



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 períodos 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



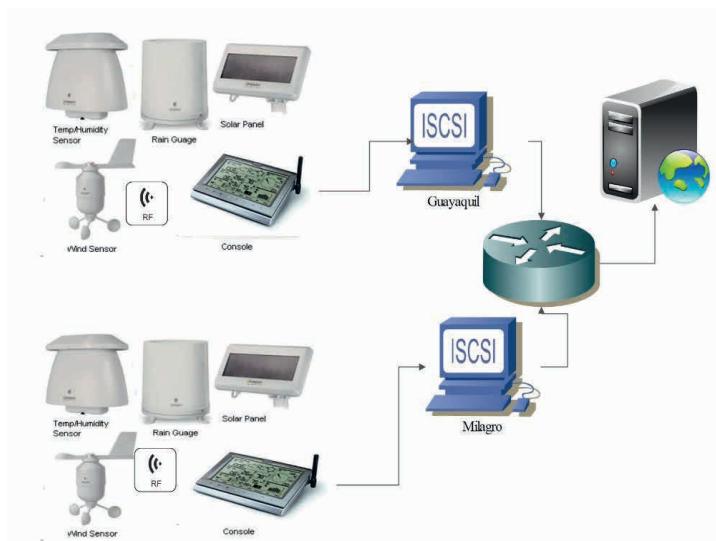
Nota: La imagen ilustra de manera esquemática la arquitectura del sistema de monitoreo ambiental basado en sensores remotos. El diagrama representa las etapas clave del flujo de datos, desde la captura hasta la visualización.

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)

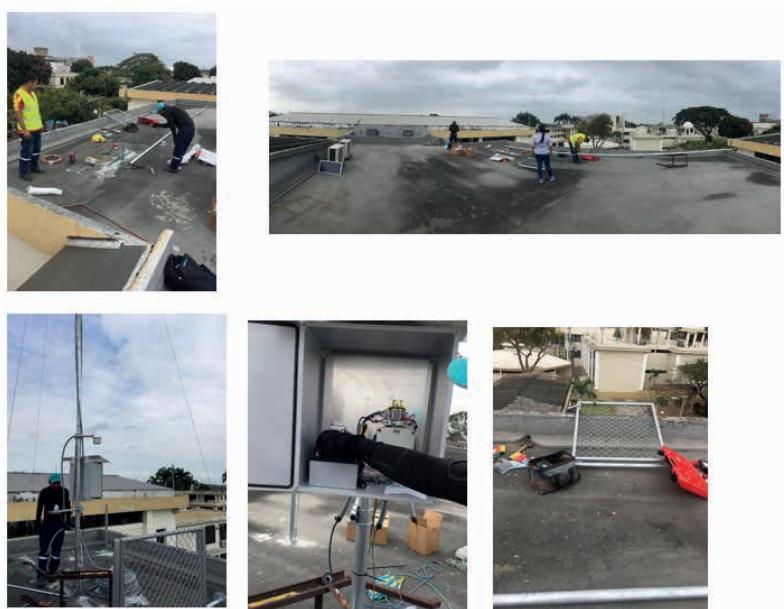
Las estaciones meteorológicas fueron ensambladas sobre torres metálicas de aproximadamente 2,5 metros de altura, diseñadas y ubicadas estratégicamente conforme a los criterios de exposición establecidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), los cuales consideran factores como la altura sobre 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 períodos 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 ($^{\circ}\text{C}$), 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 ($^{\circ}$), por medio de anemómetros ultrasónicos y veletas digitales.
- | Precipitación (mm), a través de pluviómetros de balancín con calibración automática.

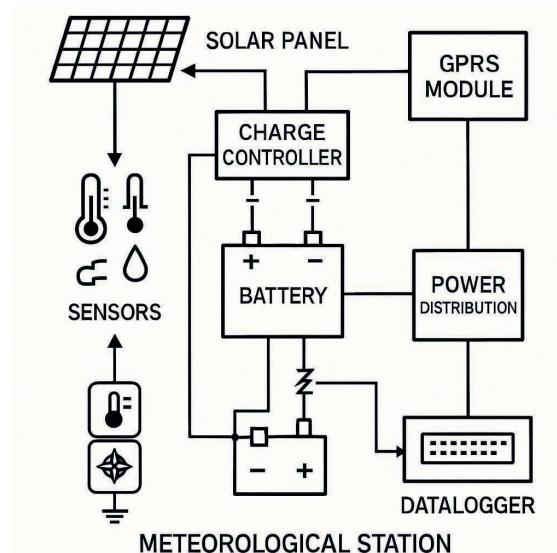
Además de los sensores meteorológicos, cada estación fue equipada con un datalogger con sistema embebido, el cual cumple funciones críticas para la gestión y resguardo de la información recolectada. Este componente permite el almacenamiento temporal de los datos en memoria local en caso de interrupciones 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.

La Figura 5 ilustra el diagrama funcional de una estación meteorológica autónoma, diseñada para operar de manera continua y confiable en entornos remotos. El sistema se basa en una arquitectura energética autosuficiente, en la que un panel solar fotovoltaico alimenta un controlador de carga que regula la energía almacenada en una batería de respaldo. Esta energía acumulada sustenta el funcionamiento ininterrumpido de los sensores atmosféricos, el módulo de transmisión GPRS, el sistema de distribución de energía y el datalogger embebido, encargado del almacenamiento local y la gestión de los registros meteorológicos.

Figura 5 - Conexión eléctrica



Nota: La imagen ilustra el esquema funcional de una estación meteorológica automática con sistema de alimentación solar y comunicación remota, diseñada para operar en entornos sin conexión eléctrica permanente.

Fuente: Autores (2025)

En la sede Milagro, la estación se ubicó estratégicamente en un área despejada, con baja interferencia electromagnética y sin obstrucción de horizonte, siguiendo el protocolo de posicionamiento para redes meteorológicas agrícolas.

Esta etapa marcó el inicio de una red operativa de monitoreo continuo, confiable y científicamente validada, cumpliendo con los principios de calidad de datos, redundancia operacional y trazabilidad científica. Asimismo, se estableció un cronograma de mantenimiento preventivo bimestral para verificar integridad estructural, calibración y limpieza de sensores, garantizando así la sostenibilidad del sistema en el mediano y largo plazo.

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(Ramirez & 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.

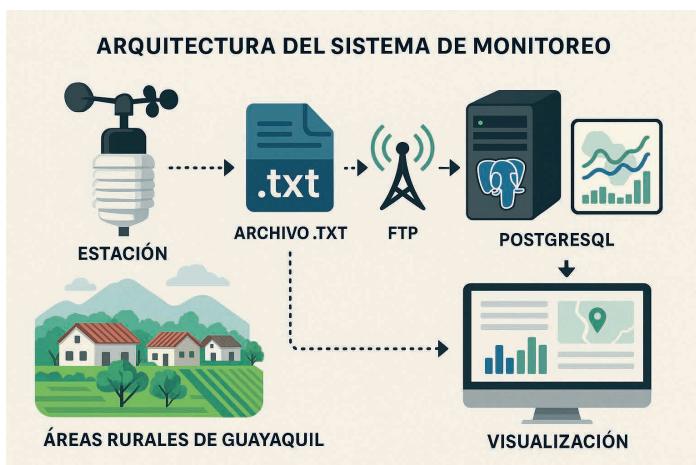


Nota: La imagen compuesta muestra una serie de fotografías detalladas del proceso de revisión, ensamblaje y prueba de los componentes que integran una estación meteorológica automática, previo a su instalación en campo.

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 alterno, 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

- 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.
- Pruebas de estanqueidad: Con aire comprimido a baja presión se realiza un testeo de sellado en las uniones de carcasa para detectar filtraciones de agua y polvo. Cualquier indicio de humedad interna obliga a un desensamblaje parcial para limpieza y Re estanqueidad.
- 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

- 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).
- 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.
- 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 %.

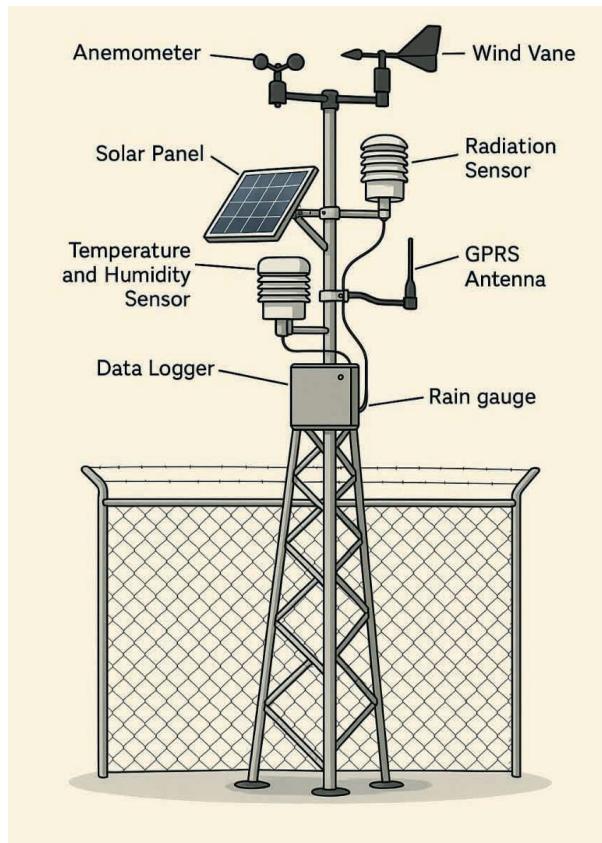
Conectividad del módulo GPRS

- █ 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.
- █ 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.
- █ 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

- █ 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.
- █ 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.
- █ Revisión del pararrayos y conexión a tierra: Se mide la resistencia de puesta a tierra con telurómetro; debe ser <10 Ω. Se testea el conductor de bajada con ensayo de deriva continua para garantizar que las corrientes de rayo se disipen correctamente.
- █ 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 períodos 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

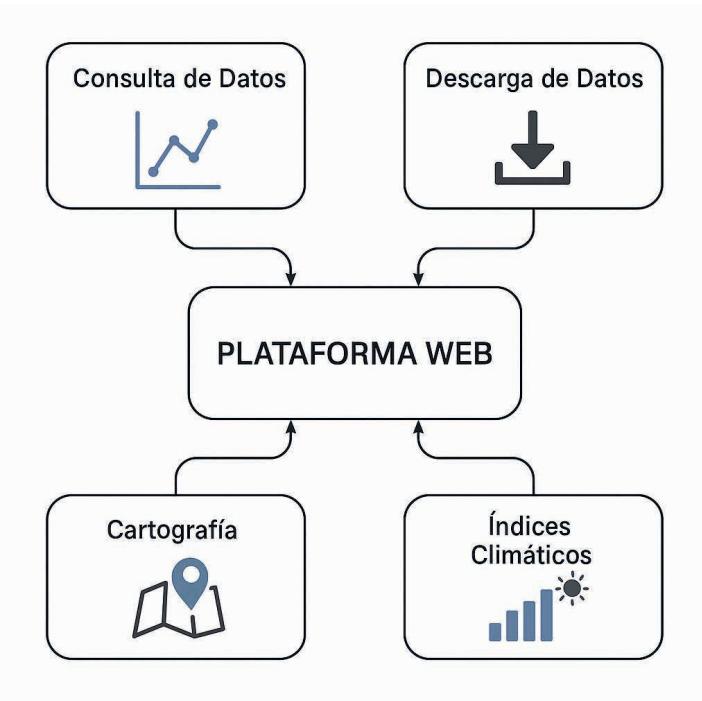
Carrera Computación – Facultad de Ciencias Agrarias “Dr. Jacobo Bucaram Ortiz”
Universidad Agraria del Ecuador

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*

Variables medidas



Temperatura



Humedad



Radiación



Índice UV



Viento



Precipitación

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

Nº	Factores	Forma de Acceso	Requerimientos Funcionales				Presentación de Resultados				
			Herramientas	Libre	Rendimiento	Usabilidad	Intuitividad	Consistencia	Exactitud	Integridad	Estabilidad
1	Leaflet	1		1	0.8	0.8	1	0.7	0.7	1	0.8
2	Django-wms framework	1		0.8	0.9	0.9	0.7	0.8	0.9	1	0.9
3	Mapserver	1		1	0.8	0.8	0.8	0.9	1	1	0.9
4	Geozilla - geoforce	1		0.7	0.9	0.9	0.85	0.8	1	0.7	0.7
5	Arcmap	0		1	1	1	0.9	0.9	0.9	0.8	1
6	Mathworks-wmsread	0		1	1	1	1	1	1	1	1
7	Python-Based Web Mapping Service	1		0.8	0.9	0.9	0.7	0.9	0.9	1	0.9
8	QGIS server	1		1	0.5	0.5	0.5	0.9	0.9	1	0.9
9	GeoCommons	0		1	0.7	0.7	0.5	0.7	0.8	0.9	0.8
10	Tableau	0		1	1	1	1	1	1	1	1
11	Geoserver	1		1	1	1	0.8	0.9	1	1	1
12	Api-Google	1		1	0.8	0.8	1	0.7	1	0.5	1
13	TileStache	1		0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.9	0.8
14	TileCache	1		0.8	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	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	MapViewner	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

Herramienta	DATOS NORMALIZADOS								
	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	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.

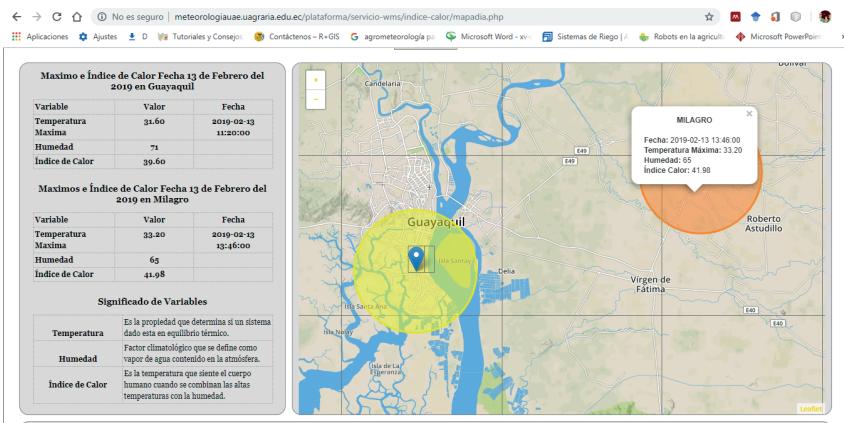
Datos visualizados

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.

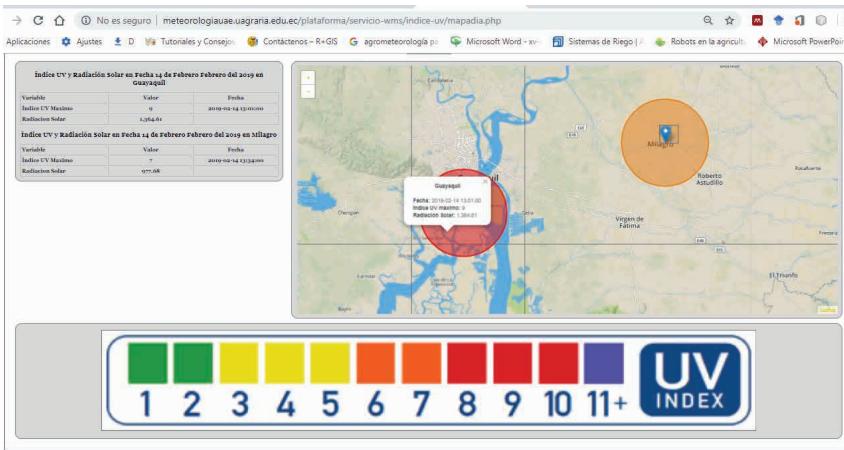
Figura 11. - Representación del índice de calor



Nota: La imagen muestra una interfaz web perteneciente al portal meteorológico de la Universidad Agraria del Ecuador (URL: meteorologiaue.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



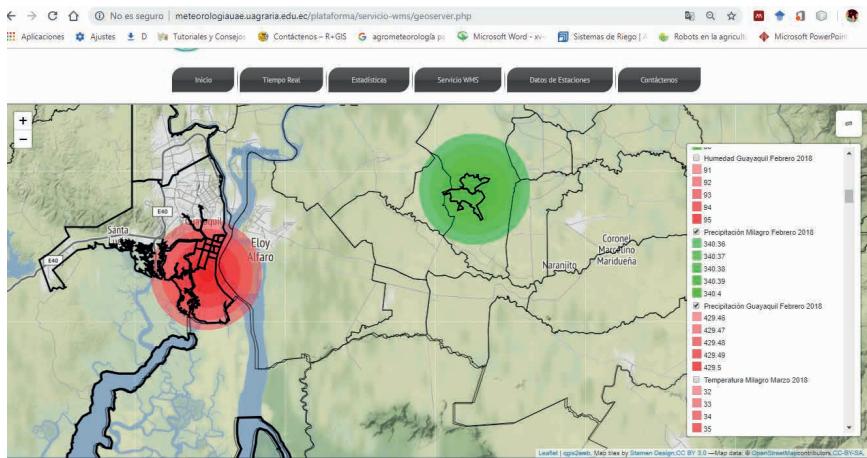
Nota: La imagen corresponde a una interfaz web educativa del portal de meteorología de la Universidad Agraria del Ecuador, orientada a la visualización del Índice UV y Radiación Solar. La URL visible (índice-uv) indica que la información se refiere a datos ambientales relacionados con la exposición a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

- | IC: Índice de calor aproximado ($^{\circ}\text{C}$).
- | T: Temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$).
- | RH: Humedad relativa (%).
- | V: 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.

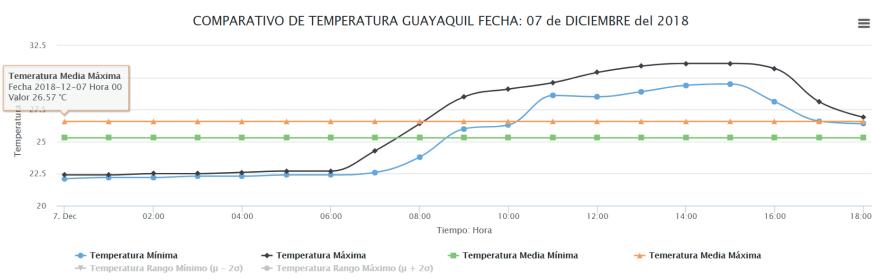
Figura 15. - Estadística seleccionando el día



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

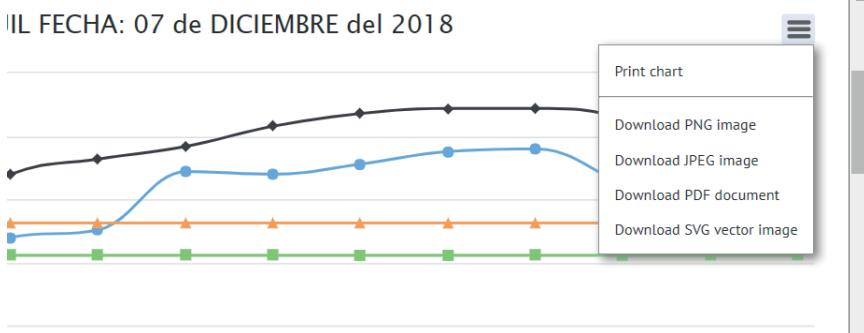


Nota: La imagen presenta un gráfico de líneas que muestra la evolución horaria de diferentes parámetros de temperatura registrados por la estación meteorológica de Guayaquil el día 07 de diciembre de 2018. Este gráfico forma parte de la plataforma web de monitoreo climático de la Universidad Agraria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

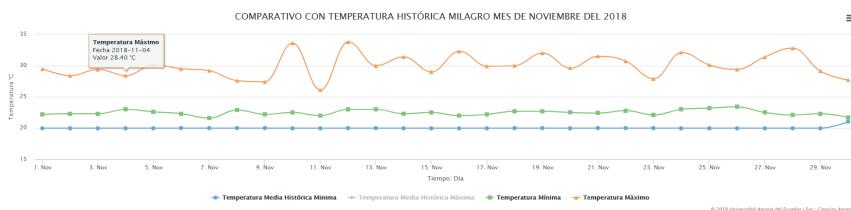


Nota: La imagen muestra la interfaz del módulo de consulta mensual de estadísticas climáticas de la estación meteorológica de Guayaquil, desarrollado por la Universidad Agraria del Ecuador, a través de su plataforma institucional de monitoreo ambiental.

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)

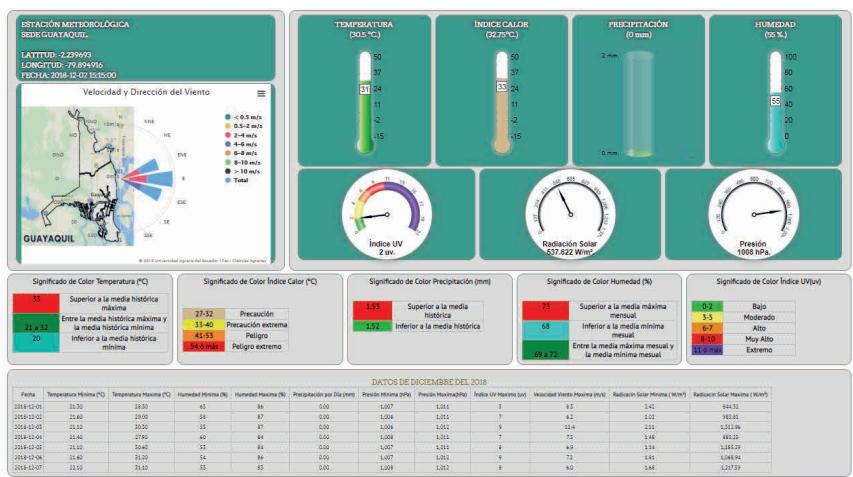
Menú de Opciones

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

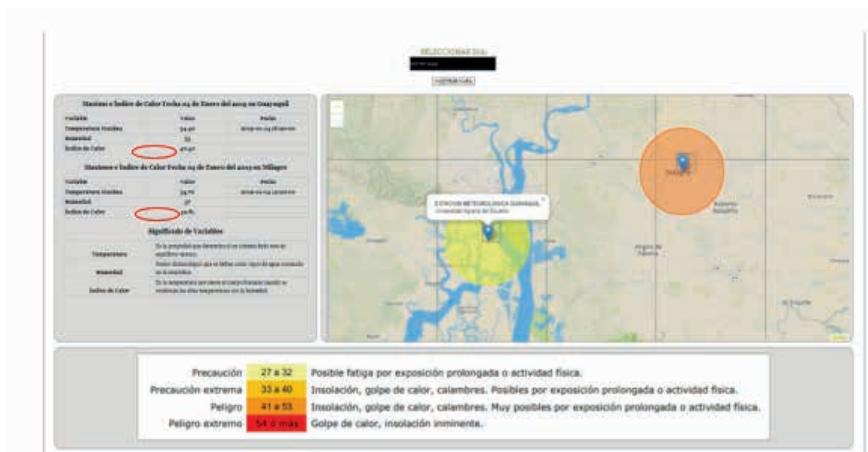
Los servicios Web Map (WMS) permiten generar mapas de datos referenciados espacialmente, de forma dinámica a partir de información geográfica, en este caso los mapas que genera el sistema son respecto al Índice de Calor e Índice UV, los mismos que pueden ser visualizados por día, mes o año, especificando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

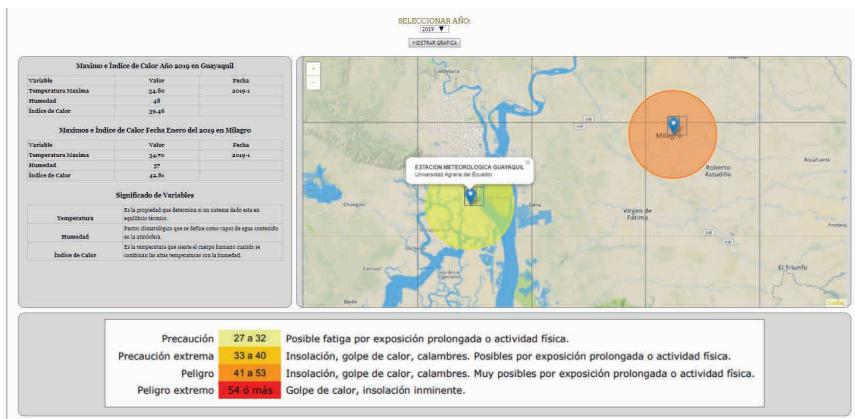
Figura 27. - Índice de calor por mes



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



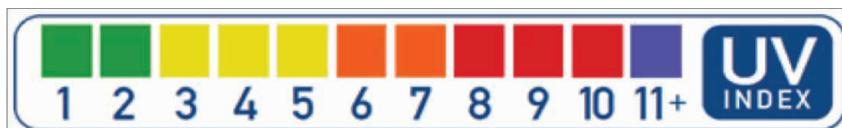
Nota: La imagen muestra un módulo interactivo de la plataforma de monitoreo climático de la Universidad Agraria del Ecuador, orientado a la visualización de los valores máximos anuales del índice de calor registrados en las estaciones de Guayaquil y Milagro durante el año 2019.

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.

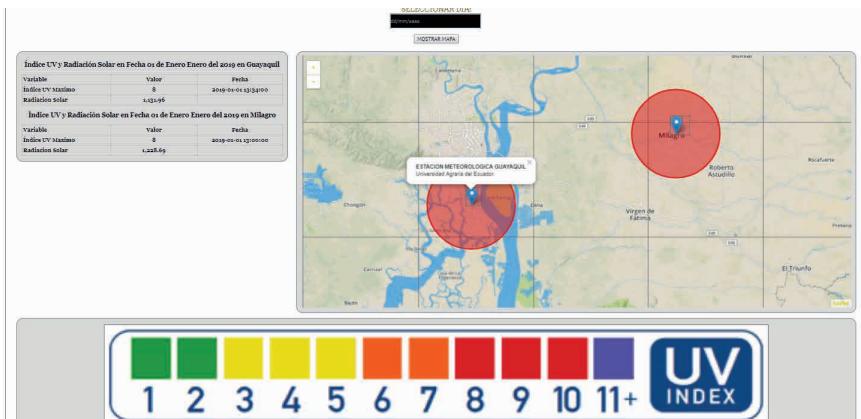


Nota: La imagen representa la escala de valores del Índice de Radiación Ultravioleta (UV Index), una herramienta internacionalmente utilizada para informar al público sobre el nivel de radiación UV solar y su potencial impacto en la salud humana.

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.

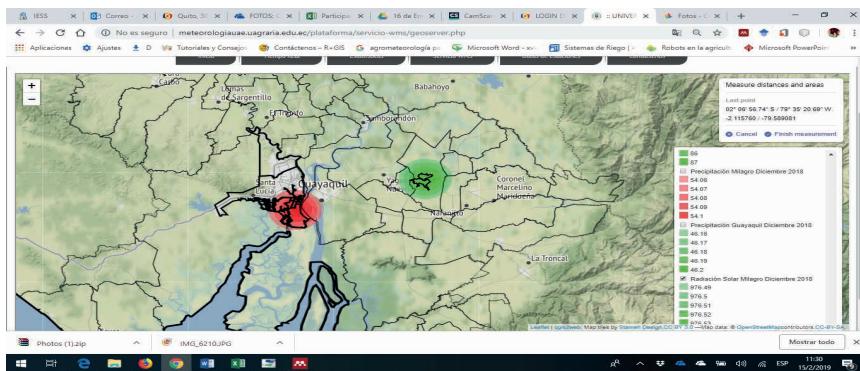
Fuente: Autores (2025)

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)