

Maritza Aguirre Munizaga
Karina Real Avilés
Mitchel Vásquez Bermúdez
Vanessa Vergara Lozano
Andrea Sinche Guzmán

INTEGRACIÓN DE
**SISTEMAS DE
INFORMACIÓN**
CON TECNOLOGÍAS ABIERTAS PARA
EL MONITOREO EN ESTACIONES
METEOROLÓGICAS UNIVERSITARIAS



Universidad
Agraria
del Ecuador

Atena
Editora
Año 2025

Maritza Aguirre Munizaga
Karina Real Avilés
Mitchel Vásquez Bermúdez
Vanessa Vergara Lozano
Andrea Sinche Guzmán

INTEGRACIÓN DE
**SISTEMAS DE
INFORMACIÓN**
CON TECNOLOGÍAS ABIERTAS PARA
EL MONITOREO EN ESTACIONES
METEOROLÓGICAS UNIVERSITARIAS



Universidad
Agraria
del Ecuador

Atena
Editora
Año 2025

2025 by Atena Editora

Copyright © 2025 Atena Editora

Copyright do texto © 2025, o autor

Copyright da edição © 2025, Atena Editora

Os direitos desta edição foram cedidos à Atena Editora pelo autor.

Open access publication by Atena Editora

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira Scheffer

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Yago Raphael Massuqueto Rocha



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

A Atena Editora mantém um compromisso firme com a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, assegurando que os padrões éticos e acadêmicos sejam rigorosamente cumpridos. Adota políticas para prevenir e combater práticas como plágio, manipulação ou falsificação de dados e resultados, bem como quaisquer interferências indevidas de interesses financeiros ou institucionais.

Qualquer suspeita de má conduta científica é tratada com máxima seriedade e será investigada de acordo com os mais elevados padrões de rigor acadêmico, transparência e ética.

O conteúdo da obra e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade, são de responsabilidade exclusiva do autor, não representando necessariamente a posição oficial da Atena Editora. O download, compartilhamento, adaptação e reutilização desta obra são permitidos para quaisquer fins, desde que seja atribuída a devida autoria e referência à editora, conforme os termos da Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Os trabalhos nacionais foram submetidos à avaliação cega por pares, realizada pelos membros do Conselho Editorial da editora, enquanto os internacionais passaram por avaliação de pareceristas externos. Todos foram aprovados para publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Integración de Sistemas de Información con Tecnologías Abiertas para el Monitoreo en Estaciones Meteorológicas Universitarias

| Autores:

Maritza Aguirre Munizaga
Karina Real Avilés
Mitchel Vásquez Bermudez
Vanessa Vergara Lozano
Andrea Sinche Guzman

| Revisão:

Os autores

Datos de catalogación en publicación internacional (CIP)

I61 Integración de sistemas de información con tecnologías abiertas para el monitoreo en estaciones meteorológicas universitarias / Maritza Aguirre Munizaga, Karina Real Avilés, Mitchel Vásquez Bermudez, et al. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2025.

Otros autores
Vanessa Vergara Lozano
Andrea Sinche Guzman

Formato: PDF
Requisitos del sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acceso: World Wide Web
Incluye bibliografía
ISBN 978-65-258-3635-5
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.355250809>

1. Sistemas de Información - Universidad. I. Aguirre Munizaga, Maritza. II. Real Avilés, Karina. III. Vásquez Bermudez, Mitchel. IV. Título.

CDD 005.7

Preparado por Bibliotecario Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora

☎ +55 (42) 3323-5493

☎ +55 (42) 99955-2866

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

CONSELHO EDITORIAL

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Ariadna Faria Vieira – Universidade Estadual do Piauí
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Cirênio de Almeida Barbosa – Universidade Federal de Ouro Preto
Prof. Dr. Cláudio José de Souza – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Prof. Dr. Joachin de Melo Azevedo Sobrinho Neto – Universidade de Pernambuco
Prof. Dr. João Paulo Roberti Junior – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Juliana Abonizio – Universidade Federal de Mato Grosso
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof. Dr. Sérgio Nunes de Jesus – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

PRESENTACIÓN

PRESENTACIÓN

Este libro presenta una reseña de la sistematización exhaustiva del proceso técnico, metodológico y estratégico detrás de la implementación una red de monitoreo meteorológico, la que se centró inicialmente en las sedes de Guayaquil y Milagro de la Universidad Agraria del Ecuador. Se abordan aspectos como el diagnóstico de la infraestructura existente, el diseño arquitectónico del sistema, la validación de los equipos, la integración con servicios geoespaciales (WMS) y la evaluación del impacto institucional. Además, se proponen recomendaciones orientadas a la expansión del sistema hacia nuevas zonas y aplicaciones agroambientales. El proyecto de implementación de la red se ejecutó entre los años 2017 al 2019 y las estaciones permanecieron activas hasta el año 2023.

ÍNDICE

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	8
CAPÍTULO 1	10
CONTEXTO Y FUNDAMENTOS DE LA RED METEOROLÓGICA	
Maritza Aguirre-Munizaga	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.3552508091	
CAPÍTULO 2.....	25
VISUALIZACIÓN WEB Y ANÁLISIS DE DATOS ATMOSFÉRICOS	
Karina Real-Avilés	
Mitchell Vásquez-Bermudez	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.3552508092	
CAPÍTULO 3.....	40
INTEGRACIÓN CON SISTEMAS EXTERNOS Y PUBLICACIÓN ABIERTA	
Vanessa Vergara-Lozano	
Andrea Sinche-Gúzman	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.3552508093	
CAPÍTULO 4	54
EVALUACIÓN, IMPACTO Y RECOMENDACIONES	
Maritza Aguirre-Munizaga	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.3552508094	
REFERENCIAS.....	80
GLOSARIO	83
AUTORES	87

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Ecuador se distingue por su configuración geográfica compleja y su diversidad climática única. Localizado sobre la línea ecuatorial, el país está atravesado por la cordillera de los Andes, flanqueado por la cuenca amazónica al este y por el océano Pacífico al oeste, lo que lo convierte en un escenario privilegiado para el estudio y monitoreo de fenómenos meteorológicos. Esta interacción entre orografía, corrientes oceánicas y masas de aire tropicales ha dado lugar a una sorprendente variedad de macroclimas, microclimas y topoclimas, que fluctúan abruptamente incluso en distancias cortas.

Pese a esta riqueza ambiental, el país enfrenta una limitada capacidad tecnológica instalada para el monitoreo continuo y sistemático de variables atmosféricas. La mayor parte de las estaciones meteorológicas disponibles pertenecen a entidades centralizadas como el INAMHI, cuya cobertura, aunque técnica, presenta vacíos espaciales y temporales significativos, particularmente en zonas rurales, periurbanas y de importancia agroproductiva. Además, la mayor parte de los datos recopilados no están disponibles en tiempo real ni bajo esquemas de acceso abierto, lo cual restringe su utilidad para la toma de decisiones inmediatas, la planificación territorial y la investigación científica.

En este escenario, la Universidad Agraria del Ecuador (UAE) se erige como una institución pionera en el impulso de soluciones tecnológicas para la gestión climática local. Reconociendo el valor estratégico de la información meteorológica de alta resolución, la universidad ha desarrollado un sistema automatizado de monitoreo atmosférico, orientado a fortalecer las capacidades científicas, operativas y educativas mediante una red de estaciones meteorológicas, conectividad remota y plataformas web interactivas de libre acceso.

El proyecto se sustentó en principios de transparencia, interoperabilidad y uso de software libre, alineándose con las políticas de ciencia abierta y gestión sostenible del conocimiento. Las estaciones están diseñadas para capturar variables fundamentales como temperatura, humedad, radiación solar, presión barométrica, velocidad y dirección del viento, entre otras, las cuales son transmitidas y visualizadas en tiempo real mediante interfaces web, gráficos interactivos y mapas temáticos.

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Este libro presenta una sistematización exhaustiva del proceso técnico, metodológico y estratégico detrás de la implementación de esta red de monitoreo, la que se centró inicialmente en las sedes de Guayaquil y Milagro. Se abordan aspectos como el diagnóstico de la infraestructura existente, el diseño arquitectónico del sistema, la validación de los equipos, la integración con servicios geoespaciales (WMS) y la evaluación del impacto institucional. Además, se proponen recomendaciones orientadas a la expansión del sistema hacia nuevas zonas y aplicaciones agroambientales.

En un contexto de creciente variabilidad climática, la consolidación de este tipo de plataformas constituye un aporte relevante a la gestión ambiental, la adaptación al cambio climático y el fortalecimiento de capacidades científicas locales, promoviendo una cultura de acceso libre a la información meteorológica y fomentando la participación de la comunidad académica y de la ciudadanía en el análisis y uso de datos climáticos.

El crecimiento urbano desorganizado, la expansión agrícola intensiva y el cambio climático global exigen contar con herramientas tecnológicas que permitan monitorear variables atmosféricas de forma continua, precisa y accesible. Actualmente, instituciones públicas como el INAMHI o el INOCAR concentran datos meteorológicos, pero con acceso restringido y escasa disponibilidad histórica para la ciudadanía y la comunidad científica.

Frente a esta problemática, el desarrollo de una plataforma universitaria autónoma se presentó como una respuesta concreta a las necesidades locales de monitoreo climático. Esta solución permitió no solo el fortalecimiento de la investigación científica y académica, sino también la generación de insumos técnicos para políticas públicas, agricultura inteligente y educación ambiental.

Además, el uso de estaciones meteorológicas automáticas, con capacidad de transmisión remota, reduce significativamente los costos operativos frente a las estaciones convencionales que requieren personal capacitado para realizar lecturas periódicas. El proyecto se ejecutó entre los años 2017 al 2019 y las estaciones permanecieron activas hasta el año 2023.



C A P Í T U L O 1

CONTEXTO Y FUNDAMENTOS DE LA RED METEOROLÓGICA

Maritza Aguirre-Munizaga

Instituto de Investigación
Carrera Computación – Facultad de Ciencias Agrarias “Dr. Jacobo Bucaram Ortiz”
Universidad Agraria del Ecuador

DIAGNÓSTICO DE ESTACIONES EXISTENTES

Previo al desarrollo e implementación del sistema de monitoreo atmosférico, se realizó un diagnóstico técnico en campo en los campus universitarios de Guayaquil y Milagro, con el fin de evaluar el estado operativo y la infraestructura disponible para el soporte del proyecto. Esta fase fue esencial para identificar las limitaciones existentes y definir los requerimientos para una red meteorológica funcional y sostenible.

Durante las visitas realizadas entre octubre y noviembre de 2017, se identificaron un total de cuatro estaciones micro meteorológicas instaladas en periodos anteriores por diferentes iniciativas académicas, pero que a la fecha del levantamiento se encontraban fuera de servicio, sin mantenimiento ni recolección de datos activa.

En la sede Guayaquil, se detectaron dos estaciones:

La primera, ubicada en la terraza del edificio SIPUAE, presentaba signos de oxidación avanzada en su estructura metálica, sensores deteriorados y paneles solares inactivos. El datalogger estaba desconectado, sin registros almacenados y con la interfaz de visualización desconfigurada.

La segunda, instalada en el edificio de Computación e Informática, contaba con sensores parcialmente integrados y una antena de transmisión en mal estado. El equipo principal estaba fuera de línea y no disponía de ningún tipo de respaldo de datos.

En la sede Milagro, se inspeccionaron otras dos estaciones:

Una de las estaciones fue localizada en la hacienda experimental “El Misionero”, donde se constató que su estructura se encontraba incompleta, sin un soporte físico adecuado para la instalación y operación eficiente de los sensores meteorológicos. Durante la inspección no se hallaron registros digitales ni evidencias de transmisión de datos, y se identificaron fallas críticas en el sistema de alimentación solar, especialmente en la batería de respaldo, cuya capacidad de almacenamiento estaba severamente deteriorada.

Como se observa en la figura 1, la otra estación se encontraba instalada en la cubierta del edificio de Laboratorios. Esta unidad estaba completamente desconectada de la red eléctrica, lo que imposibilitaba tanto su funcionamiento como la recuperación de datos históricos. Además, se detectó una corrosión avanzada en los conectores electrónicos y componentes metálicos, resultado de la exposición prolongada a condiciones climáticas adversas sin intervenciones de mantenimiento preventivo. La ausencia de rutinas de inspección técnica y limpieza había comprometido de forma significativa la operatividad de la estación, evidenciando la necesidad urgente de su rehabilitación o reemplazo.

Figura 1 - Situación inicial de estaciones



Nota: La imagen muestra dos tipos de estaciones meteorológicas instaladas en diferentes entornos dentro de una institución académica y en campo abierto.

Fuente: Autores (2017)

A nivel general, se constató que ninguna de las estaciones contaba con respaldo documental técnico, manuales de operación ni bitácoras de mantenimiento. Esta falta de gestión y seguimiento evidenció una fragilidad institucional en cuanto al sostenimiento de infraestructura meteorológica, así como la necesidad urgente de actualizar los equipos conforme a estándares internacionales.

El levantamiento de esta información fue fundamental para justificar la inversión en nuevas estaciones meteorológicas automatizadas, que incluyeran sensores de alta precisión, capacidad de transmisión remota vía GPRS o WiFi, y respaldo energético autónomo. Asimismo, permitió establecer criterios técnicos para la ubicación estratégica de las futuras estaciones, priorizando zonas con buena cobertura solar, baja interferencia electromagnética y facilidad de acceso para labores de mantenimiento.

Esta etapa de diagnóstico no solo permitió documentar el estado crítico de los recursos existentes, sino que sentó las bases para una planificación rigurosa del sistema de monitoreo atmosférico, con enfoque en la confiabilidad de los datos, sostenibilidad operativa y alineación con las necesidades de investigación científica y académica.

Para el diseño del sistema de monitoreo se adoptó como guía la metodología “Rational Unified Process” (RUP), la cual facilita la planificación, desarrollo y mantenimiento de proyectos tecnológicos en fases iterativas. Esta metodología fue adaptada al contexto institucional considerando las fases de inspección, diagnóstico, diseño arquitectónico, pruebas de conectividad, desarrollo web y visualización de datos.

En cuanto al soporte conceptual, se consideraron los lineamientos de Gandin (1970) sobre “The Planning of Meteorological Station Networks”, los cuales orientan la distribución espacial mínima necesaria para una red eficiente de estaciones (Aguirre-Munizaga et al., 2018).

Asimismo, se incorporaron principios de administración de sistemas distribuidos, visualización geoespacial, estándares de transmisión de datos (FTP, GPRS), y uso de software de código abierto como PostgreSQL y GeoServer (Vitolo et al., 2015). Estos componentes técnicos fueron seleccionados por su compatibilidad, escalabilidad y bajo costo de implementación.

INSTALACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS ESTACIONES

Una vez concluido el diagnóstico de la infraestructura meteorológica preexistente —el cual evidenció la obsolescencia funcional de las estaciones instaladas en los campus universitarios de Guayaquil y Milagro—, se procedió con la fase de instalación de nuevas unidades micrometeorológicas, atendiendo tanto a los requerimientos técnicos de la red como a los criterios internacionales de calidad en adquisición de datos atmosféricos.

En la Figura 2 se ilustra el flujo general del sistema, el cual inicia con la captura de variables ambientales mediante sensores especializados. Estos dispositivos están conectados a un módulo de comunicación GPRS, que se encarga de transmitir los

datos recopilados hacia un servidor central. Una vez almacenada la información en el servidor, esta es procesada y presentada a través de una plataforma web interactiva, facilitando el análisis continuo y la toma de decisiones informadas en el contexto de monitoreo ambiental.

Figura 2 - *Arquitectura*



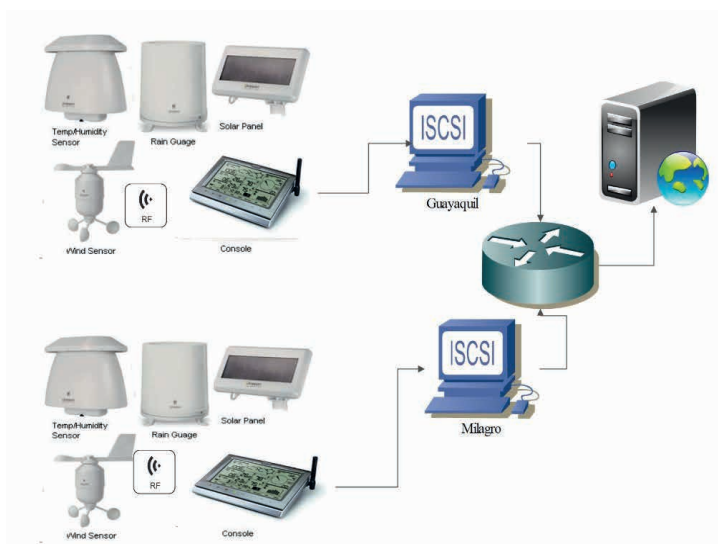
Nota: La imagen ilustra de manera esquemática la arquitectura del sistema de monitoreo ambiental basado en sensores remotos. El diagrama representa las etapas clave del flujo de datos, desde la captura hasta la visualización.

Fuente: Autores (2025)

En primera instancia, se instalaron estaciones Oregon Scientific WMR200A como módulos piloto. Este modelo fue seleccionado por su versatilidad, facilidad de configuración, bajo costo relativo y autonomía energética, lo que permitió validar en campo la arquitectura inicial de la red y comprobar el funcionamiento de los protocolos de recepción, procesamiento y almacenamiento de datos. Las WMR200A, aunque consideradas semiprofesionales, permitieron registrar parámetros fundamentales como temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, índice de calor y presión atmosférica.

La Figura 3 muestra la infraestructura distribuida de estaciones meteorológicas automatizadas ubicadas en las sedes de Guayaquil y Milagro.

Figura 3 - Diagrama de funcionamiento



Nota: La imagen muestra un esquema de funcionamiento e integración de dos estaciones meteorológicas automáticas ubicadas en diferentes localidades: Guayaquil y Milagro. Ambas estaciones están equipadas con los mismos componentes esenciales para la medición de variables climáticas.

Fuente: Autores (2025)

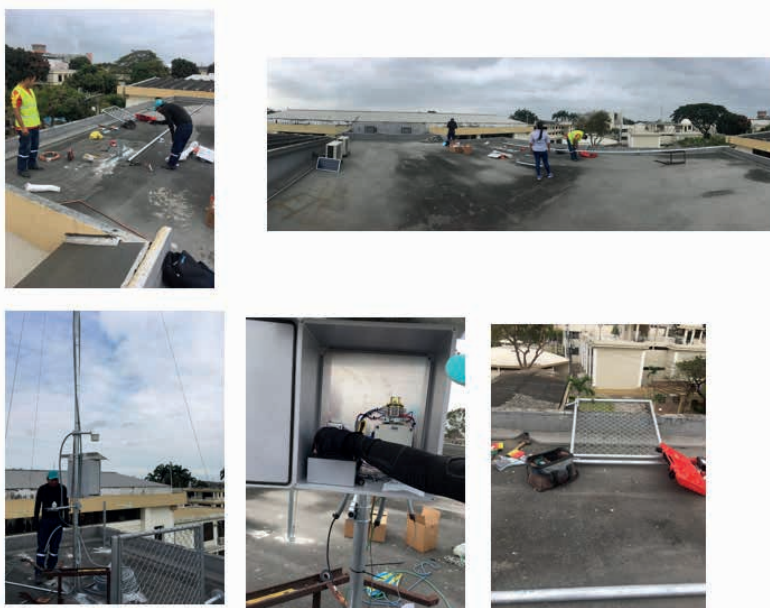
Las estaciones meteorológicas fueron ensambladas sobre torres metálicas de aproximadamente 2,5 metros de altura, diseñadas y ubicadas estratégicamente conforme a los criterios de exposición establecidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), los cuales consideran factores como la altura sobre el nivel del suelo, la distancia a obstáculos verticales, y la orientación cardinal de los sensores (López Jiménez, 2014). La calibración de la ubicación geográfica fue realizada utilizando receptores GPS de alta precisión, lo que permitió asegurar la correcta georreferenciación de las estaciones dentro del sistema de monitoreo.

Para preservar la integridad de los equipos y minimizar interferencias externas, las estructuras fueron reforzadas con mallas protectoras contra aves, roedores y otros agentes biológicos, así como anclajes de seguridad para evitar actos vandálicos o desplazamientos accidentales por factores climáticos. El sistema de alimentación fue diseñado para operar de forma autónoma, mediante paneles solares fotovoltaicos conectados a baterías de respaldo de ciclo profundo, lo que garantiza la continuidad operativa incluso durante periodos prolongados de baja radiación solar.

Con base en las experiencias obtenidas durante la fase piloto y las pruebas de campo iniciales, se tomó la decisión de escalar el sistema hacia una solución más robusta y profesional. En este contexto, se procedió con la adquisición e instalación de estaciones meteorológicas automáticas de nivel profesional, equipadas con sensores de alta precisión y módulos de transmisión remota mediante la tecnología GPRS (General Packet Radio Service) (Jin et al., 2018). Esta actualización tecnológica representó un avance sustancial en términos de eficiencia operativa, permitiendo establecer una red completamente automatizada que elimina la necesidad de intervención manual para la recolección de datos. Las estaciones fueron programadas para generar archivos de datos en formato de texto plano (.txt), codificados con etiquetas estandarizadas por variable meteorológica y ordenados cronológicamente. Dichos archivos se transmiten automáticamente a un servidor FTP institucional cada cinco minutos, lo que permite mantener una frecuencia elevada de actualización y garantiza la disponibilidad casi en tiempo real de los datos atmosféricos para su análisis, visualización y toma de decisiones.

La Figura 4 ilustra el proceso de instalación de una estación meteorológica automatizada en la cubierta de una edificación institucional.

Figura 4 - Instalación de sensores sede Guayaquil (2018).



Nota: Las imágenes documentan el proceso técnico de instalación de una estación meteorológica automática en la azotea de una edificación institucional. Esta actividad forma parte de un proyecto de monitoreo climático y recolección de datos atmosféricos en tiempo real.

Fuente: Autores (2025)

Los equipos profesionales integran sensores de alta precisión para el monitoreo de las siguientes variables:

- Temperatura del aire (°C), mediante sensores con compensación térmica.
- Humedad relativa (%), basada en capacitancia dieléctrica.
- Presión barométrica (hPa), con transductores calibrados electrónicamente.
- Radiación solar (W/m^2), a través de piranómetros con rango espectral estándar.
- Índice ultravioleta (UV), mediante fotodiodos específicos con respuesta espectral adaptada.
- Velocidad del viento (m/s) y dirección del viento (°), por medio de anemómetros ultrasónicos y veletas digitales.
- Precipitación (mm), a través de pluviómetros de balancín con calibración automática.

Además de los sensores meteorológicos, cada estación fue equipada con un datalogger con sistema embebido, el cual cumple funciones críticas para la gestión y resguardo de la información recolectada. Este componente permite el almacenamiento temporal de los datos en memoria local en caso de interrupciones en la red móvil, asegurando la continuidad del registro sin pérdidas de información. Asimismo, el sistema está configurado con protocolos de reenvío automático, que permiten sincronizar y transmitir los datos almacenados una vez restablecida la conectividad, lo que garantiza la integridad de las series temporales y minimiza la intervención manual. (Aguirre-Munizaga et al., 2016).

La configuración tecnológica incluyó una antena externa de alta ganancia con capacidad de transmisión en redes GSM/GPRS, junto con una tarjeta SIM de datos con cobertura nacional. Esta arquitectura de comunicación fue diseñada específicamente para operar en zonas con conectividad limitada, como áreas rurales o entornos agroproductivos, permitiendo una transmisión confiable incluso en condiciones de señal marginal. La inclusión de esta solución de comunicación remota facilitó significativamente el despliegue de las estaciones en ubicaciones estratégicas fuera del entorno urbano, ampliando el alcance geográfico del sistema de monitoreo.

El proceso de instalación fue rigurosamente documentado mediante registros fotográficos y fichas técnicas estandarizadas, las cuales fueron anexadas en los informes técnicos oficiales remitidos a las autoridades académicas de la institución. Dichos documentos incluyen vistas laterales y superiores de la estación, esquemas de cableado interno, coordenadas GPS de ubicación exacta y capturas del panel de configuración del sistema. Este registro documental no solo respalda la transparencia del proceso, sino que también constituye un insumo técnico valioso para futuras auditorías, mantenimientos y procesos de escalamiento.

ARQUITECTURA DE DATOS INICIAL

La primera versión de la arquitectura de transmisión de datos se fundamentó en una estructura de tres capas: (1) capa de observación o sensores, (2) capa de procesamiento, que interpretaba la información y (3) capa de presentación, desarrollada como una plataforma web interactiva (Padmini et al., 2020). Esta arquitectura utilizó una base de datos MySQL, en la que se registraban los datos descargados manualmente desde los dataloggers de las estaciones, en formato Excel.

Migración a Infraestructura Escalable

A medida que el sistema de monitoreo meteorológico evolucionó desde su fase piloto hacia una operación continua y multiestación, se evidenció la necesidad de una infraestructura más robusta y escalable (Ramírez & Wright, 2023). La arquitectura inicial —basada en descargas manuales desde dataloggers y almacenamiento en hojas de cálculo o bases de datos locales en MySQL— resultó insuficiente para manejar el creciente volumen de datos, la frecuencia de actualización y las exigencias de disponibilidad en tiempo real.

Ante esta situación, se tomó la decisión estratégica de migrar la arquitectura tecnológica hacia un entorno de procesamiento automatizado, fundamentado en dos pilares clave: un servidor FTP centralizado para la recolección remota de datos y una base de datos PostgreSQL para el almacenamiento estructurado y consultas avanzadas (Byron E. Zúñiga et al., 2016).

Las estaciones meteorológicas profesionales, configuradas con módulos de comunicación GPRS, fueron programadas para generar un archivo de texto plano (.txt) cada cinco minutos. Este archivo contiene registros de variables meteorológicas codificadas por etiquetas, ordenadas cronológicamente y estandarizadas en formato delimitado. A través de la red móvil GSM/GPRS, estos archivos se envían automáticamente a un servidor FTP institucional alojado en una instancia de Linux virtualizada, montada sobre una red privada académica.

En la figura 6 evidencia el proceso de verificación, ensamblaje y configuración de los componentes electrónicos y sensores que conforman el sistema de monitoreo meteorológico. En las imágenes se observan diversos elementos, entre ellos el panel solar, cables de conexión, sensores de radiación y temperatura, módulos de comunicación y tarjetas electrónicas internas.

Figura 6 - Sensores y Componentes de la estación meteorológica adquirida.

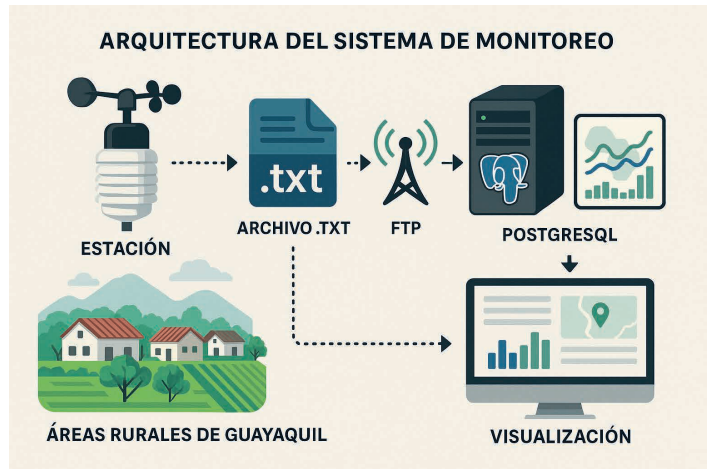


Nota: La imagen compuesta muestra una serie de fotografías detalladas del proceso de revisión, ensamble y prueba de los componentes que integran una estación meteorológica automática, previo a su instalación en campo.

Fuente: Autores (2025)

La figura siguiente figura 7 ilustra la arquitectura lógica del sistema implementado, con sus flujos de datos desde las estaciones hasta el motor de base de datos, pasando por la capa de transferencia segura y procesamiento automatizado.

Figura 7 - Arquitectura de monitoreo



Nota: La imagen muestra un esquema conceptual de la arquitectura de un sistema de monitoreo climático implementado en zonas rurales del cantón Guayaquil. Este sistema tiene como objetivo la recolección, transmisión, almacenamiento y visualización de datos meteorológicos en tiempo real.

Fuente: Autores (2025)

En el servidor FTP, se desplegó una estructura jerárquica de directorios que organiza los datos por sede, año, mes y día, lo cual permite una navegación eficiente y asegura la trazabilidad del historial meteorológico. Para procesar estos archivos, se implementó un script automatizado desarrollado en PHP y shell script, ejecutado mediante cronjobs del sistema operativo. Este script realiza las siguientes funciones:

1. Escanea constantemente el directorio raíz de FTP en busca de nuevos archivos.
2. Verifica la integridad del archivo y la validez de su estructura.
3. Parsea el contenido y extrae las variables meteorológicas.
4. Inserta los datos en tablas relacionales dentro de la base de datos PostgreSQL, respetando las llaves primarias y los índices temporales.
5. Registra logs de ejecución, errores y trazabilidad para fines de auditoría técnica.

El uso de PostgreSQL, con el complemento PostGIS, no solo permitió optimizar el almacenamiento de series temporales, sino también incorporar coordenadas geográficas de las estaciones y realizar análisis espaciales avanzados. La elección de esta base de datos se fundamentó en su estabilidad, compatibilidad con herramientas de visualización geoespacial (como GeoServer), soporte para funciones analíticas complejas y comunidad activa de desarrollo (Gong et al., 2015).

Esta migración representó un salto cualitativo en términos de eficiencia, confiabilidad y escalabilidad del sistema. Eliminó la dependencia de procesos manuales, redujo la latencia en la disponibilidad de datos a menos de 60 segundos, y permitió preparar la infraestructura para la integración futura de nuevas estaciones, sensores IoT y módulos de análisis predictivo mediante aprendizaje automático.

Adicionalmente, se habilitaron mecanismos de respaldo automático, que replican las bases de datos diariamente en un repositorio alternativo, y se configuraron alertas por correo electrónico en caso de fallos de transmisión, cortes de energía o detección de archivos corruptos.

Esta reingeniería de la plataforma permitió consolidar una infraestructura sólida y replicable, alineada con los principios de arquitectura abierta, resiliencia operativa y expansión institucional, sentando las bases para un sistema universitario de monitoreo meteorológico sostenible en el tiempo.

Validación Técnica y Mantenimiento

Una vez instalada la infraestructura de estaciones meteorológicas automáticas, se estableció un plan integral de validación técnica y mantenimiento preventivo, orientado a garantizar la confiabilidad, continuidad operativa y precisión de los datos atmosféricos registrados. Considerando que los sensores se encuentran expuestos

constantemente a condiciones ambientales adversas —incluyendo radiación solar directa, lluvias intensas, acumulación de polvo, interferencias electromagnéticas y actividad biológica (aves, insectos)—, se diseñaron protocolos específicos para su inspección y calibración.

Validación técnica de datos y sensores

La validación técnica se realizó en dos niveles: verificación de integridad del hardware y consistencia de los datos recolectados. En el primer nivel, se llevaron a cabo revisiones periódicas de:

Integridad física de los sensores

- I Inspección visual exhaustiva: Cada visita de mantenimiento incluye una revisión de superficie y estructura de todos los sensores (anemómetro, veleta, piranómetro, higrómetro, etc.). Se documentan posibles grietas, desprendimientos de recubrimientos protectores y signos de fatiga en los materiales plásticos o metálicos.
- I Pruebas de estanqueidad: Con aire comprimido a baja presión se realiza un testeado de sellado en las uniones de carcasa para detectar filtraciones de agua y polvo. Cualquier indicio de humedad interna obliga a un desensamble parcial para limpieza y Re estanqueidad.
- I Verificación de movilidad mecánica: Se comprueba que los anemómetros de copa y las veletas giren libremente sin fricciones ni bloqueos. En caso de fricción, se realiza limpieza de ejes y aplicación de lubricantes especiales de grado marino.

Nivel de carga y funcionamiento del sistema de energía

- I Medición de voltaje en serie: Con multímetro digital se registra el voltaje en el panel solar, controlador de carga y batería, comparando contra los valores nominales (por ejemplo, 12 V en batería cargada >12,4 V).
- I Pruebas de descarga controlada: Se simulan condiciones de baja radiación (sombra parcial) y se monitorea la curva de descarga para garantizar que la batería soporte al menos 48 horas de operación autónoma.
- I Registro de historial: Los datos de tensión y corriente de carga/descarga se almacenan en una bitácora electrónica para analizar la degradación mensual de la batería y planificar recambios antes de que la capacidad caiga por debajo del 70 %.

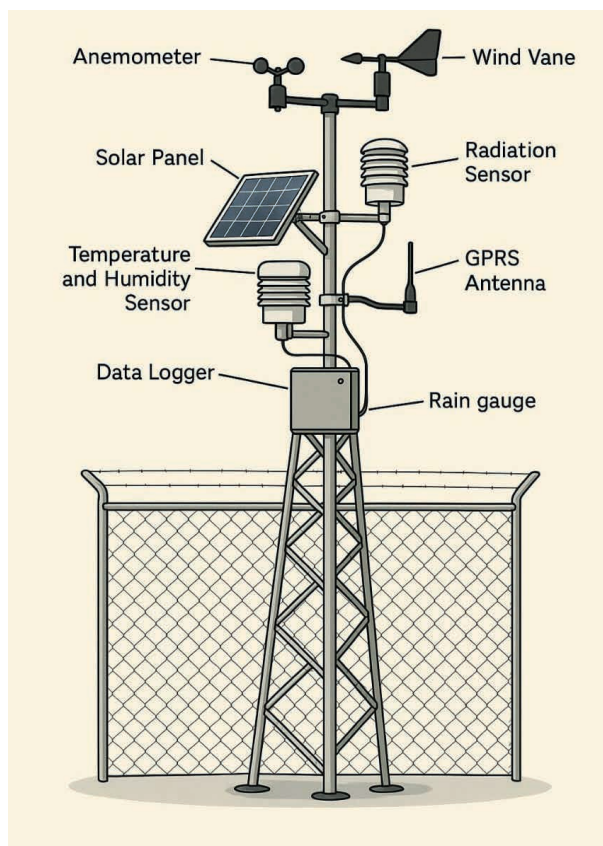
Conectividad del módulo GPRS

- I Análisis de cobertura: Se emplea un medidor GSM para obtener el nivel de señal (RSSI) en dBm. Valores inferiores a -100 dBm requieren reubicación de antena o cambio de SIM.
- I Ensayos de transferencia de paquetes: Se envían paquetes de prueba de distinto tamaño (1 kB, 10 kB y 100 kB) para medir la latencia promedio y la tasa de éxito en la entrega al servidor FTP.
- I Simulación de caída de red: Se desconecta temporalmente el módulo GPRS y se observa el comportamiento del datalogger: debe almacenar localmente los archivos pendientes y reenviarlos automáticamente al restablecerse la conexión.

Estado estructural de mástiles, soportes y protecciones

- I Inspección de anclajes y soldaduras: Se revisan pernos y soldaduras en la base de las torres; se buscan fisuras por fatiga y corrosión. Cualquier pieza con corrosión avanzada se reemplaza por acero inox 304.
- I Verificación de tensores: Con dinamómetro se comprueba la tensión de los cables de sujeción; una desviación >10 % respecto al valor de instalación inicial indica necesidad de ajuste.
- I Revisión del pararrayos y conexión a tierra: Se mide la resistencia de puesta a tierra con telurómetro; debe ser $<10 \Omega$. Se testea el conductor de bajada con ensayo de deriva continua para garantizar que las corrientes de rayo se disipen correctamente.
- I La figura 8 presenta un esquema detallado de una estación meteorológica automática instalada en campo, la cual integra diversos sensores y dispositivos electrónicos para la medición de variables climáticas generada a través de la inteligencia artificial.

Figura 8 Imagen conceptual de la estación generada con Inteligencia Artificial



Nota: Las estaciones aún se encuentran en los predios Universitarios para efectos de publicación se ha generado una imagen conceptual de la misma

Fuente: OpenAi(2025)

En cuanto al segundo nivel, se efectuó una comparación sistemática de los datos recolectados por las estaciones de la UAE frente a registros de estaciones oficiales cercanas del INAMHI y del INOCAR, aplicando criterios de tolerancia según normas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Se utilizaron métricas de control como:

- Rango esperado de valores diarios por variable.
- Comprobación de registros duplicados o ausentes.
- Análisis de valores extremos (outliers) para determinar fallos puntuales.

Los registros validados fueron etiquetados y almacenados como datos confiables, mientras que aquellos con inconsistencias fueron marcados para revisión y, si fuera necesario, descartados del análisis operativo.

Mantenimiento preventivo

Se implementó un cronograma de mantenimiento bimestral, el cual incluyó tareas de limpieza, ajuste, verificación y sustitución de componentes críticos. Entre las actividades más relevantes se encuentran:

- Limpieza de sensores de radiación solar y UV para eliminar polvo, polen o excremento de aves.
- Drenaje y revisión del pluviómetro de balancín, que tiende a obstruirse con hojas o insectos.
- Calibración del sensor barométrico conforme a la altitud y condiciones locales.
- Revisión del sellado de cajas estancas y conectores contra humedad.
- Reemplazo preventivo de baterías de litio y mantenimiento de paneles solares.

Durante las primeras rondas de mantenimiento, se identificó el mal funcionamiento de algunos pluviómetros, cuyos sensores no respondían a precipitaciones detectadas por otros medios. Este hallazgo se documentó mediante reportes fotográficos y registros comparativos. Tras el diagnóstico, se procedió con la adquisición y sustitución de los pluviómetros defectuosos, gracias a la gestión administrativa de la Dirección de Investigación de la UAE y los coordinadores de carrera.

Para asegurar la trazabilidad de cada intervención técnica, se elaboró una bitácora digital de mantenimiento, en la que se documentan:

- Fecha y hora de la visita técnica.
- Personal responsable.
- Condición de cada sensor.
- Actividades ejecutadas.
- Observaciones o anomalías detectadas.
- Fotografías de soporte técnico antes y después de la intervención.

Este registro se almacena en la misma plataforma del sistema meteorológico, vinculando los eventos de mantenimiento con los periodos de adquisición de datos, lo cual permite identificar correlaciones entre fallas técnicas y variaciones inusuales en las mediciones.



C A P Í T U L O 2

VISUALIZACIÓN WEB Y ANÁLISIS DE DATOS ATMOSFÉRICOS

Karina Real-Avilés

Carrera Computación – Facultad de Ciencias Agrarias “Dr. Jacobo Bucaram Ortiz”
Universidad Agraria del Ecuador

Mitchell Vásquez-Bermudez

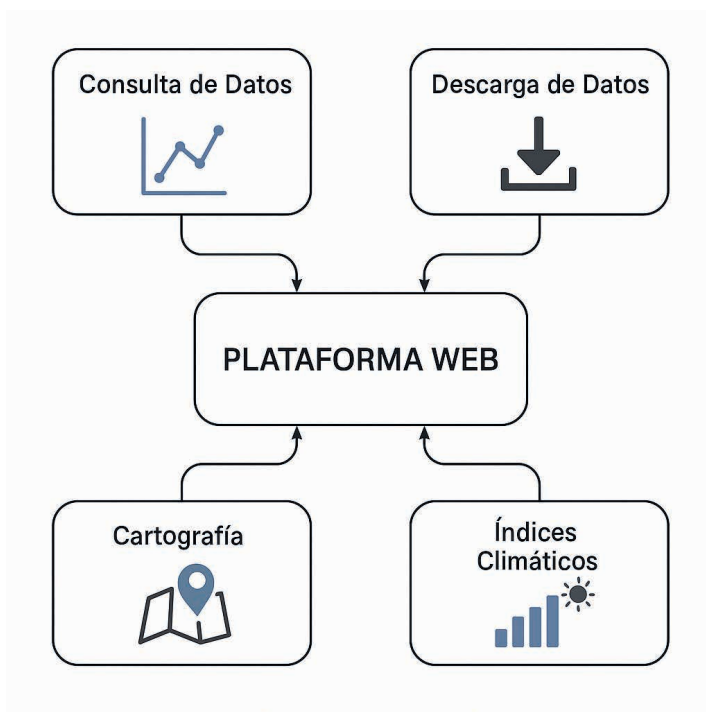
Carrera Computación – Facultad de Ciencias Agrarias “Dr. Jacobo Bucaram Ortiz”
Universidad Agraria del Ecuador

DESARROLLO DE LA PLATAFORMA WEB

Uno de los pilares fundamentales del sistema automatizado de monitoreo atmosférico desarrollado por la Universidad Agraria del Ecuador fue la creación de una plataforma web pública, orientada a la visualización, análisis y descarga de los datos generados por las estaciones meteorológicas instaladas en Guayaquil y Milagro. Este componente tecnológico permitió extender el alcance del proyecto más allá de los ámbitos técnicos, facilitando el acceso libre, dinámico y continuo a información climática para investigadores, estudiantes, docentes, productores y ciudadanos en general.

La figura 9 a continuación ilustra las funcionalidades principales integradas en la plataforma web desarrollada para la gestión de datos meteorológicos.

Figura 9 - Plataforma Web



Nota: La imagen esquematiza las principales funcionalidades de una plataforma web diseñada para la gestión, análisis y visualización de datos climáticos obtenidos por estaciones de monitoreo ambiental. El diagrama presenta una interfaz central que interconecta cuatro módulos clave: Consulta de Datos, Descarga, Cartografía, índice climático.

Fuente: Autores (2025)

La plataforma fue construida bajo un enfoque modular, utilizando tecnologías de software libre y estándares abiertos. Entre los principales componentes técnicos se incluyen:

HTML5, CSS3 y Bootstrap, para el diseño responsivo de la interfaz.

JavaScript, PHP y AJAX, para la comunicación asíncrona entre el cliente y el servidor, permitiendo la carga dinámica de datos sin necesidad de recargar la página(Harwani, 2022).

PostgreSQL + PostGIS, como base de datos relacional geoespacial para almacenar variables meteorológicas y ubicaciones de las estaciones(Harwani, 2021).

Google Charts y Chart.js, para la generación de gráficos históricos interactivos.

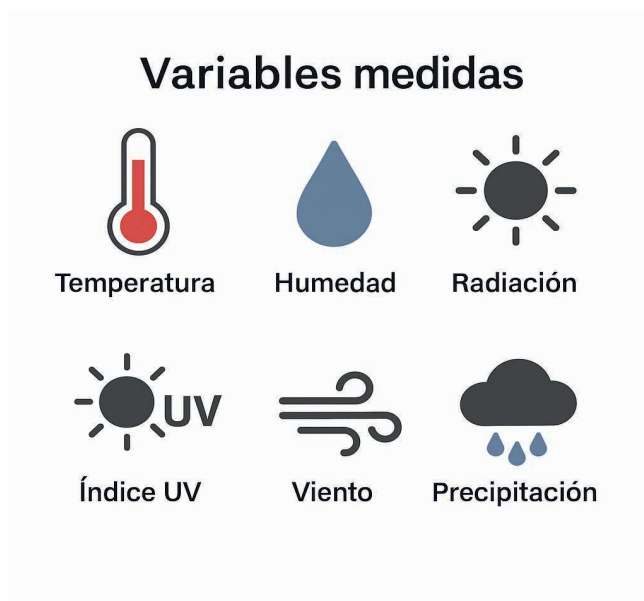
Google Maps API y KML, para el despliegue cartográfico en tiempo real.

Funcionalidades activas entre 2018 y 2023

Durante su fase activa (2018–2023), la plataforma ofreció una serie de funcionalidades que permitieron consolidarla como una herramienta académica y científica de referencia dentro de la universidad:

Monitoreo en tiempo real de variables como temperatura, humedad relativa, radiación solar, índice UV, velocidad y dirección del viento mostrada a continuación en la figura 10.

Figura 10 *Variables meteorológicas*



Nota: La imagen presenta un resumen gráfico de las principales variables meteorológicas que son registradas por una estación automática de monitoreo ambiental.

Fuente: Autores(2025)

Gráficos históricos personalizables por variable, sede y periodo.

Visualización georreferenciada de estaciones en mapas interactivos.

Descarga de datos en formatos .csv y .xls.

Servicios WMS (Web Map Service) para integrar las capas meteorológicas en plataformas SIG externas.

Exportación de capas en formato KML/KMZ compatibles con Google Earth.

Estas funcionalidades permitieron la integración del sistema en múltiples procesos formativos, investigativos y de vinculación. Por ejemplo, los datos fueron utilizados en la elaboración de tesis de grado, prácticas de laboratorio en carreras como Computación y Agronomía, y reportes climáticos para actividades agrícolas institucionales.

Estado actual del sistema

El proyecto culminó oficialmente en 2019, una vez cumplidos los objetivos establecidos por el equipo de investigación y presentados los informes técnicos ante la Dirección de Investigación. No obstante, el sistema continuó operando con éxito hasta el año 2023, gracias al diseño automatizado y a la estabilidad de los componentes instalados.

A partir de 2024, el funcionamiento de las estaciones se ha visto afectado por falta de mantenimiento correctivo, lo que ha reducido la frecuencia de actualización de datos o incluso ha interrumpido temporalmente la transmisión desde algunas sedes. Se han identificado fallas en sensores de radiación solar, pluviómetros y módulos GPRS, así como pérdida de calibración en algunos componentes.

Pese a ello, la plataforma web permanece activa y en línea, accesible desde el dominio institucional <http://meteorologiauae.uagraria.edu.ec/plataforma>. Los datos almacenados durante los años de operación están disponibles en un servidor interno a pesar de que no han sido actualizados desde el año 2023, conservando su valor como recurso histórico y base para estudios comparativos y desarrollo de nuevos proyectos.

El desarrollo e implementación de esta plataforma en la Universidad Agraria del Ecuador representó un avance significativo en la democratización del acceso a la información meteorológica en el ámbito universitario ecuatoriano, y un modelo replicable para otras instituciones interesadas en integrar ciencia, tecnología y servicios abiertos.

En el contexto actual, se recomienda iniciar un proceso de reactivación del sistema, priorizando el mantenimiento correctivo de las estaciones, la actualización del software base y la exploración de nuevos modelos de financiamiento para garantizar la continuidad del servicio.

SERVICIOS WMS Y CARTOGRAFÍA

Uno de los avances tecnológicos más relevantes dentro del proyecto de monitoreo atmosférico fue la implementación del servicio Web Map Service (WMS), un protocolo estandarizado por el Open Geospatial Consortium (OGC) que permite la publicación, consulta y visualización de mapas geoespaciales a través de la web. Este servicio transformó la plataforma de monitoreo de un simple visor de datos numéricos a una herramienta integral de análisis espacial y visualización dinámica.

La tecnología WMS permitió representar de manera intuitiva variables meteorológicas complejas mediante capas temáticas sobre mapas base, facilitando la interpretación espacial de fenómenos como la distribución del índice UV, la variabilidad del índice de calor, o la acumulación de precipitación por sector geográfico (Hoseini, 2022).

Para la implementación de este servicio se utilizó GeoServer, una herramienta de código abierto ampliamente adoptada en el ámbito de los sistemas de información geográfica (SIG). GeoServer fue seleccionada tras una evaluación técnica de 22 herramientas WMS disponibles, en la que se priorizaron criterios de:

- Compatibilidad nativa con PostgreSQL/PostGIS.
- Soporte del protocolo WMS 1.1.1 y 1.3.0.
- Gestión eficiente de capas raster y vectoriales.
- Interfaz de administración amigable.
- Documentación activa y comunidad de soporte.

Herramienta usada para habilitación de servicio WMS

El sistema operativo que se está utilizando para levantar los servicios web del proyecto se basa en la distribución libre de OSGEO, los mismos son una comunidad que se dedica a la publicación y edición de datos con código abierto, en el caso del proyecto realizado en la Universidad Agraria del Ecuador se utilizó la herramienta de procesamiento web GEOSERVER, la misma proporciona una respuesta escalable para los volúmenes de datos actuales; En lugar de llevar información a un determinado lugar, la misma se procesa en línea, generando diversos gráficos estadísticos dentro de la programación realizada.

Para escoger esta herramienta se realizó una evaluación de los software que podían ser usados para aplicación de servicios WMS que existen en la actualidad, dentro de esto se establecieron diferentes criterios que se consideran importantes dentro del proceso de implementación y la presentación de resultados, para el efecto se realizó el análisis de 22 herramientas, identificando 3 Factores de Análisis: (1) Forma de Acceso, (2) Requerimientos Funcionales, (3) Presentación de Resultados.

Dentro del primer factor analizado Acceso de la herramienta se valoró la forma de adquirir las 22 herramientas ya sean de acceso libre con el valor de 1, o a través de licencia con el valor de 0; teniendo finalmente 16 herramientas de libre acceso y 5 herramientas licenciadas. El segundo factor que se analizó son los requerimientos funcionales es decir la forma más fácil e intuitiva de utilizar cada una de las herramientas antes descritas por lo que se especificaron cuatro criterios importantes para el proceso de levantamiento de información geoespacial al momento del monitoreo de variables ambientales, para ello las 22 herramientas fueron valoradas en los cuatro criterios en una escala de 0 a 1 donde cero es la ausencia de la característica en la herramienta y 1 es el puntaje más alto de la característica. Dentro del tercer factor analizado se identificaron tres criterios importantes para nuestro proyecto al momento de verificar la presentación del análisis de los datos meteorológicos, tal como lo hicimos en la fase de requerimientos funcionales, valoramos a cada herramienta en los tres criterios en una escala de 0 a 1. Estas valoraciones se encuentran descritas en la Tabla 1.

Tabla 1 - Evaluación de Herramientas WMS

N°	Factores	Forma de Acceso	Requerimientos Funcionales				Presentación de Resultados		
	Herramientas	Libre	Rendimiento	Usabilidad	Intuitividad	Consistencia	Exactitud	Integridad	Estabilidad
1	Leaflet	1	1	0.8	1	0.7	0.7	1	0.8
2	Django-wms framework	1	0.8	0.9	0.7	0.8	0.9	1	0.9
3	Mapserver	1	1	0.8	0.8	0.9	1	1	0.9
4	Geozilla - geoforce	1	0.7	0.9	0.85	0.8	1	0.7	0.7
5	Arcmap	0	1	1	0.9	0.9	0.9	0.8	1
6	Mathworks-wmsread	0	1	1	1	1	1	1	1
7	Python-Based Web Mapping Service	1	0.8	0.9	0.7	0.9	0.9	1	0.9
8	QGIS server	1	1	0.5	0.5	0.9	0.9	1	0.9
9	GeoCommons	0	1	0.7	0.5	0.7	0.8	0.9	0.8
10	Tableau	0	1	1	1	1	1	1	1
11	Geoserver	1	1	1	0.8	0.9	1	1	1
12	Api-Google	1	1	0.8	1	0.7	1	0.5	1
13	TileStache	1	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9	0.8
14	TileCache	1	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	0.7	0.9
15	Mapnik (python, c++ y java script)	1	1	1	1	0.8	0.8	0.8	1

16	A Custom Server Built on GeoTools	1	0.7	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6
17	MapZoom	1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
18	Deegree	1	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9
19	Geomajas	1	1	0.8	0.7	0.95	1	1	1
20	Mapguide Open Source	1	0.8	0.6	0.7	1	1	1	1
21	GeoMedia Map Publisher	0	0.9	0.9	0.9	1	1	1	1
22	MapVieweer	0	1	1	1	1	1	1	1
Máximo		1	1	1	1	1	1	1	1
Mínimo		0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

Nota: La tabla muestra el resultado de una evaluación comparativa de herramientas WMS (Web Map Services), utilizando una metodología de análisis multicriterio. Las herramientas son valoradas según ocho atributos fundamentales, agrupados en tres categorías principales: Facilidad de acceso, Requerimientos funcionales, Presentación de resultados.

Autores (2025)

Identificación de la mejor Herramienta WMS

Una vez valorados los diferentes factores y criterios para identificar la herramienta que más se adapta dentro del proyecto “Plataforma para el monitoreo de datos atmosféricos en tiempo real de la red de estaciones meteorológicas de la Universidad Agraria del Ecuador, sede Guayaquil y Milagro”; se realizaron dos etapas de análisis, en primera instancia se procedió con un análisis de Clúster de los criterios valorados en los tres factores, ya que esta técnica estadística multivariante nos permite agrupar a las herramientas que tengan los criterios y/o características con la máxima homogeneidad y la mayor diferencia entre los grupos, con lo cual obtuvimos un total de 4 grupos (clúster) descritos en la Tabla 2.

Tabla 2 - Análisis de factores evaluados

DATOS NORMALIZADOS									
Herramienta	Libre	Rendimiento	Usabilidad	Intuitividad	Consistencia	Exactitud	Integridad	Estabilidad	Clúster
17	1.0000	1.0000	0.7143	1.0000	0.5714	0.5714	1.0000	0.7143	1
1	1.0000	0.7143	0.8571	0.5714	0.7143	0.8571	1.0000	0.8571	2
2	1.0000	1.0000	0.7143	0.7143	0.8571	1.0000	1.0000	0.8571	2
3	1.0000	0.5714	0.8571	0.7857	0.7143	1.0000	0.5714	0.5714	2
7	0.0000	1.0000	1.0000	0.8571	0.8571	0.8571	0.7143	1.0000	2

11	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	2
13	1.0000	0.7143	0.8571	0.5714	0.8571	0.8571	1.0000	0.8571	2
14	1.0000	1.0000	0.2857	0.2857	0.8571	0.8571	1.0000	0.8571	2
15	0.0000	1.0000	0.5714	0.2857	0.5714	0.7143	0.8571	0.7143	2
18	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	2
19	1.0000	1.0000	1.0000	0.7143	0.8571	1.0000	1.0000	1.0000	2
20	1.0000	1.0000	0.7143	1.0000	0.5714	1.0000	0.2857	1.0000	2
5	1.0000	0.7143	0.7143	0.5714	0.7143	0.7143	0.8571	0.7143	3
6	1.0000	0.7143	0.7143	0.7143	0.8571	0.7143	0.5714	0.8571	3
9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.7143	0.7143	0.7143	1.0000	3
10	1.0000	0.5714	0.4286	0.4286	0.5714	0.5714	0.5714	0.4286	3
21	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3
22	1.0000	0.8571	0.8571	0.8571	0.7143	0.8571	0.8571	0.8571	3
4	1.0000	1.0000	0.7143	0.5714	0.9286	1.0000	1.0000	1.0000	4
8	1.0000	0.7143	0.4286	0.5714	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	4
12	0.0000	0.8571	0.8571	0.8571	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	4
16	0.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	4

Nota: La tabla presenta el resultado del análisis comparativo de herramientas tecnológicas mediante la normalización de datos en función de múltiples criterios evaluativos. Este procedimiento estadístico permite comparar las herramientas en una misma escala (rango de 0 a 1) para facilitar una evaluación equitativa entre atributos con diferentes unidades o escalas originales.

Autores (2025)

Verificándose los centroides de cada uno de los clústers, identificamos que el clúster 2 cumple con las características requeridas ya que todas las herramientas de este grupo son de acceso libre y que el promedio de los criterios del factor de presentación de datos es el mayor de los otros 3 grupos que cumplen con la primera condición, esto lo vemos descrito en la Tabla 3.

Tabla 3 - *Análisis de centroides*

Clúster	CENTROIDES							
	Libre	Rendimiento	Usabilidad	Intuitividad	Consistencia	Exactitud	Integridad	Estabilidad
1	1.00	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
2	1.00	0.90	0.85	0.80	0.86	0.89	0.94	0.92
3	0	0.98	0.93	0.88	0.93	0.95	0.95	0.97
4	1.00	0.85	0.70	0.74	0.78	0.90	0.73	0.80

Nota: presenta los valores de los centroides resultantes del análisis de conglomerados aplicado a un conjunto de variables asociadas a la evaluación de sistemas o tecnologías, considerando aspectos de calidad, rendimiento y confiabilidad.

Autores (2025)

En segunda instancia con las herramientas ya agrupadas y elegido el grupo más adecuado, dimos pesos a cada factor valorado de acuerdo a la necesidad y características de nuestro proyecto quedando 40% del peso para el factor de Forma de Acceso, 25% para el factor de Requerimientos funcionales y 35% presentación de Resultados, tal como lo podemos visualizar en la Tabla 4, al obtener el puntaje final aplicado a cada herramienta los pesos seleccionados en los factores se logró identificar que la herramienta que más se ajustaba a las características del Proyecto es “Geoserver” ya que es una herramienta de acceso libre y el porcentaje en el factor de presentación de resultados cumplió en un 97% el peso de este factor. La mencionada herramienta se utilizó en la implementación del servicio WMS dentro de la plataforma que se mantiene al momento estructurada.

Tabla 4 - Análisis de herramientas según sus pesos

Nº	Herramienta	Acceso 40%	Requerimientos Funcionales 25%	Presentación de Resultados 35%	Puntaje Final
1	Leaflet	0.40	0.23	0.28	0.91
2	Django-wms framework	0.40	0.20	0.32	0.92
3	Mapserver	0.40	0.22	0.33	0.95
7	Python-Based Web Mapping Service	0.40	0.20	0.32	0.92
11	Geoserver	0.40	0.23	0.34	0.97
13	TileStache	0.40	0.19	0.29	0.88
14	TileCache	0.40	0.20	0.29	0.89
15	Mapnik (python, c++ y java script)	0.40	0.25	0.30	0.95
18	Deegree	0.40	0.23	0.31	0.93
19	Geomajas	0.40	0.21	0.35	0.95
20	Mapguide Open Source	0.40	0.18	0.35	0.93

Nota: La tabla muestra una evaluación cuantitativa de diversas herramientas de desarrollo para servicios de mapeo web, valoradas con base en tres criterios principales: Acceso (40%), Requerimientos Funcionales (25%) y Presentación de Resultados (35%). A partir de estos pesos, se calcula un puntaje final compuesto, que permite clasificar las herramientas según su desempeño integral.

Autores (2025)

API de la herramienta WMS

Una vez escogida e implementada la herramienta GEOSERVER se generaron opciones dinámicas a través de leaflet. De forma general hay que recalcar que la API de Leaflet es la elección utilizada por Wikimedia, foursquare, OSM, CARTO, GIS Cloud, Washington Post, Wall Street Journal, Geocaching.com, etc. Para implementación de la api se utilizo:

HTML que es el lenguaje para marcado de páginas Web y ayudo a definir la estructura del contenido del sitio Web(Naresh et al., 2024).

CSS que en este caso permitió la creación de hojas de estilo en cascada.

JavaScript se implementa dentro de la API como lenguaje de programación Web para ejecutar una herramienta que se ejecutan en el navegador y les da funcionalidad a las aplicaciones visualizadas.

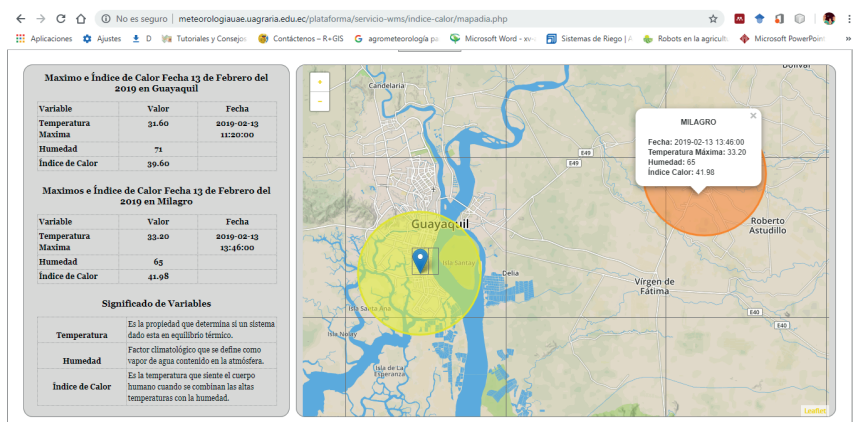
Datos visualizados

Las primeras dos opciones Índice de calor e índice UV representan los colores de los índices estandarizados por organizaciones como la AEMET en España y la Organización Mundial de la Salud.

El valor del índice Uv es enviado directamente por el sensor y representado con el color correspondiente.

Tanto para el índice de calor que muestra en la figura 11, como para el índice UV en la figura 12 se puede generar de forma dinámica la representación diaria, mensual o anual en dependencia de la opción que se escoja el sistema mostrara un valor promedio para el caso de los datos mensuales y anuales; en el caso de los datos diarios mostrara el valor máximo del día dando detalles de la hora en que se dio este valor.

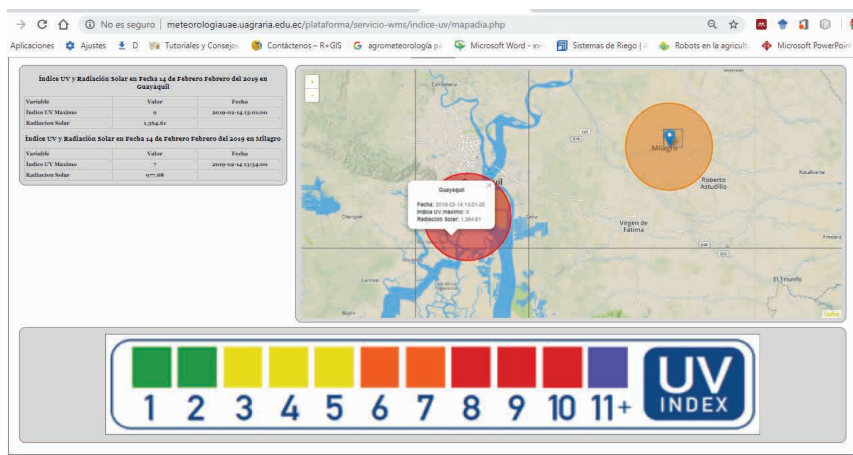
Figura 11. - Representación del índice de calor



Nota: La imagen muestra una interfaz web perteneciente al portal meteorológico de la Universidad Agraria del Ecuador (URL: meteorologiae.uagraria.edu.ec). La página visualiza información climática sobre el índice de calor registrado el 13 de febrero de 2019 en dos ciudades del país: Guayaquil y Milagro.

Fuente: Autores (2025)

Figura 12. - Índice UV



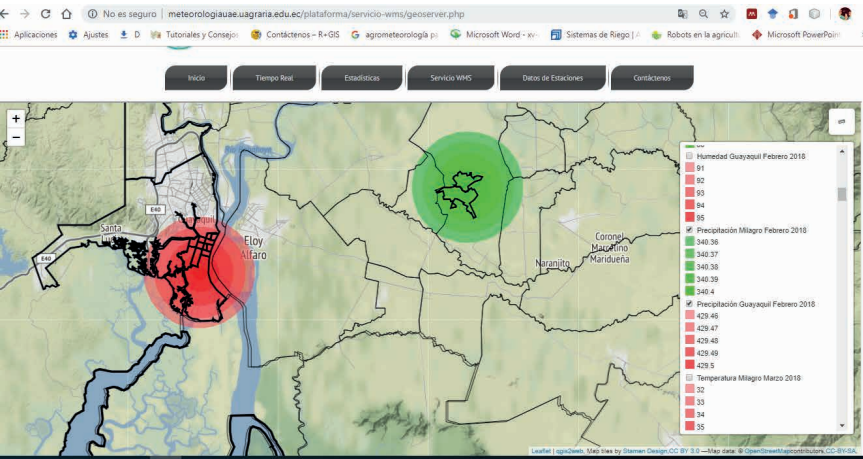
Nota: La imagen corresponde a una interfaz web educativa del portal de meteorología de la Universidad Agraria del Ecuador, orientada a la visualización del Índice UV y Radiación Solar. La URL visible (indice-uv) indica que la información se refiere a datos ambientales relacionados con la exposición a radiación ultravioleta en la fecha 11 de febrero de 2019.

Fuente: Autores (2025)

La tercera opción que representa los datos generados en QGIS con la herramienta GEOSERVER permite comparar los datos transmitidos en el año 2018 los cuales se representan con colores en base a los datos históricos en ambas ciudades. Los datos históricos fueron solicitados al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrológica, en base a la climatología vigente determinada por la Institución y se resaltan los datos de las estaciones de la Universidad Agraria del Ecuador con colores verde y rojo como se muestra en la figura 13. Si los datos sobrepasan el histórico se resaltan con color rojo y si se mantienen inferior al histórico se mantienen en color verde.

Cabe mencionar que esta opción es estática y ha sido generada con datos del año 2018.

Figura 13. - Variables representadas para el año 2018



Nota: La imagen corresponde a una aplicación web del portal de meteorología de la Universidad Agraria del Ecuador, basada en la tecnología GeoServer y orientada a la visualización espacial de variables meteorológicas históricas. La URL (geoserver.php) y la leyenda temática indican que los datos corresponden al mes de febrero de 2018 (y parcialmente a marzo), centrados en las ciudades de Guayaquil y Milagro.

Fuente: Autores (2025)

Integración técnica con la base de datos

Las variables meteorológicas almacenadas en PostgreSQL fueron integradas a GeoServer mediante conexiones directas al esquema espacial gestionado con PostGIS. Cada estación fue georreferenciada con sus coordenadas UTM y WGS84, y asociada a una tabla de variables que se actualizaba cada cinco minutos. A partir de estas tablas, se generaron capas dinámicas que representaban:

- Valores puntuales de temperatura, humedad, presión y radiación.
- Mapas interpolados de índice de calor e índice UV.
- Áreas de influencia en función de zonas agrícolas cercanas.

Se definieron estilos SLD (Styled Layer Descriptor) para representar los datos mediante escalas de color (rampas térmicas, gradientes UV, isotermas de presión), utilizando simbología intuitiva y compatible con normas cartográficas.

Acceso e interoperabilidad

El servicio WMS fue integrado directamente en la plataforma web del proyecto, mediante peticiones HTTP estándar (GetCapabilities, GetMap, GetFeatureInfo). Esto permitió:

- Consultar capas desde navegadores SIG como QGIS o ArcGIS.
- Integrar las capas temáticas en aplicaciones móviles externas.
- Generar enlaces embebidos para presentación en dashboards climáticos.

Asimismo, se publicaron archivos KML/KMZ compatibles con Google Earth, lo que facilitó el acceso a usuarios no especializados y aumentó el alcance del proyecto a sectores no académicos, como agricultores, técnicos municipales y ciudadanía interesada (Rincon et al., 2023).

Aplicaciones cartográficas

Entre las aplicaciones prácticas más destacadas del sistema WMS, se incluyen:

- Visualización en tiempo real de zonas con alta exposición a radiación UV, útil para campañas de salud pública y planificación de actividades al aire libre.
- Mapas históricos de precipitación acumulada mensual, que sirven como insumo para la gestión hídrica y modelos de producción agrícola.
- Identificación de anomalías térmicas locales, comparando zonas urbanas y rurales en distintos momentos del día.
- Evaluación de condiciones climáticas para la planificación de riegos agrícolas y monitoreo fitosanitario.

Estado actual del servicio

Si bien el servicio WMS funcionó con plena operatividad entre 2018 y 2023, su funcionalidad actual depende del estado operativo de las estaciones y del servidor GeoServer (Cao et al., 2009). A la fecha, el servicio continúa accesible, aunque las capas dinámicas ya no se actualizan en tiempo real debido al deterioro de algunos sensores y la falta de mantenimiento de ciertos módulos de transmisión.

No obstante, el sistema sigue disponible como un repositorio de capas históricas y como modelo funcional de implementación de servicios OGC en contextos académicos, sirviendo de base para futuras propuestas de mejora y expansión.

VISUALIZACIÓN DE ÍNDICES CLIMÁTICOS

Además de la presentación directa de variables atmosféricas como temperatura, humedad o radiación solar, uno de los aportes más valiosos de la plataforma fue la generación y visualización en línea de índices climáticos derivados, los cuales proporcionan una interpretación más comprensible y contextualizada de las condiciones meteorológicas para la población y los tomadores de decisiones.

Entre los índices calculados y desplegados en la plataforma, se destacan principalmente el Índice de Calor (IC) y el Índice Ultravioleta (UV), ambos seleccionados por su relevancia para la salud humana y su sensibilidad ante el cambio climático regional.

Cálculo del Índice de Calor (IC)

El Índice de Calor es una medida que combina la temperatura del aire con la humedad relativa para estimar la sensación térmica experimentada por el cuerpo humano, es decir, cómo “se siente” el calor, en lugar de solo cómo se mide.

Para su cálculo, se empleó una fórmula empírica adaptada de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), que en su forma general es:

$$IC = T + 0.33 \times RH - 0.70 \times V - 4.00$$

Donde:

- ICICIC: Índice de calor aproximado (°C).
- TTT: Temperatura del aire (°C).
- RHRHRH: Humedad relativa (%).
- VVV: Velocidad del viento (m/s)

El índice se calculaba automáticamente en el servidor cada vez que se recibía un nuevo registro desde las estaciones. Los resultados se almacenaban en una tabla auxiliar en la base de datos PostgreSQL, permitiendo su visualización como:

- Gráficas interactivas de IC por hora, día o semana.
- Mapas temáticos interpolados, con gradientes térmicos y simbología tipo semáforo.
- Series históricas para identificar días con mayor estrés térmico.

Visualización del Índice UV

El Índice Ultravioleta (UV) representa la intensidad de radiación solar en la banda UV que llega a la superficie terrestre, clasificado en una escala internacional que va de 0 (mínimo riesgo) a más de 11 (riesgo extremo). Para su medición, las estaciones meteorológicas contaban con sensores fotoeléctricos calibrados, los cuales registraban la radiación UV en intervalos regulares.

La visualización del índice UV en la plataforma se organizó en:

- Paneles de advertencia en tiempo real, con colores normalizados (verde, amarillo, naranja, rojo, violeta).
- Gráficos de tendencia diaria, útil para planificar actividades al aire libre o advertir a grupos vulnerables (niños, adultos mayores, trabajadores agrícolas).
- Mapas en tiempo real con íconos georreferenciados y leyendas interpretativas.

Utilidad e impacto

La implementación de estos índices contribuyó significativamente a:

- Sensibilizar a la comunidad sobre los efectos del cambio climático en la salud térmica y la exposición solar.
- Apoyar estrategias institucionales de prevención, como campañas de hidratación y protección solar.
- Relacionar fenómenos extremos con el rendimiento académico y productivo (por ejemplo, el efecto del calor excesivo en la atención, asistencia o rendimiento agrícola).

Ambos índices fueron incluidos en los módulos de descarga de datos, permitiendo su exportación y uso en análisis externos. Además, se documentó su implementación en ponencias estudiantiles y publicaciones científicas derivadas del proyecto.



C A P Í T U L O 3

INTEGRACIÓN CON SISTEMAS EXTERNOS Y PUBLICACIÓN ABIERTA

Vanessa Vergara-Lozano

Carrera Computación – Facultad de Ciencias Agrarias “Dr. Jacobo Bucaram Ortiz”
Universidad Agraria del Ecuador

Andrea Sinche-Gúzman

Carrera Computación – Facultad de Ciencias Agrarias “Dr. Jacobo Bucaram Ortiz”
Universidad Agraria del Ecuador

Para el acceso cartográfico, la plataforma incorporó la publicación de capas geográficas mediante servicios WMS (Web Map Service), que permiten la integración directa con sistemas SIG de escritorio como QGIS, ArcGIS o visores en línea personalizados. Estas capas incluían mapas temáticos de:

- Índice UV actual.
- Precipitación acumulada mensual.
- Temperatura promedio diaria.
- Distribución espacial de estaciones meteorológicas activas.

Adicionalmente, se generaron archivos en formato KML/KMZ, compatibles con Google Earth y Google MyMaps, que permitieron representar de forma visual los datos más relevantes con geolocalización, íconos personalizados y vínculos a las gráficas de la plataforma. Esta funcionalidad fue ampliamente utilizada por docentes y estudiantes en presentaciones académicas, actividades prácticas y planificación territorial.

ACCESO, API Y REPLICABILIDAD

Aunque el sistema no incluyó una API pública documentada en su versión inicial, se dejó prevista su estructuración bajo el modelo REST, lo cual facilitará su implementación en fases futuras. La arquitectura modular, el uso de herramientas de software libre (PHP, PostgreSQL, GeoServer) y la documentación técnica del proceso de instalación y conexión, posibilitan la replicabilidad del sistema en otras instituciones educativas, municipios o centros de investigación.

PERSISTENCIA DE ACCESO Y SOSTENIBILIDAD

Aunque el proyecto culminó oficialmente en 2019 y la operación completa del sistema se mantuvo hasta 2023, la plataforma aún se encuentra disponible públicamente a través del dominio:

<http://meteorologiauae.uagraria.edu.ec/plataforma>

Este sitio mantiene la base de datos históricos, capas cartográficas y reportes climáticos generados durante el periodo de operación (2017-2023). Su permanencia en línea constituye un valioso repositorio climático digital, abierto a la consulta, comparación y análisis longitudinal.

Se destaca que entre los servicios que se generaron dentro del proyecto se mantuvieron los siguientes procesos y módulos:

ESTADÍSTICA

Esta sección muestra gráficos estadísticos generados a partir de la variabilidad de los datos meteorológicos, en relación con las estaciones que se encuentran funcionando en la Universidad Agraria del Ecuador.

La interfaz de la figura 14, presenta un menú para seleccionar los reportes estadísticos por día, mes o año, además de mostrar la ubicación de las estaciones meteorológicas de Guayaquil y Milagro.

Figura 14. - Estadísticas por Estación (Guayaquil/Milagro) por día, mes o año



Nota: La imagen muestra la interfaz principal de la plataforma web de monitoreo climático desarrollada por la Universidad Agraria del Ecuador, específicamente por la Facultad de Ciencias Agrarias. Esta plataforma permite la consulta y visualización de datos meteorológicos en tiempo real y series históricas recopiladas desde estaciones ubicadas en Guayaquil y Milagro.

Fuente: Autores (2025)

Gráficos de Estadísticas de las Estaciones por día

Se debe seleccionar el día específico en formato dd/mm/aaaa, como se muestra en la figura 15, una vez seleccionado el día y haciendo clic en el botón MOSTRAR REPORTE se presentan las gráficas estadísticas con los datos captados cada hora durante el día seleccionado hasta la fecha actual como se puede observar en la figura 16.

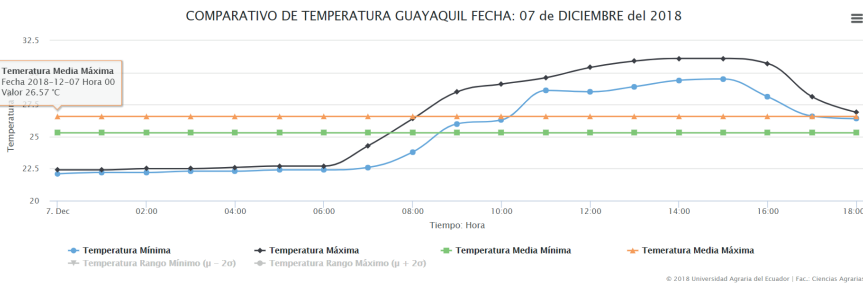
Figura 15. - Estadística seleccionando el día

The screenshot shows the website of the Universidad Agraria del Ecuador. At the top is the university's logo and name. Below this is a navigation bar with buttons for 'Inicio', 'Tiempo Real', 'Estadísticas', 'Servicio WMS', 'Datos de Estaciones', and 'Contacto'. The main heading is 'GRÁFICOS DE ESTADÍSTICAS DE LA ESTACIÓN EN GUAYAQUIL POR DÍA'. Below this is a section titled 'SELECCIONAR DÍA:' with a text input field containing 'dd/mm/aaaa' and a 'MOSTRAR REPORTE' button. At the bottom, it states 'DATOS DESDE EL 1 DE NOVIEMBRE DEL 2017 HASTA 7 DE DICIEMBRE DEL 2018'.

Nota: La imagen muestra la interfaz del módulo de consulta de gráficos estadísticos diarios correspondiente a la estación meteorológica de Guayaquil, dentro de la plataforma web desarrollada por la Universidad Agraria del Ecuador.

Fuente: Autores (2025)

Figura 16. - Gráfico estadístico por día

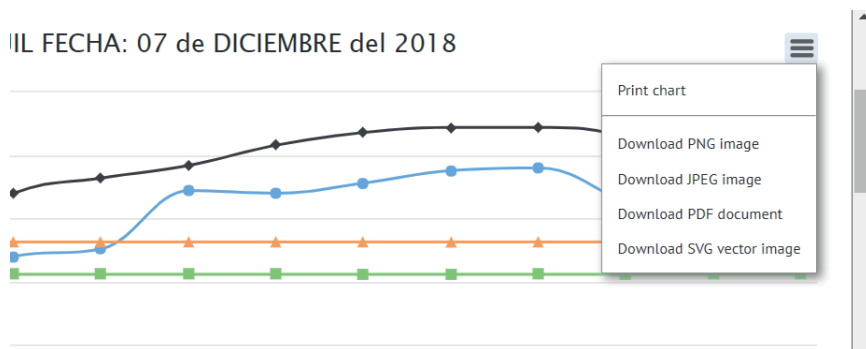


Nota: La imagen presenta un gráfico de líneas que muestra la evolución horaria de diferentes parámetros de temperatura registrados por la estación meteorológica de Guayaquil el día 07 de diciembre de 2018. Este gráfico forma parte de la plataforma web de monitoreo climático de la Universidad Agraria del Ecuador.

Fuente: Autores (2025)

Todas las gráficas presentan el valor máximo, el valor mínimo, el valor medio mínimo y el valor medio máximo, además posicionando el puntero sobre los puntos de las gráficas se podrá observar la fecha, hora y valor del parámetro meteorológico graficado, como se muestra en la figura 17.

Figura 17. - Menú de opciones de gráfico



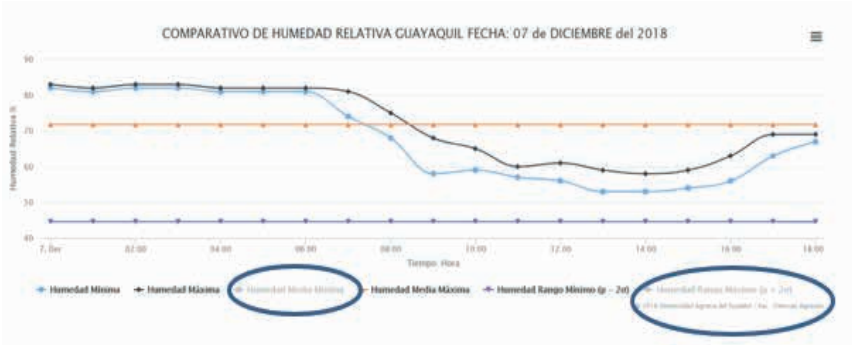
Nota: La imagen muestra el menú desplegable de opciones de exportación disponibles en el gráfico de análisis comparativo de temperatura del 07 de diciembre de 2018, generado por la plataforma de monitoreo climático de la Universidad Agraria del Ecuador.

Fuente: Autores (2025)

En la parte superior derecha de cada gráfico como se indica en la figura 17, se presenta un menú de opciones que permite imprimir el gráfico y descargar la imagen en formato PNG, JPEG, PDF y SVG.

Cada gráfico en su parte inferior se presenta la leyenda indicando los colores y el tipo de dato que representa, se pueden activar o desactivar cada uno de ellos dando clic sobre el nombre respectivo, como se presenta en la figura 18, por ejemplo, en la gráfica se pueden observar cuatro curvas en diferentes colores que corresponden a los valores activados, en este caso corresponden a la humedad mínima, humedad máxima, humedad media máxima y humedad rango mínimo, mientras que los valores de humedad media mínima y humedad rango máximo se encuentran desactivadas por lo tanto sus curvas no están visibles.

Figura 18. - Visibilidad de valores activados/desactivados en la gráfica



Nota: La imagen muestra un gráfico de líneas que representa la evolución de la humedad relativa en la ciudad de Guayaquil durante el 7 de diciembre de 2018, con datos obtenidos de la estación meteorológica correspondiente a esa localidad, gestionada por la Universidad Agraria del Ecuador.

Fuente: Autores (2025)

Gráficos de Estadísticas de las Estaciones por mes

Se debe seleccionar el mes específico escribiendo el mes y el año que desea observar, como se muestra en la figura 19, una vez seleccionado el mes y año, haciendo clic en el botón MOSTRAR REPORTE se presenta un reporte en forma de tabla donde se presentan por fecha diaria los datos de cada uno de los parámetros.

Figura 19. - Selección de mes para gráfica estadística

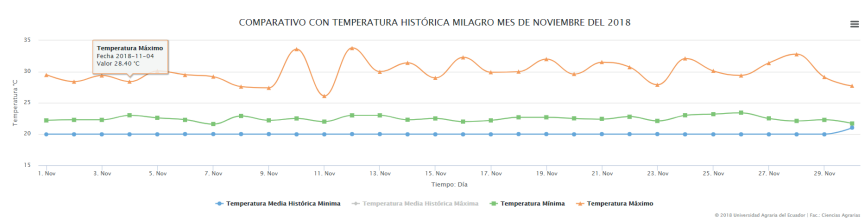


Nota: La imagen muestra la interfaz del módulo de consulta mensual de estadísticas climáticas de la estación meteorológica de Guayaquil, desarrollado por la Universidad Agraria del Ecuador, a través de su plataforma institucional de monitoreo ambiental.

Fuente: Autores (2025)

Además, muestra las gráficas estadísticas comparativas por parámetro meteorológico con datos históricos de Guayaquil o Milagro, según sea el caso en el mes y año seleccionado, como se muestra en la figura 20.

Figura 20. - Gráfica comparativa con datos históricos



Nota: La imagen muestra un gráfico de líneas correspondiente al análisis comparativo de temperaturas históricas registradas en la estación meteorológica de Milagro, durante el mes de noviembre de 2018. Este recurso forma parte de la plataforma web de monitoreo climático de la Universidad Agraria del Ecuador.

Fuente: Autores (2025)

Gráficos de Estadísticas de las Estaciones por año

Se debe seleccionar el año y haciendo clic en el botón MOSTRAR GRÁFICA se presenta un reporte en forma de gráficos de barras, que compara los datos captados por las estaciones meteorológicas por mes con los datos históricos del mismo año del lugar seleccionado, como se muestra a continuación en la figura 21.

Figura 21. - Gráfico de Estadísticas de las Estaciones por año



Nota: La imagen muestra un gráfico de barras que representa la precipitación mensual registrada en la estación meteorológica de Milagro durante el año 2018, en comparación con los valores históricos de referencia proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Fuente: Autores (2025)

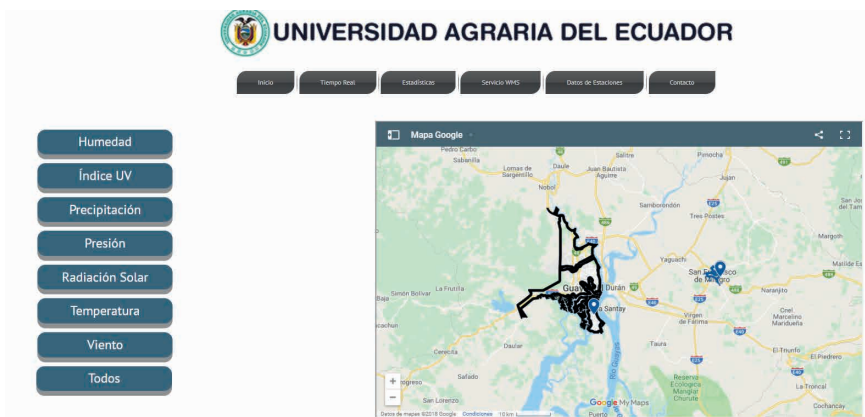
SERVICIOS WMS

A través de este servicio se generan mapas dinámicos de las estaciones referenciadas.

Descarga de datos

Permite la descarga de los archivos de los datos meteorológicos monitoreados, para diferentes estudios. La interfaz presenta un menú de opciones donde se determinan los parámetros para su descarga en formato csv., como se observa en la figura 22.

Figura 22. - Menú opciones para la descarga de datos



Nota: La imagen muestra el módulo interactivo de selección de variables meteorológicas de la plataforma web de monitoreo ambiental de la Universidad Agraria del Ecuador, específicamente diseñado para facilitar el acceso visual a la información recolectada por las estaciones en campo.

Fuente: Autores (2025)

Al seleccionar el parámetro específico se debe seleccionar la estación (Guayaquil o Milagro), la fecha de inicio y la fecha de fin como se observa en la figura 23.

Figura 23. - Selección de descarga de archivos de datos



Nota: La imagen muestra el módulo específico para la consulta y descarga de datos de humedad de la estación meteorológica ubicada en Guayaquil, disponible en la plataforma web desarrollada por la Universidad Agraria del Ecuador.

Fuente: Autores (2025)

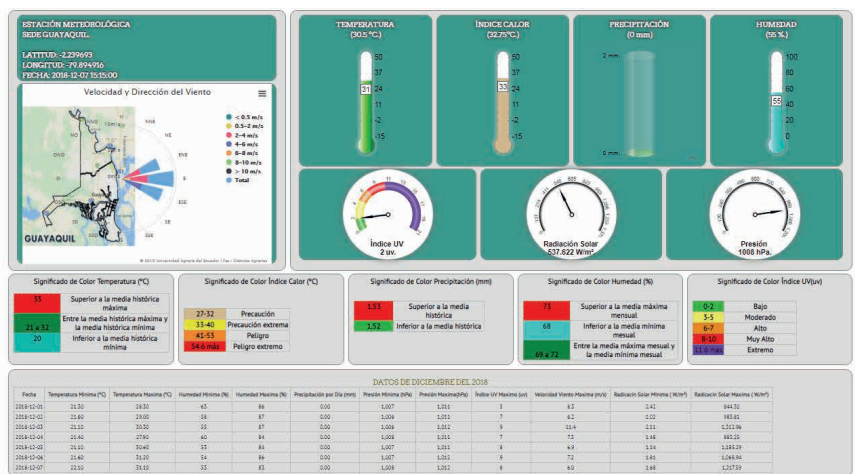
Menú de Opciones

El menú de opciones presenta todas las funciones principales que se pueden realizar en el sistema, a continuación se describen cada una las opciones:

Tiempo Real

Esta opción hasta el año 2022 presentó la información de los diferentes parámetros meteorológicos de la fecha actual en forma gráfica y en tabla de datos. Se componía de dos submenús que permiten seleccionar la estación de Guayaquil y la estación de Milagro, la información que se muestra dependerá de la estación que se seleccione, como se observa en la Figura 24.

Figura 24. - Información en Tiempo Real de las estaciones de Guayaquil o Milagro



Nota: La imagen muestra un panel integral de visualización meteorológica correspondiente a la estación automática ubicada en Guayaquil, con datos registrados el 07 de diciembre de 2018 a las 15:00. Esta interfaz, desarrollada por la Universidad Agraria del Ecuador, permite un análisis rápido de las condiciones ambientales mediante indicadores visuales, tablas de valores y referencias de interpretación.

Fuente: Autores (2025)

Estadísticas

Esta opción presenta las mismas opciones de **“Estadísticas”** de la sección de accesos directos, detalladas anteriormente, donde se pueden seleccionar los reportes estadísticos por día, mes y año.

Servicio WMS

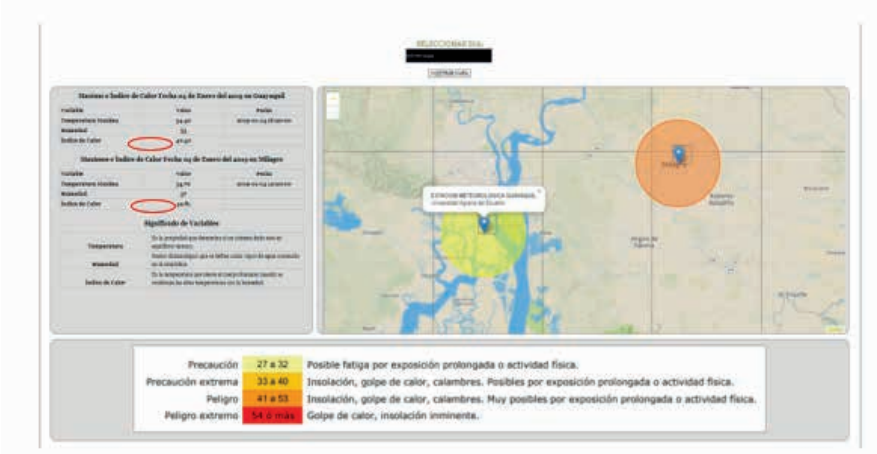
Los servicios Web Map (WMS) permiten generar mapas de datos referenciados espacialmente, de forma dinámica a partir de información geográfica, en este caso los mapas que genera el sistema son respecto al Índice de Calor e Índice UV, los mismos que pueden ser visualizados por día, mes o año, especificando la fecha del día, el mes o el año según la opción seleccionada.

Índice de Calor

El índice de calor se calcula a través de la combinación de la temperatura del aire y la humedad que determina la manera en que se percibe la temperatura.

La figura 25 presenta el mapa del índice de calor por día, en donde seleccionando la fecha del día en formato dd/mm/aaaa se mostrarán los valores máximos de las variables de temperatura y humedad, así como el valor calculado del índice de calor de las estaciones de Guayaquil y Milagro. También se observa el mapa en el cual se marcan un círculo sobre la ubicación de cada una de las estaciones con colores que representan intervalos y permiten interpretar el resultado, la leyenda se ubica en la parte inferior del mapa.

Figura 25. - Índice de calor por día



Nota: La imagen muestra un panel de visualización comparativa del índice de calor máximo registrado en un día específico en las estaciones meteorológicas de Guayaquil y Milagro, gestionadas por la Universidad Agraria del Ecuador.

Fuente: Autores (2025)

En el mapa se puede observar que en la estación de Guayaquil se dibuja un círculo amarillo y en la estación de Milagro el círculo es de color Naranja, comparando esto en la tabla de referencias de la figura 26, se puede interpretar lo siguiente:

- En Guayaquil el índice de calor es de 40.4 y es de color amarillo intenso, que en la tabla representa "Precaución Extrema"
- En Milagro el índice de calor es de 42.81 y es de color naranja, que según la tabla indica "Peligro".

Figura 26. - Tabla de Referencias para el Índice de calor

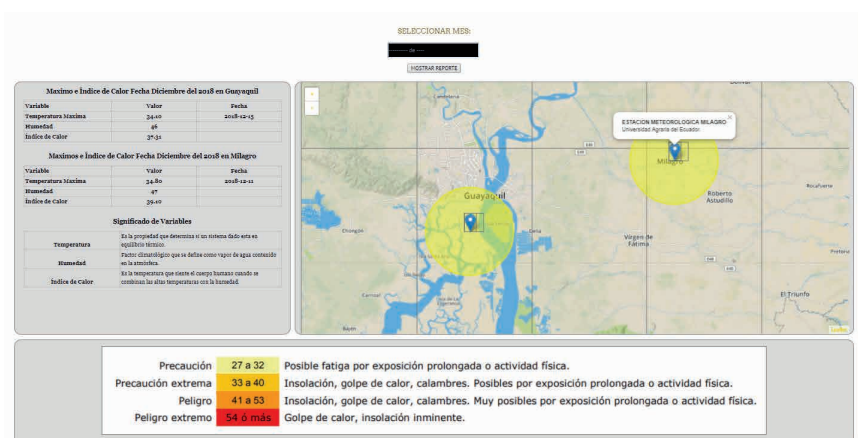
Precaución	27 a 32	Posible fatiga por exposición prolongada o actividad física.
Precaución extrema	33 a 40	Insolación, golpe de calor, calambres. Posibles por exposición prolongada o actividad física.
Peligro	41 a 53	Insolación, golpe de calor, calambres. Muy posibles por exposición prolongada o actividad física.
Peligro extremo	54 ó más	Golpe de calor, insolación inminente.

Nota: La imagen muestra una leyenda de interpretación del índice de calor, utilizada en sistemas de monitoreo meteorológico para alertar sobre los efectos fisiológicos del calor excesivo en la población.

Fuente: Autores (2025)

También pueden generarse los mapas especificando el mes y el año en formato mes/aaaa, y de la misma manera presentará la tabla de valores máximos y la imagen del mapa con la leyenda, como se observa en la figura 27, así como el mapa de un año específico como se indica en la figura 28.

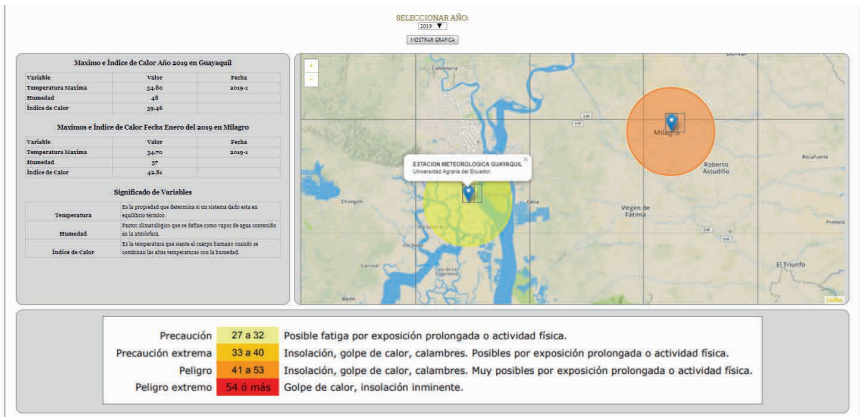
Figura 27. - Índice de calor por mes



Nota: La imagen corresponde a un módulo interactivo de la plataforma de monitoreo climático de la Universidad Agraria del Ecuador, que permite visualizar los valores máximos del índice de calor registrados durante el mes de diciembre de 2018 en las estaciones meteorológicas de Guayaquil y Milagro.

Fuente: Autores (2025)

Figura 28. - Índice de calor por año



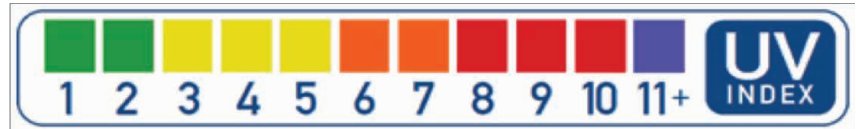
Nota: La imagen muestra un módulo interactivo de la plataforma de monitoreo climático de la Universidad Agraria del Ecuador, orientado a la visualización de los valores máximos anuales del índice de calor registrados en las estaciones de Guayaquil y Milagro durante el año 2019.

Fuente: Autores (2025)

Índice Ultravioleta (UV)

El índice UV representa la intensidad de radiación ultravioleta proveniente del Sol en la superficie terrestre en una escala que comienza en 0 y sin cota superior. En la región mediterránea la intensidad de la radiación ultravioleta del sol (UV) está normalmente entre 9 y 10, la figura 29 presenta la escala de medición del índice UV.

Figura 29. - Escala de medición del Índice UV.

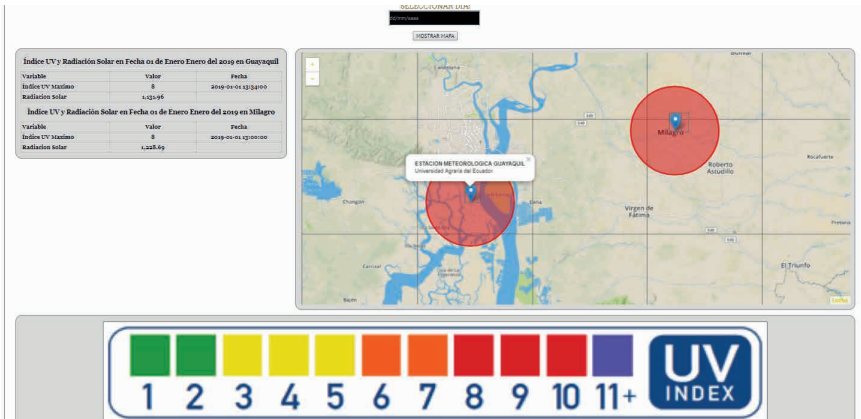


Nota: La imagen representa la escala de valores del Índice de Radiación Ultravioleta (UV Index), una herramienta internacionalmente utilizada para informar al público sobre el nivel de radiación UV solar y su potencial impacto en la salud humana.

Fuente: Autores (2025)

Los mapas referentes a este índice pueden generarse por día, por mes y por año, como el indicador de calor. En la figura 30 se presenta el índice UV por día.

Figura 30. - Indicador UV por día.



Nota: La imagen muestra un módulo interactivo de la plataforma de monitoreo climático de la Universidad Agraria del Ecuador, enfocado en la visualización del índice de radiación ultravioleta (UV) y la radiación solar registrada el 01 de enero de 2019 en las estaciones meteorológicas de Guayaquil y Milagro.

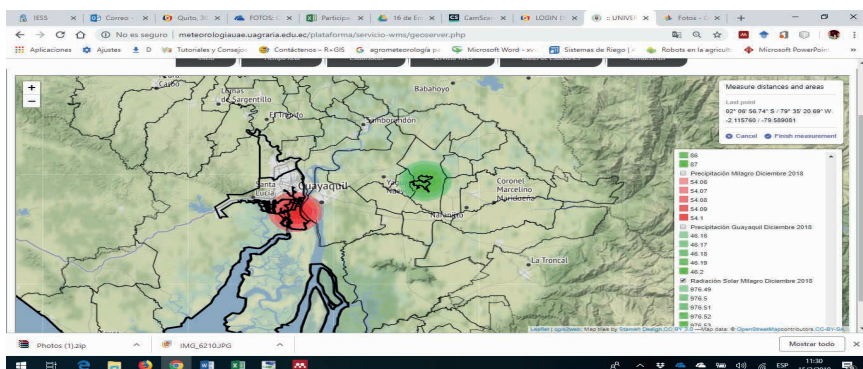
Fuente: Autores (2025)

Geoserver

Cabe mencionar que esta opción es estática y ha sido generada con datos del año 2018.

Represento los datos generados en QGIS con la herramienta GEOSERVER permite comparar los datos transmitidos en el año 2018 los cuales se representan con colores en base a los datos históricos en ambas ciudades. Los datos históricos fueron solicitados al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrológica, en base a la climatología vigente determinada por la Institución y se resaltan los datos de las estaciones de la Universidad Agraria del Ecuador con colores verde y rojo. Si los datos sobrepasan el histórico se resaltan con color rojo y si se mantienen inferior al histórico se mantienen en color verde, como se puede observar en la figura 31 que está a continuación.

Figura 31. - Representación de la RS para el año 2018, mes de diciembre



Nota: La imagen muestra un mapa temático interactivo generado mediante tecnología Leaflet y OpenStreetMap, en el que se visualizan los niveles de precipitación y radiación solar registrados durante el mes de diciembre de 2018 en las áreas de influencia de las estaciones meteorológicas de Guayaquil y Milagro, gestionadas por la Universidad Agraria del Ecuador.

Fuente: Autores (2025)



C A P Í T U L O 4

EVALUACIÓN, IMPACTO Y RECOMENDACIONES

Maritza Aguirre-Munizaga

Instituto de Investigación
Carrera Computación – Facultad de Ciencias Agrarias “Dr. Jacobo Bucaram Ortiz”
Universidad Agraria del Ecuador

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA

Con el objetivo de verificar la eficacia, confiabilidad y utilidad de la red de monitoreo atmosférico automatizado implementada por la Universidad Agraria del Ecuador, se realizó una evaluación integral del desempeño del sistema, considerando aspectos tanto técnicos como funcionales (Aguirre-Munizaga et al., 2022). Esta evaluación permitió identificar fortalezas operativas, cuellos de botella tecnológicos y oportunidades de mejora en los distintos componentes del proyecto.

La evaluación se estructuró sobre cuatro dimensiones fundamentales:

- Desempeño técnico de las estaciones meteorológicas y del servidor de procesamiento.
- Disponibilidad y continuidad de los datos en la base de datos PostgreSQL.
- Usabilidad e interacción con la plataforma web por parte de los usuarios internos.
- Sostenibilidad operativa del sistema a lo largo del tiempo.

DESEMPEÑO TÉCNICO

Se aplicaron pruebas de diagnóstico a los sensores, módulos de transmisión GPRS y scripts de procesamiento automático. Entre los indicadores evaluados se encuentran:

- Latencia promedio de transmisión desde las estaciones hasta el servidor FTP: < 3 minutos.

- Tasa de fallos en archivos .txt transmitidos: 2.4 % mensual promedio, asociados principalmente a cortes de energía y pérdidas de señal celular.
- Tasa de recuperación automática por script: > 96 % de los archivos retrasados fueron procesados exitosamente en la siguiente ejecución del cronjob.
- Disponibilidad operativa de estaciones: superior al 92 % del tiempo, con mayor estabilidad en la estación de Guayaquil.

Estas métricas fueron extraídas del análisis de los logs del sistema, respaldados con herramientas como http, ping, cron.log y monitoreo interno de la base de datos.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

El análisis de la base de datos PostgreSQL permitió cuantificar la cobertura temporal de los datos y su integridad. Entre los resultados destacados:

- Período con mayor continuidad: marzo 2018 – diciembre 2020.
- Variables con menor pérdida de registros: temperatura y humedad relativa.
- Variables con mayor frecuencia de fallos: precipitación y radiación UV, debido a fallos puntuales en los sensores y falta de limpieza periódica.

Se observó una tendencia decreciente en la frecuencia de registros válidos a partir de mediados de 2022, producto del desgaste natural de los equipos y la ausencia de mantenimiento correctivo tras la finalización oficial del proyecto.

USABILIDAD DE LA PLATAFORMA WEB

A través de encuestas aplicadas a estudiantes, docentes y personal administrativo (n=37), se recopilaron valoraciones cualitativas respecto al acceso, diseño y utilidad de la plataforma web. Los resultados más destacados fueron:

Accesibilidad: 89 % calificó como “muy fácil” el acceso y navegación.

Claridad de la interfaz: 81 % consideró que la información estaba presentada de forma comprensible.

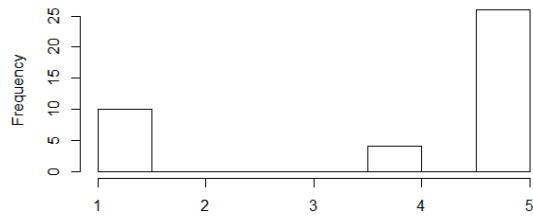
Uso en prácticas académicas: 65 % de los docentes manifestó haber utilizado la plataforma en al menos una asignatura.

Los principales comentarios sugirieron incorporar más herramientas de análisis visual, una sección de alertas y funciones personalizadas para exportación de datos filtrados.

Adicionalmente se validó el rendimiento de la herramienta web a través de los indicadores de Google Analytics, de lo que se pudo analizar es en base a la interfaz desarrolla existiendo una tendencia marcada a la calificación más alta por lo que se

establece que la mayor cantidad de usuarios está muy de acuerdo con la intuitividad del sitio según se muestra en la figura 32 (Wang et al., 2013).

Figura 32. - Calificación de Intuitividad

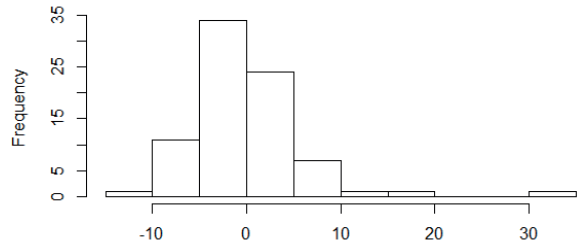


Nota: La imagen muestra un histograma de frecuencias que representa la distribución de respuestas en una escala ordinal de 1 a 5, comúnmente utilizada en encuestas tipo Likert para medir niveles de acuerdo, satisfacción o percepción.

Fuente: Autores (2025)

Con los datos de las encuestas aplicadas a los beneficiarios externos a la Universidad se realiza un análisis de varianza multivariado tomando en cuenta la carrera a la que se vincula el encuestado, la edad y si el usuario califica como necesario el sitio web diseñado, en el mismo se trata de estudiar si la “edad” y “calificación de necesario” dependen de la carrera del encuestado, en este caso se grafican los residuos obtenidos en el análisis MANOVA de las variables, y se identifica en la figura 33 que existe un comportamiento dependiente entre las variables de estudio.

Figura 33. - Frecuencia en base a Residuos



Nota: La imagen muestra un histograma de frecuencias que representa la distribución de una variable cuantitativa continua, posiblemente de tipo numérico.

Fuente: Autores (2025)

Utilizando un análisis de tendencia de los últimos 30 días a través de la herramienta Google datastudio se genera un gráfico que resalta la cantidad de accesos y los países desde los cuales han ingresado a la plataforma evaluada en este artículo, Data Studio se basa en la combinación habitual de cuadros y gráficos para transmitir significado, la herramienta los mejora con características que incluyen la capacidad de integrar múltiples fuentes en un solo informe.

El gráfico representado con un mapa se muestra en la figura 34, donde se confirma que la mayor cantidad de usuarios (95% de usuarios totales) provienen de Ecuador, sin embargo, se registran accesos desde otras localidades geográficas.

Figura 34. - Países desde los que se reportan accesos

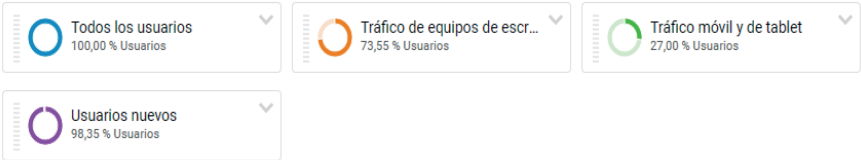


Nota: La imagen muestra un mapa de calor global y una tabla de resumen que representan los datos de tráfico web según el número de sesiones por país, lo cual refleja la distribución geográfica de los usuarios que accedieron a una plataforma digital específica.

Fuente: Autores (2025)

En la figura 35 se muestra la tendencia con la que ha aumentado el acceso a la plataforma web que brinda acceso a datos gratuitos y de acceso libre sobre ciertos parámetros meteorológicos.

Figura 35. - Tendencia de usuarios activos

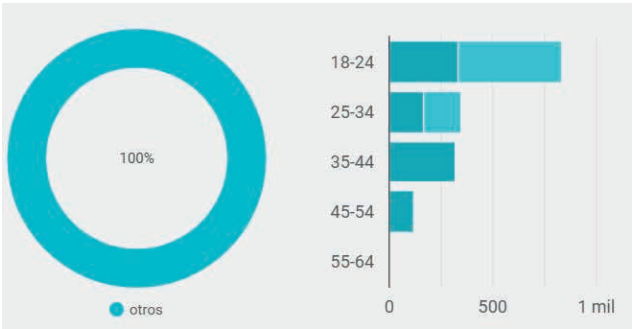


Nota: La imagen muestra indicadores clave sobre el comportamiento de los usuarios que accedieron a una plataforma digital, segmentados según el tipo de dispositivo utilizado y la condición de usuarios nuevos o recurrentes.

Fuente: Autores (2025)

En la figura 36 se observa que el segmento de edad 18 a 24 años concentra la mayor proporción de actividad, destacando tanto en hombres como en mujeres.

Figura 36. - Usuarios activos según Género



Nota: La imagen presenta un análisis demográfico de los usuarios que accedieron a una plataforma digital, con base en los grupos de edad. Se utilizan dos visualizaciones complementarias

Fuente: Autores (2025)

SOSTENIBILIDAD OPERATIVA

Se constató que el sistema logró mantenerse operativo hasta el año 2023, es decir, cuatro años después del cierre formal del proyecto (2019). Esta prolongación de funcionamiento fue posible gracias a la autonomía energética de las estaciones, la eficiencia de los scripts de procesamiento y la estabilidad del servidor virtualizado.

Sin embargo, a partir de 2024, se reportó un deterioro progresivo en el rendimiento general, atribuible a:

La falta de mantenimiento correctivo de los sensores.

El agotamiento de baterías internas.

La obsolescencia de algunos componentes electrónicos.

Estos hallazgos sugieren que el sistema, aunque robusto en su concepción, requiere soporte institucional continuo y planes de reinversión cíclica en hardware, a fin de preservar su valor estratégico como fuente de datos climáticos y herramienta educativa.

IMPACTO Y RELACIÓN CON LA COMUNIDAD

Para identificar los escenarios del impacto de un proyecto es imprescindible tener como partida la Matriz de Marco Lógico que en este caso es el formato de Seguimiento del Proyecto generado en 2017 y evaluado en 2019.

La evaluación del impacto del proyecto se realizó en el año 2019 a partir de los siguientes parámetros básicos:

Pertinencia. Grado en el cual el objetivo del proyecto es consistente con las prioridades de desarrollo de la población y las políticas de la entidad ejecutora y el Organismo financiador. El análisis de pertinencia permite determinar la validez de los resultados del proyecto como contribución a los cambios que se definieron en los objetivos de los programas de desarrollo. En esencia esta evaluación contiene un carácter cuantitativo y cualitativo.

Eficacia. Grado en el cual se logran las metas físicas y financieras de un proyecto. En general, la eficacia es la verificación del cumplimiento de los objetivos de una Intervención (Propósito). En esencia esta evaluación contiene un carácter cuantitativo.

Eficiencia. Análisis de los resultados con relación a la utilización óptima y oportuna de los recursos o análisis de costo-beneficio. En esencia esta evaluación contiene un carácter cuantitativo.

Impacto/Propósito. Valoración socio-económica global, incluyendo los efectos positivos y negativos, tanto aquellos que son deseados y estaban previstos, como los no previstos y no deseados. En esencia esta evaluación contiene un carácter cuantitativo y cualitativo.

Sostenibilidad. Apreciación de la capacidad para mantener los impactos positivos del proyecto por un largo periodo de tiempo. Análisis sobre si el efecto global, en términos de tiempo, por ejemplo, la mejora de la calidad del aire, es positivo también en el largo plazo. En esencia esta evaluación contiene un carácter cuantitativo y cualitativo.

Matriz de Evaluación de Impactos por Criterios y Parámetros

La tabla 5 presenta los criterios de evaluación establecidos para analizar el impacto y desempeño del sistema de monitoreo meteorológico, estructurados en cuatro dimensiones clave: tecnológica, institucional, económica y social. Cada dimensión se evalúa según parámetros de pertinencia, eficiencia, eficacia y propósito, lo que permite una valoración integral del proyecto. Los indicadores incluyen aspectos como el número de sensores certificados, la participación docente, la productividad de las estaciones, el acceso ciudadano a la información, entre otros.

Tabla 5 - Criterios de evaluación

		Tecnológicos	Institucionales	Económicos	Sociales
Parámetros	Pertinencia Eficiencia Eficacia Propósito	# de sensores certificados y calibrados dentro de las Estaciones Meteorológicas	Información de datos meteorológicos a través de las páginas de la Universidad	# de datos obtenidos en tiempo real con las nuevas estaciones meteorológica (Productividad)	Población que tiene acceso a la información meteorológica
	Pertinencia Eficiencia Eficacia Propósito	Creación de Scripts que permitan la transferencias en tiempo real al servidor web	# de participantes docentes dentro de la ejecución del proyecto.	% de ejecución del Presupuesto	Usuarios externos que se benefician con la generación de datos meteorológicos
	Pertinencia Eficiencia Eficacia Propósito	Tiempo de transferencia de datos a la plataforma	Mejora en la gestión de datos meteorológicos dentro de la Institución	Costos de mantenimiento de las estaciones	Número de Publicaciones realizadas en revista de alto impacto
	Pertinencia Eficiencia Eficacia Propósito	Implementación de Sitio Web para cargar y descargar la información	# docentes capacitados acerca del uso de las estaciones	Costos de transferencia de la información	

Nota: La tabla muestra una matriz de evaluación que organiza los criterios e indicadores claves utilizados para valorar un sistema de monitoreo meteorológico desde una perspectiva integral. La estructura considera cuatro dimensiones principales: Tecnológica, Institucional, Económica y Social, alineadas con los parámetros de Pertinencia, Eficiencia, Eficacia y Propósito.

Autores (2025)

Para el efecto de esta valoración se realizó la validación de cada uno de los parámetros establecidos a la fecha de finalización del proyecto, dentro de la mencionada valoración se aplicaron encuestas a Docentes-Investigadores, Estudiantes, Profesionales externos y población cercana a las sedes de la Universidad donde se encuentran instaladas las estaciones, esta muestra de encuestados se plantea que mantengan algún tipo de vinculación con la información que se muestra dentro la plataforma. Con la aplicación del instrumento antes mencionado se determinó el porcentaje de aceptación y grado de utilización de la información en diferentes áreas.

La encuesta fue realizada a una muestra de docentes y estudiantes de la Universidad Agraria del Ecuador a quienes la información generada por el proyecto sirve como instrumento de ayuda en las actividades estudiantiles y de investigación. Para ello tenemos una población objeto de estudio de Docentes y de Estudiantes esta última dividida en Unidad Educativa Guayaquil y Milagro que es donde se encuentran ubicadas las estaciones meteorológicas.

En la Tabla 6 se presentan los resultados de la encuesta aplicada al cuerpo docente, los cuales permiten analizar su percepción respecto a los aspectos evaluados en el estudio.

Tabla 6 - Población Docente

CARRERA	DOCENTE
Ingeniería Agronómica	69
Ingeniería Ambiental	27
Ingeniería Agroindustrial	29
TOTAL	125

Nota: La tabla muestra el número total de docentes que son 125 distribuidos en tres carreras de la Facultad de Ciencias Agrarias, reflejando la carga o asignación académica por programa educativo.

Autores (2025)

A continuación, en la tabla 7 se detallan los resultados obtenidos por los estudiantes pertenecientes a las distintas carreras, lo cual permite realizar un análisis comparativo entre guayaquil y milagro.

Tabla 7 - Población Estudiantes

CARRERA	ESTUDIANTES		TOTAL
	GUAYAQUIL	MILAGRO	
Ingeniería Agronómica	613	517	1130
Ingeniería Ambiental	774	62	836
Ingeniería Agroindustrial	442	273	715
TOTAL	1829	852	2681
	2.681		

Nota: La Tabla presenta la distribución total de estudiantes matriculados en tres carreras de la Facultad de Ciencias Agrarias, diferenciando su ubicación entre las sedes Guayaquil y Milagro que sale un total de 2.681

Autores (2025)

MUESTRA DE DOCENTES

Para la elección de un número de muestra docente se aplicó el tamaño de muestra con población finita:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 N p q}{e^2 (N - 1) + Z_{\alpha}^2 p q}$$

Z: Nivel de confianza 90%

P: probabilidad de éxito 0.5

Q: probabilidad de fracaso 0.5

e: error máximo admitido en proporción 0.05

N: Tamaño de la población 125

Aplicando la fórmula de la muestra nos da 86 docentes a quienes debemos realizar la encuesta, y para escoger a los docentes dentro de la muestra aplicaremos un **muestreo estratificado** quedando la muestra de la siguiente manera en la tabla 8

Tabla 8 - Muestreo estratificado

CARRERA	DOCENTE	%	MUESTRA
Ingeniería Agronómica	69	55%	47
Ingeniería Ambiental	27	22%	19
Ingeniería Agroindustrial	29	23%	20
TOTAL	125		86

Nota: La Tabla presenta el resultado del diseño muestral estratificado aplicado a la población docente de tres carreras de la Facultad de Ciencias Agrarias. Se detallan la cantidad de docentes por carrera, su representación porcentual respecto al total y el tamaño de muestra seleccionado proporcionalmente.

Autores (2025)

MUESTRA DE ESTUDIANTES

Para la elección de un número de muestra de estudiantes se aplicó el tamaño de muestra con población finita:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 N p q}{e^2 (N - 1) + Z_{\alpha}^2 p q}$$

Z: Nivel de confianza 90%

P: probabilidad de éxito 0.5

Q: probabilidad de fracaso 0.5

e: error máximo admitido en proporción 0.06

N: Tamaño de la población 2.681

Aplicando la fórmula de la muestra nos da **177 estudiantes** a quienes debemos realizar la encuesta, y para escoger a los estudiantes dentro de la muestra aplicaremos un muestreo estratificado quedando la muestra de la siguiente manera en la tabla 9,

Tabla 9 - Muestra Guayaquil y Milagro

CARRERA	MUESTRA
Ingeniería Agronómica	74
Ingeniería Ambiental	56
Ingeniería Agroindustrial	47
TOTAL	177

Nota: La Tabla muestra la distribución del tamaño de muestra por carrera para un estudio aplicado a estudiantes de las sedes Guayaquil y Milagro, en el contexto de las carreras de la Facultad de Ciencias Agrarias.

Autores (2025)

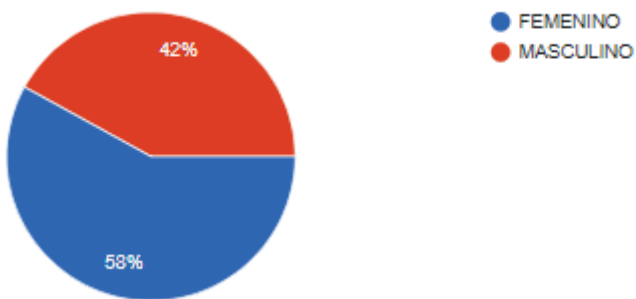
Una vez finalizado el periodo de valoración de impacto se presentan resultados de las encuestas aplicadas

En la primera pregunta se consulta brevemente al usuario sobre cuestiones demográficas que pueden ser relevantes para el proyecto (edad, género, ocupación, entre otros)

Para la muestra de estudiantes se generan los siguientes resultados

1. Se observa que existe una mayor cantidad de estudiantes de género femenino como se observa en la figura 37

Figura 37. - Porcentaje de estudiantes de género masculino y femenino

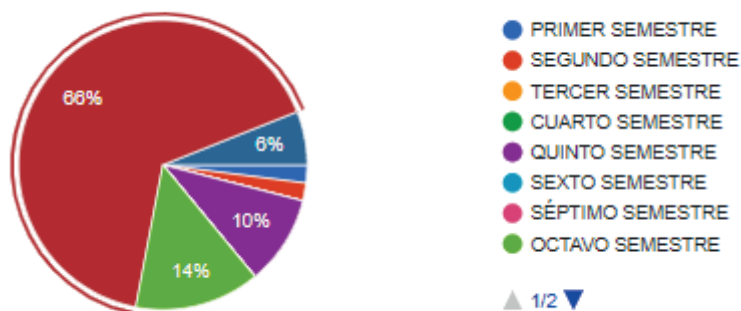


Nota: El gráfico circular representa la distribución porcentual por género de una muestra poblacional, posiblemente correspondiente a estudiantes o docentes vinculados a una investigación o estudio institucional.

Fuente: Autores (2025)

- En relación al semestre, la mayor cantidad de estudiantes es de Noveno Semestre, como se muestra a continuación en la figura 38.

Figura 38. - Semestre que cursa el encuestado



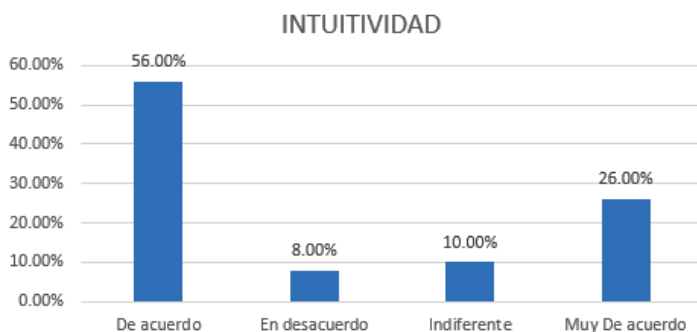
Nota: El gráfico circular muestra la distribución porcentual de estudiantes según el semestre académico en el que se encuentran matriculados, proporcionando una visión clara de la concentración del alumnado por nivel formativo.

Fuente: Autores (2025)

- Los resultados del desarrollo se resaltan a partir de la Intuitividad, estructura, simplicidad y confiabilidad mostradas a continuación.

Se muestra en la figura 39 los resultados obtenidos sobre la intuitividad del sistema.

Figura 39. - Porcentajes generados de la valoración de intuitividad

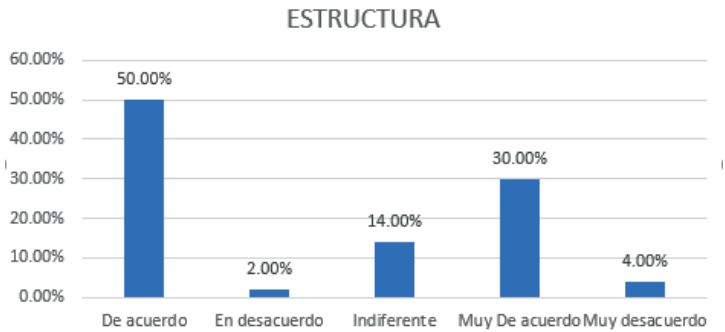


Nota: El gráfico de barras ilustra los resultados de una encuesta aplicada a usuarios sobre el nivel de acuerdo respecto a la intuitividad del sistema evaluado, es decir, qué tan fácil y comprensible resulta su uso sin necesidad de instrucciones extensas.

Fuente: Autores (2025)

A continuación, en la figura 40 se obtuvo los resultados sobre la organización lógica y coherente de los elementos que conforman la interfaz.

Figura 40. - Porcentajes generados de la valoración de estructura

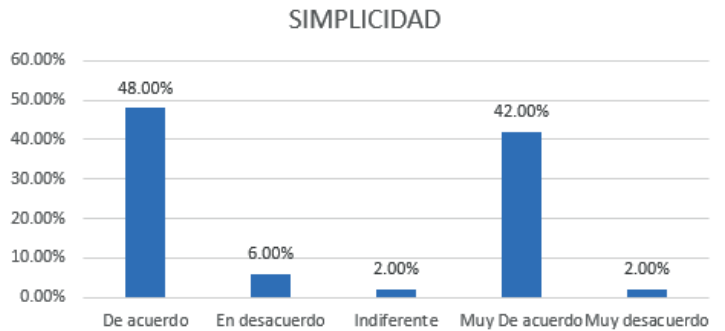


Nota: El gráfico de barras representa la distribución porcentual de las respuestas emitidas por los usuarios respecto a la estructura del sistema, entendida como la organización, disposición lógica de los contenidos, claridad jerárquica y facilidad de navegación.

Fuente: Autores (2025)

En la figura 41 se muestra los resultados obtenidos sobre la simplicidad que tiene el sistema para el usuario.

Figura 41. - Porcentajes generados de la valoración de la simplicidad

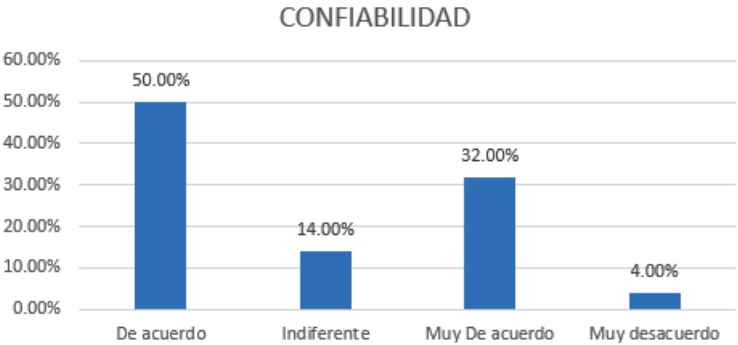


Nota: El gráfico de barras muestra los resultados de la evaluación realizada por los usuarios respecto a la simplicidad del sistema, entendida como la facilidad de uso, claridad en la navegación y ausencia de complejidad innecesaria.

Fuente: Autores (2025)

En la figura 42 que se muestra a continuación se evaluó la estabilidad del sistema durante el manejo de los usuarios.

Figura 42. - *Porcentajes generados de la valoración de la confiabilidad de la información presentada*



Nota: El gráfico de barras representa la evaluación realizada por los usuarios respecto a la confiabilidad del sistema, entendida como la capacidad del mismo para funcionar correctamente, ofrecer resultados consistentes y generar confianza en su uso.

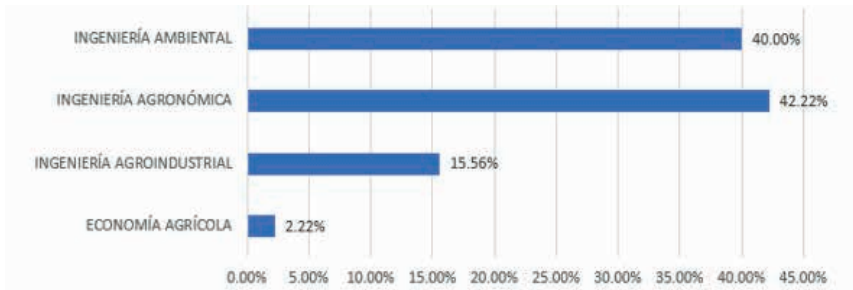
Fuente: Autores (2025)

Se puede apreciar en los gráficos que las valoraciones se agrupan mayormente en muy de acuerdo y de acuerdo con lo que se obtiene como resultado que existe el mayor porcentaje de estudiantes con altas valoraciones a la herramienta puesta a prueba.

Para la muestra de Docentes se generan los siguientes resultados que se muestra en la figura 43.

Según la carrera a la que se encuentran vinculados los Docentes encuestados obtenemos que:

Figura 43. - Porcentaje de docentes según la carrera



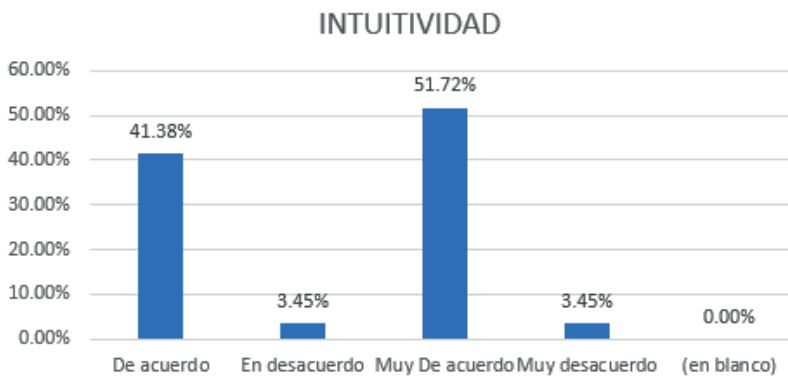
Nota: El gráfico de barras horizontales presenta la distribución porcentual de los participantes en un estudio, agrupados según su carrera universitaria.

Fuente: Autores (2025)

Los resultados del desarrollo evaluados por los docentes se resaltan a partir de la Intuitividad, estructura, simplicidad y confiabilidad.

En la figura 44 se muestra La Intuitividad hace referencia a la facilidad con la que el usuario comprende y navega por la interfaz.

Figura 44. - Los encuestados en un 51.72% están muy de acuerdo con la Intuitividad

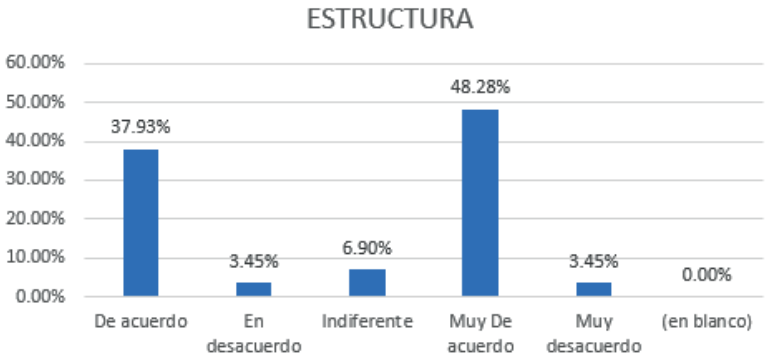


Nota: El gráfico de barras muestra los resultados de una encuesta aplicada a los usuarios para conocer su percepción sobre la intuitividad del sistema, es decir, qué tan fácil resulta comprender y utilizar la plataforma sin necesidad de instrucciones detalladas.

Fuente: Autores (2025)

Se muestra a continuación en la figura 45 a estructura, a la organización lógica y jerárquica del contenido.

Figura 45. - *La estructura valorada varía en su mayoría en la opción muy de acuerdo y de acuerdo.*

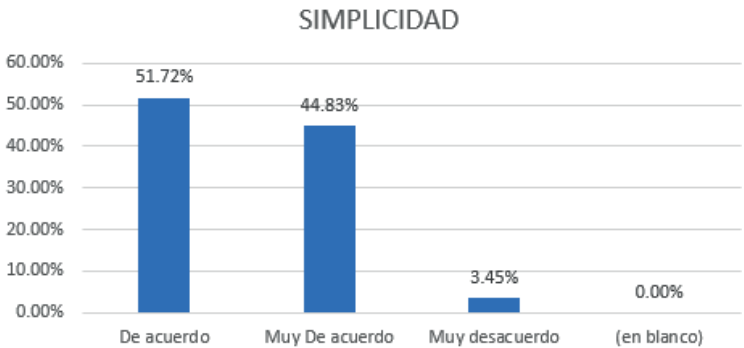


Nota: El gráfico de barras muestra los resultados obtenidos respecto a la percepción de los usuarios sobre la estructura del sistema, entendida como la organización, secuencia lógica y claridad de los componentes o secciones de la plataforma.

Fuente: Autores (2025)

En la figura 46 se muestra la simplicidad, a la claridad y ausencia de elementos innecesarios.

Figura 46. - *La simplicidad del sitio web fluctúa en muy de acuerdo y de acuerdo.*

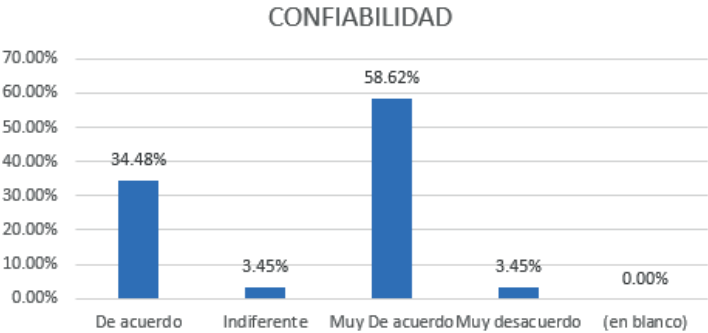


Nota: El gráfico de barras muestra los resultados de la encuesta aplicada a los usuarios respecto a la simplicidad del sistema, entendida como la facilidad de comprensión, navegación y ejecución de tareas sin complejidad innecesaria.

Fuente: Autores (2025)

En la figura siguiente, figura 47 se muestra la confiabilidad, a la estabilidad y precisión en la entrega de información.

Figura 47. - La mayoría de encuestados se encuentra muy de acuerdo con la confiabilidad de la información presentada



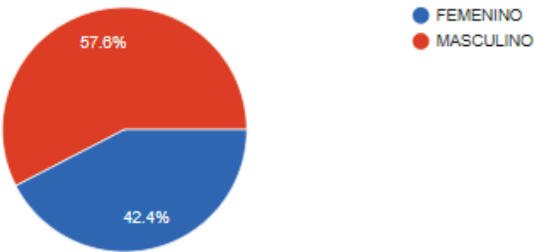
Nota: El gráfico de barras expone los resultados de la encuesta aplicada para valorar la confiabilidad del sistema, entendida como la capacidad del mismo para operar correctamente, entregar resultados consistentes y generar seguridad en el usuario.

Fuente: Autores (2025)

Para la muestra de los beneficiarios externos se generan los siguientes resultados que se puede apreciar en la figura 48:

El género varía, predominando el femenino con un 58%

Figura 48. - Distribución por género de los participantes en el estudio

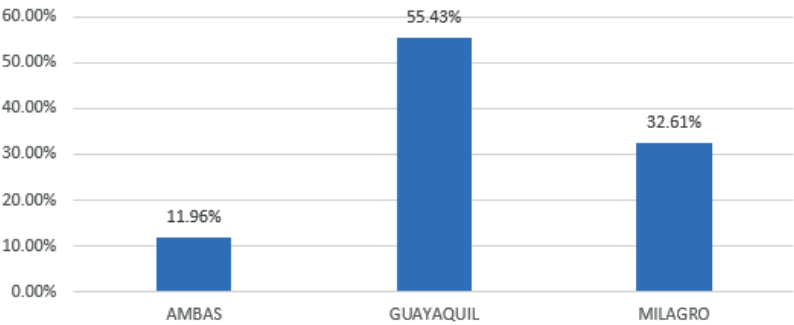


Nota: El gráfico circular representa la distribución porcentual por género de los participantes que conforman la muestra del estudio. Se observa que el 57,6 % corresponde al género masculino (color rojo), mientras que el 42,4 % corresponde al género femenino (color azul).

Fuente: Autores (2025)

La sede de la que en su mayoría se utilizaría la información es Guayaquil, siguiendo la opción de milagro y para finalizar un 12% de encuestados indica que usaría información de ambas sedes como se muestra en la figura 49.

Figura 49. - La respuesta a la pregunta. De qué sede de la Universidad Agraria del Ecuador utilizaría la información, se inclina a Guayaquil.



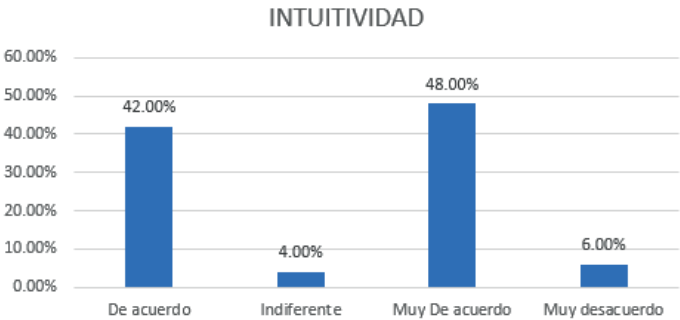
Nota: El gráfico de barras muestra la distribución porcentual de los participantes en función de la sede académica a la que están adscritos dentro del estudio.

Fuente: Autores (2025)

Se grafican a partir de la Intuitividad, estructura, simplicidad y confiabilidad los siguientes resultados observados

En la figura 50 se presenta los resultados relacionados con la *Intuitividad* del sistema, evidenciando el grado en que los usuarios consideran que la interfaz es comprensible y de fácil navegación.

Figura 50. - Se observan las calificaciones de intuitividad generadas por externos

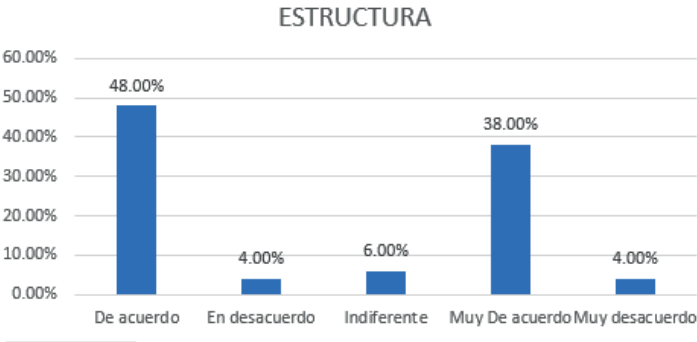


Nota: El gráfico de barras muestra los resultados de la percepción de los usuarios sobre la intuitividad del sistema, entendida como la facilidad con la que puede ser utilizado sin necesidad de instrucciones extensas.

Fuente: Autores (2025)

En la Figura 51, se muestra la evaluación de la estructura, que hace referencia a la organización lógica de los contenidos y funcionalidades.

Figura 51. - El 48% de encuestados de encuentra de acuerdo con la estructura y organización del sitio

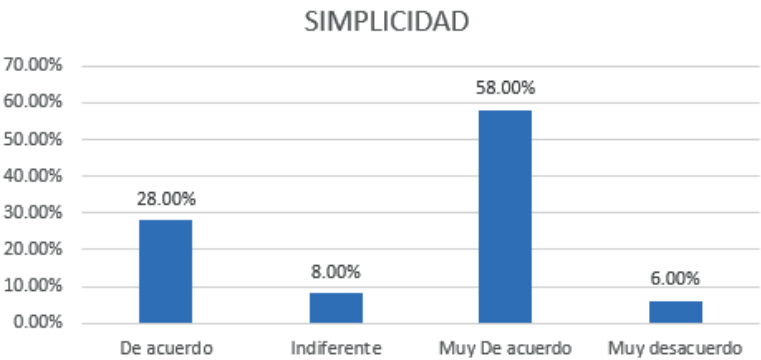


Nota: El gráfico de barras ilustra la percepción de los usuarios respecto a la estructura del sistema, entendida como la organización, disposición lógica y jerarquía de los elementos y funcionalidades.

Fuente: Autores (2025)

La Figura 52 que se muestra a continuación expone los datos correspondientes a la simplicidad, valorando la ausencia de elementos innecesarios o complejidad visual.

Figura 52. - La simplicidad del sitio es calificado por un 58% de personas en el criterio más alto

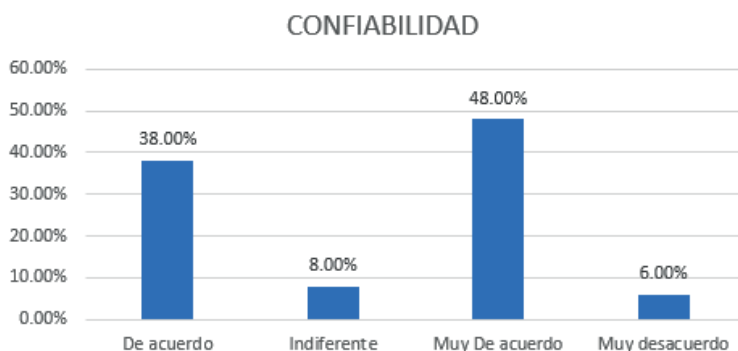


Nota: El gráfico de barras presenta los resultados de la percepción de los usuarios sobre la simplicidad del sistema, entendida como la facilidad de uso, claridad en su funcionamiento y ausencia de complejidad innecesaria.

Fuente: Autores (2025)

La Figura 53 representa la percepción sobre la confiabilidad, es decir, la estabilidad del sistema y la precisión en la entrega de la información.

Figura 53. - Existe una fluctuación de los criterios “Muy de acuerdo” y “De acuerdo” para la confiabilidad predominando el criterio más alto.



Nota: El gráfico de barras presenta los resultados obtenidos en la valoración de la confiabilidad del sistema, entendida como la capacidad del mismo para funcionar de forma estable, precisa y segura ante el usuario.

Fuente: Autores (2025)

Se ha utilizado para la evaluación de la herramienta las técnicas de heurística de diseño de interacción considerando a la «simplicidad», es decir el diseño tiene que ser tan simple como sea posible, y centrado en la tarea, el mismo ha sido dividido en las siguientes sub-heurísticas:

- Cada paso del proceso es evidente para el usuario.
- Los menús están optimizados para poderse reconocer fácilmente.
- No se utilizan opciones similares para representar acciones diferentes.

Por otro lado, se ha utilizado Google search-console y Google analytics reflejando la tendencia de incremento de usuarios conforme se fue realizando las pruebas a través del link enviado a los usuarios.

A continuación en la figura 54 se muestra la tendencia de los usuarios que han realizado las pruebas a través de un link.

Figura 54. - Tendencia de usuarios en pruebas

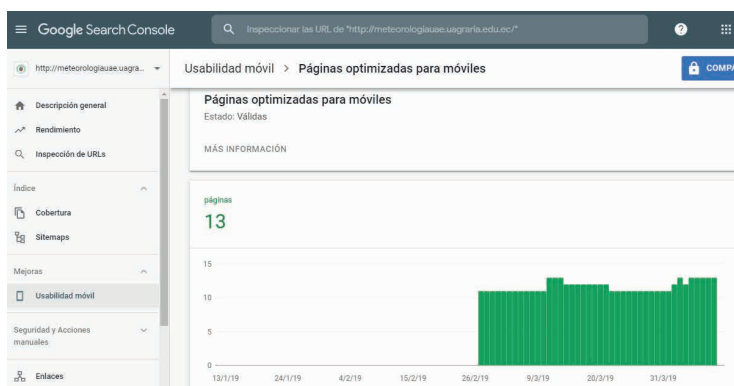


Nota: El gráfico presentado muestra la evolución del número de usuarios activos de una plataforma durante un período de 30 días, diferenciando las métricas en función del uso mensual, semanal y diario.

Fuente: Autores (2025)

Los datos de search console demuestran que la plataforma tiene 13 páginas que cuentan con usabilidad móvil como se muestra en la figura 55 que se encuentra a continuación.

Figura 55. - Usabilidad móvil comprobada en search console

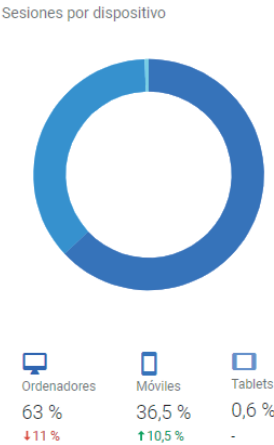


Nota: La imagen muestra un reporte de la herramienta Google Search Console que evalúa la usabilidad móvil del sitio web de la Universidad Agraria del Ecuador, específicamente en el apartado de "Páginas optimizadas para móviles".

Fuente: Autores (2025)

Como parte del impacto se observa en la figura 56, a su vez que la mayor cantidad de accesos se da a través de ordenadores

Figura 56. - Sesiones por dispositivo



Nota: El gráfico circular muestra la proporción de sesiones registradas en la plataforma según el tipo de dispositivo utilizado por los usuarios: ordenadores, móviles y tablets.

Fuente: Autores (2025)

RESULTADOS RELEVANTES DEL PROYECTO

Durante el período de ejecución del proyecto y sus años de operación extendida, la plataforma de monitoreo atmosférico alcanzó una serie de resultados tangibles y de alto impacto, tanto a nivel técnico como académico e institucional:

Consolidación de una base de datos meteorológica histórica, con registros ininterrumpidos de variables como temperatura, humedad, presión atmosférica, radiación solar, velocidad del viento, índice UV y precipitación, desde noviembre de 2017 en Guayaquil y enero de 2018 en Milagro. Esta base ha permitido realizar estudios estacionales, análisis de variabilidad climática y servir como insumo para investigaciones agroclimáticas, forestales y epidemiológicas.

Integración de mapas temáticos interactivos en tiempo real, utilizando servicios WMS y plataformas cartográficas como GeoServer y Google Maps API. Estas herramientas permitieron representar espacialmente los índices climáticos, facilitando la lectura visual del comportamiento de las variables y apoyando procesos de toma de decisiones y planificación territorial.

Uso de tecnologías de código abierto, incluyendo PostgreSQL/PostGIS, GeoServer, Chart.js, PHP y HTML5, lo cual redujo costos de licenciamiento y fortaleció las capacidades técnicas locales para replicar, adaptar o escalar el sistema. Esta decisión también facilitó la interoperabilidad con otros sistemas externos y el cumplimiento de los principios de datos abiertos.

Estandarización de formatos y accesibilidad de datos, mediante descargas disponibles en .csv, .xls, .kml y acceso a capas WMS, asegurando que los datos puedan ser utilizados por sistemas de análisis científico, herramientas SIG, plataformas móviles y software educativo.

Producción académica y científica, evidenciada en publicaciones derivadas del uso de la base de datos, ponencias estudiantiles y validaciones técnicas presentadas en congresos nacionales e internacionales. Esto consolidó la red meteorológica como fuente de información primaria y confiable.

Participación estudiantil activa, con más de 30 estudiantes involucrados en prácticas preprofesionales, diseño de interfaces, análisis de datos, validación de sensores y elaboración de trabajos de titulación. El proyecto también sirvió como base para actividades en aulas híbridas, clases de computación aplicada, inteligencia artificial, agroclimatología y sistemas distribuidos (Colombo-Mendoza et al., 2022).

CONSIDERACIONES FUTURAS

El éxito del proyecto abre la posibilidad de que este modelo pueda ser replicado en otras universidades del país o en gobiernos autónomos descentralizados. La consolidación de redes meteorológicas locales con acceso abierto no solo promueve la ciencia ciudadana, sino que también fortalece la resiliencia climática en zonas vulnerables.

Asimismo, se vislumbra una proyección del sistema hacia nuevas líneas de investigación, como el análisis del impacto climático en cultivos estratégicos, el desarrollo de sistemas expertos para decisiones agrícolas y el uso de sensores IoT de bajo costo para extender la cobertura territorial.

El trabajo realizado representó un hito institucional que posiciona a la Universidad Agraria del Ecuador como referente nacional en monitoreo ambiental universitario, reafirmando su compromiso con la investigación, la innovación y el servicio a la comunidad.

Recomendaciones para Escalabilidad

A fin de fortalecer la sostenibilidad a largo plazo y ampliar el impacto de la plataforma, se proponen las siguientes recomendaciones estratégicas para su escalabilidad técnica, operativa y académica:

- a. Migración de la infraestructura tecnológica a un servidor físico dedicado. La operación en servidores virtualizados limita la capacidad de almacenamiento, procesamiento y seguridad. Se recomienda implementar un servidor con respaldo redundante (RAID), monitoreo de carga y posibilidad de conexión remota segura para administración y mantenimiento continuo.
- b. Integración de herramientas de análisis predictivo mediante inteligencia artificial, especialmente para la detección de anomalías climáticas, generación de alertas automatizadas y predicción de tendencias meteorológicas a corto plazo. Se sugiere explorar modelos basados en regresión, árboles de decisión, redes neuronales o aprendizaje profundo, entrenados con los datos históricos de la plataforma.
- c. Ampliación de la red de estaciones meteorológicas, priorizando zonas rurales productivas y ecosistemas estratégicos (por ejemplo, áreas bananeras, sectores ganaderos, corredores agroforestales), con lo cual se ampliaría la cobertura espacial y la utilidad del sistema para proyectos de vinculación, extensión y desarrollo rural (Avadí, 2023).
- d. Implementación de un sistema de alertas tempranas por condiciones extremas (calor, lluvia intensa, radiación elevada), vinculadas a umbrales configurables. Las alertas podrían ser enviadas por correo electrónico, WhatsApp o notificaciones web, dirigidas a usuarios registrados como autoridades locales, productores, docentes o personal técnico.
- e. Desarrollo de una API REST pública, que permita la integración de los datos en tiempo real con aplicaciones móviles, plataformas de educación ambiental, sistemas municipales de gestión de riesgos y dashboards de seguimiento climático. La API debe incluir documentación técnica y autenticación básica para controlar el consumo.

PROYECCIONES FUTURAS Y EXPANSIÓN-DISEÑO DE UNA RED NACIONAL UNIVERSITARIA

Para escalar la experiencia de la UAE y articularla con otras instituciones académicas en Ecuador, se propone el diseño de una **Red Nacional de Monitoreo Meteorológico Universitario** (Hasimi et al., 2024). Esta red estaría integrada por nodos instalados en al menos una universidad por provincia, siguiendo criterios de cobertura geográfica y relevancia agroclimática. Cada nodo incluiría:

- Coordinador local, responsable de la operación de estaciones y de la transferencia de datos.
- Estaciones estándar, con sensores calibrados bajo un protocolo unificado (OMM) y configuradas para transmitir datos cada 5 minutos.
- Infraestructura de comunicaciones interconectada a través de enlaces VPN o GPRS, garantizando interoperabilidad con el servidor central.
- Portal de gestión de red, alojado en la plataforma de la UAE, que centralice la visualización, comparación y exportación de datos de todos los nodos. Este modelo colaborativo favorecería la homogeneización de metodologías de observación, promovería la capacitación mutua de técnicos y permitiría generar un mapa de microclimas de alta resolución en tiempo real para todo el país.

Uso de Sensores IoT de Bajo Costo

La incorporación de sensores IoT (Internet de las Cosas) de bajo costo permite complementar las estaciones principales, aumentando significativamente la granularidad espacial de las mediciones y extendiendo la cobertura a entornos donde la instalación de equipos profesionales resulta prohibitiva (Colombo-Mendoza et al., 2022).

Sensores basados en chips MEMS: Dispositivos compactos con precisión de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ en temperatura y $\pm 2\%$ en humedad relativa. Su bajo consumo y encapsulado IP66 facilitan su uso en exteriores.

Conectividad LoRaWAN y NB-IoT: Protocolos de larga distancia y bajo consumo que permiten la transmisión de paquetes cada 15–30 min a gateways locales (Ram Prasanna et al., 2021). Una única antena puede atender cientos de nodos.

Módulos plug-and-play: Diseñados para montaje rápido en postes, bordes de parcelas o techados rurales. Incorporan sensores de temperatura de suelo, humedad de sustrato y radiación solar.

Red de gateways escalable: Gateways configurables que recogen datos de múltiples nodos y los reenvían al servidor central vía MQTT sobre TLS o HTTPS (Newmarch, 2017).

Plataforma de gestión IoT: Basada en MQTT y RESTful HTTP, ofrece:

Configuración remota de intervalos de muestreo y umbrales de alerta.

Actualización de firmware Over-The-Air (FOTA).

Monitorización de indicadores de salud de red: nivel de señal, voltaje de baterías, tasa de recepción.

Integración con Modelos Climáticos Predictivos

Para dotar al sistema de capacidades avanzadas de pronóstico y gestión de riesgos, se propone la inclusión de los siguientes componentes:

API de pronósticos oficiales: Automatizar la descarga de predicciones de 1 a 3 días de plataformas como INAMHI y ECMWF mediante APIs RESTful. Los datos se ingieren periódicamente en PostgreSQL y se cruzan con las mediciones reales.

Modelos de aprendizaje automático locales: Desarrollo de pipelines en Python y R que implementen algoritmos de regresión lineal, bosques aleatorios y redes neuronales profundas (LSTM, GRU) para pronosticar variables clave (temperatura máxima, precipitación diaria, índice de calor). El entrenamiento se realiza con la base histórica de la UAE (2017-2025) y validación cruzada (Jianyun et al., 2017).

Dashboards de visualización integrada: Creación de paneles interactivos con herramientas como Grafana o Dash de Plotly que combinen datos históricos, observados y proyectados. Se incluyen:

Mapas de isocronas animados que muestran la evolución de temperaturas proyectadas.

Gráficos de series temporales con bandas de incertidumbre.

Alertas automáticas (email/SMS) cuando los pronósticos excedan umbrales críticos definidos.

Conectividad con sistemas de riego inteligente: Implementación de webhooks y microservicios que, ante pronósticos de baja precipitación, envíen señales a sistemas de control de riego IoT instalados en fincas piloto. Esto optimiza el uso de recursos hídricos y minimiza el estrés hídrico de los cultivos (Pohlmann et al., 2024).

La sinergia entre mediciones de campo y modelos predictivos robustos mejorará la capacidad de anticipación de eventos extremos (olas de calor, lluvias intensas), apoyará la planificación agrícola y contribuirá a la resiliencia frente al cambio climático.

REFERENCIAS

- Aguirre-Munizaga, M., Gomez, R., Aviles, M., Vasquez, M., & Recalde-Coronel, G. C. (2016). A Cloud Computing Based Framework for Storage and Processing of Meteorological Data. In R. Valencia-García, K. Lagos-Ortiz, G. Alcaraz-Mármol, J. del Cioppo, & N. Vera-Lucio (Eds.), *Technologies and Innovation* (Vol. 658, pp. 90–101). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48024-4_8
- Aguirre-Munizaga, M., Vergara-Lozano, V., Lagos-Ortiz, K., & El Salous, A. (2022). Evaluation of User Interface (UI) and User Experience (UX) for Web Services of a Weather Data Monitoring Platform. *Communications in Computer and Information Science*, 1658 CCIS, 235–246. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19961-5_17
- Aguirre-Munizaga, M., Vergara-Lozano, V., Sinche-Guzmán, A., Lagos-Ortiz, K., Real-Avilés, K., Vásquez-Bermudez, M., & Hernández-Rosas, J. (2018). *Architecture of a Meteorological Data Management System Based on the Analysis of Webmapping Tools* (pp. 82–96). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-00940-3_7
- Avadí, A. (2023). Environmental assessment of the Ecuadorian cocoa value chain with statistics-based LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 28(11), 1495–1515. <https://doi.org/10.1007/s11367-023-02142-4>
- Byron E. Zúñiga, Q., Ordóñez, M. C., Ayala, J. E., Daniel Santillán H, & Recalde, C. G. (2016). Quality of service 2.5G for hydrometeorological network in the Chimborazo province, Ecuador. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, 39(1), 130–136.
- Cao, Y., Yang, C., & Wong, D. W. (2009). An interoperable spatiotemporal weather radar data dissemination system. *International Journal of Remote Sensing*, 30(5), 1313–1326. <https://doi.org/10.1080/01431160802508993>
- Colombo-Mendoza, L. O., Paredes-Valverde, M. A., Salas-Zárate, M. del P., & Valencia-García, R. (2022). Internet of Things-Driven Data Mining for Smart Crop Production Prediction in the Peasant Farming Domain. *Applied Sciences*, 12(4). <https://doi.org/10.3390/app12041940>
- Gong, J., Geng, J., & Chen, Z. (2015). Real-time GIS data model and sensor web service platform for environmental data management. *International Journal of Health Geographics*, 14(1), 2. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-14-2>
- Harwani, B. (2021). jQuery Recipes: Find Ready-Made Solutions to All Your jQuery Problems. *jQuery Recipes: Find Ready-Made Solutions to All Your JQuery Problems*, 1–676. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-7304-3>

Harwani, B. (2022). AJAX. *JQuery Recipes*, 473–531. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-7304-3_10

Hasimi, L., Zavanis, D., Shakshuki, E., & Yasar, A. (2024). Cloud Computing Security and Deep Learning: An ANN approach. *Procedia Computer Science*, 231, 40–47. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.12.155>

Hoseini, Y. (2022). Evaluation of WMS model in basins without statistical data in southwestern Iran using Dicken's experimental method (case study: Kuhgel Basin of Khuzestan Province). *Applied Water Science*, 12(7), 1–9. <https://doi.org/10.1007/S13201-022-01685-5/TABLES/5>

Jianyun, C., Yunfan, S., & Chunyan, L. (2017). Research on Application of Automatic Weather Station Based on Internet of Things. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 104, 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/104/1/012015>

Jin, J., Ma, Y., Zhang, Y., & Huang, Q. (2018). Design and implementation of an Agricultural IoT based on LoRa. *MATEC Web of Conferences*, 189. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818904011>

López Jiménez, V. L. (2014). Propuesta Metodológica para el Rediseño de una Red Meteorológica en un Sector de la Región Andina Colombiana. *Publicaciones e Investigación*, 8(1), 55. <https://doi.org/10.22490/25394088.1281>

Naresh, N., Nitin, M., Aarathi, M., Kumar, P. A., Rajshekar, S. S., & Rao, S. S. (2024). Generic AAA Architecture for Geospatial Web Service Dissemination Based on Open-Source API Gateway. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 8(2), 1–15. <https://doi.org/10.1007/S41651-024-00194-0/FIGURES/7>

Newmarch, J. (2017). HTML. In *Network Programming with Go* (pp. 193–198). Apress. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2692-6_11

Padmini, V. L., Kishore, G. K., Durgamalleswarao, P., & Sree, P. T. (2020). Real Time Automatic Detection of Motorcyclists with and without a Safety Helmet. *Proceedings - International Conference on Smart Electronics and Communication, ICOSEC 2020, Icosec*, 1251–1256. <https://doi.org/10.1109/ICOSEC49089.2020.9215415>

Pohlmann, V., Schöffel, E. R., Eicholz, E. D., Guarino, E. de S. G., Eicholz, M. D., Del Pino, B. S., & Portalanza, D. (2024). Impacts of agroforestry systems and intercropping on the growth, production, and seed quality of corn and beans. *Agroforestry Systems*, 98(8), 3075–3088. <https://doi.org/10.1007/S10457-024-01075-7/FIGURES/4>

Ram Prasanna, K., Mathana, J. M., Ramya, T. A., & Nirmala, R. (2021). LoRa network based high performance forest fire detection system. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.05.656>

Ramirez, C., & Wright, A. J. (2023). Microclimate and growth advantages in the 'Three sisters' planting food system in an urban garden. *Plant and Soil*, 506(1), 541–553. <https://doi.org/10.1007/S11104-023-06419-3/FIGURES/4>

Rincon, G., Morantes, G., Roa-López, H., Cornejo-Rodriguez, M. del P., Jones, B., & Cremades, L. V. (2023). Spatio-temporal statistical analysis of PM1 and PM2.5 concentrations and their key influencing factors at Guayaquil city, Ecuador. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 37(3), 1093–1117. <https://doi.org/10.1007/S00477-022-02310-2/TABLES/21>

Vitolo, C., Elkhatab, Y., Reusser, D., Macleod, C. J. A., & Buytaert, W. (2015). Web technologies for environmental Big Data. *Environmental Modelling & Software*, 63, 185–198. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.10.007>

Wang, Y., Huynh, G., & Williamson, C. (2013). Integration of Google Maps/Earth with microscale meteorology models and data visualization. *Computers & Geosciences*, 61, 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.07.016>

GLOSARIO

A continuación, un compendio de 40 términos clave utilizados en este libro, con sus definiciones técnicas en español:

1. Anemómetro

Instrumento que mide la velocidad del viento, ya sea de tipo copa, hélice o ultrasónico.

2. Veleta

Dispositivo que indica la dirección del viento, generalmente montado en lo alto de una torre.

3. Barómetro

Sensor que registra la presión atmosférica, esencial para el análisis de sistemas de alta y baja presión.

4. Higrómetro

Sensor que mide la humedad relativa del aire, basado en cambios de propiedades dieléctricas o resistivas.

5. Piranómetro

Instrumento que cuantifica la radiación solar global incidente sobre una superficie horizontal.

6. Pluviómetro

Dispositivo para medir la precipitación acumulada, ya sea de tipo balancín o de pesaje.

7. Sensor MEMS

Sensor miniaturizado (Microelectromechanical System) que integra componentes mecánicos y electrónicos en un chip.

8. IoT (Internet de las Cosas)

Conjunto de objetos físicos con sensores y comunicación integrada para envío de datos a través de redes.

9. LoRaWAN

Protocolo de comunicación inalámbrica de largo alcance y bajo consumo, ideal para redes de sensores distribuidos.

10. NB-IoT (Narrowband-IoT)

Tecnología celular de baja potencia y cobertura extendida, diseñada para conectar dispositivos IoT.

11. GPRS (General Packet Radio Service)

Servicio de datos por paquetes en redes GSM, utilizado para transmisión periódica de archivos de texto.

12. FTP (File Transfer Protocol)

Protocolo estándar para transferencia de archivos entre cliente y servidor en redes TCP/IP.

13. HTTP (HyperText Transfer Protocol)

Protocolo de comunicación para la transferencia de información en la web, base de las APIs RESTful.

14. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

Protocolo ligero de mensajería publish/subscribe, muy empleado en entornos IoT.

15. API (Application Programming Interface)

Conjunto de definiciones y protocolos que permiten la interacción programática entre sistemas.

16. FOTA (Firmware Over-The-Air)

Técnica de actualización remota del firmware de dispositivos conectados sin intervención física.

17. DataLogger

Dispositivo embebido que adquiere, almacena y transmite datos de sensores de manera autónoma.

18. PostgreSQL

Sistema de gestión de base de datos relacional de código abierto, con extensiones para series temporales (TimescaleDB).

19. PostGIS

Extensión de PostgreSQL que añade soporte para almacenamiento y consulta de datos espaciales (geográficos).

20. MySQL

Sistema de gestión de base de datos relacional ampliamente utilizado para aplicaciones web.

21. RUP (Rational Unified Process)

Metodología de desarrollo de software iterativa y basada en casos de uso, adaptable a proyectos tecnológicos.

22. LSTM (Long Short-Term Memory)

Tipo de red neuronal recurrente diseñada para modelar dependencias a largo plazo en series temporales.

23. Regresión lineal múltiple

Método estadístico para predecir una variable continua a partir de varias variables independientes.

24. Bosques aleatorios (Random Forests)

Conjunto de árboles de decisión entrenados sobre subconjuntos de datos para mejorar la precisión y reducir el sobreajuste.

25. RMSE (Root Mean Square Error)

Métrica de error en regresión que penaliza grandes desviaciones entre valores predichos y observados.

26. MAE (Mean Absolute Error)

Métrica de error que mide la desviación promedio absoluta entre predicciones y valores reales.

27. Score de Brier

Métrica que evalúa la precisión de predicciones probabilísticas en clasificación binaria.

28. Docker

Plataforma de contenedores que empaqueta aplicaciones y sus dependencias para ejecución aislada y reproducible.

29. Kubernetes

Sistema de orquestación de contenedores que automatiza despliegues, escalado y gestión de aplicaciones en clúster.

30. CronJob

Comando programado en Linux/Unix que ejecuta tareas automáticas según una planificación predefinida.

31. Dash (Plotly)

Framework en Python para construir paneles web interactivos de visualización de datos.

32. Grafana

Plataforma de código abierto para monitorización y visualización de series temporales mediante dashboards.

33. Prometheus

Sistema de monitorización y alerta diseñado para recopilar métricas de servicios y contenedores.

34. KML (Keyhole Markup Language)

Formato XML estándar para representar datos geográficos en aplicaciones como Google Earth.

35. KMZ

Archivo comprimido que contiene uno o varios ficheros KML, imágenes y recursos asociados.

36. GeoServer

Servidor de código abierto para compartir y editar datos geoespaciales usando estándares OGC (WMS, WFS).

37. WMS (Web Map Service)

Estándar OGC para la entrega de mapas georreferenciados a través de la web en tiempo real.

38. OGC (Open Geospatial Consortium)

Organización que desarrolla estándares abiertos para interoperabilidad de datos geoespaciales.

39. OMM (Organización Meteorológica Mundial)

Agencia de la ONU que coordina la meteorología internacional y establece recomendaciones técnicas.

40. Penman–Monteith

Ecuación estándar para calcular la evapotranspiración de referencia a partir de variables meteorológicas básicas.

AUTORES



MARITZA AGUIRRE-MUNIZAGA: Docente en la carrera de Computación de la Universidad Agraria del Ecuador. Se desempeña como investigadora principal en proyectos vinculados a tecnologías emergentes y como responsable de los procesos de vinculación con la sociedad en su unidad académica. Es Ingeniera en Sistemas Computacionales por la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil y posee dos títulos de maestría: uno en Análisis y Visualización de Datos Masivos, y otro en Tecnologías de la Información y la Comunicación aplicadas a la Educación. Cuenta con más de diez años de experiencia en docencia

universitaria, en modalidades presencial y virtual, ha participado en proyectos interdisciplinarios centrados en inteligencia artificial, agricultura de precisión, sistemas de información y educación digital. Ha trabajado además como consultora técnica en la implementación de plataformas tecnológicas para instituciones académicas y organismos gubernamentales. Entre sus funciones anteriores, destaca su participación en el área de investigaciones del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), colaborando en proyectos interinstitucionales financiados por la SENESCYT, así como su labor como capacitadora externa en procesos de alfabetización digital. <https://orcid.org/0000-0003-0708-1811>



GRACIELA SINCHE-GUZMÁN: Carrera Computación – Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Agraria del Ecuador. **Breve reseña:** Ingeniera en Computación e Informática y Magíster en Diseño y Gestión de Proyectos Tecnológicos. Con más de una década de experiencia en docencia universitaria y participación activa en congresos científicos, ha desarrollado proyectos centrados en el uso de tecnologías de la información para la solución de problemas en educación, salud y agricultura. Su principal área de especialización es el desarrollo de aplicaciones web y móviles, destacándose

por su capacidad para integrar conocimientos técnicos con necesidades reales del entorno. Ha sido autora de artículos científicos publicados en revistas indexadas en SCOPUS, abordando temáticas como agrotecnología, monitoreo ambiental y transformación digital. Su enfoque profesional combina la innovación tecnológica

con el compromiso académico, promoviendo el uso estratégico de las TIC en procesos formativos y de gestión. Actualmente se desempeña como docente investigadora en instituciones de educación superior del Ecuador.

<https://orcid.org/0000-0003-1480-0263>



VANESSA VERGARA-LOZANO: Ingeniera en Estadística e Informática y Magíster en Gestión de la Productividad y Calidad por la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Se ha desempeñado como docente universitaria desde 2014 en la Universidad Agraria del Ecuador, donde imparte asignaturas en el área de Estadística, Matemáticas y Calidad. Su trayectoria académica incluye más de 15 años de experiencia combinada en los sectores educativo, industrial y de telecomunicaciones. Ha participado en proyectos de investigación aplicada relacionados con la mejora

de procesos y la gestión de datos ambientales. Es autora y coautora de artículos científicos publicados en revistas indexadas en Scopus, enfocados en ciencia de datos, productividad y calidad organizacional. Su labor académica se complementa con una sólida formación en auditoría ISO 9001, gestión de riesgos y metodologías estadísticas. Su enfoque integra la excelencia académica con la mejora continua y la innovación educativa.

<https://orcid.org/0000-0002-0644-5946>



MICHELL VÁSQUEZ-BERMUDEZ: Breve reseña: Investigador y docente con una sólida trayectoria en el campo de la computación y la informática. Actualmente, ejerce su labor en la Universidad Agraria del Ecuador y la Universidad de Guayaquil. Su formación académica incluye un Máster en Teleinformática y Redes de Computadoras y un Máster en Gerencia Educativa. Sus diversas áreas de investigación abarcan la tecnología

educativa, el trabajo colaborativo, el networking, el Internet de las Cosas (IoT) y los sistemas de información geográfica. Ha realizado importantes contribuciones a través de sus publicaciones, explorando temas como herramientas de visualización para sistemas colaborativos y la gestión del conocimiento en el ámbito educativo. Su vasta experiencia y conocimientos son cruciales para impulsar el avance tecnológico en la región.

<https://orcid.org/0000-0001-8157-8549>



KARINA REAL-AVILÉS: Ingeniera en Sistemas Computacionales con trayectoria en investigación afiliada a la Universidad Agraria del Ecuador es una destacada autora e investigadora afiliada a la Universidad Agraria del Ecuador y a la Universidad de Guayaquil. Con especialidad en Inteligencia de Negocios y Análisis de datos masivos, las contribuciones académicas se centran en áreas clave de la tecnología y la educación, abarcando temas como la inteligencia artificial, la gestión del conocimiento y la aplicación

de tecnologías en procesos educativos. A través de artículos y publicaciones, se explora la intersección entre la innovación tecnológica y el desarrollo académico, consolidándose como una voz relevante en la investigación contemporánea.

<https://orcid.org/0000-0002-9630-3422>

INTEGRACIÓN DE

SISTEMAS DE INFORMACIÓN

CON TECNOLOGÍAS ABIERTAS PARA
EL MONITOREO EN ESTACIONES
METEOROLÓGICAS UNIVERSITARIAS



www.aternaeditora.com.br 

contato@aternaeditora.com.br 

[@aternaeditora](https://www.instagram.com/aternaeditora) 

www.facebook.com/aternaeditora.com.br 



Universidad
Agraria
del Ecuador

Atena
Editora
Año 2025

INTEGRACIÓN DE

SISTEMAS DE INFORMACIÓN

CON TECNOLOGÍAS ABIERTAS PARA
EL MONITOREO EN ESTACIONES
METEOROLÓGICAS UNIVERSITARIAS



www.aternaeditora.com.br 

contato@aternaeditora.com.br 

[@aternaeditora](https://www.instagram.com/aternaeditora) 

www.facebook.com/aternaeditora.com.br 



Universidad
Agraria
del Ecuador

Atena
Editora
Año 2025