



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 htop, 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.

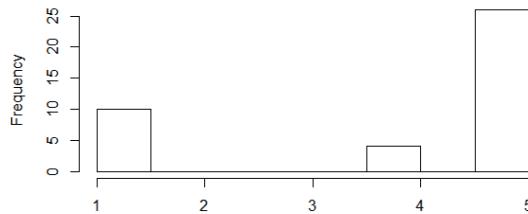
Uso en prácticas académicas: 65 % de los docentes manifestó haber utilizado la plataforma en al menos una asignatura.

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

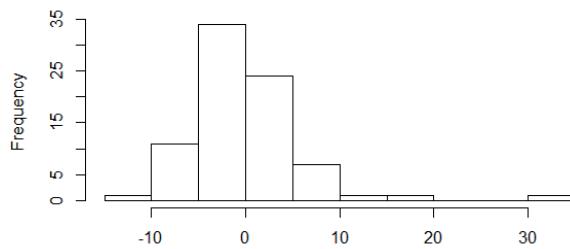


Nota: La imagen muestra un histograma de frecuencias que representa la distribución de respuestas en una escala ordinal de 1 a 5, comúnmente utilizada en encuestas tipo Likert para medir niveles de acuerdo, satisfacción o percepción.

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



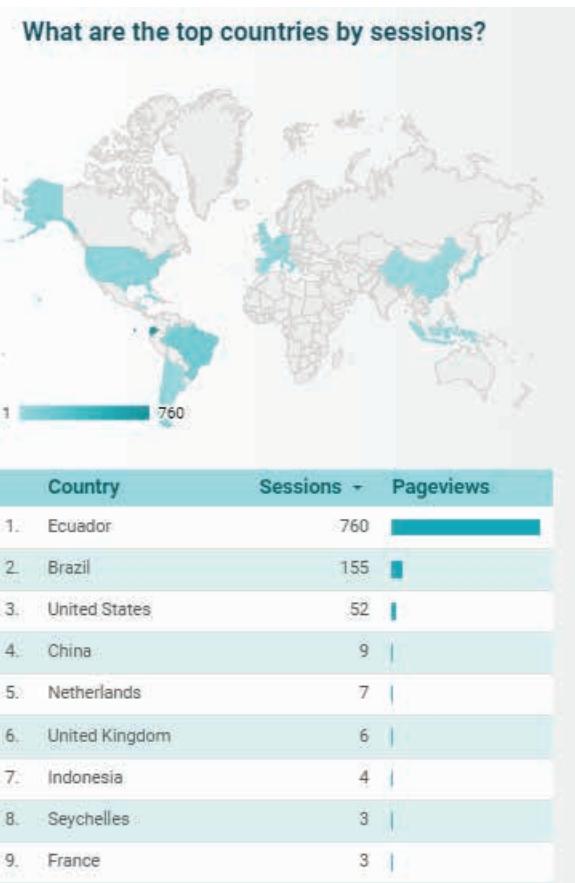
Nota: La imagen muestra un histograma de frecuencias que representa la distribución de una variable cuantitativa continua, posiblemente de tipo numérico.

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

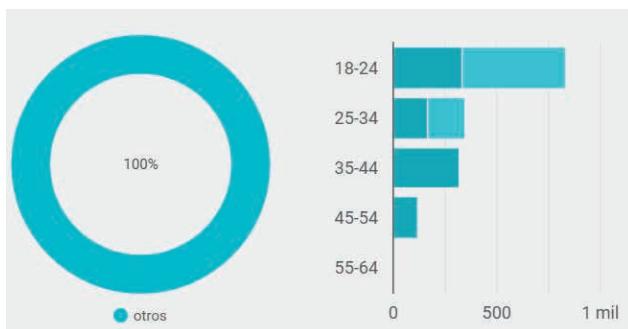


Nota: La imagen muestra indicadores clave sobre el comportamiento de los usuarios que accedieron a una plataforma digital, segmentados según el tipo de dispositivo utilizado y la condición de usuarios nuevos o recurrentes.

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	# 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 meteorológicas (Productividad)	Población que tiene acceso a la información meteorológica
	Eficiencia	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
	Eficacia	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
	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:

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

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:

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

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)

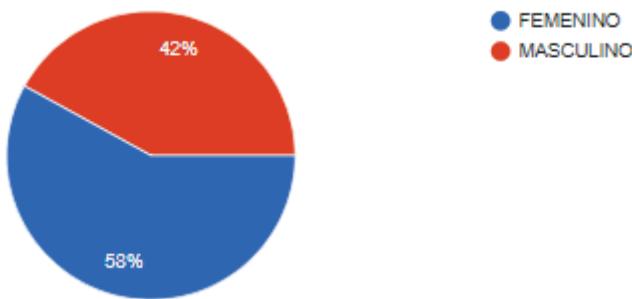
Una vez finalizado el periodo de valoración de impacto se presentan resultados de las encuestas aplicadas

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*

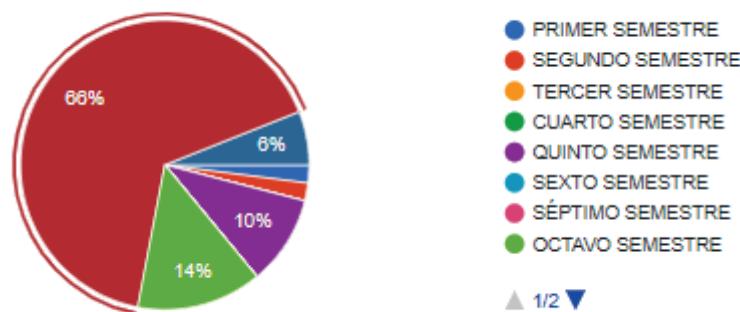


Nota: El gráfico circular representa la distribución porcentual por género de una muestra poblacional, posiblemente correspondiente a estudiantes o docentes vinculados a una investigación o estudio institucional.

Fuente: Autores (2025)

2. 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)

3. 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

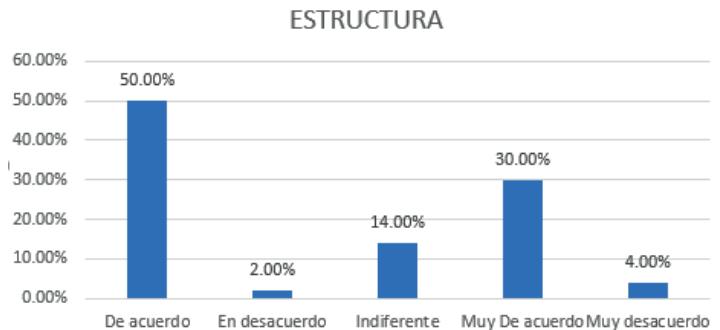


Nota: El gráfico de barras ilustra los resultados de una encuesta aplicada a usuarios sobre el nivel de acuerdo respecto a la intuitividad del sistema evaluado, es decir, qué tan fácil y comprensible resulta su uso sin necesidad de instrucciones extensas.

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*

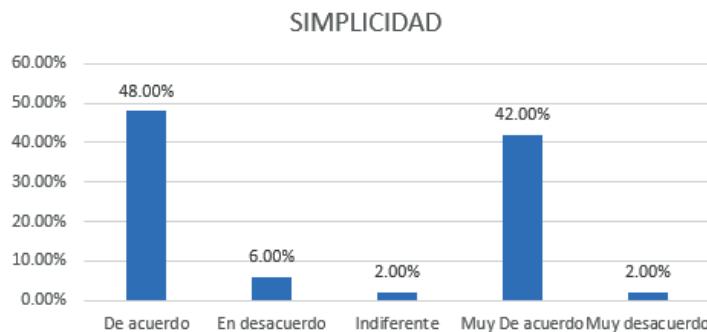


Nota: El gráfico de barras representa la distribución porcentual de las respuestas emitidas por los usuarios respecto a la estructura del sistema, entendida como la organización, disposición lógica de los contenidos, claridad jerárquica y facilidad de navegación.

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*

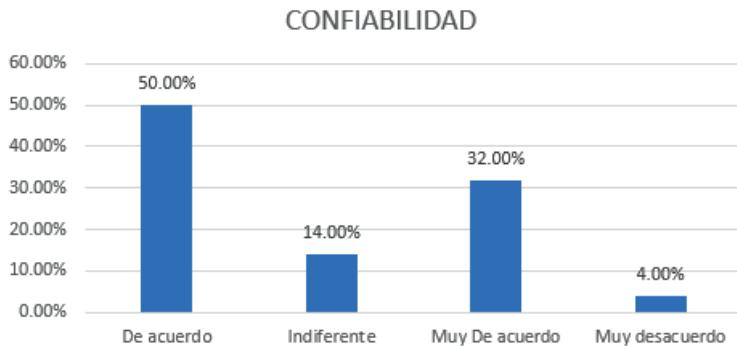


Nota: El gráfico de barras muestra los resultados de la evaluación realizada por los usuarios respecto a la simplicidad del sistema, entendida como la facilidad de uso, claridad en la navegación y ausencia de complejidad innecesaria.

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.

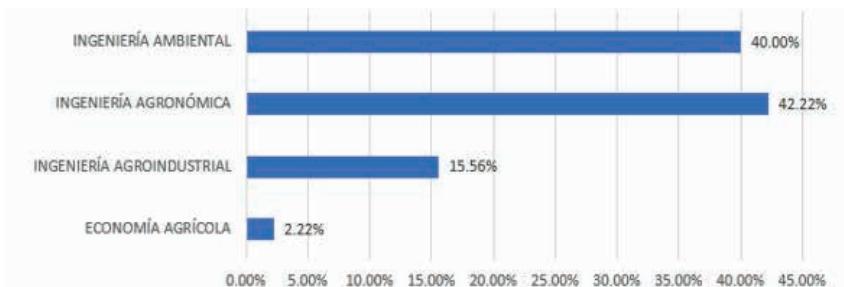
Fuente: Autores (2025)

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

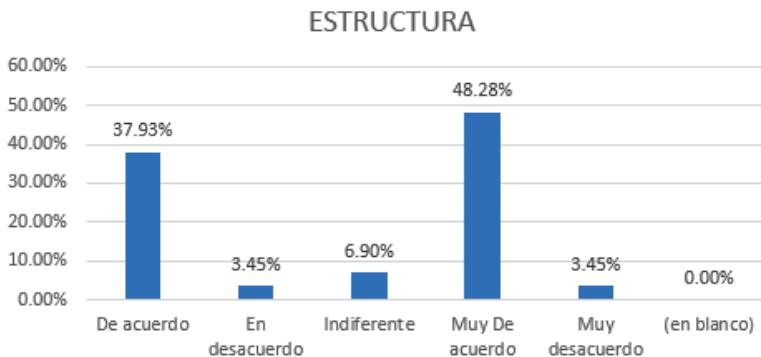


Nota: El gráfico de barras muestra los resultados de una encuesta aplicada a los usuarios para conocer su percepción sobre la intuitividad del sistema, es decir, qué tan fácil resulta comprender y utilizar la plataforma sin necesidad de instrucciones detalladas.

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.

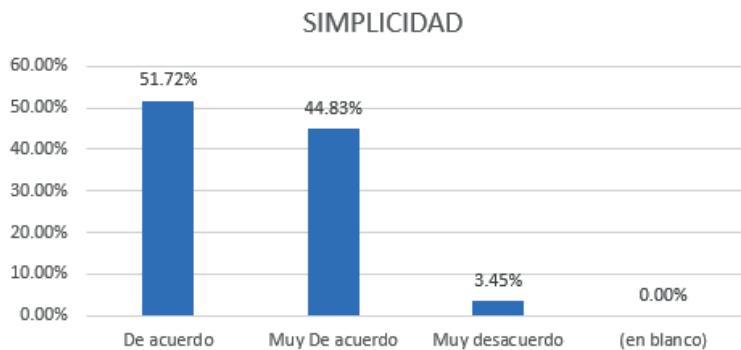


Nota: El gráfico de barras muestra los resultados obtenidos respecto a la percepción de los usuarios sobre la estructura del sistema, entendida como la organización, secuencia lógica y claridad de los componentes o secciones de la plataforma.

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.

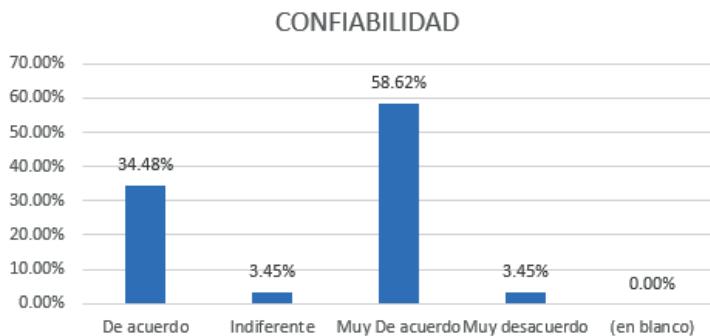


Nota: El gráfico de barras muestra los resultados de la encuesta aplicada a los usuarios respecto a la simplicidad del sistema, entendida como la facilidad de comprensión, navegación y ejecución de tareas sin complejidad innecesaria.

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*



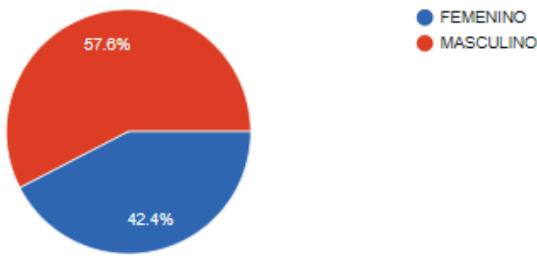
Nota: El gráfico de barras expone los resultados de la encuesta aplicada para valorar la confiabilidad del sistema, entendida como la capacidad del mismo para operar correctamente, entregar resultados consistentes y generar seguridad en el usuario.

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*

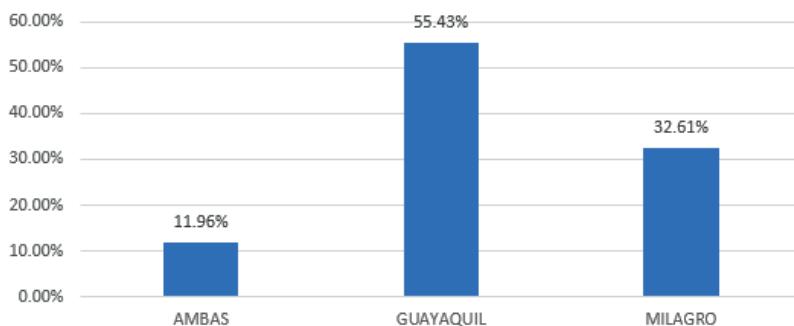


Nota: El gráfico circular representa la distribución porcentual por género de los participantes que conforman la muestra del estudio. Se observa que el 57,6 % corresponde al género masculino (color rojo), mientras que el 42,4 % corresponde al género femenino (color azul).

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.*



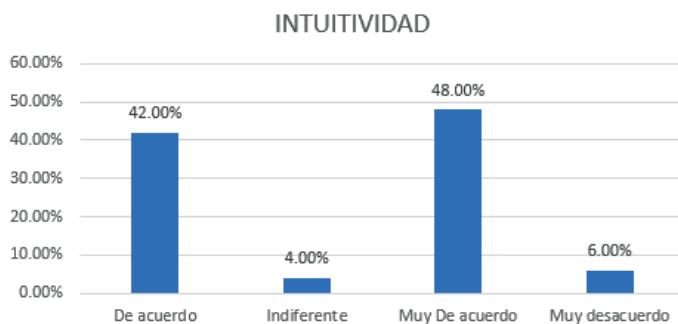
Nota: El gráfico de barras muestra la distribución porcentual de los participantes en función de la sede académica a la que están adscritos dentro del estudio.

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*

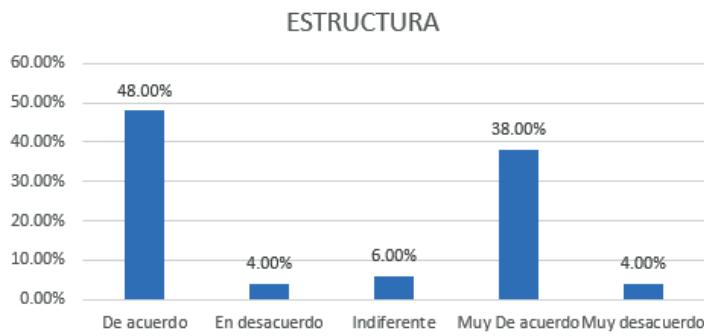


Nota: El gráfico de barras muestra los resultados de la percepción de los usuarios sobre la intuitividad del sistema, entendida como la facilidad con la que puede ser utilizado sin necesidad de instrucciones extensas.

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

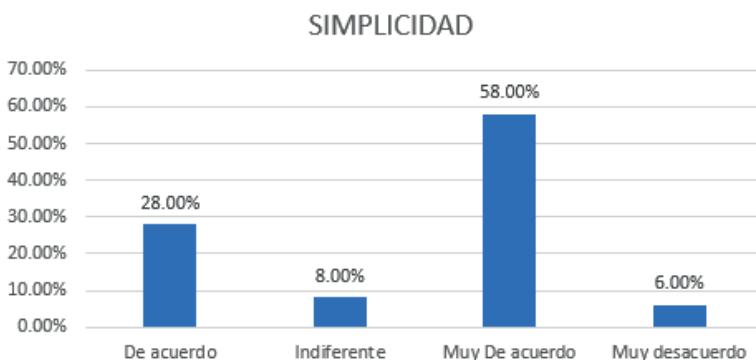


Nota: El gráfico de barras ilustra la percepción de los usuarios respecto a la estructura del sistema, entendida como la organización, disposición lógica y jerarquía de los elementos y funcionalidades.

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

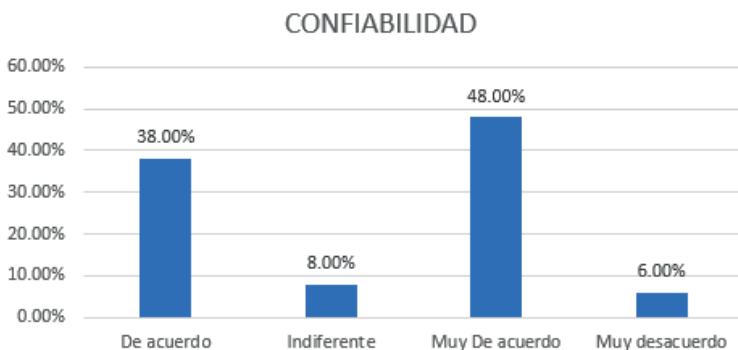


Nota: El gráfico de barras presenta los resultados de la percepción de los usuarios sobre la simplicidad del sistema, entendida como la facilidad de uso, claridad en su funcionamiento y ausencia de complejidad innecesaria.

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

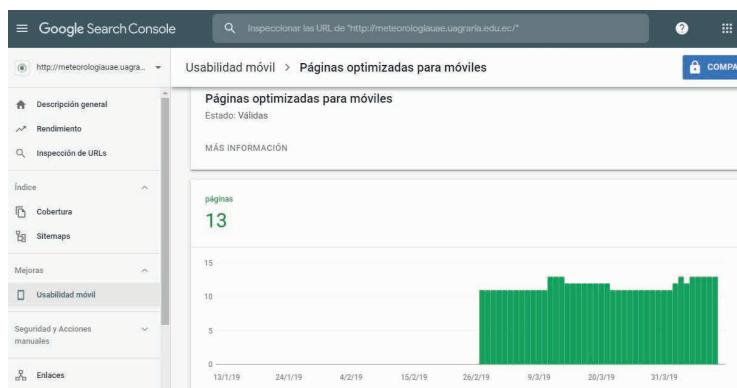


Nota: El gráfico presentado muestra la evolución del número de usuarios activos de una plataforma durante un período de 30 días, diferenciando las métricas en función del uso mensual, semanal y diario.

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



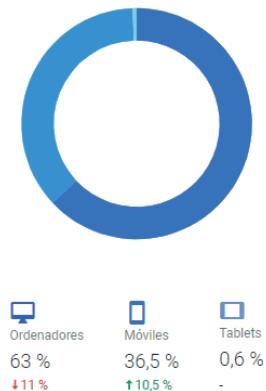
Nota: La imagen muestra un reporte de la herramienta Google Search Console que evalúa la usabilidad móvil del sitio web de la Universidad Agraria del Ecuador, específicamente en el apartado de "Páginas optimizadas para móviles".

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

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 ± 0.5 °C en temperatura y ± 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., Zavantis, D., Shakshuki, E., & Yasar, A. (2024). Cloud Computing Security and Deep Learning: An ANN approach. *Procedia Computer Science*, 231, 40–47. <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/matecconf/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., Rajshekhar, 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., Elkhatib, 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>