificar el zoom del mapa

Para poder ampliar o alejar la visualización sobre el mismo.

Alcance:

- Visualización de botón de Zoom In/Zoom Out.
- Visualización de Capas de Referencia.
- Verificación de Zoom In.
- Verificación de Zoom Out.
- Visualización de componente de escalas.

Criterios de Aceptación:

1. El nivel de zoom del mapa establecido inicialmente es 7.
2. El máximo nivel de zoom in (ampliar) es 18.
3. Al llegar al máximo nivel de zoom in, el botón de "+" deberá bloquearse.
4. El máximo nivel de zoom out (alejar) es 3.
5. Al llegar al máximo nivel de zoom out, el botón de "-" deberá bloquearse.
6. Entre los niveles 3 y 5 de zoom, las Capas de Referencia de las Cuencas de Salsipuedes, San Antonio, Cosquín, San Roque, Los Molinos y Embalse no podrán visualizarse.
7. A partir del nivel 6 de zoom las Capas de Referencia de las Cuencas de Salsipuedes, San Antonio, Cosquín, San Roque, Los Molinos y Embalse podrán visualizarse.
8. La Capa de Referencia de los Límites Provinciales deben visualizarse siempre a pesar del nivel de zoom aplicado.
9. Al mover la rueda del mouse hacia adelante se aplica zoom in.
10. Al mover la rueda del mouse hacia atrás se aplica zoom out.
11. La escala del mapa debe aumentar su valor al aplicar zoom out.
12. La escala del mapa debe disminuir su valor al aplicar zoom in.

5.1.2.3 Visualizar Escala

Descripción general: El sistema debe mostrar a los usuarios de tipo web una escala de distancia de altitud en el mapa, cuyo valor cambie automáticamente según el nivel del zoom, permitiendo que se tenga una referencia clara de las distancias representadas en la vista actual.

Narrativa:

Como usuario web

Quiero visualizar el valor de la escala del mapa



Para tomar dimensión de la resolución espacial o distancia en términos de altitud ante un cambio en el zoom.

Alcance:

- Visualización del mapa.
- Verificación de escala.
- Visualización de componente de escala.
- Visualización de botón de Zoom In/Zoom Out.
- Verificación de Zoom In.
- Verificación de Zoom Out.

Criterios de Aceptación:

1. La escala del mapa debe indicar inicialmente 100 km debido al zoom aplicado por defecto.
2. Al aplicar zoom in (ampliar) la escala del mapa debe disminuir su valor de kilómetros a metros debido a la aproximación hacia la superficie de la tierra.
3. El valor mínimo de distancia de escala debe variar entre los valores redondos de 50 o 30 metros.
4. Al aplicar zoom out (alejarse) la escala del mapa debe aumentar su valor de metros a kilómetros, debido al alejamiento respecto de la superficie de la tierra.
5. El valor máximo de distancia de escala debe ser 1000 kilómetros.
6. Dependiendo del valor de la escala, el visualizador de escala debe ampliar o reducir sus bordes laterales de forma dinámica.

5.1.2.4 Visualizar Coordenadas

Descripción general: El sistema debe mostrar las coordenadas de latitud y longitud del mapa, actualizando sus valores constantemente, conforme el usuario de tipo web mueve el cursor del mouse sobre el mapa.

Narrativa:

Como usuario web

Quiero ver las coordenadas de latitud y longitud actualizadas dinámicamente mientras muevo el cursor del mouse

Para poder identificar la ubicación precisa de cualquier punto en el mapa.

Alcance:

- Cálculo de coordenadas.
- Visualización de componente de coordenadas.
- Verificación de actualización de valores de latitud y longitud.
- Validación de diferencia de coordenadas con ubicación seleccionada mediante el buscador.

Criterios de Aceptación:

1. Inicialmente el visualizador de coordenadas debe marcar 0 como valor en la latitud, y 0 en la longitud.
2. El cálculo de coordenadas debe efectuarse únicamente cuando el cursor del mouse se posiciona sobre cualquier punto del mapa.
3. El cálculo de coordenadas debe detenerse cuando el cursor del mouse se posiciona sobre el botón de Capas de Referencia, la barra de búsqueda de ubicaciones, los botones de Zoom In/Zoom Out, el menú de opciones, el visualizador de escalas, el footer, el modo de visualización de PTM y SPI, y hasta sobre el mismo visualizador de coordenadas.



4. No se deben actualizar los valores de latitud y longitud con los valores de las coordenadas de una ubicación seleccionada encontrada con la barra de búsqueda.

5.1.2.5 Visualizar Capas de Referencia

Descripción general: El sistema debe permitir a los usuarios de tipo web poder habilitar o deshabilitar la visualización de las capas de referencia de las cuencas de embalse de la Provincia de Córdoba y los límites Provinciales en el mapa para facilitar un análisis visual adecuado de las áreas de interés.

Narrativa:

Como usuario web

Quiero poder activar o desactivar las capas de referencia

Para visualizar los límites geográficos de las cuencas de embalse de la Provincia de Córdoba y los límites Provinciales en el mapa.

Alcance:

- Visualización de Capas de Referencia.
- Visualización de modal de Capas de Referencia.
- Verificación de Zoom In.
- Verificación de Zoom Out.

Criterios de Aceptación:

1. Al iniciar el sitio, todas las capas de referencia estarán activadas por defecto.
2. El usuario puede activar y desactivar cada capa de referencia de forma individual (Cuenca San Roque, Cuenca Los Molinos, Cuenca Embalse y Límites Provinciales).
3. El usuario puede activar y desactivar todas las capas de referencia de forma grupal.
4. La visualización de las capas de referencia no condicionan la visualización del PTM o el SPI en el mapa.
5. Entre los niveles 3 y 5 de zoom, las Capas de Referencia de las Cuencas de Salsipuedes, San Antonio, Cosquín, San Roque, Los Molinos y Embalse no podrán visualizarse.
6. A partir del nivel 6 de zoom las Capas de Referencia de las Cuencas de Salsipuedes, San Antonio, Cosquín, San Roque, Los Molinos y Embalse podrán visualizarse.
7. La Capa de Referencia de los Límites Provinciales deben visualizarse siempre a pesar del nivel de zoom aplicado.

5.1.2.6 Buscar Ubicación

Descripción general: El sistema debe permitir a los usuarios de tipo web poder buscar ubicaciones de Argentina a través de una barra de búsqueda, y que al seleccionar una ubicación deseada el usuario sea redireccionado a la misma para evitar de esta forma una exploración manual.

Narrativa:

Como usuario web

Quiero poder buscar una ubicación

Para poder ser redireccionado rápidamente a un punto de interés en el mapa.

Alcance:

- Visualización de ubicación seleccionada.
- Visualización de marker en el mapa.
- Visualización de modal de resultados.
- Verificación de Zoom In.



- Verificación de Zoom Out.
- Verificación de valor de escala.

Criterios de Aceptación:

1. Si el usuario ingresa un nombre de dirección válido en la barra de búsqueda, al presionar el icono de lupa o “enter”, se desplegará un modal con los resultados.
2. Al seleccionar una ubicación, un marcador visual aparece en las coordenadas de dicha ubicación, indicando el punto específico en el mapa.
3. El marcador que aparece al seleccionar una ubicación posee una etiqueta que muestra el nombre de la ubicación seleccionada.
4. Al seleccionar una ubicación, el mapa redirige la vista hasta dicha ubicación.
5. Si la búsqueda no encuentra una coincidencia, el sistema muestra un mensaje de error o notificación indicando que no se halló la ubicación.
6. La barra de búsqueda incluye un icono de ayuda que proporciona información sobre cómo utilizar la funcionalidad de búsqueda.

5.1.2.7 Visualizar PTM

Descripción general: El sistema debe permitir a los usuarios de tipo web visualizar la capa de PTM en el mapa, con la opción de habilitar o deshabilitar la misma, y permitir que al hacer clic en cualquier parte del mapa dentro de Argentina, se visualice su valor.

Narrativa:

Como usuario web

Quiero poder activar o desactivar la capa de Precipitación Total Mensual

Para visualizar su valor al hacer clic en cualquier punto del mapa dentro de Argentina.

Alcance:

- Visualización de capa de PTM.
- Verificación de valores de PTM.

Criterios de Aceptación:

1. Al iniciar el sitio, la capa de PTM debe estar activada por defecto.
2. El usuario puede activar y desactivar la capa de Precipitación Total Mensual (PTM) utilizando el interruptor correspondiente en la interfaz.
3. Los valores de PTM únicamente se podrán visualizar si la capa de PTM está activada.
4. Al hacer click en el mapa, se debe colocar un marcador y abrir un modal desplazable que permite visualizar las coordenadas y el valor de PTM en milímetros de dicho punto.

5.1.2.8 Visualizar SPI

Descripción general: El sistema debe permitir a los usuarios de tipo web visualizar las capas del SPI en el mapa, para las escalas 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 60 y 72, con la opción de habilitar o deshabilitar cada una, y permitir que al hacer clic en cualquier parte del mapa dentro de Argentina, se visualice el valor de las mismas.

Narrativa:

Como usuario web

Quiero poder activar o desactivar las capas del Índice Precipitación Estandarizado

Para visualizar su valor para cada una de las escalas al hacer clic en cualquier punto del mapa dentro de Argentina.

Alcance:



- Visualización de capas de SPI.
- Verificación de valores de SPI.

Criterios de Aceptación:

1. Al iniciar el sitio, las capas de SPI deben estar desactivadas por defecto.
2. El usuario puede activar y desactivar cada capa de SPI de forma individual.
3. El usuario puede activar y desactivar todas las capas de SPI de forma grupal.
4. Los valores de SPI para una escala en particular únicamente se podrán visualizar si la capa de dicha escala está activada.
5. Al hacer click en el mapa, se debe colocar un marcador y abrir un modal desplazable que permite visualizar las coordenadas y el valor del SPI de su correspondiente escala, de dicho punto.

5.1.2.9 Cambiar Opacidad

Descripción general: El sistema debe permitir a los usuarios de tipo web cambiar o justar la opacidad de todas las capas de que se pueden visualizar en el mapa, es decir, las capas de referencia, la capa de PTM y las capas de SPI para todas las escalas, permitiendo de esta manera mejorar la visualización y el análisis de los datos en función de sus necesidades..

Narrativa:

Como usuario web

Quiero poder cambiar la opacidad de una capa

Para controlar la visibilidad de la misma.

Alcance:

- Visualización de capas de SPI.
- Visualización de capa de PTM.
- Visualización de capas de referencia.
- Cambio de opacidad en capas de SPI.
- Cambio de opacidad en capa de PTM.
- Cambio de opacidad en capas de referencia.

Criterios de Aceptación:

1. El usuario debe poder ajustar la opacidad de cualquier capa utilizando un control deslizante específico para cada una.
2. Los cambios de opacidad se reflejan en tiempo real en el mapa, permitiendo que el usuario vea el efecto inmediato de sus ajustes.
3. El rango de opacidad debe estar establecido de 0% a 100% incrementando de a valores de 10%.
4. Por defecto, todas las capas deben tener establecido el 100% de opacidad.
5. El nivel de opacidad debe permanecer establecido a pesar de que la capa particular se active o desactive.

5.1.2.10 Descargar PTM

Descripción general: El sistema debe permitir a los usuarios de tipo web poder descargar el archivo completo de PTM, de forma tal que pueda ser utilizado para diferentes necesidades.

Narrativa:

Como usuario web

Quiero poder descargar la Precipitación Total Mensual

Para poder analizar dicha información fuera del sistema.

Alcance:



- Visualización del botón de descarga.
- Validar descarga de archivo de PTM.
- Visualización de capa de PTM

Criterios de Aceptación:

1. El usuario debe poder descargar el archivo de PTM, haciendo click en el botón de descarga del menú, siempre y cuando la capa de PTM esté activada.
2. Al efectuar la descarga, se debe generar un directorio comprimido en formato zip de nombre "EHCPA_Data", el cual contendrá el archivo de PTM en formato GeoTiff de todas las bandas del periodo de calibración aplicado.
3. Al efectuar la descarga, el usuario debe poder visualizar en el mismo botón de descarga el porcentaje de progreso de la descarga para tener noción del tiempo que conlleva la misma.
4. Si la capa de PTM no está activada y el usuario intenta descargar, el sistema debe mostrar un mensaje muestra un mensaje indicando que debe haber al menos una capa activada para efectuar la descarga.
5. En caso de que el archivo no esté disponible, el sistema deberá informar por medio de un mensaje.
6. En caso de cualquier otro error, el sistema deberá informar por medio de un mensaje.

5.1.2.11 Descargar SPI

Descripción general: El sistema debe permitir a los usuarios de tipo web poder descargar el archivo completo del SPI para cada una de las escalas 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 60 y 72, ya sea de forma individual o grupal, de forma tal que puedan ser utilizados para diferentes necesidades.

Narrativa:

Como usuario web

Quiero poder descargar el Índice de Precipitación Estandarizado

Para poder analizar dicha información fuera del sistema.

Alcance:

- Visualización del botón de descarga.
- Descarga individual de archivos de SPI.
- Descarga grupal de archivos de SPI.
- Visualización de capas de SPI

Criterios de Aceptación:

1. El usuario debe poder descargar el archivo de SPI de cualquier escala, haciendo click en el botón de descarga del menú, siempre y cuando la capa de la correspondiente escala de SPI esté activada.
2. El usuario debe poder descargar en forma conjunta los archivos de SPI de cualquier escala, haciendo click en el botón de descarga del menú, siempre y cuando las capas de las correspondientes escalas de SPI estén activadas.
3. Al efectuar la descarga, se debe generar un directorio comprimido en formato zip de nombre "EHCPA_Data", el cual contendrá el o los archivos de SPI de las correspondientes escalas, dependiendo si la descarga fue individual o grupal, en formato GeoTiff de todas las bandas del periodo de calibración aplicado.
4. Al efectuar la descarga, el usuario debe poder visualizar en el mismo botón de descarga el porcentaje de progreso de la descarga para tener noción del tiempo que conlleva la misma.



5. Si la capa de SPI específica no está activada y el usuario intenta descargar, el sistema debe mostrar un mensaje muestra un mensaje indicando que debe haber al menos una capa activada para efectuar la descarga.
6. En caso de que el archivo a descargar no esté disponible, el sistema deberá informar por medio de un mensaje.
7. En caso de cualquier otro error, el sistema deberá informar por medio de un mensaje.

5.1.2.12 Copiar Datos

Descripción general: El sistema debe permitir a los usuarios de tipo web poder copiar el contenido del modal informativo que se visualiza al momento de hacer clic en un punto del mapa, para poder extraer las coordenadas, y dependiendo de qué capas están activadas, poder extraer el valor de PTM o valores de SPI de dicho punto para su posterior análisis.

Narrativa:

Como usuario web

Quiero poder copiar los datos mostrados en el modal informativo, de un punto en el mapa

Para poder analizar dicha información fuera del sistema, sin necesidad de transcribir manualmente la información.

Alcance:

- Visualización de modal informativo.
- Visualización del botón de copiar.
- Visualización de etiqueta.
- Verificación de valores de coordenadas.
- Verificación de valores de PTM.
- Verificación de valores de SPI.

Criterios de Aceptación:

1. El usuario debe poder visualizar el botón de copiar en el modal informativo, y al colocar el cursor del mouse sobre dicho botón debe aparecer una etiqueta que indique “Copiar datos”.
2. Al hacer click sobre el botón de copiar, el contenido del modal informativo debe ser transferido al portapapeles.
3. El sistema deberá mostrar una confirmación visual por unos segundos, cambiando el icono de copiar por un icono de check, para indicar que la operación fue exitosa.
4. El contenido copiado deberá incluir todos los datos visibles en el modal informativo en el momento, desde las coordenadas, hasta los valores de PTM o SPI en caso de ser visibles.

5.1.2.13 Visualizar Informacion del Mapa

Descripción general: El sistema debe proporcionar a los usuarios de tipo web un modal informativo sobre el contenido del sitio web, permitiendo establecer un contexto y orientar a los usuarios sobre las diferentes funcionalidades disponibles.

Narrativa:

Como usuario web

Quiero acceder a un modal informativo que ofrezca una descripción general del sitio web, un disclaimer, instrucciones sobre la visualización y descarga de datos, e información de contacto

Para entender el propósito, el alcance y las condiciones de uso de los datos que se muestran en el mapa.



Alcance:

- Visualización del botón de información del mapa.
- Visualización de modal de información del mapa.

Criterios de Aceptación:

1. El usuario debe poder abrir el modal informativo del mapa desde el menú del sitio web.
2. La sección de Descripción debe proporcionar una explicación clara del propósito del sitio web, el alcance y términos de uso.
3. La sección de Precipitación Total Mensual y la sección de Índice de Precipitación Estandarizado deben informar de forma detallada y concisa, que representan ambos y cómo se interpretan los datos que se visualizan en el mapa.
4. La sección de Descarga de Datos debe informar que los datos pueden ser descargados de forma grupal o individual, y por otro lado deberá indicar en tiempo real las fechas de calibración de los datos a descargar.
5. La sección de Visualización de Datos debe informar cuál es la fecha parcial de visualización de los datos de PTM o SPI hasta el momento en el sitio web, indicando además cómo debe hacer el usuario para poder visualizar las capas.
6. La sección de Contacto debe incluir información necesaria para que el usuario web pueda comunicarse con los responsables y representantes del sitio web.
7. El usuario puede cerrar el modal informativo del mapa en cualquier momento sin afectar su interacción con el resto del sitio web.

5.1.2.14 Petición de Descarga Remota

Descripción general: El sistema debe permitir a los usuarios de tipo administrador poder enviar un correo electrónico a través del servicio de mensajería Gmail de Google, para que se puedan solicitar peticiones de descarga de imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria en cualquier momento que se lo necesite.

Narrativa:

Como usuario administrador

Quiero poder enviar un correo electrónico vía Gmail al sistema

Para poder descargar imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria de forma remota.

Alcance:

- Envío de petición de descarga remota.
- Recepción de petición de descarga remota.

Fuera de Alcance:

- Proceso de descarga remota.

Criterios de Aceptación:

1. El correo electrónico del usuario administrador debe estar habilitado por el sistema para poder detectar peticiones por parte del mismo.
2. El usuario administrador debe poder enviar peticiones de descarga remota en cualquier momento.
3. Las peticiones deben ser procesadas en orden de llegada.
4. En la estructura de la petición, el subject del correo electrónico debe identificar al mismo mediante la palabra “descargar”, en minúsculas o mayúsculas.
5. En la estructura de la petición, el body del correo electrónico debe identificar los periodos de descarga de las imágenes satelitales como:
 - “Fecha de inicio: AAAA-MM-DD”



- “Fecha de fin: AAAA-MM-DD”

5.1.2.15 Notificación de Finalización de Descarga Remota

Descripción general: Una vez finalizado el proceso de descarga remota, el sistema debe notificar a los usuarios de tipo administrador, que el mismo ha finalizado, independientemente del estado final de la operación, para actuar en caso de algún desperfecto o simplemente validar la descarga.

Narrativa:

Como usuario administrador

Quiero recibir un correo electrónico vía Gmail por parte del sistema

Para saber si el proceso de descarga remota de imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria finalizó con éxito o no.

Alcance:

- Envío de correo por parte del sistema.
- Recepción de correo por parte del usuario.

Fuera de Alcance:

- Proceso de descarga remota.

Criterios de Aceptación:

1. El correo electrónico del usuario administrador debe estar habilitado por el sistema para que el mismo pueda ser un destinatario válido de los correos de finalización del proceso de descarga remota.
2. El usuario administrador debe poder recibir el correo de finalización del proceso de descarga remota, una vez que dicho proceso haya terminado por completo.
3. El contenido del correo electrónico debe ser diferente en función de si el proceso de descarga remota finalizó con éxito o con errores.
4. Si el correo electrónico es respondido por el usuario administrador, el sistema no debe responder con un nuevo mensaje.

5.1.2.16 Notificación de Finalización de Proceso de SPI

Descripción general: El Proceso de SPI es el proceso padre del sistema, el cual generará toda la información requerida y que posteriormente podrá ser accedida a través del sitio web mediante la descarga de datos y la visualización en el mapa. Una vez finalizado el proceso, el sistema debe notificar a los usuarios de tipo administrador, que él mismo ha finalizado, independientemente del estado final de la operación, para actuar en caso de algún desperfecto o simplemente validar la correcta ejecución.

Narrativa:

Como usuario administrador

Quiero recibir un correo electrónico vía Gmail por parte del sistema

Para saber si el proceso encargado de generar los datos de PTM y SPI, que luego pueden ser descargados y visualizados en el sitio web, finalizó con éxito o no.

Alcance:

- Envío de correo por parte del sistema.
- Recepción de correo por parte del usuario.

Fuera de Alcance:

- Proceso de generación de datos de PTM y SPI.



Criterios de Aceptación:

1. El correo electrónico del usuario administrador debe estar habilitado por el sistema para que el mismo pueda ser un destinatario válido de los correos de finalización del proceso de SPI.
2. El usuario administrador debe poder recibir el correo de finalización del proceso de SPI, una vez que dicho proceso haya terminado por completo.
3. El contenido del correo electrónico debe ser diferente en función de si el proceso de SPI finalizó con éxito o con errores.
4. Si el correo electrónico es respondido por parte del usuario administrador, el sistema no debe responder con un nuevo mensaje.

5.2 Diseño

5.2.1 Arquitectura

Como parte de las actividades dentro de la fase de diseño en el desarrollo del software, el tipo de arquitectura de software seleccionado, que mejor se adapta a la solución propuesta en base a sus funcionalidades, permitiendo ordenar y estructurar la misma de forma óptima, de manera tal que se posible realizar una implementación posterior con éxito, es la arquitectura Cliente-Servidor.

La arquitectura cliente-servidor es un modelo de diseño de software en el que las aplicaciones se dividen en dos componentes principales: cliente y servidor. Esta separación facilita la gestión de recursos y permite que ambos interactúen de manera eficiente. El cliente realiza solicitudes de servicios o datos, mientras que el servidor proporciona esos recursos. Este sistema se basa en una comunicación constante mediante protocolos de red, lo que permite un flujo de información bidireccional entre ambos.

A continuación, se visualiza el diagrama arquitectónico de la solución (Figura 31), y se detalla el comportamiento de cada uno de los componentes que conforman dicha arquitectura, cuáles son sus funciones, cuales son las tecnologías de implementación, y cómo interactúan entre sí.

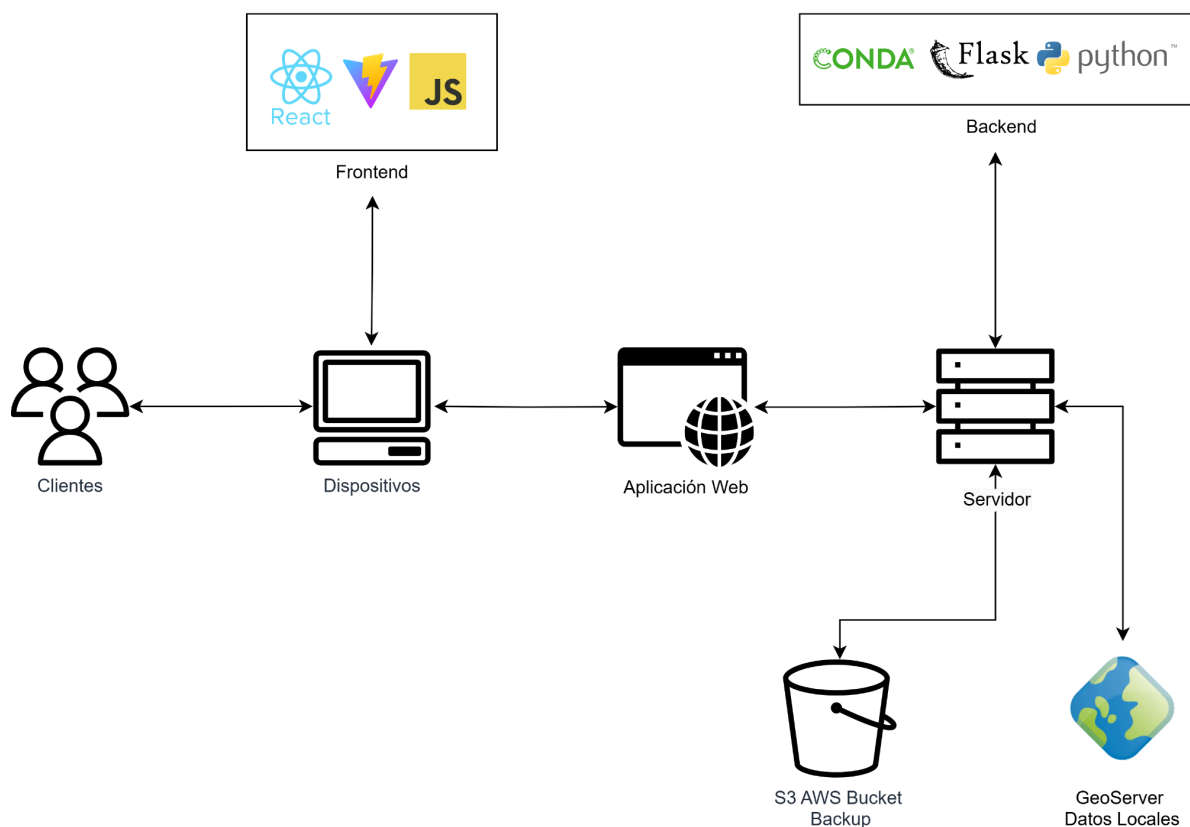


Figura 31: Diagrama de Arquitectura.



Clientes

El cliente es el componente que inicia las solicitudes de servicio, es decir, realiza peticiones de recursos al servidor.

En este caso, los clientes del sistema son los usuarios web, quienes acceden al sitio web para descargar y visualizar datos, buscar ubicaciones y consultar fechas de calibración. Todas estas actividades consumen recursos almacenados y gestionados en el servidor, por lo que al intentar acceder a las mismas, el servidor debe proveer dichos recursos.

Dispositivos

Los clientes (usuarios web), a través de sus dispositivos, específicamente computadores de escritorio o portátiles, pueden visualizar la interfaz de la aplicación web por medio de un navegador, como por ejemplo, Google Chrome, que permite a los clientes interactuar con los recursos y servicios proporcionados por el servidor.

- Frontend: Las tecnologías seleccionadas para la construcción de la interfaz gráfica de la aplicación web, en sintonía con relevadas en la sección Tecnologías Disponibles del Marco Teórico, son React.js, Vite.js y JavaScript, debido a que la combinación entre ambos ofrece una experiencia de desarrollo ágil y eficiente.
 - React.js permite construir interfaces de usuario interactivas y modulares mediante componentes reutilizables, facilitando el mantenimiento y la escalabilidad del código.
 - Vite.js, por su parte, optimiza la velocidad de desarrollo con su sistema de bundling ultrarrápido y recarga instantánea, lo que reduce significativamente los tiempos de espera y mejora la productividad.
 - JavaScript, al ser un lenguaje ampliamente adoptado y flexible, permite manipular el DOM, manejar eventos y actualizar la interfaz en tiempo real, garantizando una experiencia de usuario fluida y dinámica sin comprometer la simplicidad del código.

Aplicación web

La aplicación web constituye la lógica del sitio web en sí mismo, sirviendo de intermediario entre las peticiones de ciertos recursos y funcionalidades del cliente, y las respuestas por parte del servidor. La comunicación entre el cliente y el servidor es esencial para que la aplicación funcione correctamente. Esta interacción se produce a través del protocolo HTTP el cual permite la comunicación web.

Su principal función es enviar peticiones al servidor y recibir las respuestas adecuadas. Básicamente maneja la lógica de comunicación.

Esta ejecuta su interfaz gráfica en los dispositivos del usuario web, tomando la forma de un sitio web en un navegador, y por otro lado su lógica se ejecuta en el servidor.



Servidor

El servidor almacena y gestiona todos los recursos necesarios de la aplicación web, para garantizar el funcionamiento de la misma.

Por otra parte, el servidor es el componente que responde a las solicitudes que recibe por parte del cliente. Los usuarios web, al momento de efectuar la descarga de los archivos de PTM y SPI, visualizar las fechas de calibración de los datos o manipular las diferentes tipos de capas en el mapa, cada acción consiste en una petición de recursos hacia el servidor, por lo que este último deberá responder con el acceso a dicha información o habilitar el uso de cierta funcionalidad.

- Backend: Las tecnologías seleccionadas para la construcción de la lógica funcional de la aplicación web, en sintonía con las relevadas en la sección de Tecnologías Disponibles del Marco Teórico, son Conda, Python y Flask, debido a que la combinación entre ambos permite manejar de forma simple y flexible grandes volúmenes de datos y solicitudes:
 - Conda: Permite construir un entorno virtual con una versión específica de Python, y con versiones específicas de dependencias necesarias para la ejecución de funciones que hacen a la lógica de la aplicación web. Mediante esta herramienta se aísla el entorno de la aplicación para evitar conflictos con las diferentes dependencias instaladas de base en el sistema donde será implementada la aplicación web.
 - Python: Gracias a su versatilidad en el manejo de grandes volúmenes de datos, su capacidad de ejecutar múltiples funciones, su uso en la automatización de tareas, su fácil sintaxis y extensas bibliotecas, se presenta como el lenguaje de programación indicado para la construcción del backend.
 - Flask: Seleccionado como herramienta para gestionar el servicio del backend, debido a su rapidez y simplicidad en su implementación. Su estructura modular permite añadir solo las funcionalidades necesarias, manteniendo el código ligero, escalable y fácil de mantener.

S3 AWS Bucket Backup

Como bien ha sido mencionado en la sección Tecnologías Disponibles del Marco Teórico, la variable fundamental para el cálculo del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) es la precipitación, pero particularmente la precipitación mensual acumulada, por lo que el periodo de calibración del SPI dependerá de la cantidad de archivos precipitación mensual acumulada que hayan sido generados para el cálculo.

Los archivos de precipitación mensual acumulada, se obtienen a partir del procesamiento de las imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria descargadas del repositorio GES DISC del sitio NASA Earthdata. La disponibilidad de las imágenes satelitales, provistas por el sitio, comprenden desde el 01 de junio del año 2000 hasta el día actual, con un retraso de 14 horas en la disponibilidad de la más reciente imagen satelital. La importancia de esta información radica en el hecho de que, una vez descargadas todas las imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria, tomando como rango de ejemplo desde el 01 de junio del año 2000 hasta el 31 de diciembre del año 2024, y procesadas para la obtención de los archivos de precipitación mensual acumulada, se obtendría aproximadamente 295 archivos de precipitación mensual acumulada.



Teniendo en cuenta la cantidad de archivos requeridos hasta el momento para el cálculo del SPI, se presenta como una necesidad fundamental el almacenamiento seguro de dichos archivos. Si bien, cada uno de ellos se guardarán de manera local en el sistema donde esté implementada la solución, se considera como herramienta óptima de backup o copia de seguridad el servicio S3 de Amazon Web Service, ya que permite almacenar de forma segura en la nube grandes volúmenes de datos en un bucket o contenedor previamente creado.

El producto S3 de AWS se representa como un componente aparte (Figura 31) ya que es un servicio externo con respecto a las funcionalidades que provee la aplicación web, pero se vincula con el servidor, ya que este último es el encargado de gestionar la creación del backup y de verificar si los datos están presentes en el sistema para efectuar el procedimiento para el cálculo del SPI.

GeoServer Datos Locales

La necesidad de implementar un mapa interactivo que permita, por un lado, visualizar sobre el mismo, el SPI para las escalas 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 60 y 72 de forma individual, la capa de PTM, y las capas de referencia de las Cuencas de Embalse de la Provincia de Córdoba y los límites Provinciales, en toda la región de Argentina, y que por otro lado, al hacer click en un punto del mapa se pueda visualizar el valor de PTM o del SPI en dicha coordenada, plantea el desafío de utilizar el servidor GeoServer como herramienta de almacenamiento y gestión de datos geoespaciales.

GeoServer, se presenta como un componente aparte (Figura 31) debido a que es un servidor que se ejecuta por separado del sistema web a desarrollar. Pero se vincula con el servidor, debido a que este es quien se encarga de actualizar las capas almacenadas en GeoServer, dichas capas son gestionadas por GeoServer, permitiendo añadir diferentes estilos que mejoren su visualización, y luego la aplicación web realizara peticiones de visualización de dichas capas al servidor de GeoServer para que se rendericen en el mapa de la interfaz gráfica y se pueda interactuar con los datos que provee dicho servidor.

Se establece el término Datos Locales, debido a que la herramienta GeoServer se instala de manera local, en el mismo entorno o sistema operativo, donde será implementada la solución. Como consecuencia, todos los datos gestionados en dicho servidor, se almacenarán de forma local en el disco del sistema operativo.

5.2.2 Prototipado

El prototipado tiene como objetivo validar ideas rápidamente, identificar posibles problemas y ajustar el diseño antes de destinar tiempo y recursos al desarrollo completo de la solución. Este proceso se vincula estrechamente con el uso de mockups, ya que estos permiten visualizar y contextualizar el diseño, evaluando si la solución cumple con las expectativas antes de su implementación final. Además, facilitan la comunicación con el cliente, ya que permiten obtener retroalimentación para perfeccionar el diseño y mejorar la experiencia del usuario.

El desarrollo de los mockups se llevó a cabo mediante la utilización de Figma, una herramienta gratuita de prototipado web, ampliamente utilizada en la creación de mockups para el diseño de interfaces de usuario (UI) y la experiencia de usuario (UX). Estos mockups simulan el producto final, permitiendo definir aspectos como colores, opacidades, efectos visuales, tipografías, tamaños y ubicación de elementos, y el paso a paso de una

funcionalidad a través de la interfaz gráfica, facilitando la toma de decisiones previas al diseño final.

A continuación, se realiza una descripción de las vistas definitivas, validadas por el grupo de investigación, de las funcionalidades más importantes o representativas del sistema para el usuario web.

- Acceso: [EHCPA - Mockups](#)

5.2.2.1 Vista Principal

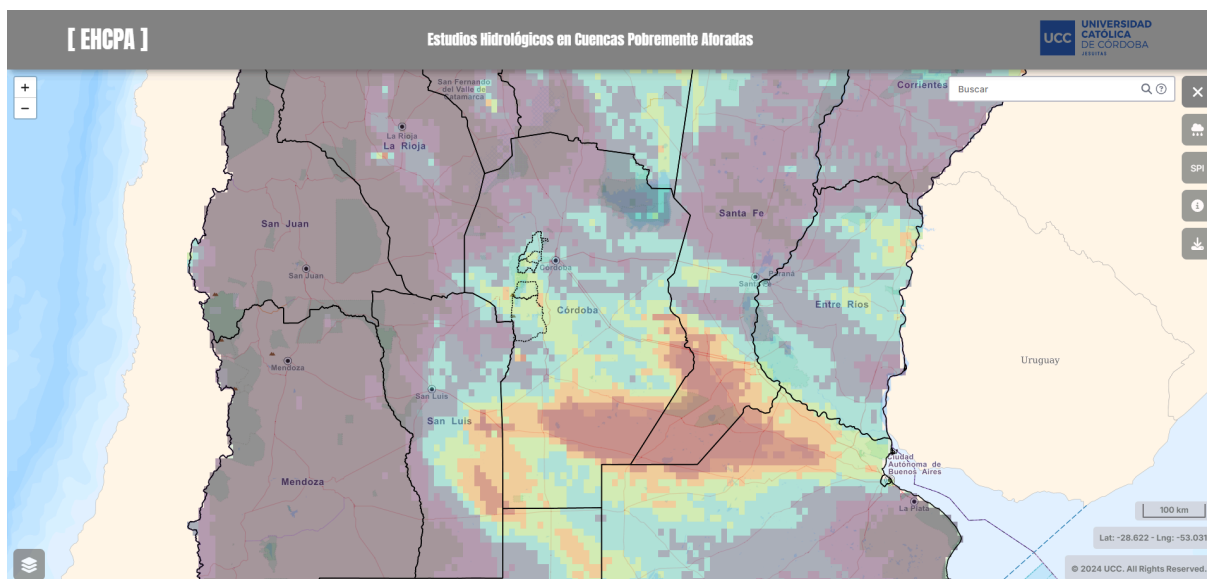


Figura 32: Mockup Vista Principal.

- **Descripción General:** El sitio web de nombre “Estudios Hidrológicos en Cuencas Pobremente Aforadas”, consta de una única vista principal. En la misma es posible visualizar en primera instancia el logo del sitio (abreviación del nombre), su nombre y un enlace al sitio oficial de la Universidad Católica de Córdoba. En el cuerpo de la página se visualiza por defecto cada vez que se accede al sitio, un mapa del mundo interactivo que renderiza para la región de Argentina la capa de Precipitación Total Mensual y las capas de referencias de las cuencas de embalse la Provincia de Córdoba y los límites Provinciales. A partir de esta vista el usuario web puede interactuar con las diferentes funcionalidades provistas por el sistema.
- **Elementos Principales:**
 - Navbar superior.
 - Mapa.
 - Botones de Zoom In/Zoom Out.
 - Botón de Capas de Referencia.
 - Barra de búsqueda de ubicaciones.
 - Botón de Menu general con botones de opciones principales: Visualización de PTM, visualización de SPI, Información del mapa y descarga de archivos.
 - Visualizador de escala.
 - Visualizador de coordenadas.
 - Footer.

5.2.2.2 Vista de Capas de Referencia

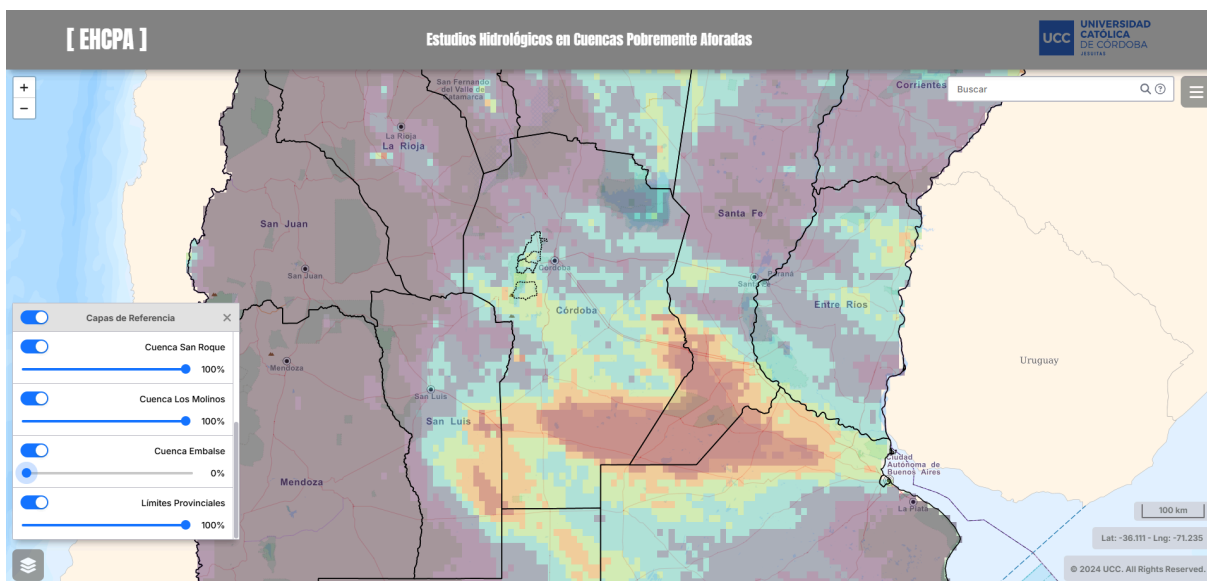


Figura 33: Mockup Vista de Capas de Referencia.

- **Descripción General:** Las capas de referencia sirven para que el usuario web tenga una referencia geográfica valga la redundancia, respecto a los límites de las cuencas de embalse de la Provincia de Córdoba. Las cuencas disponibles para visualizar son la Cuenca Salsipuedes, la Cuenca San Antonio, la Cuenca Cosquín, la Cuenca San Roque, la Cuenca Los Molinos y la Cuenca Embalse. Además es posible visualizar los límites Provinciales de Argentina. Al abrir el botón de Capas de Referencia ubicado en la esquina inferior izquierda del sitio web, se despliega un modal a través del cual es posible gestionar cada una de las capas de referencia, desde la visualización por medio de un switch de activación/desactivación, hasta el cambio de opacidad a través de un deslizador, y también es posible activar o desactivar todas las capas al mismo tiempo por medio de un switch general. Los cambios aplicados deben permanecer al menos que el sitio sea refrescado, volviendo todo a la configuración por defecto. En este caso se observa que todas las capas de referencia están activadas pero al reducir por completo la opacidad de la capa de la Cuenca de Embalse, no es posible visualizar la misma en el mapa a pesar de estar activada.
- **Elementos Principales:**
 - Mapa.
 - Botón de Capas de Referencia.
 - Modal de Capas de Referencia.
 - Título de cada capa de referencia.
 - Porcentaje de opacidad de cada capa de referencia.
 - Input range para modificar la opacidad de cada capa de referencia.
 - Switch de activación o desactivación de cada capa de referencia.

5.2.2.3 Vista de PTM

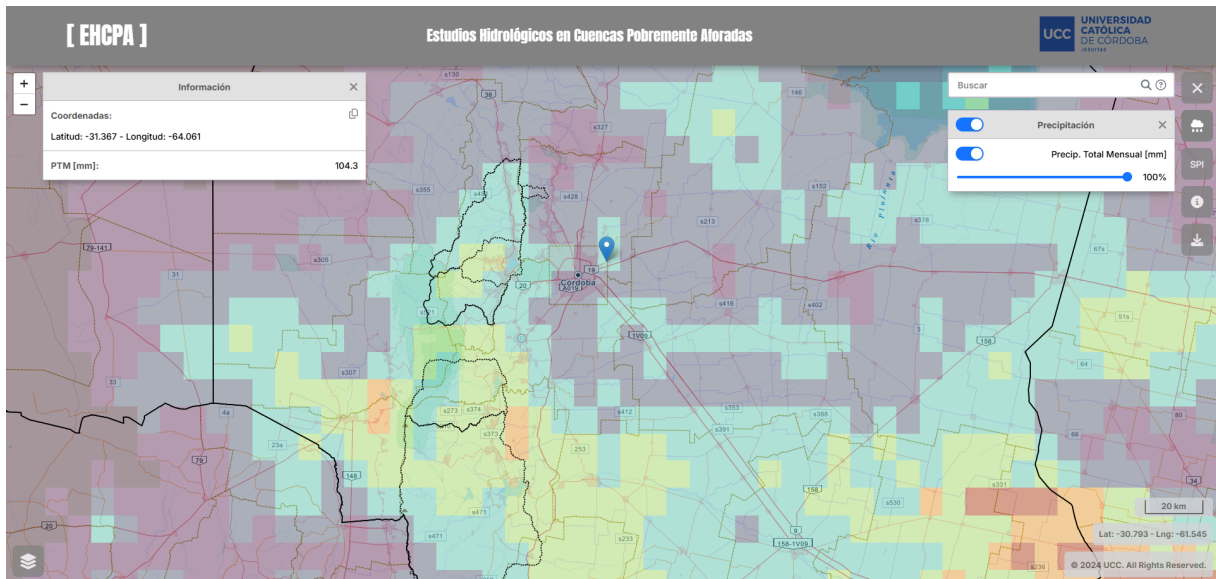


Figura 34: Mockup Vista de PTM.

- **Descripción General:** Las capas de PTM permiten al usuario web visualizar, en toda la región de Argentina, el acumulado de precipitaciones del mes en milímetros, de manera parcial con un tiempo de retraso de dos días respecto al día actual. Si bien la capa de PTM está activada y posee el máximo de opacidad por defecto al acceder al sitio web, es posible activar o desactivar la misma, y modificar su opacidad, accediendo al modal de Precipitación que se despliega cuando se abre el menú general de opciones ubicado en la esquina superior derecha del sitio, y posteriormente se selecciona el botón con el icono de lluvia. Los cambios aplicados deben permanecer al menos que el sitio sea refrescado, volviendo todo a la configuración por defecto.

Mientras la capa esté activada es posible visualizar valores válidos en milímetros de PTM en cualquier punto del mapa dentro de Argentina, a través de un modal informativo que aparece siempre que se haga click en el mapa. Dicho modal provee la posibilidad de copiar el valor de las coordenadas y el valor de la capa activada, en este caso PTM, en dicho punto. Y además, el modal posee la particularidad de que puede ser arrastrado a lo largo y ancho del sitio web, tomando como límite superior el navbar con el título del sitio, y al cerrarlo, al hacer click nuevamente en un punto del mapa, el mismo aparecerá en la última posición donde fue depositado.

Por último se visualiza un marcador o marker que se coloca cada vez que se hace click sobre el mapa.

- **Elementos Principales:**
 - Mapa.
 - Botón de Menu general.
 - Botón de Precipitación.
 - Modal de Precipitación.
 - Título de capa de PTM.
 - Porcentaje de opacidad de capa de PTM.
 - Input range para modificar la opacidad de la capa de PTM.

- Switch de activación o desactivación de la capa de PTM.
- Modal informativo: Valor de coordenadas, valor de PTM y botón para copiar datos.
- Marcador en el mapa.

5.2.2.4 Vista de SPI

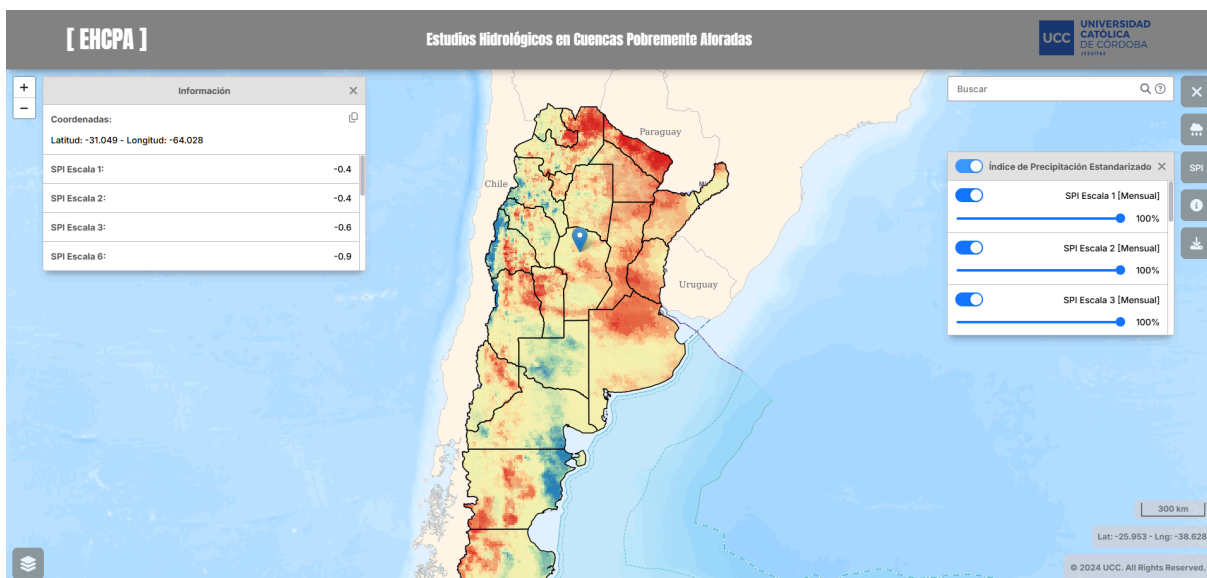


Figura 35: Mockup Vista de SPI.

- **Descripción General:** Las capas de SPI permiten al usuario web visualizar en toda la región de Argentina, condiciones de sequía o humedad en el corto plazo mediante las escalas 1, 2 y 3, en el mediano plazo mediante las escalas 6 y 9, y en el largo plazo mediante las escalas 12, 24, 36, 48, 60 y 72. Todas las capas de SPI están desactivadas por defecto al acceder al sitio web. Es posible activar, desactivar y modificar la opacidad, de cada una de las capas, accediendo al modal de SPI que se despliega cuando se abre el menú general de opciones ubicado en la esquina superior derecha del sitio, y posteriormente se selecciona el botón de SPI. Además es posible activar o desactivar todas las capas de SPI de manera grupal. Los cambios aplicados deben permanecer al menos que el sitio sea refrescado, volviendo todo a la configuración por defecto.

Mientras alguna de las capas de SPI esté activada es posible visualizar valores válidos para dicho índice en su correspondiente escala mensual, en cualquier punto del mapa dentro de Argentina, a través de un modal informativo que aparece siempre que se haga click en el mapa. Dicho modal provee la posibilidad de copiar el valor de las coordenadas y el valor de la capa activada, en este caso el SPI de una escala puntual o el de todas las escalas que estén activadas, en dicho punto. Y además, el modal posee la particularidad de que puede ser arrastrado a lo largo y ancho del sitio web, tomando como límite superior el navbar con el título del sitio, y al cerrarlo, al hacer click nuevamente en un punto del mapa, el mismo aparecerá en la última posición donde fue depositado.

Por último se visualiza un marcador o marker que se coloca cada vez que se hace click sobre el mapa.

- **Elementos Principales:**

- Mapa.
- Botón de Menu general.
- Botón de SPI.
- Modal de Capas de SPI.
- Título de cada capa de SPI.
- Porcentaje de opacidad de cada capa de PTM.
- Input range para modificar la opacidad de cada capa de SPI.
- Switch de activación o desactivación de cada capa de SPI.
- Modal informativo: Valor de coordenadas, valor de SPI para cada escala y botón para copiar datos.
- Marcador en el mapa.

5.2.2.5 Vista de Buscar Ubicación

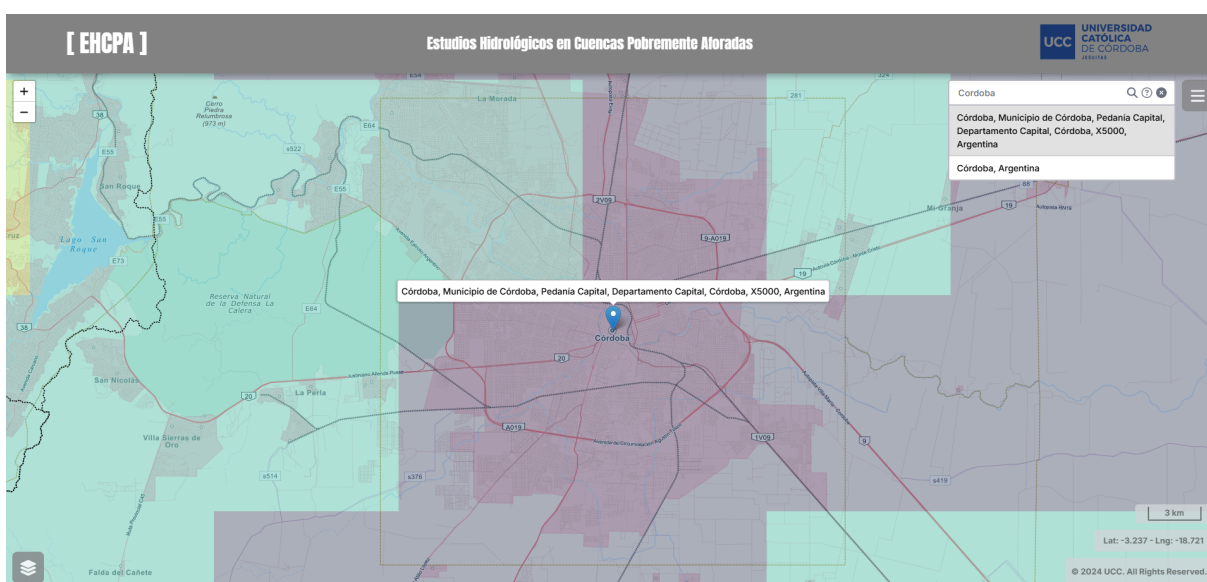


Figura 36: Mockup Vista de Buscar Ubicación.

- **Descripción General:** En el sitio web se presenta un buscador que permite al usuario web ingresar ubicaciones en forma de direcciones o coordenadas, y al efectuar la búsqueda, mediante el icono de la lupa o apretando la tecla “enter”, se despliega un modal con los resultados encontrados. En caso de no encontrar un resultado se mostrará un mensaje en dicho modal.

El usuario puede seleccionar los resultados presentados, y la vista del mapa será redirigida a las coordenadas que corresponden a la ubicación seleccionada. Por otro lado se colocará un marcador en el mapa con una etiqueta que contenga el nombre de la ubicación. La redirección modificará el zoom y la escala del mapa.

La barra de búsqueda cuenta con un botón de “X” que permite eliminar el contenido de la barra de búsqueda y hacer desaparecer el modal de resultados. Y un icono de “?” para abrir un modal que posee información sobre el funcionamiento del buscador.

- **Elementos Principales:**

- Mapa.

- Barra de búsqueda.
- Modal de resultados de la búsqueda.
- Marcador en el mapa.
- Etiqueta o tooltip sobre el marcador.

5.2.2.6 Vista de Descarga de Datos

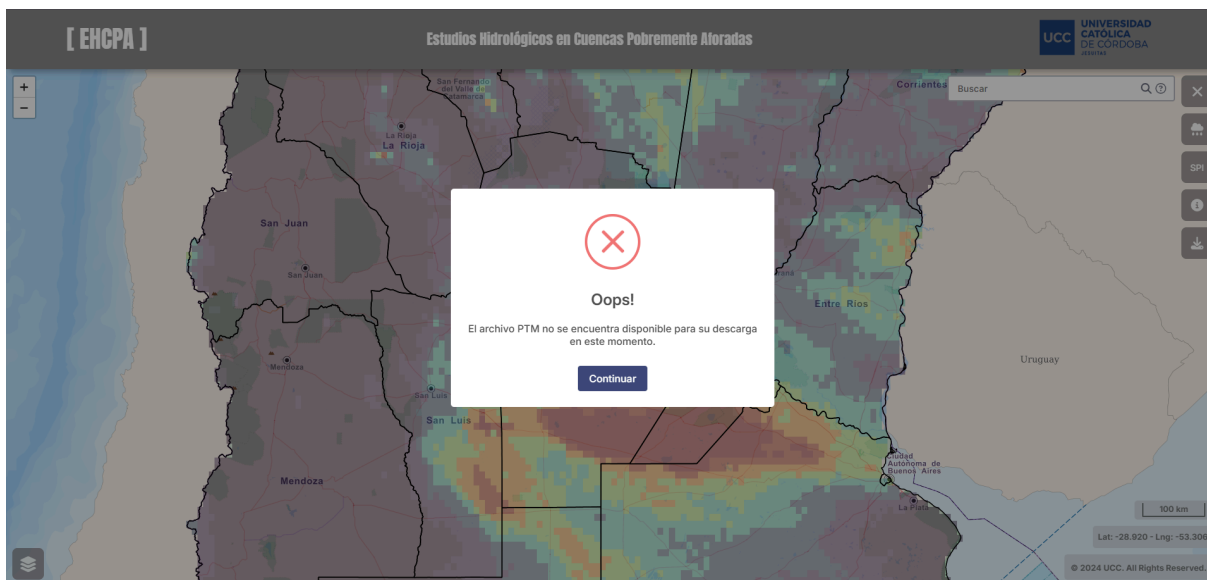


Figura 37: Mockup Vista de Descarga de Datos.

- **Descripción General:** La descarga de los archivos de PTM o SPI, en cualquiera de las escalas, se llevará a cabo de forma correcta siempre y cuando la capa del archivo o los archivos a descargar estén activadas, o dichos archivos estén disponibles. La descarga se realiza al abrir el menú general, y de entre todos los botones de opciones principales, se selecciona la del icono de descarga. En caso de intentar descargar sin haber activado ninguna capa, se visualizará un modal de “Atención” indicando que se debe activar al menos una capa para realizar la descarga, por otro lado, en caso de que el o los archivos a descargar no estén disponibles se visualizará un modal de “Oops” indicando que dichos datos no están disponibles para la descarga. Y un modal de “Network error” para indicar una falla de conexión con el servidor que provee los datos para la descarga. Cuando se abre cualquiera de los modales de error, se oscurece el fondo y se bloquean las interacciones con los demás componentes, por lo que para cerrar los modales la única manera es a través del botón de “Continuar”.
- **Elementos Principales:**
 - Boton de menu general
 - Botón de descarga.
 - Modal de error en la descarga.
 - Título del tipo de error en el modal.
 - Descripción del error en el modal.
 - Botón de continuar en el modal.



5.3 Implementación

En el marco del desarrollo de la solución, se define la misma como un sistema web denominado “EHCPA”. El nombre en cuestión es una abreviación del grupo de investigación Estudios Hidrológicos en Cuencas Pobrementemente Aforadas, hacia los cuales está dirigida la herramienta.

Para garantizar que la herramienta esté siempre disponible, permitiendo el acceso a los datos y funcionalidades que provee, y que a su vez pueda ser mantenida de forma correcta a lo largo del tiempo, se lleva a cabo el desarrollo e implementación de la misma sobre una máquina virtual alojada en los servidores de la Universidad Católica de Córdoba. La misma cuenta con las siguientes características:

- Sistema Operativo: Windows 11.
- Procesador: Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2620 0 @ 2.00GHz 2.00GHz
- Memoria RAM: 8 Gigabytes
- Memoria Virtual: 10 Gigabytes
- Conectividad a Internet.
- Acceso remoto a través de la herramienta AnyDesk.

De esta forma, la instalación de todos los servicios, dependencias y herramientas necesarias para que el sistema EHCPA pueda ser desarrollado e implementado con éxito, se llevará a cabo directamente en la máquina virtual de la UCC, evitando así la construcción del sistema EHCPA en otro computador, y luego tener que volver a instalar nuevamente todo lo requerido para el funcionamiento del sistema al realizar la migración del mismo en el servidor de la UCC.

Por otro lado, el IDE seleccionado para llevar a cabo el desarrollo del sistema EHCPA es Visual Studio Code.

Desarrollo

En el presente apartado se detallan todas las actividades llevadas a cabo durante el proceso de desarrollo del sistema EHCPA. En lo que respecta al desarrollo del backend y el frontend, el funcionamiento y estructura de ambos es explicado a través de módulos.

Un módulo constituye una unidad autónoma de código que encapsula una funcionalidad específica o un conjunto de funciones afines. El sistema debe ejecutar funcionalidades muy complejas para cumplir con los requerimientos establecidos, por lo que resulta conveniente organizar y estructurar el sistema en secciones más pequeñas, reutilizables y mantenibles. Cada módulo cumple un propósito particular y se comunica con otros módulos del sistema mediante interfaces definidas, favoreciendo de esta manera a la arquitectura, logrando el funcionamiento de las funcionalidades principales o módulos padre, y garantizando posteriormente el mantenimiento general del sistema.

5.3.1 Desarrollo backend

5.3.1.1 Creacion de Entorno Virtual de Python

Debido a que el lenguaje de programación seleccionado para el desarrollo del backend del sistema EHCPA es Python, y teniendo en cuenta los conceptos relevados en la sección del Marco Teórico, para poder ejecutar el backend será necesaria la creación de un entorno virtual de Python con su correspondiente versión, y las versiones específicas de cada una de las dependencias y librerías necesarias para el funcionamiento del servicio y la ejecución de las funcionalidades.

I. Instalación de Conda

La herramienta seleccionada para la creación y gestión del entorno virtual de Python es Conda. A continuación, se visualizan las secciones más importantes sobre el paso a paso de la instalación del software Anaconda, el cual provee el gestor de Conda, en la máquina virtual de la UCC.

1. Como primera medida se procede a ejecutar como administrador el instalador descargado del sitio web oficial de Anaconda.
 - Acceso: [Anaconda](#)
2. Posteriormente se aceptan los términos de uso y licencia.
3. Se especifica el directorio donde se instalará Anaconda y donde a su vez se almacenará el entorno virtual necesario para el backend del sistema.

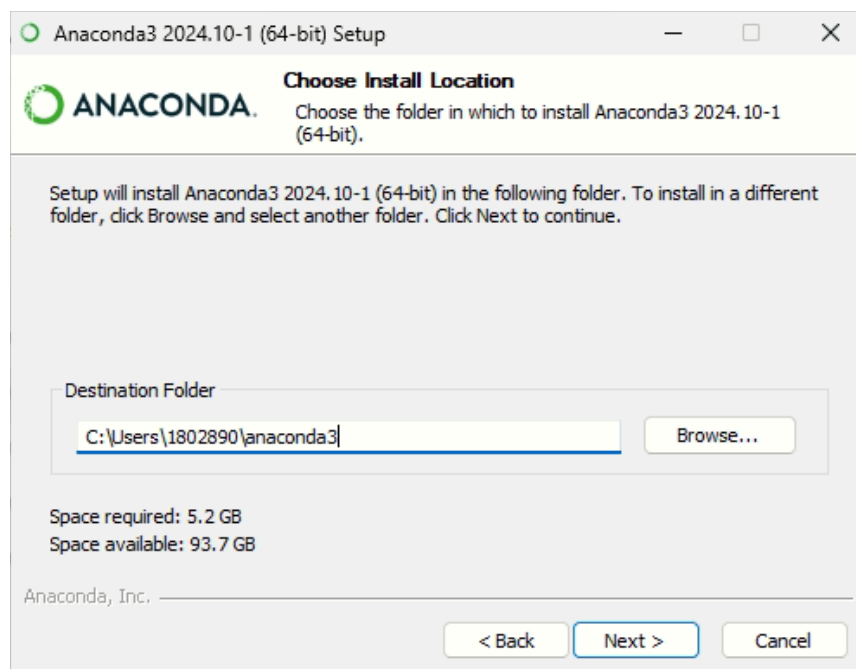


Figura 38: Verificación del directorio de instalación de Anaconda.

4. Como paso fundamental previo a la instalación, se deben añadir las variables de entorno de Conda al sistema operativo, para que pueda ser detectado a través de la terminal del sistema.

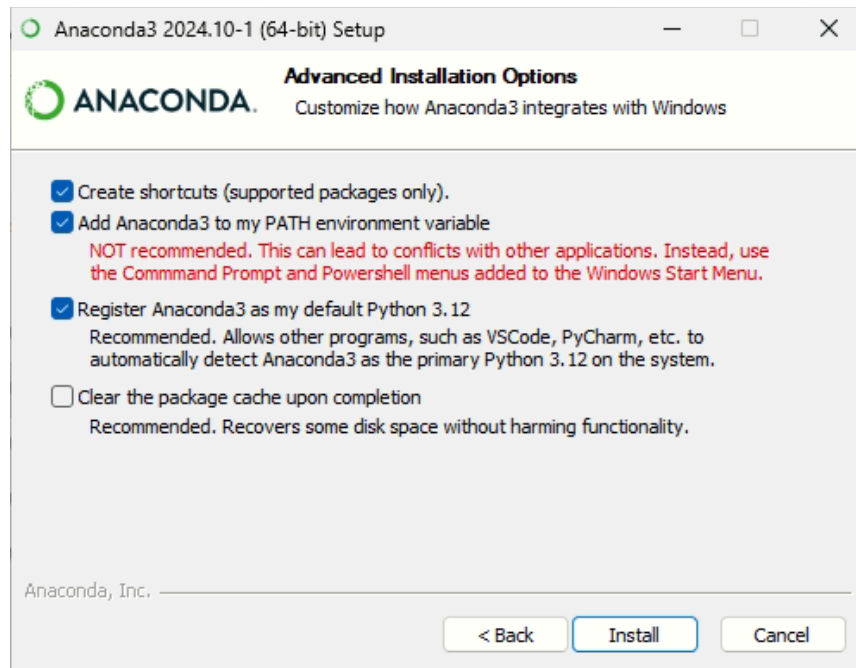


Figura 39: Habilitación de la creación de variables de entorno en la instalación de Anaconda.

II. Configuración de Archivo YML

La construcción y actualización del entorno virtual de Python, gestionado por Conda, se lleva a cabo mediante la implementación de un archivo “.yml”, ubicado dentro del directorio del backend. El mismo posee la siguiente estructura:

- name: Nombre asignado al entorno virtual.
- channels: Repositorios donde Conda busca las dependencias para instalar o actualizar.
- dependencies: Versiones específicas de Python y dependencias a instalar.

La implementación de este archivo, en lugar de crear el entorno manualmente, permite definir la versión específica de Python con la que se desea trabajar en el backend, por otro lado se listan todas las dependencias necesarias para instalar, en lugar de instalar una por una manualmente, y facilita la portabilidad del entorno en caso de tener que migrar el sistema.

5.3.1.1 Modulo Proceso EHCPA

El módulo Proceso EHCPA, anteriormente mencionado como Proceso de Cálculo de SPI, es la función más importante del sistema EHCPA, ya que el mismo representa la automatización y optimización del proceso de obtención del SPI, relevado en la sección Observación de Metodologías de Trabajo del Marco Teórico. A su vez, está formado por un conjunto de submódulos que se ejecutan de forma secuencial y de forma automatizada, para cumplir con diferentes objetivos, cuyos resultados proveen al sistema los recursos necesarios para alimentar las diferentes funcionalidades con las que puede interactuar el usuario web.

La ejecución del proceso se gestiona a través de un CRON, el cual es un planificador que permite ejecutar tareas en un momento determinado y cada cierta frecuencia. Para este caso, el CRON ejecuta el Proceso EHCPA todos los días a las 03:00 am hora local Argentina. La razón de la elección de dicho horario es que el mismo se encuentra por fuera del horario laboral del grupo de investigación.

Los siguientes diagramas permiten visualizar la estructura de directorios implementados por el Proceso EHCPA para el almacenamiento local de los diferentes archivos generados durante la secuencia de ejecución.

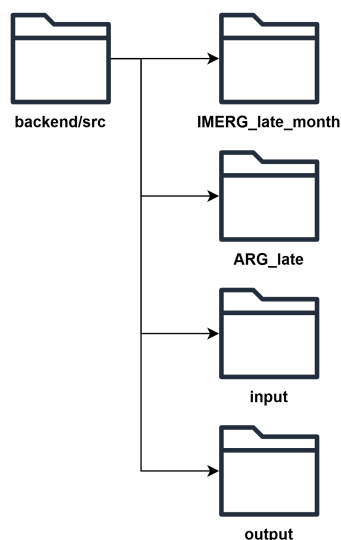


Figura 40: Estructura de directorios del Backend.

Para el caso particular del directorio “ARG_late”, el cual almacena las imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria, la estrategia implementada, para optimizar el procesamiento y evitar un almacenamiento que escale al infinito, consiste en borrar el contenido de dicha carpeta el tercer día del mes siguiente, tomando como referencia el mes del día actual. Por ejemplo, si la fecha actual es el 15 de noviembre del año 2024, la fecha de formateo del directorio será el 03 de diciembre del año 2024. Y en el caso de que la fecha actual sea, por ejemplo, el 02 de diciembre del año 2024, la fecha de formateo será el 03 de enero del año 2025.

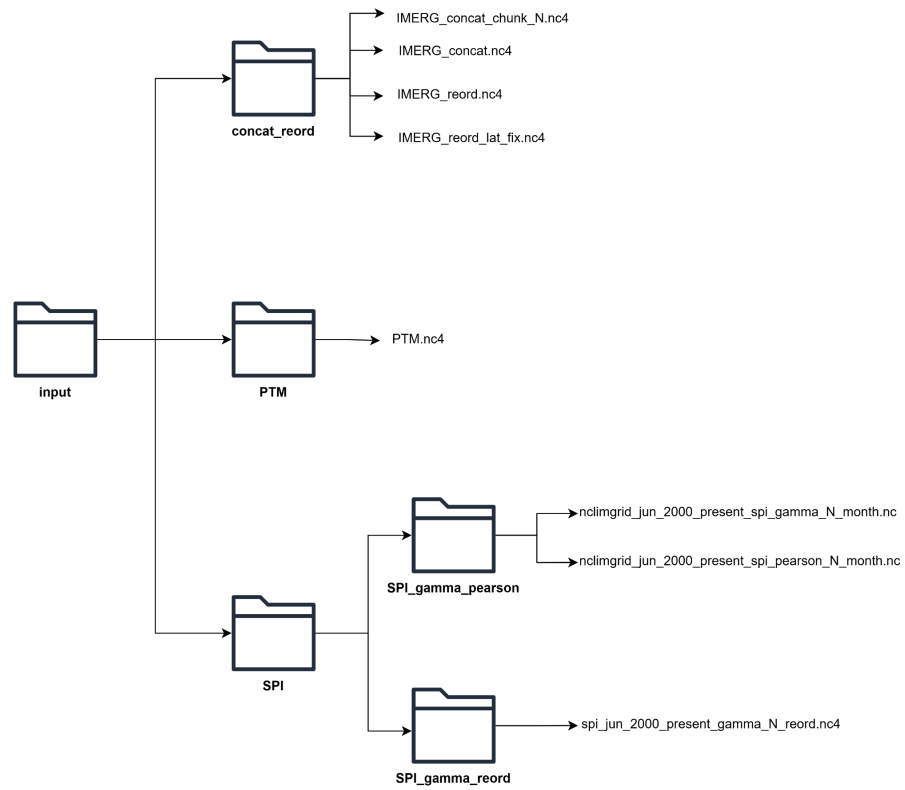


Figura 41: Estructura del directorio input del Backend.

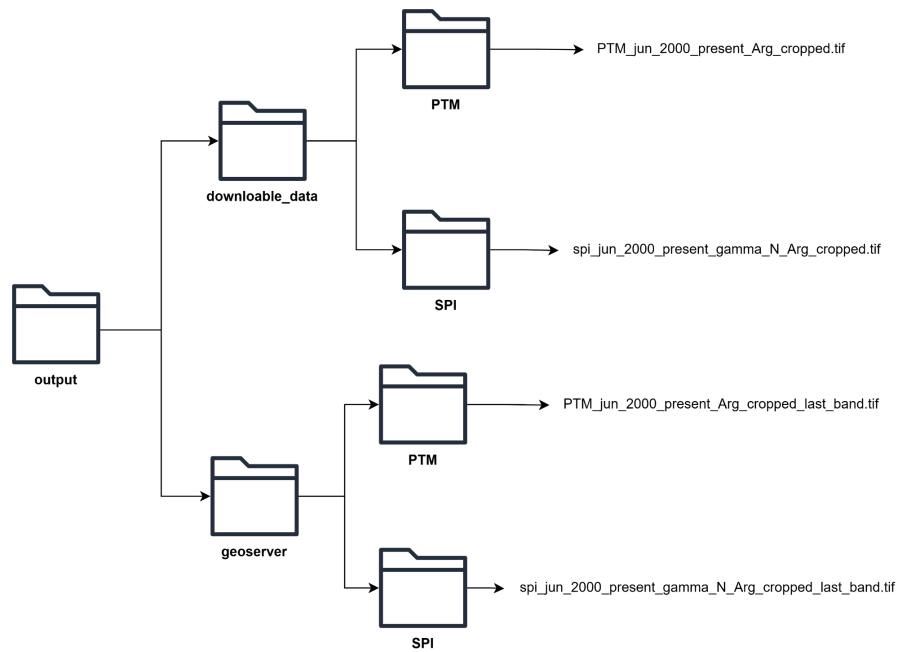


Figura 42: Estructura del directorio output del Backend.



I. Submódulo Descarga de Backup

Los archivos de precipitación mensual acumulada son imprescindibles para la generación del PTM, y para el cálculo del SPI, el sistema EHCPA debe tener almacenado localmente, en el directorio “IMERG_late_month” (Figura 40), todos los archivos de precipitación mensual acumulada para poder efectuar el Proceso EHCPA.

Dada la necesidad anterior, el siguiente módulo tiene como propósito automatizar la verificación de la existencia de los archivos de precipitación mensual acumulada en el directorio “IMERG_late_month”, y la descarga del backup de dichos archivos almacenados en un bucket del servicio S3 de Amazon Web Services previamente creado.

Mediante esta función el sistema EHCPA verifica la existencia del directorio “IMERG_late_month”. En caso de no existir, el programa procede a crearlo y comienza la descarga del backup de los archivos almacenados en el servicio S3.

En caso de que el directorio ya exista, la función compara la cantidad de archivos presentes en el mismo con el número de archivos presentes en el bucket de S3, y se verifica lo siguiente:

- Si el número de archivos locales es menor a la cantidad almacenada en el bucket de S3, la función procede a descargar el backup.
- Si el número de archivos locales coincide o es superior al del bucket de S3, se interpreta que el respaldo local está completo y se omite la descarga.

Para el acceso a los datos almacenados en el bucket de S3 se establecen las credenciales necesarias para validar la autenticación, utilizando variables de entorno para proteger dicha información.

II. Submódulo Descarga de Imágenes Satelitales IMERG de Precipitación Diaria

El presente submódulo tiene como objetivo principal la descarga automatizada de las imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria a través de la API del repositorio GES DISC del sitio NASA Earth Data.

Los parámetros fundamentales para la descarga de los datos son la identificación del producto, que en este caso es el conjunto de datos IMERG Late de precipitación diaria en su versión 7, un corte geoespacial sobre la región de Argentina, la variable de interés que para este caso es precipitación, y el rango de fechas de descarga.

Debido al rango horario en la disponibilidad de las imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria del tipo Late, los datos siempre están disponibles con un día de retraso a partir de las 14 horas del día actual. Para evitar que la función falle ante la falta de datos, se establece como estrategia fijar como fecha de descarga a la fecha actual menos dos días. De esta forma se garantiza que siempre se intentará descargar imágenes satelitales IMERG de precipitación ya disponibles.

El flujo de la función se estructura en las siguientes etapas clave:

1. Obtención del subset de datos IMERG de precipitación diaria mediante conexión a la API del repositorio GES DISC del sitio NASA Earth Data, a partir de los parámetros de búsqueda establecidos.
2. Proceso de generación de credenciales y autenticación en el sitio NASA Earthdata, para acceder y descargar los datos del subset obtenido.
3. Proceso de descarga de las imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria de las URLs obtenidas en el subset y el almacenamiento de estas en el directorio “ARG_late” (Figura 40).
4. Manejo de errores conocidos.



III. Submódulo Cálculo de Precipitación Mensual Acumulada

El siguiente submódulo procesa las imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria almacenadas en el directorio local “ARG_late”, con el objetivo de calcular la precipitación mensual acumulada.

El algoritmo implementado recorre todos los archivos disponibles en el directorio “ARG_late”, agrupando todos aquellos que pertenecen al mismo mes del mismo año, y se suman los valores de precipitación diaria de cada uno de los archivos.

Los archivos generados se almacenan localmente en el directorio “IMERG_late_month”.

IV. Submódulo Creación de Backup

Se considera necesario recordar nuevamente la importancia de los archivos de precipitación mensual acumulada para el cálculo del PTM y del SPI, debido a que, si estos datos por diferentes razones no se encontrasen disponibles, se tendría que realizar nuevamente una descarga masiva de imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria y posteriormente ser procesadas para generar los acumulados mensuales.

Por este motivo surge la implementación del presente submódulo, con el objetivo de crear un respaldo automático de los archivos de precipitación mensual acumulada en el servicio S3 de AWS, permitiendo almacenar estos datos en la nube de manera organizada y segura.

La función básicamente sube cada uno de los archivos de precipitación mensual acumulada almacenados en el directorio “IMERG_late_month” al bucket especificado del servicio S3 de AWS. Para implementar esta funcionalidad se establecen las credenciales necesarias para validar la autenticación, utilizando variables de entorno para proteger dicha información.

V. Submódulo Concatenación y Reordenamiento

El siguiente submódulo se encarga de realizar el siguiente proceso de forma secuencial:

1. Concatenación de acumulados mensuales: Unifica todos los archivos de precipitación mensual acumulada presentes en el directorio “IMERG_late_month”, en un solo archivo unificado y se almacena en el subdirectorio “concat_reord” del directorio “input”.
2. Reordenamiento de archivo concatenado: Modifica el orden de las dimensiones del archivo concatenado en la forma latitud, longitud y tiempo, generando un nuevo archivo reordenado que se almacena en el subdirectorio “concat_reord” del directorio “input”.
3. Corrección de archivo reordenado: Aplica una corrección en la dimensión de latitud del archivo reordenado, generando de esta forma el archivo de entrada para el cálculo del PTM y del SPI, almacenándose en el subdirectorio “concat_reord” del directorio “input”.
4. Generación del archivo PTM: Finalmente, se reordena nuevamente las dimensiones del archivo reordenado y corregido, en la forma tiempo, latitud, longitud, para generar el archivo de Precipitación Total Mensual, almacenándose en el subdirectorio “PTM” del directorio “input”.



VI. Submódulo Conversión y Corte de PTM

El submódulo Conversión y Corte de PTM, utiliza como dato de entrada el archivo de PTM obtenido, y almacenado en el subdirectorío "PTM" del directorío "Input", para el siguiente procedimiento:

1. Se realiza la conversión del archivo PTM en formato netCDF a GeoTiff, generando dos nuevos archivos:
 - Un archivo de PTM en formato GeoTiff que incluya todas las bandas temporales (meses).
 - Un archivo de PTM en formato GeoTiff que incluya únicamente la última banda (último mes).
2. Se aplica un recorte geográfico sobre los dos archivos generados en el paso anterior, utilizando un archivo shape del contorno geográfico de Argentina, con el objetivo de limitar los datos a la región. Se obtiene como resultado:
 - Un archivo de PTM en formato GeoTiff con el corte en Argentina que incluya todas las bandas temporales (todos los acumulados mensuales), y se almacena en el subdirectorío "PTM" del directorío "output/downloadable_data", con el objetivo de poder ser descargado posteriormente.
 - Un archivo de PTM en formato GeoTiff con el corte en Argentina que incluya únicamente la última banda (el último acumulado mensual), y se almacena en el subdirectorío "PTM" del directorío "output/geoserver", con el objetivo de poder ser subido a GeoServer.

VII. Submódulo Generación de SPI

El submódulo se encarga de calcular el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) para las escalas mensuales 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 60 y 72, utilizando como dato de entrada el archivo reordenado y corregido almacenado en el subdirectorío "concat_reord" del directorío "input".

El proceso llevado a cabo es el siguiente:

1. Cálculo del SPI: Al efectuar el cálculo del SPI, se obtiene como resultado para cada escala, archivos crudos del SPI calculados mediante una distribución Gamma y mediante una distribución Pearson. En total los 22 archivos son almacenados en el subdirectorío "SPI_gamma_pearson" del directorío "input/SPI".
2. Reordenamiento de archivos SPI Gamma: Se reordenan las dimensiones de los archivos SPI Gamma, en la forma tiempo, latitud, longitud, almacenando los mismos en otro subdirectorío llamado "SPI_gamma_reord" dentro del directorío "input/SPI".

VIII. Submódulo Conversión y Corte de SPI

El submódulo Conversión y Corte de SPI, utiliza como datos de entrada los archivos de SPI Gamma reordenados de cada escala, y almacenados en el subdirectorío "SPI_gamma_reord" dentro del directorío "input/SPI", para el siguiente procedimiento:

1. Se realiza la conversión de cada uno de los archivos SPI Gamma reordenados en formato netCDF a GeoTiff, generando dos nuevos archivos para cada escala:
 - Un archivo de SPI en formato GeoTiff que incluya todas las bandas temporales (meses).



- Un archivo de SPI en formato GeoTiff que incluya únicamente la última banda (último mes).
2. Se aplica un recorte geográfico sobre los dos tipos de archivos generados en el paso anterior, utilizando un archivo shape del contorno geográfico de Argentina, con el objetivo de limitar los datos a la región. Se obtiene como resultado para cada una de las escalas:
- Un archivo de SPI en formato GeoTiff con el corte en Argentina que incluya todas las bandas temporales (todos los acumulados mensuales), y se almacena en el subdirectorío "SPI" del directorío "output/downloadable_data", con el objetivo de poder ser descargado posteriormente.
 - Un archivo de SPI en formato GeoTiff con el corte en Argentina que incluya únicamente la última banda (el último acumulado mensual), y se almacena en el subdirectorío "SPI" del directorío "output/geoserver", con el objetivo de poder ser subido a GeoServer.

IX. Submódulo Importar Datos a GeoServer

El siguiente submódulo tiene como objetivo efectuar la autenticación y conexión con GeoServer para crear y publicar las capas raster de PTM y del SPI de todas las escalas, en el espacio de trabajo definido en el servidor, y aplicando para cada capa el estilo correspondiente.

El proceso general sigue estos pasos:

1. Se establece la conexión con GeoServer utilizando las credenciales necesarias para validar la autenticación en el servidor, utilizando variables de entorno para proteger dicha información.
2. Para el archivo de PTM ubicado en el subdirectorío "PTM" del directorío "output/geoserver" se crea una capa específica en el espacio de trabajo de GeoServer y se le asigna un estilo predeterminado para su visualización.
3. Para los archivos SPI de cada escala ubicados en el subdirectorío "SPI" del directorío "output/geoserver", se crea una capa para cada escala, asignándole un estilo predeterminado para su visualización.

X. Submódulo Notificación de Finalización de Proceso EHCPA via Gmail

El presente submódulo provee la funcionalidad de enviar un correo electrónico a través del servidor SMTP del servicio de mensajería Gmail de Google, con el objetivo de notificar al usuario administrador que el Proceso EHCPA terminó, independientemente de si finalizó con éxito o no.

- Se establece como emisor el correo electrónico oficial del sistema EHCPA, creado a través de Gmail, y habilitado para su acceso a través del servidor SMTP. El proceso de habilitación se detalla en la sección Habilitación de Gmail EHCPA.
- Se establece como receptor el correo electrónico del usuario administrador.

A continuación se visualizan los diferentes mensajes, tanto para una finalización exitosa del Proceso EHCPA como para una finalización fallida. Para el caso del proceso exitoso, se indica que el mismo finalizó sin errores, y para el caso de un proceso fallido, el contenido del mensaje indica el correspondiente error. Para ambos casos, se incluye en el cuerpo del mensaje la última fecha descargada, en referencia a la última imagen satelital IMERG de precipitación diaria descargada por el sistema, y la fecha de formateo del



directorio "ARG_late", para poder actuar con anticipación antes de que se borren los datos que se procesan hasta el momento.

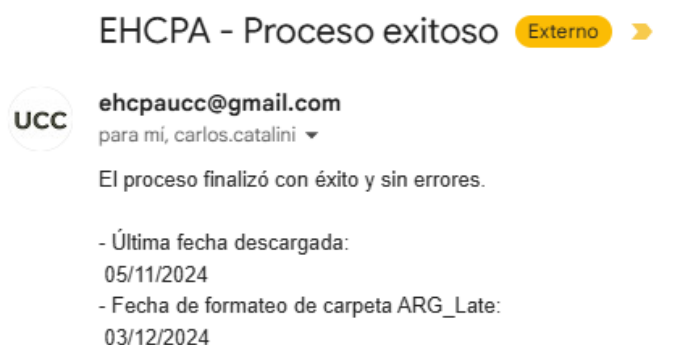


Figura 43: Email de Proceso EHCPA Exitoso.

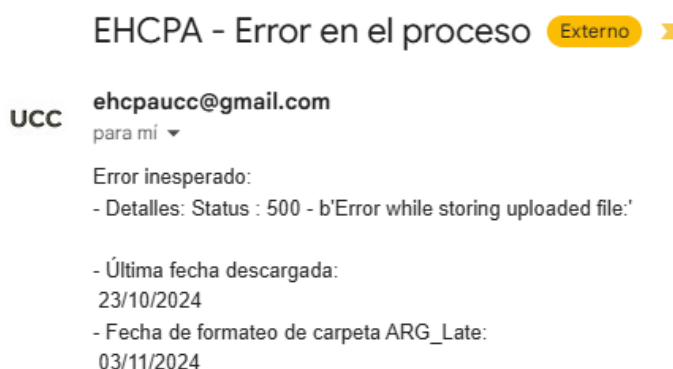


Figura 44: Email de Error en el Proceso EHCPA.

5.3.1.2 Modulo Proceso de Descarga Remota

La funcionalidad de descarga de imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria, del Módulo Proceso EHCPA, depende exclusivamente de la disponibilidad de imágenes satelitales en el repositorio GES DISC del sitio web NASA Earthdata, y por otro lado depende del estado en el que se encuentre dicho sitio web.

Puede suceder que exista un retraso o demora en la carga de imágenes satelitales al repositorio, provocando que no haya datos para descargar en días que, según del sitio web, ya deberían estar disponibles. Y por otro lado, puede suceder que el acceso al repositorio GES DISC, mediante la API o manualmente, no se encuentre habilitado por diferentes razones, aunque normalmente se debe al mantenimiento del sitio web.

No resulta en una estrategia óptima pausar el Proceso EHCPA hasta que el dato diario a descargar este disponible, ya que puede suceder que dicho dato no esté habilitado durante un largo tiempo en el repositorio GES DISC, lo que provocaría que el Proceso EHCPA esté detenido por un tiempo indefinido hasta que el dato esté disponible finalmente.

Por esta razón surge del desarrollo del Módulo Proceso de Descarga Remota, el cual permite al usuario administrador efectuar la descarga de aquellas imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria que no pudieron ser descargadas por el Proceso EHCPA, una vez que están finalmente disponibles en el repositorio GES DISC. Pero de todas maneras, la verificación manual de la disponibilidad de datos dentro del repositorio GES DISC del sitio web NASA Earthdata, por parte del usuario administrador, debe ser una tarea regular para



llevar un control de los mismos y evitar efectuar nuevamente una descarga de datos inexistentes.

La ejecución del Proceso de Descarga Remota se efectúa en paralelo con el Proceso EHCPA. Para disminuir la carga de procesamiento, a través de un CRON, el siguiente módulo se ejecuta todos los días cada 30 minutos, entre las 20:00 pm y las 02:00 am hora local Argentina, para evitar coincidir con el Proceso EHCPA y sobrecargar de ejecución de procesos al sistema. Por otro lado, si bien existe el riesgo de falta de disponibilidad de datos en el repositorio GES DISC, no es algo que sucede con mucha frecuencia, por lo que la constante ejecución de este módulo resulta en un esfuerzo de rendimiento innecesario.

I. Submódulo Recibir Petición de Descarga Remota

El presente submódulo, a través del servidor IMAP del servicio de mensajería Gmail de Google, recorre la bandeja de entrada del correo electrónico oficial del sistema EHCPA, en búsqueda de correos electrónicos provenientes del usuario administrador que soliciten la descarga remota de imágenes satelitales IMERG de precipitación diaria.

- Se establece como emisor el correo electrónico del usuario administrador.
- Se establece como receptor el correo electrónico oficial del sistema EHCPA (previamente creado a través de Gmail y habilitado para su acceso a través del servidor IMAP).

El proceso efectuado durante la ejecución es el siguiente:

1. El sistema realiza un escaneo de la bandeja de entrada del email receptor en búsqueda de correos electrónicos que provengan del email del emisor, y por otro lado que el subject o asunto del mensaje sea la palabra “descargar”, ya sea todo en minúsculas, todo en mayúsculas o cualquier letra en mayúsculas.
2. En caso de encontrar un mensaje de email con las características mencionadas, la función extrae el asunto, convierte sus siglas en mayúsculas y lo compara con la palabra clave “DESCARGAR” (todo en mayúsculas), para validar, a modo de bandera, que el mensaje detectado es válido.
3. Posteriormente, se lee su contenido con el objetivo de extraer el rango de fechas de descarga. Configurado previamente, se establece que el body o cuerpo del mensaje debe ser de la siguiente manera:

Fecha de inicio: AAAA-MM-DD

Fecha de fin: AAAA-MM-DD



Figura 45: Email de Petición de Descarga Remota.



4. Una vez extraídas las fechas, las mismas son utilizadas como datos de entrada para ejecutar el submódulo Descarga de Imágenes Satelitales IMERG de Precipitación Diaria desarrollado para el Proceso EHCPA.

El submódulo detecta y procesa una petición a la vez. En el caso de que el emisor envíe múltiples solicitudes de descarga remota, gracias a la configuración del CRON del módulo, cada petición o correo enviado por el emisor será detectado y procesado, uno por uno, cada 30 minutos en el rango horario de 20:00 pm hasta las 02:00 am. De esta manera se evita la colisión entre diferentes peticiones.

II. Submódulo Notificación de Finalización de Descarga Remota

El siguiente submódulo provee la funcionalidad de enviar un correo electrónico a través del servidor SMTP del servicio de mensajería Gmail de Google, con el objetivo de notificar al usuario administrador que el Proceso de Descarga Remota terminó, independientemente de si finalizó con éxito o no.

- Se establece como emisor el correo electrónico oficial del sistema EHCPA (previamente creado a través de Gmail y habilitado para su acceso a través del servidor SMTP).
- Se establece como receptor el correo electrónico del usuario administrador.

A continuación se visualizan los diferentes mensajes, tanto para una finalización exitosa del Proceso de Descarga Remota, como para una finalización fallida. Para el caso del proceso exitoso, se indica que el mismo finalizó sin errores, y para el caso de un proceso fallido, el contenido del mensaje indica el correspondiente error. Para ambos casos, se incluye en el cuerpo del mensaje la última fecha descargada, en referencia a la última imagen satelital IMERG de precipitación diaria descargada por el sistema, y la fecha de formateo del directorio "ARG_late", para poder actuar con anticipación antes de que se borren los datos que se procesan hasta el momento.



Figura 46: Email de Proceso de Descarga Remota Exitosa.



Figura 47: Email de Error en Proceso de Descarga Remota.

5.3.1.3 Modulo Descarga de Datos PTM y SPI

El módulo Descarga de Datos PTM y SPI tiene como propósito gestionar las peticiones de descarga de los archivos de PTM y SPI de todas las escalas, generados por el Proceso EHCPA. La función, permite descargar los archivos de forma individual o grupal, en formato ZIP, a través de un endpoint que responde a solicitudes HTTP de tipo GET.

El funcionamiento consiste en lo siguiente:

1. Recepción de la Solicitud: El endpoint recibe un identificador o lista de identificadores de los archivos solicitados. Estos identificadores especifican qué datos deben incluirse en la descarga.
2. Validación de Identificadores: Se verifican los identificadores proporcionados. Si el identificador es válido, se construye la ruta correspondiente del archivo; en caso contrario, se devuelve un mensaje de error.
3. Comprobación de Disponibilidad: La función verifica si los archivos correspondientes a los identificadores existen en las rutas designadas. Los archivos encontrados se preparan para la descarga, mientras que los que no se encuentran generan mensajes de error indicando que dicho archivo o los archivos solicitados no están disponibles para la descarga.
4. Creación del Archivo ZIP: Los archivos válidos se empaquetan en un archivo ZIP en memoria, asegurando que los nombres de los archivos sean claros y comprensibles al descargarlos.
5. Respuesta al Usuario: Finalmente, el archivo ZIP se envía como respuesta al usuario para que pueda descargarlo, asegurando que el navegador lo maneje correctamente como un archivo adjunto.

5.3.1.4 Modulo Obtencion de Fechas

El propósito de este módulo es gestionar las peticiones por un lado, de la fecha de fin de calibración de los archivos PTM y SPI resultantes del Proceso EHCPA, la cual indica el mes, y su correspondiente año, de la última banda procesada, en conjunto con las bandas anteriores, para la obtención de dichos datos, tomando como fecha de inicio de calibración junio del año 2000. Por otro lado, la fecha de la última imagen satelital IMERG de



precipitación diaria descargada en el directorio ARG_late y procesada para generar el acumulado mensual parcial y la fecha actual. Esta información se genera en formato JSON y está destinada a ser utilizada en el modal informativo del mapa en el sitio web EHCPA.

El funcionamiento consiste en lo siguiente:

1. Obtención de Fechas:
 - Fecha Actual: Se obtiene la fecha actual, se extrae el día, mes y año, formateando el mes para que el mismo se visualice en español y con la primera letra en mayúscula.
 - Última Fecha Descargada y Procesada: Se busca la fecha del archivo más recientemente descargado en el directorio ARG_late. Si la fecha está disponible, se extrae el día, mes y año y se formatea el mes de igual forma que con la fecha actual. Caso contrario, se asigna "No Disponible" para el día, mes y año.
 - Fecha de Fin de Calibración: Se obtienen los valores del mes y año de la fecha de fin de calibración, concatenando ambas en un mismo mensaje personalizado con la forma de "mes_año".
2. Generación de Respuesta: Se construye un objeto JSON que incluye todas las fechas obtenidas.
3. Envío de la Respuesta: El objeto JSON se devuelve como respuesta al usuario, proporcionando los datos listos para ser utilizados en el frontend del sitio web EHCPA.

5.3.2 Amazon S3

La necesidad de la creación de una copia de seguridad o un respaldo de los archivos de precipitación mensual acumulada, plantean el desafío de implementar el servicio S3 provisto por Amazon web Services para poder almacenar dichos archivos en la nube de forma segura, siempre actualizados y tener acceso a los mismos en todo momento.

El servicio S3 permite almacenar los archivos en un bucket, es decir, un contenedor capaz de almacenar archivos de todo tipo. La creación del mismo, y su posterior habilitación para poder ser accedido desde un sistema externo, como en este caso el sistema EHCPA, consta de un proceso manual que se detalla en la presente sección.

Para acceder a las diferentes funcionalidades de AWS, es necesario contar con una cuenta registrada en el sitio. Es por eso que, antes de realizar el proceso de creación del bucket, se efectuó la creación de una cuenta en AWS a través del correo electrónico institucional de la Universidad Católica de Córdoba.

5.3.2.1 Creación de Usuario

El siguiente procedimiento detalla el proceso de creación de Usuario para la gestión del bucket de S3:

1. Previo a la creación del bucket, es necesario contar con un usuario habilitado para acceder y operar con el mismo. Dicho usuario se crea a través del servicio Identity and Access Management (IAM), el cual ayuda a controlar de forma segura el acceso a los recursos de AWS. Con IAM, es posible administrar los permisos que controlan a qué recursos de AWS pueden acceder los diferentes usuarios. Además permite controlar quién está autenticado (ha iniciado sesión) y autorizado (tiene permisos) para utilizar recursos. Por esta razón se procede a crear un usuario denominado "ehcpa-ucc-user" el cual será el único autorizado para operar con el bucket de S3.



Especificar los detalles del usuario

Detalles del usuario

Nombre de usuario

ehcpa-ucc-user|

El nombre de usuario puede tener un máximo de 64 caracteres. Caracteres válidos: A-Z, a-z, 0-9, and + = , _ @ - (guion)

☐ **Proporcione acceso de usuario a la consola de administración de AWS: opcional**
Si proporciona acceso a la consola a una persona, se trata de un [práctica recomendada](#) para administrar su acceso en IAM Identity Center.

Si está creando acceso mediante programación a través de claves de acceso o credenciales específicas de servicios para AWS CodeCommit o Amazon Keyspaces, puede generarlos después de crear este usuario de IAM.
[Más información](#)

Cancelar

Siguiente

Figura 48: Creación de Usuario IAM en AWS.

- Una vez creado el usuario, para poder asignarle el permiso de acceso al bucket de S3, es necesario crear un grupo. Esto se debe a que para evitar la asignación de los mismos permisos a múltiples usuarios, directamente se crea un grupo con ciertos permisos y se añade cada usuario al grupo. En este caso, se crea un grupo se nombre “S3-Full-Access” y en las políticas de permisos se habilita la opción de acceso completo a las funcionalidades del servicio S3.

Crear grupo de usuarios ✕

Cree un grupo de usuarios y seleccione políticas para adjuntarlas al grupo. Le recomendamos que utilice grupos para administrar los permisos de usuario por función de trabajo, acceso a servicios de AWS o permisos personalizados. [Más información](#)

Nombre del grupo de usuarios
Ingrese un nombre significativo para identificar a este grupo.

S3-Full-Access

128 caracteres como máximo. Utilice caracteres alfanuméricos y '+', '@', '-'.

Políticas de permisos (1/951)

Filtrar por Tipo

Todos los tipos

9 coincidencias

< 1 >

	Nombre de la política	Tipo	Usa...	Descripción
☐	AmazonDMSRedsh...	Administrada ...	Ninguno	Provides access to manage S3 setti
☒	AmazonS3FullAccess	Administrada ...	Ninguno	Provides full access to all buckets v
☐	AmazonS3ObjectL...	Administrada ...	Ninguno	Provides AWS Lambda functions pe
☐	AmazonS3Outpost...	Administrada ...	Ninguno	Provides full access to Amazon S3 e
☐	AmazonS3Outpost...	Administrada ...	Ninguno	Provides read only access to Amazc
☐	AmazonS3ReadOn...	Administrada ...	Ninguno	Provides read only access to all buc
☐	AWSBackupService...	Administrada ...	Ninguno	Policy containing permissions nece
☐	AWSBackupService...	Administrada ...	Ninguno	Policy containing permissions nece
☐	QuickSightAccessF...	Administrada ...	Ninguno	Policy used by QuickSight team to

Cancelar

Crear grupo de usuarios

Figura 49: Creación de Grupo con permisos de acceso a S3 en AWS.



3. Confirmada la creación del grupo, se procede a asignar el usuario al nuevo grupo creado con los permisos de acceso completo al servicio S3, y finalmente se confirma la creación del usuario.

Revisar y crear

Revise las opciones seleccionadas. Después de crear el usuario, puede ver y descargar la contraseña autogenerada, si está habilitada.

Detalles del usuario		
Nombre de usuario ehcpa-ucc-user	Tipo de contraseña de consola None	Exigir el restablecimiento de la contraseña No

Resumen de permisos		
Nombre 	Tipo 	Usado como 
S3-Full-Access	Grupo	Grupo de permisos

Etiquetas : opcional
Las etiquetas son pares clave-valor que puede agregar a los recursos de AWS para ayudar a identificar, organizar o buscar recursos. Elija las etiquetas que desee asociar a este usuario.

No hay etiquetas asociadas al recurso.

[Agregar nueva etiqueta](#)

Puede agregar hasta 50 etiqueta más.

[Cancelar](#) [Anterior](#) [Crear usuario](#)

Figura 50: Confirmación de Creación de Usuario con permisos de acceso a S3 en AWS.

5.3.2.2 Generación de Claves de Acceso

El siguiente procedimiento detalla la generación de las credenciales del usuario creado en el proceso anterior, para poder validar la autenticación del mismo desde el sistema EHCPA y así acceder a las funcionalidades del servicio S3 para generar el backup:

1. La generación de las claves o key de acceso, se lleva a cabo accediendo al perfil del usuario creado a través del servicio IAM.
2. Durante la creación se selecciona el uso que se le dará a la clave, que en este caso es para utilizarla en el sistema EHCAP, es decir, por fuera de AWS. Posteriormente se indica una descripción general sobre cuál es el objetivo de la clave. Y finalmente se procede a crear la clave. Al crear la clave es importante copiar los datos de la misma o descargar el archivo CSV proporcionado, ya que el único momento en el que se puede ver o descargar la clave, es durante su creación, por lo que no se la podrá recuperar posteriormente y se deberá crear una nueva.

Establecer el valor de etiqueta de descripción - opcional [Información](#)

La descripción de esta clave de acceso se adjuntará a este usuario como una etiqueta y se mostrará junto con la clave de acceso.

Valor de etiqueta de descripción

Describe el objetivo de esta clave de acceso y dónde se utilizará. Una buena descripción lo ayudará a rotar esta clave de acceso con confianza más adelante.

Garantizar el acceso del sistema EHCPA al backup de datos IMERG de precipitación mens

Máximo de 256 caracteres. Los caracteres permitidos son letras, números, espacios representables en UTF-8 y: _ . : / = + - @

Cancelar Anterior Crear clave de acceso

Figura 51: Creación de Claves de Acceso para AWS.

5.3.2.3 Creación de Bucket

El siguiente procedimiento detalla el proceso de creación del bucket de S3 donde se procederá a almacenar el backup de los archivos de precipitación mensual acumulada:

1. La creación del bucket, a través del servicio Amazon S3, consiste simplemente en la asignación de un nombre para identificar el mismo, que para este caso es “ehcpa-ucc-bucket” y se dejan todos los demás parámetros de configuración seleccionados por defecto.

[Amazon S3](#) > [Buckets](#) > Crear bucket

Crear bucket [Información](#)

Los buckets son contenedores de datos almacenados en S3.

Configuración general

Región de AWS
EE. UU. Este (Norte de Virginia) us-east-1

Tipo de bucket [Información](#)

☒ **Uso general**

Recomendado para la mayoría de los casos de uso y patrones de acceso. Los buckets de uso general son del tipo de bucket de S3 original. Permiten una combinación de clases de almacenamiento que almacenan objetos de forma redundante en múltiples zonas de disponibilidad.

☐ **Directorio**

Recomendado para casos de uso de baja latencia. Estos buckets utilizan únicamente la clase de almacenamiento S3 Express One Zone, que proporciona un procesamiento más rápido de los datos dentro de una única zona de disponibilidad.

Nombre del bucket [Información](#)

ehcpa-ucc-bucket

El nombre del bucket debe ser único dentro del espacio de nombres global y seguir las reglas de nomenclatura del bucket. [Consulte las reglas para la asignación de nombres de buckets](#)

Copiar la configuración del bucket existente: *opcional*
Solo se copia la configuración del bucket en los siguientes ajustes.

Elegir el bucket

Formato: s3://bucket/prefijo

Figura 52: Creación del Bucket de S3 en AWS.

2. Una vez creado, es posible visualizar el nuevo bucket en la colección de buckets del servicio S3 de la cuenta.

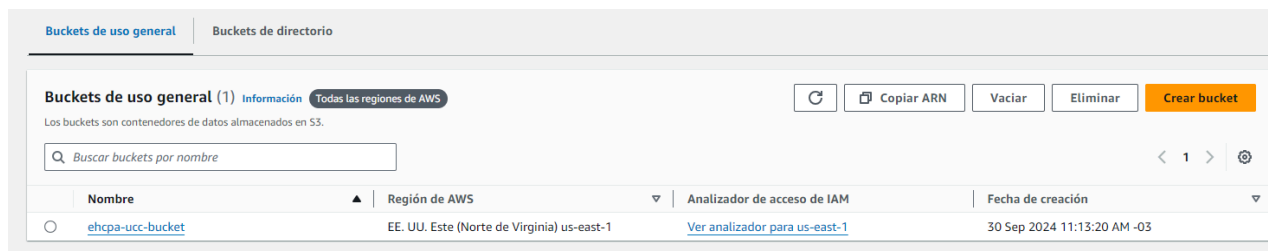


Figura 53: Visualización del Bucket de S3 creado en AWS.

5.3.3 Habilitación de Gmail EHCPA

Para permitir que el sistema EHCPA pueda por un lado enviar correos electrónicos a la cuenta de Gmail del usuario administrador para notificar la finalización del Proceso EHCPA y de Descarga Remota, utilizando el servicio SMTP, y por otro lado pueda acceder a los correos electrónicos de petición de descarga remota enviados desde la cuenta de Gmail del usuario administrador, utilizando el servicio IMAP, es necesario efectuar la siguiente configuración sobre la cuenta oficial de Gmail del sistema EHCPA.

1. Se efectúa la activación de la “Verificación de dos pasos” sobre la cuenta de EHCPA, para añadir un segundo factor de autenticación además de la contraseña. La razón de esto es proteger la cuenta de cualquier acceso no autorizado.

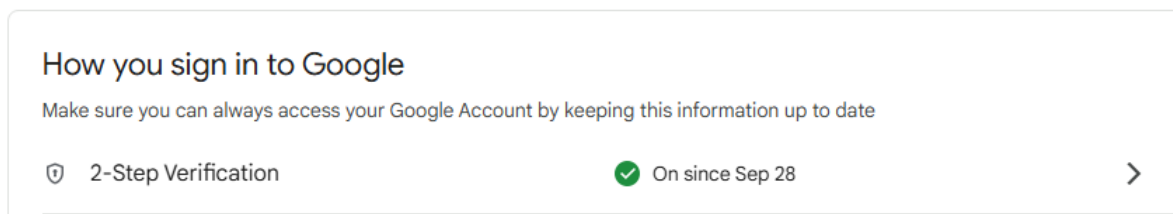


Figura 54: Activación de autenticación de dos pasos en Gmail de EHCPA.

2. Se crea una nueva contraseña, en la opción Contraseña de aplicaciones, que es posible utilizar en lugar de la contraseña principal, para que el sistema EHCPA por pueda conectarse y acceder de forma segura a la cuenta sin deshabilitar la seguridad de la verificación de dos pasos, y así poder operar con ella mediante los servicios SMTP e IMAP.



← App passwords

App passwords help you sign into your Google Account on older apps and services that don't support modern security standards.

App passwords are less secure than using up-to-date apps and services that use modern security standards. Before you create an app password, you should check to see if your app needs this in order to sign in.

[Learn more](#)

Your app passwords

App name	Created on	Last used on	Actions
EHCPA	Created on Sep 28	last used on 2:30 AM	

To create a new app specific password, type a name for it below...

Create

Figura 55: Creación de Contraseña de Aplicación para Gmail EHCPA..

5.3.4 GeoServer

GeoServer, como servidor de datos geoespaciales, es implementado para gestionar la visualización de las capas de PTM, SPI para todas las escalas, y las capas de referencia, con sus correspondientes estilos, a través del mapa interactivo del frontend.

5.3.4.1 Instalación de Java

GeoServer está desarrollado en Java, por lo que necesita de este último para poder funcionar correctamente. A continuación, se visualizan las secciones más importantes sobre el paso a paso de la instalación de Java en su versión 11 específicamente, para garantizar la ejecución de GeoServer en la máquina virtual de la UCC.

1. Como primera medida se procede a ejecutar como administrador el instalador descargado del sitio web oficial de Java.
 - Acceso: [Java 11 jdk](#)
2. Posteriormente se selecciona el directorio donde será instalado y se efectúa la instalación.

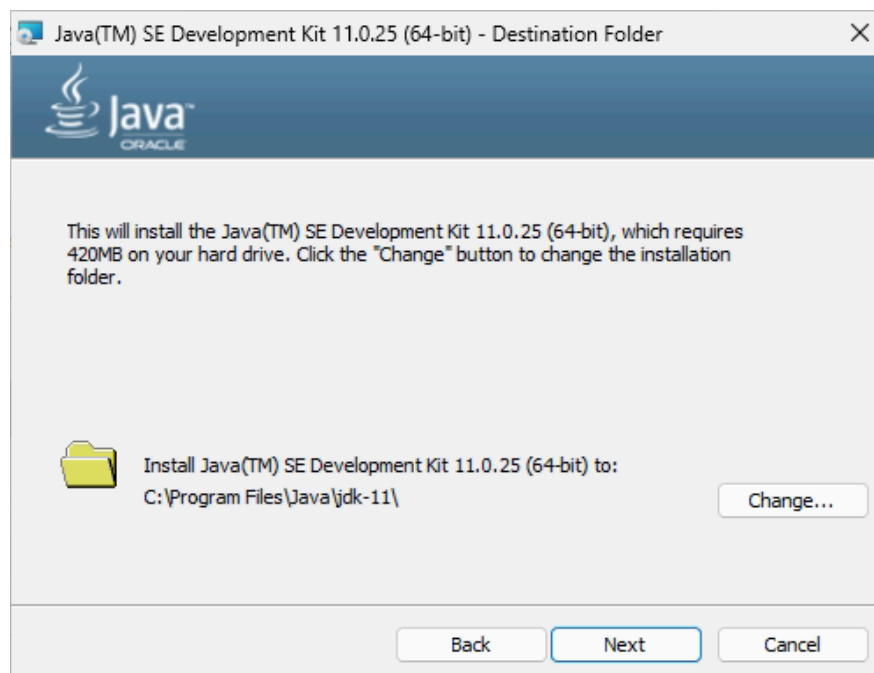


Figura 56: Verificación del directorio de instalación de Java.

5.3.4.2 Instalación de GeoServer

A continuación, se visualizan las secciones más importantes sobre el paso a paso de la instalación de GeoServer en su versión 11, para garantizar la ejecución de GeoServer en la máquina virtual de la UCC.

1. Como primera medida se procede a ejecutar como administrador el instalador descargado del sitio web oficial de GeoServer.
 - Acceso: [GeoServer](#)
2. Posteriormente se aceptan los términos de uso y licencia.
3. Se asigna la ubicación donde está instalado Java jdk 11, para que GeoServer pueda funcionar.
4. Se selecciona el directorio de instalación.
5. Se define el directorio donde se almacenarán de forma local los archivos de las capas y estilos creados.
6. Se crea un usuario y contraseña para acceder al servidor.
7. Se define el puerto donde será levantado el servicios.
8. Finalmente se efectúa la instalación.

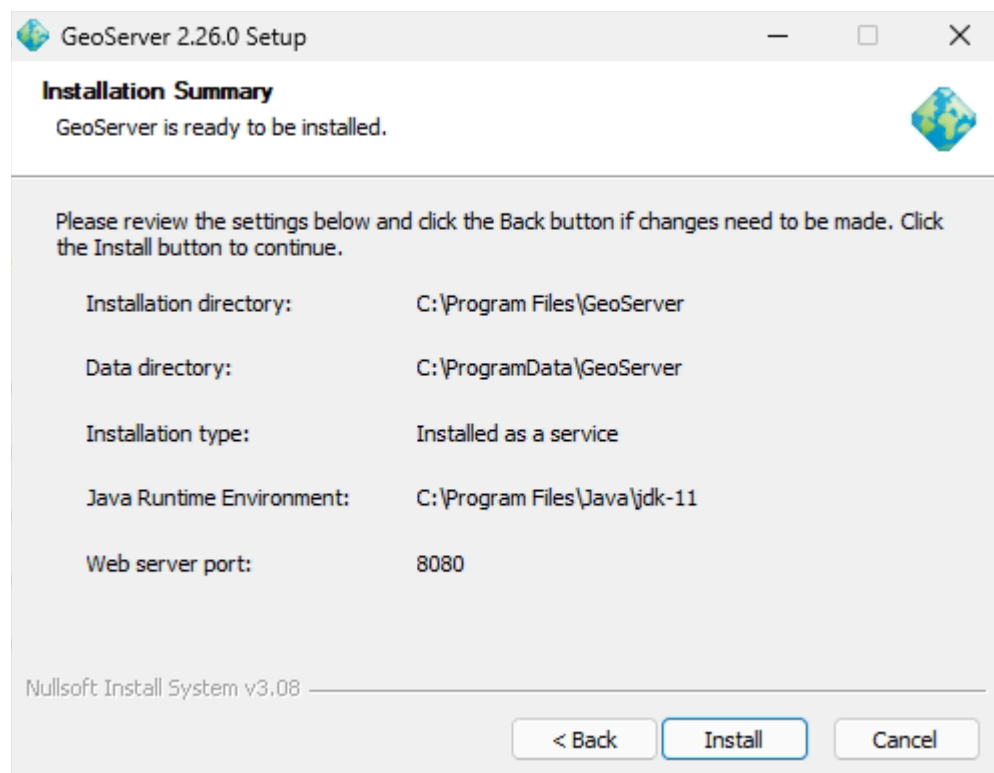


Figura 57: Validación del directorio de instalación, directorio de datos, variable de Java y puerto asignado en la instalación de GeoServer.

5.3.4.3 Creación de Espacio de Trabajo

Una vez terminada la instalación de GeoServer, se accede al mismo a través de la URL proporcionada, para proceder a crear el espacio de trabajo. Este mismo contendrá todas las capas de referencia, la capa de PTM de la última banda y las capas de SPI de la última banda de todas las escalas, como así también los estilos que serán asignados a cada capa en particular.

El procedimiento llevado a cabo manualmente para la creación del espacio de trabajo en GeoServer es el siguiente:

1. Se define como nombre del espacio de trabajo: EHCPA
2. Se define la URI el cual es un identificador único universal del espacio de trabajo.
3. Se establece al espacio de trabajo EHCPA por defecto.
4. En la sección de “servicios” se habilita el servicio Web Map Service (WMS) para la visualización de las capas en mapas referenciados espacialmente.

Editar espacio de trabajo

Editar un espacio de trabajo existente

Basic Info **Security**

Nombre

URI del espacio de nombres

El URI del espacio de nombres asociado con este espacio de trabajo

☒ Espacio de trabajo por defecto

☐ Isolated Workspace

Servicios

☐ WMTS

☒ WCS

☒ WFS

☒ WMS

Figura 58: Creación de espacio de trabajo EHCPA en GeoServer.



5.3.4.4 Creación de Capas de Referencia

Teniendo en cuenta que el backend es el encargado de actualizar las capas de PTM de la última banda, y las capas de SPI de la última banda para todas las escalas, es necesario cargar manualmente las capas de referencia de las cuencas de embalse de la Provincia de Córdoba y los límites Provinciales, para que el frontend pueda consumir todos los recursos.

Los archivos utilizados para crear las capas de referencia son archivos shape provistos por el grupo de investigación EHCPA.

Para efectuar la creación de las capas de referencia se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

1. Los archivos shape de la Cuenca Salsipuedes, la Cuenca San Antonio, la Cuenca Cosquín, la Cuenca San Roque, la Cuenca Los Molinos, la Cuenca Embalse y los límites Provinciales se almacenan en un directorio llamado ShapeFiles, dentro del directorio el espacio de trabajo EHCPA, creado en el directorio local de almacenamiento de GeoServer. La ruta es la siguiente:
 - C:\ProgramData\GeoServer\data\EHCPA\ShapeFiles
2. En la interfaz de GeoServer se accede a la sección “Almacenes de datos”, y para cada archivo shape se crea un almacén de datos de tipo datos espaciales o shapefiles, en la sección de “Orígenes de datos vectoriales”
3. En la creación de cada almacén se selecciona el espacio de trabajo, en este caso EHCPA, un nombre para identificar el origen de datos y se accede al archivo a través de la ruta de directorios aclarado en el paso 1.

Nuevo origen de datos vectoriales

Agregar un nuevo origen de datos vectoriales

Directory of spatial files (shapefiles)

Takes a directory of shapefiles and exposes it as a data store

Información básica del almacén

Espacio de trabajo *

EHCPA ▼

Nombre del origen de datos *

Provincias_shp

Descripción

☒ Habilitado

☐ Auto disable on connection failure

Parámetros de conexión

Directorio de shapefiles *

file:data/EHCPA/ShapeFiles/Provincias

Buscar...

Conjunto de caracteres del DBF

ISO-8859-1 ▼

☒ Crear índice espacial si no existe o está desactualizado

Guardar

Aplicar

Cancelar

Figura 59: Creación de almacén de datos para la capa de referencia de límites provinciales en GeoServer.



- Una vez creado el almacén de datos para cada uno de los archivos, se procede a crear las capas de forma individual. Para ello se accede a la sección “Capas”, y al intentar crear una nueva capa, se elige el almacén de datos correspondiente a la capa a crear y se selecciona posteriormente la acción “Publicación”.

Nueva capa

Agregar nueva capa

Agregar capa de EHCPA:Provincias_shp

Puede crear un nuevo feature type configurando manualmente los nombres y tipos de atributos. [Crear nuevo feature type...](#)

Esta es una lista de los recursos contenidos en el almacén 'Provincias_shp'. Haga click sobre la capa que desea configurar

<< < 1 > >>		Resultados 0 a 0 (de un total de 0 ítems)	Search
Publicada	Capa con espacio de nombres y prefijo	Acción	
	provincias	Publicación	
<< < 1 > >>		Resultados 0 a 0 (de un total de 0 ítems)	

Figura 60: Creación de capa de límites provinciales en GeoServer.

- Dentro de la configuración de la capa se establece el nombre de identificación de la misma en el espacio de trabajo y se coloca un título representativo.

Editar capa

Editar los datos de la capa y la información de publicación

EHCPA:Provincias

Configure el recurso y la información de publicación para esta capa

Datos	Publicación	Dimensiones	Cacheado de Teselas	Seguridad
-------	-------------	-------------	---------------------	-----------

Editar capa

Información básica del recurso

Nombre del almacén: Provincias_shp

Native Name: provincias

Nombre

Provincias

☒ Habilitado

☒ Anunciado

Título ☐ i18n

Provincias

Resumen ☐ i18n

Figura 61: Asignación de nombre para la capa de límites provinciales en GeoServer.

6. Se verifica que el sistema de referencia de coordenadas sea EPSG:4326, se calculan los cuadrantes desde los datos, y finalmente se guarda para poder crear la capa.

Sistema de referencia de coordenadas

SRS nativo
EPSG:4326 GCS_WGS_1984...

SRS declarado
EPSG:4326 Buscar... EPSG:WGS 84...

Gestión de SRC
Forzar el declarado ▼

Encuadres

Encuadre nativo

Min X	Min Y	Máx X	Máx Y
-73,99999999999994	-90,00000001099994	-24,99999999999943	-21,780856762999974

Calcular desde los datos
[Calcular desde los límites del SRS](#)

Encuadre Lat/Lon

Min X	Min Y	Máx X	Máx Y
-73,99999999999994	-90,00000001099994	-24,99999999999943	-21,780856762999974

[Calcular desde el encuadre nativo](#)

[Guardar](#) [Aplicar](#) [Cancelar](#)

Figura 62: Configuración de cuadrantes para la capa de límites provinciales en GeoServer.

5.3.4.5 Creación de Estilos

Para el caso de los estilos, el backend es el encargado de asignar el estilo correspondiente tanto para la capa de PTM de la última banda, como para las capas de SPI de la última banda para todas las escalas. En el caso de las capas de referencia, es necesario asignar manualmente a cada una, su correspondiente estilo.

De todas maneras, independientemente de la asignación automática de los estilos por parte del backend y la asignación manual, es necesario cargar en GeoServer los archivos de los estilos que corresponden a cada capa.

El grupo de investigación EHCPA provee cuatro archivos correspondientes a los estilos de la capa PTM, SPI, los límites provinciales y las cuencas. Estos mismos fueron creados mediante el software QGIS, los cuales permiten visualizar para los archivos de tipo raster como el PTM y el SPI diferentes gamas de colores en base a valores de referencia, y para los archivos vectoriales como los de las cuencas y los límites provinciales se establecen diferentes tipos de líneas. Posteriormente los archivos de los estilos se exportan en el formato SLD (Style Layer Descripto).

Para efectuar la creación de los estilos y la posterior asignación en las capas referencia, se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

1. Los archivos de los estilos de PTM, SPI, Cuencas y límites Provinciales se almacenan en un directorio llamado Styles, dentro del directorio el espacio de trabajo

EHCPA, creado en el directorio local de almacenamiento de GeoServer. La ruta es la siguiente:

- C:\ProgramData\GeoServer\data\EHCPA\Styles
2. En la interfaz de GeoServer se accede a la sección “Estilos”, y para estilo se asigna un nombre, se selecciona el espacio de trabajo que en este caso es EHCPA, y posteriormente se selecciona el archivo a través de la ruta de directorios aclarado en el paso 1. Al cargar el archivo se cargará su código y será posible modificarlo si se desea.

Nuevo estilo

Escriba una nueva definición de estilo o utilice una existente como plantilla o cargue un estilo preparado de su sistema de archivos. El editor puede proporcionar resaltado de sintaxis y formato automático. Haga clic en el botón “validar” para verificar que el estilo es un documento de estilo válido.

Data

Style Data

Nombre

SPI_Style

Espacio de trabajo

EHCPA

Formato

SLD

Contenido de estilo

Generar un estilo por defecto

Elija uno

Generar ...

Copiar desde un estilo existente

Elija uno

Copiar ...

Leyenda

Leyenda

Añadir leyenda

Leyenda de vista previa

	<= -2,0
	-2,0 - -1,5
	-1,5 - -1,0
	-1,0 - 1,0
	1,0 - 1,5
	1,5 - 2,0
	2,0 - 4,0

Font 12pt

Altura 300px

```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <StyledLayerDescriptor xmlns="http://www.opengis.net/sld" xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml"
  xmlns:ogc="http://www.opengis.net/ogc" xmlns:sld="http://www.opengis.net/sld" version="1.0.0">
3   <UserLayer>
4     <sld:LayerFeatureConstraints>
5       <sld:FeatureTypeConstraint/>
6     </sld:LayerFeatureConstraints>
7     <sld:UserStyle>
8       <sld:Name>SPI_Style</sld:Name>
9       <sld:FeatureTypeStyle>
10        <sld:Rule>
11          <sld:RasterSymbolizer>
12            <sld:Opacity>0.4</sld:Opacity>
13            <sld:ChannelSelection>
14              <sld:GrayChannel>
15                <sld:SourceChannelName>1</sld:SourceChannelName>
16                <sld:ContrastEnhancement>
17                  <sld:GammaValue>1.0</sld:GammaValue>
18                </sld:ContrastEnhancement>
19              </sld:GrayChannel>
20            </sld:ChannelSelection>
21            <sld:ColorMap type="intervals">
22              <sld:ColorMapEntry color="#d7191c" label="&lt;= -2,0" quantity="-2"/>
23              <sld:ColorMapEntry color="#ea643f" label="-2,0 - -1,5" quantity="-1.5"/>
24              <sld:ColorMapEntry color="#f08080" label="-1,5 - -1,0" quantity="-1"/>
```

Validar

Guardar

Aplicar

Cancelar

Figura 63: Creación de estilo para capas SPI en GeoServer.



Editor de Estilo - EHCPA:Cuencas_Style

Edite el estilo actual. El editor puede proporcionar resaltado de sintaxis y formateo automático. Haga clic en el botón "validar" para verificar que el estilo es un documento SLD válido.

Data

Publishing

Layer Preview

Layer Attributes

Nombre

Cuencas_Style

Espacio de trabajo

EHCPA

Formato

SLD

Formato editable sólo para nuevos estilos

Leyenda

Añadir leyenda

Leyenda de vista previa

Contenido de estilo

Generar un estilo por defecto

Elija uno

Generar ...

Copiar desde un estilo existente

Elija uno

Copiar ...

Cargar un archivo de estilo

Seleccionar archivo

Ningún archivo seleccionado

Cargar ...

Font

12pt

Altura

300px

```
1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <StyledLayerDescriptor xmlns="http://www.opengis.net/sld" xmlns:ogc="http://www.opengis.net/ogc"
  xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/sld
  http://schemas.opengis.net/sld/1.1.0/StyledLayerDescriptor.xsd" version="1.1.0"
  xmlns:se="http://www.opengis.net/se" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink">
3   <NamedLayer>
4     <se:Name>Cuencas_Style</se:Name>
5     <UserStyle>
6       <se:Name>Cuencas_Style</se:Name>
7       <se:FeatureTypeStyle>
8         <se:Rule>
9           <se:Name>Single symbol</se:Name>
10          <se:LineSymbolizer>
11            <se:Stroke>
12              <se:SvgParameter name="stroke">#000000</se:SvgParameter>
13              <se:SvgParameter name="stroke-width">1</se:SvgParameter>
14              <se:SvgParameter name="stroke-linejoin">bevel</se:SvgParameter>
15              <se:SvgParameter name="stroke-linecap">square</se:SvgParameter>
16              <se:SvgParameter name="stroke-dasharray">1 3</se:SvgParameter>
17            </se:Stroke>
18          </se:LineSymbolizer>
19        </se:Rule>
20      </se:FeatureTypeStyle>
21    </UserStyle>
  </NamedLayer>
</StyledLayerDescriptor>
```

Validar

Guardar

Aplicar

Cancelar

Figura 64: Creación de estilos para las capas de Cuencas en GeoServer.

3. Una vez cargados todos los archivos de los estilos. El backend será capaz de asignar para la capa de PTM, el estilo correspondiente cargado en GeoServer, y de igual manera para el SPI. Pero en el caso de las capas de referencia, tanto para las capas de las cuencas como para la capa de los límites provinciales, se debe asignar a cada una por individual y manualmente el correspondiente estilo. Para esto simplemente se accede a cada capa y en la sección de “Publicación” se asigna el estilo correspondiente en la parte de “Opciones de Capa” y se guardan los cambios.

Configuración WMS

Opciones de Capa

☒ Interrogable

☐ Opaco

Estilo por defecto

EHCPA:Cuencas_Style

Estilos adicionales

Estilos disponibles	⇒	Estilos seleccionados
burg capitals cite_lakes dem EHCPA:Cuencas_Style EHCPA:Provincias_Style EHCPA:PTM_Style EHCPA:SPI_Style generic giant_polygon	⇐	

Figura 65: Asignación de estilo de Cuencas a la capa de Cuenca San Roque en GeoServer.

5.3.4 Desarrollo Frontend

5.3.4.1 Instalacion de Node.js y NPM

Debido a que el frontend del sistema EHCPA será desarrollado mediante React.js como framework, Vite.js como herramienta de compilación, javascript como lenguaje de programación, es necesario efectuar la instalación de Node.js y NPM en la máquina virtual de la UCC, ya que estos dos proporcionan el entorno y las herramientas necesarias para gestionar dependencias y compilar el código.

A continuación, se visualizan las secciones más importantes sobre el paso a paso de la instalación.

1. Como primera medida se procede a ejecutar como administrador el instalador descargado del sitio web oficial de Node.js. Posteriormente se aceptan los términos de uso y licencia.
 - Acceso: [Node](#)

2. Se especifica el directorio donde se instalará Node.js.

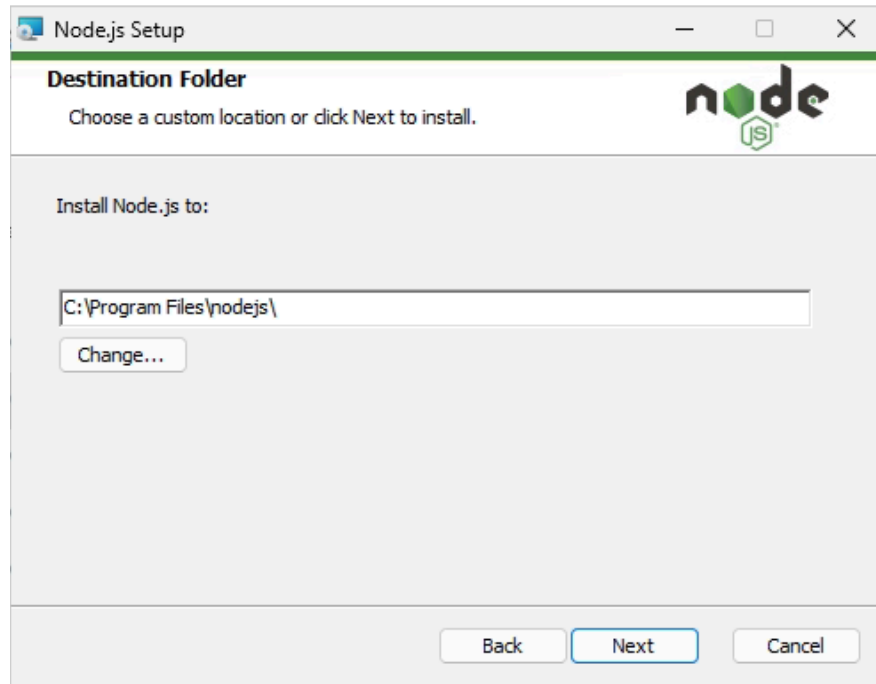


Figura 66: Verificación de directorio de instalación de Node.js.

3. Se verifica que se incluya el gestor de paquetes de NPM, y se procede a efectuar la instalación.

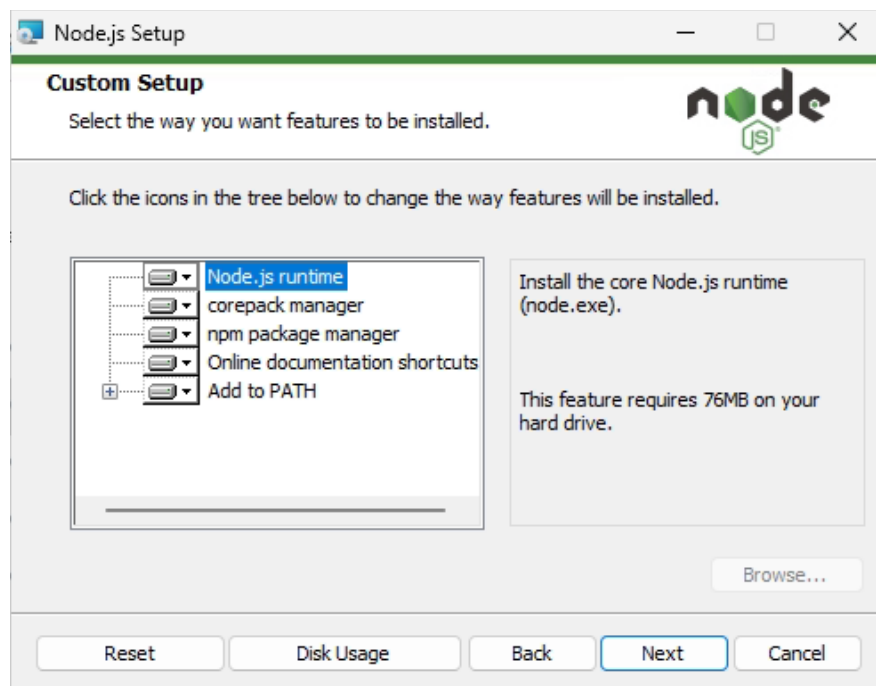


Figura 67: Verificación de inclusión de NPM en la instalación de Node.js.



5.3.4.2 Modulo Visualizacion de Mapa

El módulo Visualización de Mapa tiene como propósito gestionar el mapa del sitio web EHCPA.

Mediante la implementación de la librería “leaflet”, se renderiza un mapa interactivo y personalizable, sobre el cual se aplica el estilo de mapa base “Argenmap”, servicio libre y gratuito desarrollado por el Instituto Geográfico Nacional, que posee la particularidad de entre otras cosas de visualizar las Islas Malvinas.

Las interacciones básicas implementadas por el módulo son las siguientes:

1. El mapa permite desplazar al usuario web de un lugar a otro a través del mismo, mediante el “dragging” o “arrastre” efectuado al mantener apretado click izquierdo y mover el mouse.
2. Permite la posibilidad de colocar un “marcador” o “marker” en cualquier punto del mapa.
3. Por defecto, la librería que renderiza el mapa establece un rango de niveles aplicables de zoom de 3 (valor mínimo de zoom) a 18 (nivel máximo de zoom). Teniendo en cuenta esto, se habilita la posibilidad de variar los niveles de zoom del mapa mediante la rueda del mouse.

Las tres interacciones mencionadas se efectúan únicamente sobre el mapa, y se bloquean o no se efectúan cuando el cursor del mouse se posiciona sobre cualquier otro componente como botones o modales.

5.3.4.3 Modulo Calculo de Coordenadas

El módulo Cálculo de Coordenadas tiene como propósito orientar geográficamente al usuario web a medida que se desplaza a través del mapa.

Permite visualizar en un componente el cambio o la actualización de forma constante de las coordenadas de la posición del mouse, en valores de latitud y longitud, a medida que se desplaza a través del mapa.

Esta funcionalidad se efectúa únicamente cuando el cursor del mouse se desplaza sobre el mapa, y se detiene el cálculo de las coordenadas cuando el cursor del mouse se posiciona sobre cualquier otro componente como botones o modales.

5.3.4.4 Modulo Modificar Zoom

El módulo Modificar Zoom permite al usuario web aumentar o reducir el zoom sobre el mapa por medio de un controlador.

A partir del rango de niveles aplicables de zoom establecidos en el módulo Visualización de Mapa, se proporcionan las siguientes funcionalidades:

- Zoom In: Mediante un botón, identificado con el símbolo “+”, permite incrementar los valores de zoom acercando cada vez más la imagen del mapa. Esta funcionalidad se bloqueará al alcanzar el máximo nivel de zoom, es decir, 18.
- Zoom Out: Mediante un botón, identificado con el símbolo “-”, permite reducir los valores de zoom alejando cada vez más la imagen del mapa. Esta funcionalidad se bloqueará al alcanzar el mínimo nivel de zoom, es decir, 3.

5.3.4.5 Modulo Visualización de Escala

El módulo Visualización de Escala tiene como propósito indicar al usuario web la resolución espacial del mapa en términos de altitud. Básicamente permite visualizar a qué



distancia en metros o kilómetros se encuentra la imagen del mapa respecto a la superficie de la tierra

La escala se actualiza constantemente y únicamente al ejecutarse el Módulo Modificar Zoom, o variando el zoom del mapa mediante la rueda del mouse.

- Al aplicar Zoom In la escala del mapa reduce su valor de distancia de kilómetros a metros, a un límite de 50 metros en caso de ubicarse en el centro norte de Argentina o 30 metros en caso de encontrarse en el sur.
- Al aplicar Zoom Out la escala del mapa aumenta su valor de distancia de metros a kilómetros, permitiendo llegar a un máximo de 1000 kilómetros de altitud.

5.3.4.6 Modulo Buscar Ubicación

El módulo Buscar Ubicación permite al usuario web buscar ubicaciones en el mapa y ser redireccionado a las mismas al seleccionarlás.

El buscador utiliza como motor de búsqueda de ubicaciones a “Nominatim”, un servicio libre y gratuito que utiliza los datos de ubicaciones almacenados y generados por el proyecto colaborativo “OpenStreetMap”. El motor de búsqueda permite tanto la geocodificación, es decir, convertir direcciones o descripciones de lugares en coordenadas geográficas, como así también la geocodificación inversa, en donde se convierten coordenadas geográficas en descripciones de ubicaciones. De esta manera permite buscar ubicaciones por el nombre o dirección de un lugar específico, o por coordenadas en formato de latitud y longitud.

Debido a que el motor es un servicio open source, para evitar la saturación en las consultas, se limita el rango de búsquedas únicamente en toda la región de Argentina, que en definitiva es el área de interés. No se obtienen resultados al buscar una ubicación por fuera del país.

Al efectuar la búsqueda, mediante la tecla “enter” o mediante un click en el icono de “lupa” sobre la barra de búsqueda, los resultados se hacen visibles. En caso de ingresar una ubicación inexistente se muestra un mensaje informando que no se encontraron resultados, y en caso de un fallo de conexión con el servicio de búsqueda, se informa dicha condición.

El usuario web, al seleccionar cualquier ubicación resultante de una búsqueda, el mapa automáticamente redirige su posición e imagen a las coordenadas de la ubicación seleccionada, colocando un “marcador” o “marker” en el punto exacto de la misma e incluyendo una “etiqueta” o “tooltip” el cual contiene el nombre o dirección de dicha ubicación.

5.3.4.7 Modulo Visualización de Capas de Referencia

El módulo Visualización de Capas de Referencia se encarga de gestionar la visibilidad de las capas de referencia en el mapa.

El frontend accede y consume las capas de las cuencas Salsipuedes, San Antonio, Cosquín, San Roque, Los Molinos, Embalse y los límites Provinciales, creadas y almacenadas en el servidor GeoServer, por medio de una consulta a través de un endpoint.

Una vez obtenidas las capas, las mismas se renderizan en el mapa en su correspondiente ubicación, y con su estilo previamente asignado en GeoServer, permitiendo al usuario web tener una mejor referencia geográfica.

La gestión de cada capa se lleva a cabo a través de un modal, en donde cada una posee un switch que permite habilitar o deshabilitar la visibilidad de la misma en el mapa. Contando además con un switch general que permite habilitar o deshabilitar la visibilidad de



todas las capas de referencia al mismo tiempo. El cambio de visibilidad de las capas no interfiere con las demás funcionalidades del sitio web EHCPA.

Por otro lado permite al usuario web modificar el nivel de opacidad de cada capa en el mapa por medio de un deslizador. El máximo nivel de opacidad se indica como 100% y el mínimo como 0%, permitiendo al usuario reducir o aumentar el grado de visibilidad de cada capa en intervalos de a 10.

Todas las capas de referencia se habilitarán por defecto al máximo nivel de opacidad al ingresar al sitio web EHCPA.

5.3.4.8 Modulo Visualización de PTM

El módulo Visualización de PTM se encarga de gestionar por un lado la visibilidad de la capa de la Precipitación Total Mensual y por otro lado la visualización de los valores en cualquier punto del mapa.

El frontend accede y consume, por medio de una consulta a través de un endpoint, la capa de PTM almacenada en el servidor GeoServer, previamente cargada mediante el submódulo Importar Datos a GeoServer del backend.

Una vez obtenida la capa, esta es renderizada en el mapa. Debido a sus características, la misma se visualiza sobre toda la región de Argentina con su estilo asignado, permitiendo al usuario web visualizar diferentes gamas de colores correspondientes a los valores de precipitación acumulada en diferentes puntos de la región.

La gestión de la capa de PTM se lleva a cabo a través de un modal, el cual posee un switch que permite habilitar o deshabilitar la visibilidad de la misma en el mapa. Si bien la única capa que se puede manipular en dicho modal es la de PTM, se incluye un switch general con intenciones de implementaciones futuras, para permitir habilitar o deshabilitar la visibilidad de todas las capas relacionadas con la precipitación, al mismo tiempo.

Además, permite al usuario web modificar el nivel de opacidad de la capa de PTM en el mapa por medio de un deslizador. El máximo nivel de opacidad se indica como 100% y el mínimo como 0%, permitiendo al usuario reducir o aumentar el grado de visibilidad de cada capa en intervalos de a 10.

La capa de PTM se habilitará por defecto al máximo nivel de opacidad al ingresar al sitio web EHCPA.

Por otra parte, la capa de PTM posee valores en sí misma, por lo que no es solo una imagen estática. Sus valores se ven representados gráficamente en el mapa en diferentes gamas de colores, gracias al estilo aplicado a la capa. Pero la lógica del módulo incluye la visualización de dichos valores, a través de un modal informativo que únicamente es renderizado cuando el usuario web hace click sobre cualquier punto del mapa. Para esto se establece además lo siguiente:

- El modal informativo muestra las coordenadas del punto seleccionado, y el valor de PTM en dicho punto se visualizará en el mismo siempre y cuando la capa de PTM esté activada.
- El modal informativo permite al usuario web copiar tanto los valores de las coordenadas como el valor del PTM reflejado.

5.3.4.9 Modulo Visualización de SPI

El módulo Visualización de SPI se encarga de gestionar por un lado la visibilidad de las capas del Índice de Precipitación Estandarizado, para todas las escalas, y por otro lado la visualización de los valores de cada escala del índice en cualquier punto del mapa.



El frontend accede y consume, por medio de una consulta a través de un endpoint, las capas de SPI de las escalas 1, 2, 3, 6, 9, 12, 24, 36, 48, 60 y 72, almacenadas en el servidor GeoServer, previamente cargadas mediante el submódulo Importar Datos a GeoServer del backend.

Una vez obtenidas, se renderizan de forma independiente en el mapa. Debido a sus características, se visualizan sobre toda la región de Argentina con el mismo estilo asignado para todas, permitiendo al usuario web visualizar para cada capa diferentes gamas de colores, correspondientes a los valores del SPI de diferentes escalas mensuales en distintos puntos de la región.

La gestión de cada capa de SPI se lleva a cabo a través de un modal, en donde cada una posee un switch que permite habilitar o deshabilitar la visibilidad de la misma en el mapa. Contando además con un switch general que permite habilitar o deshabilitar la visibilidad de todas las capas de SPI al mismo tiempo.

Por otro lado, al igual que la implementación en los módulos de Visualización de Capas de Referencia y Visualización de PTM, permite al usuario web modificar el nivel de opacidad de cada capa de SPI en el mapa por medio de un deslizador. El máximo nivel de opacidad se indica como 100% y el mínimo como 0%, permitiendo al usuario reducir o aumentar el grado de visibilidad de cada capa en intervalos de a 10.

Todas las capas de SPI de todas las escalas estarán deshabilitadas por defecto al ingresar al sitio web EHCPA.

Al igual que la capa de PTM, las capas de SPI de todas las escalas poseen valores en sí mismas, por lo que no son sólo imágenes estáticas. Sus valores se ven representados gráficamente en el mapa en diferentes gamas de colores, gracias al estilo aplicado a las capas. Pero la lógica del módulo incluye la visualización de dichos valores, a través del mismo modal informativo mencionado en el módulo Visualización de PTM, que únicamente es renderizado cuando el usuario web hace click sobre cualquier punto del mapa. Para esto se establece además lo siguiente:

- El modal informativo muestra las coordenadas del punto seleccionado, y el valor de SPI de una correspondiente escala en función de cuáles sean las capas activadas. El valor de SPI de una escala particular será posible visualizar siempre y cuando la capa de dicha escala esté activada. Además, es posible visualizar el valor de SPI de todas las escalas al mismo tiempo, activando todas las capas a la vez.
- El modal informativo permite al usuario web copiar tanto los valores de las coordenadas como los valores de SPI reflejados en el momento.

5.3.4.10 Modulo Visualizar Información del Mapa

El módulo Visualización de Información del Mapa se encarga de gestionar el contenido informativo que le permite al usuario web comprender el funcionamiento del sitio web.

Por medio de un modal se estructura el contenido informativo. El mismo se divide en diferentes secciones:

- Descripción del sitio web.
- Conceptos teóricos de PTM y SPI que ayudan a interpretar los datos que se visualizan en el mapa.
- Apartados explicativos sobre las fechas de visualización y descarga. Teniendo en cuenta que el backend actualiza de forma diaria los archivos de las últimas bandas de PTM y SPI de todas las escalas y que posteriormente se cargan en GeoServer, y



por otro lado actualiza los a archivos de todas las bandas de PTM y SPI de todas las escalas que se utilizan para la descarga, resulta importante informar al usuario web las fechas de los datos que se visualizan en el mapa como así también la de los datos descargados. El frontend consume las fechas por medio de una consulta al backend a través de un endpoint al módulo Obtención de Fechas, y las mismas son manipuladas para mostrar la información de manera detallada. La consulta de las fechas únicamente se efectúa al momento de abrir el modal y no permanentemente durante la ejecución del frontend.

- Información de contacto.

5.3.4.11 Modulo Descargar Datos

El módulo Descargar Datos tiene como objetivo permitir la descarga de los archivos de PTM y SPI, de todas las escalas, de todas las bandas para ambos casos.

El frontend accede a los archivos de PTM y SPI, para todas las escalas, que poseen todas las bandas de meses de calibración, por medio de una consulta al backend a través de un endpoint al módulo Descarga de Datos PTM y SPI cada vez que el usuario web desea descargar un archivo en particular o varios al mismo tiempo.

Para efectuar una descarga, la capa del archivo a descargar, debe estar activada. Por ejemplo, la capa de PTM debe estar activada para poder descargarse el archivo de PTM de todas las bandas. En caso de intentar la descarga y no hay capas activadas se notifica por medio de un modal que se debe activar al menos una capa para efectuar una descarga.

Al ser posible descargar uno o varios archivos a la vez, se incluye un visualizador, en el mismo botón de descarga, que orienta al usuario respecto al porcentaje de progreso de la descarga.

En caso de efectuar una descarga de archivos que por algún motivo no están disponibles en el backend, el mensaje generado por este último informando que archivo en particular o cuales no están disponibles para la descarga, se visualizará en un modal de alerta. Esto aplica de igual manera, para los casos en los que se intente descargar datos y no sea posible por un error de conexión con el backend, o ante cualquier otro error inesperado durante el intento de efectuar la descarga de los archivos.

5.3.6 Control de Versiones

La implementación del sistema EHCPA se lleva a cabo por medio de un SCV (Sistema de Control de Versiones), para garantizar la correcta gestión de los diversos cambios que se realizan sobre el software. Comprendiendo el concepto de versión, como el estado en el que se encuentra el software en un determinado momento del desarrollo.

5.3.6.1 Instalacion de Git

La herramienta de control de versiones de software seleccionada es Git, la cual permite a través de la terminal del sistema operativo controlar y registrar cambios, trabajar con ramas, commits, merges y revertir cambios.

A continuación, se visualizan las secciones más importantes sobre el paso a paso de la instalación de Git en la máquina virtual de la UCC.

1. Como primera medida se procede a ejecutar como administrador el instalador descargado del sitio web oficial de Git. Posteriormente se aceptan los términos de uso y licencia.

- Acceso: [Git](#)
2. Posteriormente se selecciona el directorio donde será instalado.

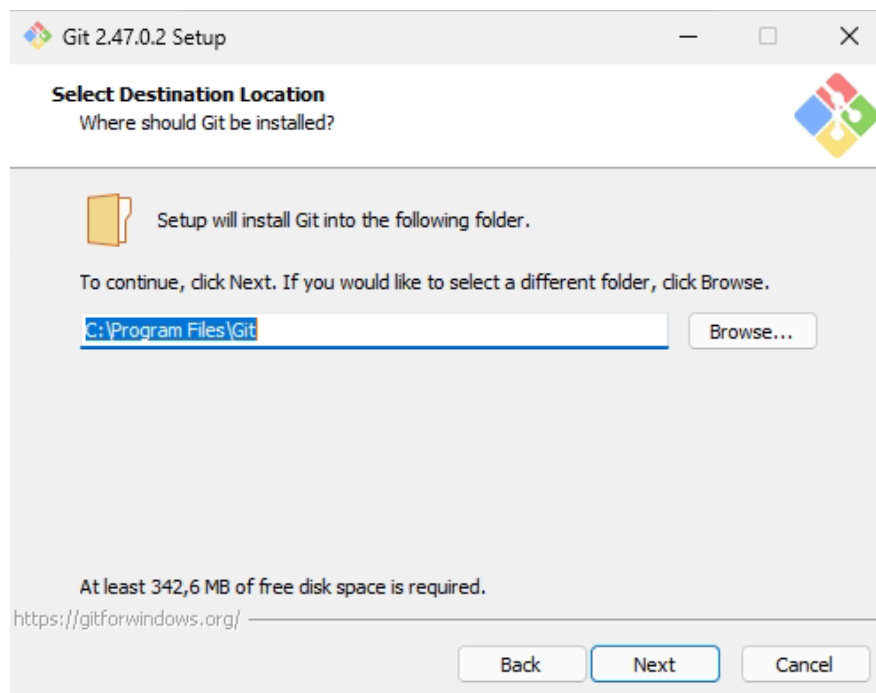


Figura 68: Verificación del directorio de instalación de Git.

3. Continuando con el proceso, es necesario aceptar todas las configuraciones por defecto que el proceso de instalación sugiere, para finalmente proceder con la descarga.

5.3.6.1 Repositorio de GitHub

El sistema EHCPA se implementa en un repositorio de GitHub, el cual es un servicio en línea (basado en la web) que utiliza Git como su núcleo. El mismo permite almacenar repositorios en la nube para que sean accesibles desde cualquier lugar.

- Acceso: [Repositorio de GitHub](#)

Distribución de Ramas

Para el desarrollo del sistema EHCPA por medio del SCV, se implementó la técnica Gitflow, la cual es una forma de estructurar el proceso de desarrollo, en términos de cómo se utilizan los branches o las ramas en el repositorio.

La razón de la aplicación de esta técnica se debe a que la misma provee un mayor control del desarrollo al separarlo en niveles o funcionalidades escalables, permitiendo organizar mejor el flujo de trabajo. Además, permite separar el código estable de producción del código en desarrollo, y mantiene un historial limpio de revisiones.

Las ramas creadas para el desarrollo fueron las siguientes:

- Feature environment: Utilizada para la investigación y pruebas de entornos virtuales de Python.
- Feature Module One: Creada para la construcción de scripts para efectuar el cálculo del SPI de forma automatizada.

- Feature Web Page: Implementada para el desarrollo del sistema web, abarcando la construcción del backend y frontend, y la inclusión de las pruebas de integración.
- Feature Documentation: Utilizada para documentar o comentar de manera completa todas las secciones del código del sistema EHCPA.
- Feature Final Config: Creada con el fin de realizar últimas configuraciones y modificaciones necesarias en cualquier parte del código.
- Develop: Es la rama principal para el desarrollo. De esta surgen las ramas feature, y al finalizar el desarrollo en una feature, esta se integra a Develop para que esta última siempre tenga el código más reciente.
- Main: Esta rama contiene la versión más estable del código, la cual se encuentra en producción.

5.3.7 Despliegue

Al igual que para el desarrollo, el despliegue del sistema EHCPA se lleva a cabo en la máquina virtual de la UCC, por lo que los tres servicios que integran al sistema, frontend, backend y GeoServer, se encuentran en constante ejecución permitiendo el acceso a los mismos y la interacción entre ellos, pero siempre dentro de la máquina virtual. Ahora bien, para permitir que el usuario web pueda acceder al sitio web desde Internet, se definió un dominio de Internet, el cual está vinculado con la IP pública de la máquina virtual.

- Acceso: <http://ehcpa.ucc.edu.ar:5173>

La Universidad cuenta con una solución UTM (Unified Threat Management), ampliamente utilizado en el contexto de redes corporativas y seguridad informática, que entre sus funcionalidades posee un servicio de Firewall. El servidor que virtualiza las máquinas virtuales, como en este caso la utilizada para la implementación, está detrás del firewall y este bloquea todo puerto de acceso. Por esta razón, el área de Soporte Técnico de la UCC se encargó de configurar la comunicación a la máquina virtual desde el firewall, habilitando el acceso a Internet para que por un lado los servicios de frontend y backend puedan efectuar las comunicaciones con las diferentes APIs y servicios que consumen, y por otro lado sea posible que los usuarios de tipo web puedan acceder a través de Internet al sitio web EHCPA y poder aprovechar de sus funciones.



Figura 69: Diagrama de Despliegue.

5.5 Pruebas

5.5.1 Pruebas de Integración

Las pruebas de integración tienen como objetivo probar el comportamiento de un módulo o la integración entre un conjunto de módulos o componentes del sistema. Estas comprueban que todo el sistema funciona según lo previsto, por lo que reducen la necesidad de pruebas manuales intensivas.

Por otro lado, permiten traducir las historias de usuario en un conjunto de pruebas. Básicamente la prueba se asemejaría a una interacción esperada del usuario con la aplicación.

A continuación se definen tres casos de prueba para validar el funcionamiento de las funcionalidades más importantes del sistema. La herramienta utilizada para la ejecución de dichas pruebas es Codeceptjs, el cual es de código abierto y muy utilizada en pruebas end to end.

5.5.1.1 Caso de Prueba Visualizar y Descargar PTM

Objetivo: Validar que el usuario web pueda visualizar correctamente la capa PTM en el mapa, manipular su opacidad, verificar los valores en el modal informativo, y proceder a la descarga del archivo sin errores.

Precondición:

- El sistema debe estar desplegado y accesible en la URL del frontend configurada.
- El mapa debe estar visible en el sitio web.
- La capa de PTM debe estar habilitada y renderizada en el mapa.
- El módulo de descarga debe estar implementado y operativo.

Procedimiento:

1. Abrir la página inicial del sitio web EHCPA.
2. Acceder al menú de opciones.
3. Abrir el modal de Precipitación.
4. Verificar que el título "Precipitación" sea visible.
5. Comprobar que se muestra el texto "Precip. Total Mensual [mm]".
6. Activar y desactivar la capa PTM usando el switch correspondiente.
7. Ajustar la opacidad de la capa PTM:
 - Mover el slider a la izquierda para verificar la opacidad al 0%.
 - Mover el slider al centro para verificar la opacidad al 50%.
 - Mover el slider a la derecha para verificar la opacidad al 100%.
8. Cerrar el modal de Precipitación.
9. Realizar un click en el mapa para verificar el valor de PTM:
 - Confirmar la colocación de un marcador en el mapa.
 - Validar que se muestra el modal "Información" con el dato de PTM.
 - Verificar que el campo del dato de PTM no posea el valor: Error.
 - Verificar que el campo del dato de PTM no posea el valor: S/D.
10. Iniciar la descarga de PTM desde el menú de opciones.
11. Validar la descarga:
 - Confirmar que no se haga visible el modal de alertas con los mensajes de error: Atención, Oops!, Network Error o Error Desconocido.

**Resultados:**

- La capa PTM se visualiza correctamente en el mapa.
- Los ajustes de opacidad reflejan los valores correspondientes y se visualizan los cambios en la capa .
- El modal "Información" muestra el valor de PTM sin errores.
- La descarga de PTM se completa exitosamente sin alertas de error.

5.5.1.2 Caso de Prueba Visualizar y Descargar SPI

Objetivo: Validar que el usuario web pueda visualizar correctamente las capas de SPI de todas las escalas en el mapa, verificar los valores de cada una en el modal informativo, y proceder a la descarga de los archivos sin errores.

Precondición:

- El sistema debe estar desplegado y accesible en la URL del frontend configurada.
- El mapa debe estar visible en el sitio web.
- La capa de PTM debe estar habilitada y renderizada en el mapa.
- Las capas de SPI de todas las escalas deben estar deshabilitadas.
- El módulo de descarga debe estar implementado y operativo.

Procedimiento:

1. Abrir la página inicial del sitio web EHCPA.
2. Acceder al menú de opciones.
3. Abrir el modal de Precipitación.
4. Verificar que el título "Precipitación" sea visible.
5. Desactivar la capa PTM usando el switch correspondiente.
6. Cerrar el modal de Precipitación.
7. Abrir el modal de SPI.
8. Verificar que el título "Índice de Precipitación Estandarizado" sea visible.
9. Activar todas las capas de SPI usando el switch en el navbar del modal de SPI.
10. Verificar que todas las capas de SPI de todas las escalas estén activadas:
 - Desplazar el scroll en el modal de SPI y verificar que los textos "SPI Escala (escala)" correspondientes a cada capa estén visibles.
 - Validar que los switches de cada capa estén activados.
11. Cerrar el modal de SPI.
12. Realizar un click en el mapa para verificar los valores de SPI:
 - Confirmar la colocación de un marcador en el mapa.
 - Validar que el modal "Información" sea visible con los datos de SPI correspondientes.
 - Desplazar el scroll en el modal y verificar que todas las escalas de SPI estén presentes.
 - Verificar que el campo del dato de SPI de cada escala no posea el valor: Error.
12. Iniciar la descarga de todos los archivos de SPI desde el menú de opciones.
13. Validar la descarga:
 - Confirmar que no se haga visible el modal de alertas con los mensajes de error: Atención, Oops!, Network Error o Error Desconocido.

Resultados:

- Las capas de SPI de todas las escalas se visualizan correctamente en el mapa.
- El modal "Información" muestra los valores de SPI para cada escala sin errores.



- La descarga de todos los archivos de SPI se completa exitosamente sin alertas de error.

5.5.1.3 Caso de Prueba Buscar Ubicación

Objetivo: Validar que el usuario web pueda buscar una ubicación específica, visualizar los resultados, y ser redireccionado geográficamente al punto exacto en el mapa correspondiente a la ubicación seleccionada.

Precondición:

- El sistema debe estar desplegado y accesible en la URL del frontend configurada.
- El mapa debe estar visible en el sitio web.
- La capa de PTM debe estar habilitada y renderizada en el mapa.
- El módulo de buscar ubicación debe estar implementado y operativo.

Datos de Entrada:

- Dirección a buscar: *Córdoba, Argentina*

Procedimiento:

1. Abrir la página inicial del sitio web EHCPA.
2. Acceder a la barra de búsqueda.
3. Escribir en la barra de búsqueda la dirección a buscar.
4. Hacer clic en el icono de la "lupa" para ejecutar la búsqueda.
5. Validar los resultados de la búsqueda:
 - Verificar que no se renderice el componente que muestra el mensaje: "No se encontraron resultados".
 - Verificar que no se renderice el componente que muestra el mensaje: "Falló la conexión con el servidor de OSM".
 - Verificar que se renderice el componente que muestra los resultados y que se visualice el resultado específico: "Córdoba, Municipio de Córdoba, Pedanía Capital, Departamento Capital, Córdoba, X5000, Argentina".
6. Seleccionar el resultado específico: "Córdoba, Municipio de Córdoba, Pedanía Capital, Departamento Capital, Córdoba, X5000, Argentina".
7. Validar que la ubicación seleccionada se muestre correctamente en el mapa:
 - Verificar que se coloca un marcador en el mapa.
 - Verificar que el tooltip del marcador muestre el texto correspondiente: "Córdoba, Municipio de Córdoba, Pedanía Capital, Departamento Capital, Córdoba, X5000, Argentina".

Resultados:

- La búsqueda se efectúa con éxito mostrando un listado de resultados en base al dato de entrada.
- Los resultados de la búsqueda no muestran mensajes de error.
- Al seleccionar la ubicación deseada el mapa es redirigido a dicha localización.
- La ubicación seleccionada se visualiza correctamente en el mapa con un marcador y un tooltip que muestra el nombre de la dirección completa.

6. Beneficios Post-Implementación

La implementación del sistema EHCPA aborda múltiples desafíos. Por un lado, ofrece mejoras significativas en comparación con la metodología de procesamiento y cálculo del SPI implementada por el grupo de investigación. Los beneficios claves en este contexto incluyen:

- **Automatización:** La automatización de todo el proceso de cálculo del SPI, incluyendo la obtención de PTM, evita los errores asociados con la intervención humana, aumenta la eficiencia operativa, mantiene actualizado los datos de forma constante, y mejora la confiabilidad y calidad de los resultados.
- **Backup de datos:** La generación automática del backup de los archivos de precipitación mensual acumulada, fundamentales para el cálculo del SPI, permite almacenar de forma segura y gestionada dichos archivos en un servicio de almacenamiento en la nube, permitiendo la descarga de los mismos cuando sea necesario.
- **Escalabilidad:** La estructura del sistema está diseñada para ser escalable, permitiendo la integración de nuevas funcionalidades en el futuro, como la incorporación de nuevos índices, y su posterior vinculación con un Modelo Hidrológico Automatizado, para la transformación del sistema EHCPA en un Sistema de Gestión de Amenazas Hidrológicas

Por otro lado, los beneficios asociados con las funcionalidades provistas por el sistema EHCPA incluyen:

- **Visualización de información hidrológica:** El sistema EHCPA, permite a cualquier usuario que ingrese al mismo, visualizar en tiempo útil la precipitación mensual acumulada y diferentes condiciones de sequía y humedad en el corto, mediano y largo plazo, en cualquier punto o región dentro de Argentina.
- **Acceso y uso posterior de la información:** Tanto el acceso al sitio web como la descarga de datos de PTM y SPI, es pública y gratuita, permitiendo a investigadores, tomadores de decisiones, entes gubernamentales e instituciones privadas, consumir la información provista para la evaluación de escenarios de cambio climático, seguridad pública relacionada con la disponibilidad hídrica o los incendios, y aspectos productivos relacionados con la agricultura y la construcción de obras civiles..
- **Disponibilidad del servicio y Experiencia de usuario:** El sistema EHCPA prioriza la experiencia de usuario por un lado garantizando una disponibilidad en línea de forma constante, permitiendo el acceso al sitio en cualquier momento, y por otro lado proveyendo una interfaz intuitiva y amigable, y con un diseño moderno, que permite al usuario, sin conocimientos técnicos, identificar y acceder a las diferentes funcionalidades disponibles.



7. Impacto Económico

7.1 Desarrollo e Implementación

En lo que respecta a los costos asociados al desarrollo e implementación del sistema EHCPA, dado que la solución se lleva a cabo como parte de las actividades del grupo de investigación EHCPA y se implementa en un servidor de la UCC, la misma corresponde a una herramienta de la universidad. Es por esta razón que se estableció desde un principio llevar a cabo la construcción de una solución óptima que cumpla con los objetivos planteados, y que por otro lado sea eficiente en términos de costos y gastos para la universidad.

El resultado final derivó en un sistema web implementado en herramientas totalmente gratuitas y servicios provistos por la Universidad Católica de Córdoba, lo que condujo al ahorro antes que al gasto. A continuación, se nombran los ahorros potenciales:

- Reducción de costos operativos: La automatización del proceso de obtención de datos elimina la necesidad de intervención humana constante, limitándose solo al mantenimiento del sistema, lo cual reduce costos asociados a la mano de obra.
- Herramientas de desarrollo: Todos los lenguajes de programación, dependencias, librerías, gestores de paquetes e instaladores, utilizados para el desarrollo backend y frontend, como así también todas las APIs y servicios externos consumidos, inclusive GeoServer, son de completo uso gratuito u open source, ignorando la necesidad de adquirir licencias pagas.
- Almacenamiento: El ahorro en los costos de almacenamiento se cubre por un lado con la capacidad de almacenamiento local provista por la máquina virtual del servidor de la UCC donde es implementado el sistema, la cual posee la capacidad suficiente como para almacenar localmente los datos requeridos por el sistema. Por otro lado, se implementa el sistema de almacenamiento en la nube a través del servicio S3 de AWS por medio de la licencia gratuita, la cual permite la creación de backup sin la necesidad de inferir en costos durante un periodo de tiempo de un año con la capacidad de almacenamiento necesaria, sin la necesidad de inferir en costos de otros planes.
- Servicio de hosting y dominio: Teniendo en cuenta que el despliegue del sistema se efectúa en la máquina virtual provista por la UCC, tanto el hosting como la asignación del dominio del sitio web son proporcionados por la universidad misma, los cuales se encargarán de gestionar.

Si bien el sistema EHCPA es desarrollado e implementado por el grupo de investigación de la UCC, para fines científicos y sin fines de lucro, al ser de acceso público, los datos que provee el sistema pueden ser implementados con fines productivos por parte de instituciones privadas.



7.2 Sector Productivo

7.2.1 Producción Agrícola

En el sector agropecuario productivo, el SPI se utiliza de manera directa para optimizar procesos clave relacionados con la producción agrícola. Algunas aplicaciones específicas incluyen:

- **Aplicación de fertilizantes:** El SPI, al permitir prever el exceso hídrico, ayuda a la aplicación de fertilizantes en momentos estratégicos cuando las precipitaciones aseguren la disolución y absorción eficiente de los nutrientes, y por otro lado ayuda a evitar el uso excesivo o innecesario de fertilizantes en épocas de estrés hídrico, cuando la planta tiene menor capacidad de absorción.
- **Aplicación de insecticidas:** En este caso, el SPI al permitir prever el déficit hídrico, ayuda a la aplicación de insecticidas de forma estratégica durante periodos secos, donde las plagas suelen estar más activas y las plantas menos vulnerables al estrés de la aplicación, evitando aplicaciones antes de lluvias intensas que podrían lavar los cultivos.
- **Generación de protocolos de riego:** Si el SPI se combina con otras herramientas como el NDVI (un índice que mide el estado de humedad de la vegetación mediante imágenes satelitales), se puede identificar el nivel de estrés que atraviesa un cultivo o planta. Entonces, por ejemplo, si el NDVI del mes actual confirma condiciones de estrés hídrico, y el SPI del mes anterior fue negativo indicando sequía, se podrían implementar políticas de riego. Esto permitiría que, a pesar de que el SPI del mes siguiente siga indicando sequía, las plantas reciban una cantidad de agua suficiente para evitar el estrés hídrico y mantener su productividad.
- **Identificación de zonas de cultivo:** Es posible realizar un análisis de las condiciones de exceso y déficit hídrico en diferentes regiones donde se desean realizar plantaciones de cultivos. Por ejemplo, si el SPI en una escala de corto plazo indica que condiciones de exceso en una determinada región, pero el análisis a largo plazo indica condiciones de sequía, significa que la condición de exceso de corto plazo no logró revertir la condición de sequía que sufre la región, por lo tanto dicha región no sería recomendable.

7.2.2 Construcción de Obras Civiles

Por otro lado, el SPI también tiene aplicaciones importantes en el sector de la construcción de obras civiles. Algunas de sus aplicaciones más relevantes son:

- **Planificación de obras y cronogramas:** El SPI permite prever periodos de sequía o lluvias intensas, ajustando los cronogramas de construcción para optimizar las actividades al aire libre, como excavaciones, cimentaciones o movimientos de tierra.
- **Diseño de estructuras resilientes:** El SPI contribuye a evaluar los impactos de las condiciones climáticas en las fases de diseño de las obras, como dimensionar sistemas de drenaje, alcantarillas, la utilización de ciertos materiales, y analizar la estabilidad de suelos para la cimentación o construcción en terrenos inestables, en función de patrones históricos de precipitación y sequías previstas en determinada región.
- **Mantenimiento y durabilidad de infraestructuras:** Para estructuras existentes, el SPI ayuda a prever eventos climáticos extremos que puedan deteriorar carreteras,



puentes, presas u otras infraestructuras. Por ejemplo, durante sequías prolongadas ayuda a implementar estrategias para evitar erosión del suelo, mientras que en periodos de lluvias intensas, ayuda a reducir problemas de sedimentación en sistemas de drenaje.

8. Impacto Social

El cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos, como sequías e inundaciones, pueden agotar o contaminar los suministros de agua. Esto amenaza tanto la calidad como la cantidad del agua de la que dependen comunidades enteras. A medida que las familias en áreas de estrés hídrico extremo compiten por fuentes de agua escasas o inseguras, se ven expulsadas de sus hogares, lo que aumenta su vulnerabilidad a las enfermedades.

A nivel mundial, más de 1.420 millones de personas, incluidos 450 millones de niños, viven en áreas de alta o extremadamente alta vulnerabilidad al agua. El Cuerno de África se enfrenta a la peor sequía que ha sufrido la región en 40 años. Tres temporadas de sequía consecutivas han obligado a cientos de miles de personas a abandonar sus hogares, han acabado con numerosas cabezas de ganado, han arrasado amplias zonas de cultivo y han agravado la malnutrición.

Por otra parte, las inundaciones son uno de los desastres naturales más comunes y destructivos en todo el mundo. Anualmente, causan daños valorados en más de 38000 millones de euros a nivel global, y un número creciente de víctimas mortales, superando las 100 personas por año en las últimas décadas. Eventos históricos, como la inundación en la ciudad de La Plata, Buenos Aires, Argentina en el año 2013 o la inundación en el estado de Rio Grande do Sul, al sur de Brasil, en mayo del año 2024, han resultado en cientos de muertes y en millones en pérdidas, tragedias que pudieron haber sido evitadas aplicando medidas preventivas como la implementación de forma correcta de la obra pública en el desarrollo de embalses, sistemas de drenaje, protecciones costeras, etc. Además, tras el retiro de las aguas, las áreas afectadas suelen quedar cubiertas de limo y barro, y pueden estar contaminadas con materiales peligrosos como restos punzantes, pesticidas, combustible y aguas residuales sin tratar.

En este contexto de vulnerabilidad climática, la implementación de planes de mitigación de riesgos basados en el SPI, al permitir prever fenómenos extremos, facilita la adopción de medidas preventivas que minimizan pérdidas sociales y económicas, generando un impacto significativo al contribuir a la mejora de la calidad de vida y al bienestar de las comunidades.

La identificación de periodos de sequía, ayuda a planificar la producción agrícola, asegurando la disponibilidad de alimentos y reduciendo el impacto de la escasez hídrica en las cosechas. Por otro lado facilita a entidades tanto gubernamentales como privadas la planificación y distribución equitativa de recursos hídricos, evitando crisis humanitarias en regiones con acceso limitado al agua.

El SPI permite identificar zonas vulnerables mediante un análisis temporal de las condiciones de exceso hídrico en dicha región, facilitando la planificación de medidas de mitigación para proteger infraestructuras, prevenir daños en viviendas, evitar víctimas y todo tipo de pérdidas económicas.

El Proyecto PREVENIR en Argentina es un ejemplo concreto de cómo la implementación de sistemas de alerta temprana basados en el SPI puede contribuir a la



protección y resiliencia de las comunidades frente a inundaciones repentinas. Este mismo es una iniciativa conjunta entre el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y el gobierno de Japón, que busca desarrollar un sistema de alerta temprana para inundaciones repentinas en zonas urbanas densamente pobladas. Tiene como objetivo mejorar la capacidad de respuesta ante eventos de inundación, reduciendo su impacto en la población y la infraestructura.

9. Impacto Medioambiental

Análisis para Escenarios de Cambio Climático

El SPI facilita el monitoreo de sequías y permite identificar tendencias en la variabilidad de las precipitaciones vinculadas al cambio climático. Su aplicación en modelos climáticos proyecta escenarios futuros, proporcionando datos valiosos para la planificación de recursos hídricos y la gestión de impactos en sectores vulnerables.

Mediante el análisis de este índice, se contribuye a la adaptación frente a eventos extremos, la protección de ecosistemas y la reducción de prácticas insostenibles que agravan las emisiones de gases de efecto invernadero. Además, permite a las comunidades anticipar los efectos del cambio climático y adoptar estrategias de resiliencia.

Prevención de Incendios Forestales

El SPI es también una herramienta fundamental en la gestión del riesgo de incendios. Su aplicación en escalas de corto plazo permite prever periodos de alta vulnerabilidad derivados de déficits de precipitación. Esta información optimiza la planificación de recursos destinados a la prevención y minimiza las pérdidas ecológicas asociadas a los incendios.

Al identificar áreas y momentos críticos, el SPI contribuye a la conservación de la biodiversidad y la preservación de servicios ecosistémicos esenciales. Asimismo, su uso facilita la evaluación de las condiciones hídricas necesarias para la recuperación de ecosistemas afectados.



10. Conclusión

La investigación permite desarrollar métodos y tecnologías para predecir y mitigar riesgo, reduciendo los efectos negativos de fenómenos hidrológicos extremos, como son las inundaciones y sequías. Esto es crucial para proteger vidas humanas, propiedades y ecosistemas. Entender mejor los procesos hidrológicos, permite diseñar sistemas más eficientes para la gestión del agua, asegurando su disponibilidad para diversos usos. Esto ayuda a minimizar el impacto ambiental de las infraestructuras. La investigación impulsa la innovación en tecnologías y prácticas sustentables para el aprovechamiento del recurso hídrico, contribuyendo al desarrollo de soluciones avanzadas que pueden ser aplicadas globalmente. Esto incluye el uso de modelos predictivos, sistemas de monitoreo y técnicas de ingeniería avanzada.

Investigar en diseño hidrológico no sólo permite abordar desafíos locales, sino también contribuir a soluciones globales que promuevan un uso más equitativo y sustentable de los recursos hídricos.

La Universidad Católica de Córdoba se compromete a formar profesionales capaces de transformar la realidad, acercando los desarrollos a la sociedad de la cual formamos parte, tratando de mejorar la vida de las grandes mayorías y promover la justicia social y la sostenibilidad ambiental.

En lo personal, expreso mi profundo orgullo por haber formado parte del grupo de investigación EHCPA, destacando la oportunidad de contribuir mediante el desarrollo de una herramienta de gran relevancia para la causa global, especialmente útil para quienes trabajan e investigan en el área.

A lo largo del trabajo final, se han aplicado muchos de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, teniendo la fortuna además de haber aprendido nuevas tecnologías relacionadas a la geoinformática y la manipulación de imágenes satélite, y por otro lado haber comprendido conceptos aplicados en el área de la ingeniería civil, resultando así en un trabajo interdisciplinario. Por otro lado, se destaca el cumplimiento tanto del objetivo general como de los objetivos específicos, logrando la satisfacción y conformidad del grupo de investigación.

Asimismo, subrayar la importancia o el valor, de que el trabajo final sea un producto de la Universidad, reflejando así el compromiso institucional con la innovación y la responsabilidad social dirigida a la solución de problemas sociales y ambientales.

11. Anexo

10.1 Instalación QGIS

La instalación del software QGIS se llevó a cabo en un sistema operativo Windows 11. A continuación, se visualizan las secciones más importantes sobre el paso a paso de la instalación:

1. Como primera medida se procede a ejecutar como administrador el instalador descargado del sitio web oficial de QGIS. Posteriormente se aceptan los términos de uso y licencia.
 - Acceso: [QGIS](#)
2. Posteriormente se selecciona el directorio donde será instalado.

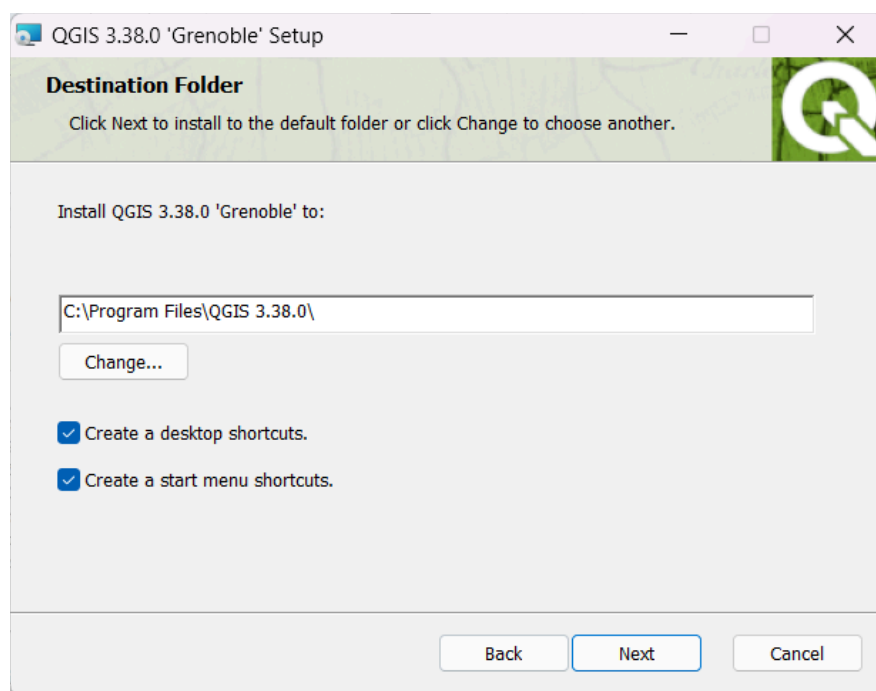


Figura 68: Verificación del directorio de instalación de QGIS.

3. Se seleccionan todos los parámetros de instalación por defecto, y finalmente se procede a efectuar la instalación.



10.2 Creación de Entorno Virtual mediante Conda

El siguiente procedimiento es llevado a cabo en un sistema operativo Windows 11, con Python y Anaconda instalados previamente:

1. Se verifica la versión de Conda instalada en el sistema.

```
(base) C:\Users\Santiago> conda -V
```

2. Para crear el entorno virtual se ejecuta la siguiente sentencia, en donde se indica por medio del parámetro -n (name) el nombre del mismo.

```
(base) C:\Users\Santiago> conda create -n EHCPA_venv
```

3. Para activar el entorno virtual creado se ejecuta el comando *conda activate* seguido del nombre del entorno.

```
(base) C:\Users\Santiago> conda activate EHCPA_venv
```

4. Se instalan las librerías necesarias para poder efectuar el cálculo del SPI. La librería *climate indices* posee muchas de las variables utilizadas en meteorología ya procesadas, y la librería *NCO* proporciona funcionalidades para manipular, analizar y visualizar datos NetCDF de manera eficiente.

```
(EHCPA_venv) C:\Users\Santiago> pip install climate-indices  
(EHCPA_venv) C:\Users\Santiago> conda install -c conda-forge nco
```

- 1) Para desactivar el entorno virtual se ejecuta el comando *conda deactivate*.

```
(EHCPA_venv) C:\Users\Santiago> conda deactivate
```



12. Glosario

Término	Definición
<i>Framework</i>	<i>Entorno de trabajo estandarizado que proporciona un conjunto de herramientas, bibliotecas y directrices para el desarrollo de software. Facilita la creación, organización y mantenimiento de aplicaciones al ofrecer estructuras predefinidas y funcionalidades reutilizables.</i>
<i>Depurador</i>	<i>Herramienta de software utilizada para identificar y corregir errores en un programa. Permite al desarrollador inspeccionar el código línea por línea, observar valores de variables, y analizar el flujo de ejecución para detectar fallos lógicos o técnicos.</i>
<i>Document Object Model (DOM)</i>	<i>Representación jerárquica en forma de árbol de la estructura HTML y XML de una página web. Proporciona una interfaz programable que permite a los desarrolladores interactuar dinámicamente con el contenido, la estructura y el estilo de la página.</i>
<i>Virtual DOM:</i>	<i>Abstracción en memoria del DOM real, utilizada principalmente en React para optimizar la manipulación de elementos. React compara la nueva versión del Virtual DOM con la anterior y aplica únicamente los cambios necesarios al DOM real, mejorando el rendimiento.</i>
<i>Hot Module Replacement (HMR)</i>	<i>Funcionalidad que permite a los desarrolladores actualizar módulos específicos de una aplicación mientras esta se ejecuta, sin necesidad de recargar la página completa. Es común en entornos de desarrollo para agilizar iteraciones.</i>
<i>Módulos ES nativos</i>	<i>Forma estándar de gestionar dependencias y organizar código en JavaScript. Introducidos oficialmente en ES6, permiten importar y exportar funciones, objetos y variables entre archivos utilizando la sintaxis import y export.</i>
<i>Rollup</i>	<i>Herramienta de construcción que combina múltiples módulos JavaScript en uno solo o en varios paquetes optimizados. Reduce el tamaño del código al eliminar partes no utilizadas y mejora la velocidad de ejecución en entornos de producción.</i>
<i>Cuenca</i>	<i>Región geográfica delimitada por montañas o elevaciones, donde todas las aguas superficiales convergen hacia un punto común, como un río, lago o embalse.</i>
<i>Régimen hídrico</i>	<i>Describe las variaciones temporales en la cantidad y distribución del agua en una región, incluyendo su disponibilidad en ríos, lagos y acuíferos a lo largo del tiempo.</i>



<i>Embalse</i>	<i>Acumulación artificial de agua creada mediante la construcción de una presa en un río o arroyo. Se utiliza para almacenamiento, generación de energía, riego o control de inundaciones.</i>
<i>Variable hidrometeorológica</i>	<i>Cualquier factor que mide o describe las condiciones hidrológicas y meteorológicas, como la precipitación, la temperatura, el caudal, o la humedad del suelo.</i>
<i>Génesis</i>	<i>Origen o formación de un fenómeno, sistema o proceso, ya sea natural o diseñado.</i>
<i>Scripts</i>	<i>Pequeños programas o conjuntos de instrucciones escritos en un lenguaje interpretado (como JavaScript o Python) que automatizan tareas o definen comportamientos específicos en un sistema o aplicación.</i>
<i>Caudales</i>	<i>cantidad de agua que fluye a través de un punto determinado en un río o canal en un tiempo específico</i>
<i>Geoinformática</i>	<i>Disciplina que combina la informática y las ciencias geográficas para gestionar, analizar y representar datos espaciales.</i>
<i>Aplicación desktop</i>	<i>Software diseñado para ejecutarse en sistemas operativos de escritorio, como Windows, macOS o Linux, sin depender de un navegador web.</i>
<i>Máquina virtual:</i>	<i>entorno de software que emula el funcionamiento de un sistema operativo completo, permitiendo ejecutar aplicaciones de manera aislada del hardware físico.</i>
<i>IDE (Integrated Development Environment):</i>	<i>Aplicación que proporciona herramientas integradas para el desarrollo de software, como edición de código, depuración y gestión de proyectos.</i>
<i>Zona baja:</i>	<i>región geográfica caracterizada por su baja altitud relativa, lo que la hace propensa a inundaciones y acumulación de agua.</i>
<i>Anegadas</i>	<i>terrenos cubiertos temporal o permanentemente por agua debido a inundaciones o escorrentías excesivas.</i>
<i>Depresión</i>	<i>Formación geográfica caracterizada por una superficie hundida o más baja que las áreas circundantes.</i>
<i>Gamma</i>	<i>familia de distribuciones continuas que modela variables positivas, como tiempos de espera o flujos.</i>
<i>Pearson</i>	<i>Coeficiente de correlación que mide la relación lineal entre dos variables.</i>
<i>netCDF (Network Common Data Form)</i>	<i>Formato de datos diseñado para el almacenamiento y manejo eficiente de grandes conjuntos de datos científicos,</i>



especialmente en campos como la meteorología y la oceanografía.

Raster

Formato de datos espaciales que representa información en una cuadrícula regular de celdas, comúnmente utilizado para imágenes satelitales y mapas digitales.



13. Referencias Bibliográficas

1. Aplicaciones de Reanálisis de GPM IMERG1 para Evaluar Períodos de Sequedad y Humedad Extrema, Amita Mehta y Sean McCartney, 30 de enero de 2020.
2. Infraestructura de Datos Espaciales, Comisión Nacional de Actividades Espaciales, PRODUCTOS DE PRECIPITACIONES, Precipitación acumulada diaria GPM-IMERG, Producto: PA1D GPM-IMERG, Autor: Franco D. Pascualone, Fecha: 27-12-2023, Código: CONAE_MOD_MOM_GPMIMERG_PA1D_ManualUsuarios_e01, Edición: e01
3. Huffman, G., Behrangi, D., Bolvin, E., & Nelkin, E. (2022). GPCP Version 3.2 Satellite-Gauge (SG) Combined Precipitation Data Set. (G. Huffman, A. Behrangi, D. Bolvin, & E. Nelkin, Edits.) Greenbelt, Maryland, USA: Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). Obtenido de 10.5067/MEASURES/GPCP/DATA304
4. Huffman, G., Stocker, E., Bolvin, D., Nelkin, E., & Jackson Tan. (2019). GPM IMERG Late Precipitation L3 Half Hourly 0,1 degree x 0,1 degree V06. Greenbelt, Maryland, USA: Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC). Obtenido de 10.5067/GPM/IMERG/3B-HH-L/06
5. Liu, Y., Zhu, Y., Ren, L., Singh, V., Yong, B., Jiang, S., . . . Yang, X. (2019). Understanding the Spatiotemporal Links Between Meteorological and Hydrological Droughts from a three-dimensional perspective. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 124, 3090-3109. doi:10.1029/2018JD028947
6. McKee, T., Doesken, N., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scale. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, 179-184.
7. Organización Meteorológica Mundial. (2012). Índice normalizado de precipitación. Guía de Usuario. Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial.
8. Park, S., Sur, C., Lee, J., & Kim, J. (2020). Ecological drought monitorin through fish habitat-based flow assessment in the river basin of Korea. *Ecological Indicators*, 109. doi:10.1016/j.ecolind.2019.105830
9. CAUSAS E IMPACTOS DE LA SEQUÍA 2020-2022 EN EL SUDESTE BONAERENSE VENEZIANO, Marcelo F. y GARCÍA, Mónica C. Grupo de Estudios de Ordenación Territorial (GEOT), Centro de Investigaciones Geográficas y SocioAmbientales (CIGSA), Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMDP).