

Diseño de un sistema de monitoreo climático inteligente con integración de sensores para la recolección de datos en tiempo real

Marco José Lanziano Barrera

Asesor

Felipe Alexander Pipicano Guzman

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnologías e Ingenierías ECBTI

Especialización en Ciencia de Datos y Analítica

2024

Nota de Aceptación

Felipe Alexander Pipicano Guzmán

Director de Trabajo de Grado

Isaac Camargo Freile

Jurado

Dedicatoria

A mi madre, a mis hijos, por su amor incondicional, su apoyo inquebrantable y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. A mi director de trabajo de grado, por su guía y compromiso en cada etapa de este proyecto, aportando siempre valiosas ideas para su desarrollo. Y a todos aquellos que ven en la innovación tecnológica una herramienta clave para comprender y adaptarnos mejor a los cambios climáticos, promoviendo la integración de sistemas que transforman datos en conocimiento para la toma de decisiones informadas.

Agradecimientos

Este trabajo no habría sido posible sin el respaldo de mi madre, quien con su apoyo incondicional y motivación constante me brindó la fortaleza necesaria para afrontar cada desafío.

Su confianza en mí ha sido el pilar de este logro.

Agradezco profundamente la existencia de iniciativas que promueven el acceso a datos abiertos, como las bases de datos públicas utilizadas en este proyecto. Estos recursos son esenciales para el desarrollo de soluciones tecnológicas y científicas, especialmente en la lucha contra el cambio climático, al permitir la recopilación y análisis de datos que nos ayuden a entender mejor estos fenómenos globales.

Finalmente, agradezco la oportunidad de haber podido llevar a cabo esta idea de manera independiente, reflejando mi esfuerzo y dedicación personal en cada etapa del proceso. Este proyecto busca contribuir al uso de la tecnología para la recopilación y análisis eficiente de datos en tiempo real, con el fin de generar información relevante para enfrentar los desafíos del cambio climático.

Resumen

El cambio climático está afectando drásticamente a la región del Catatumbo alterando sus lluvias y temperatura, las comunidades que prosperan en estas tierras aprovechando sus recursos naturales se enfrentan a crecientes dificultades debido a los rápidos cambios climáticos, por lo que este impacto no solo afecta su calidad de vida sino también la biodiversidad única de la región. En respuesta a este desafío, el objetivo principal es el diseño de un sistema de monitoreo climático inteligente que integre sensores para la recolección de datos en tiempo real, con el fin de la optimización de la toma de decisiones relacionadas con el clima. Los resultados muestran la presencia de climas específicos y variaciones significativas que influyen directamente en sectores clave como la agricultura y la economía local. Asimismo, se identificó una tendencia preocupante de aumento sostenido en las temperaturas, lo que resalta la necesidad de tomar medidas de adaptación y mitigación a largo plazo. Este estudio no solo contribuye al conocimiento sobre el comportamiento climático regional, sino que también ofrece una base sólida para la formulación de políticas ambientales efectivas y futuras investigaciones en la región.

Palabras claves: Cambio climático, Monitoreo climático, Sensores, Recolección de datos, Catatumbo.

Abstract

Climate change is drastically affecting the Catatumbo region by altering its rainfall and temperature, the communities that thrive in these lands taking advantage of their natural resources are facing increasing difficulties due to the rapid climate changes, so this impact not only affects their quality of life but also the unique biodiversity of the region. In response to this challenge, the main objective is the design of an intelligent climate monitoring system that integrates sensors for real-time data collection, in order to optimize climate-related decision making. The results show the presence of specific climates and significant variations that directly influence key sectors such as agriculture and the local economy. A worrying trend of sustained temperature increase was also identified, highlighting the need for long-term adaptation and mitigation measures. This study not only contributes to knowledge about regional climate behavior, but also provides a solid basis for the formulation of effective environmental policies and future research in the region.

Keywords: Climate change, Climate monitoring, Sensors, Data collection, Catatumbo.

Tabla de Contenido

Glosario.....	12
Introducción	14
Planteamiento del Problema	16
Justificación	18
Objetivos.....	20
Objetivo General	20
Objetivos Específicos.....	20
Marco Referencial.....	21
Marco Histórico	21
Antecedentes	22
Antecedentes Internacionales	22
Antecedentes Nacionales.....	24
Marco Teórico.....	27
Conceptos, Fundamentos Teóricos.....	28
Marco Conceptual	29
Impacto Regional	31
Marco Normativo	32
Normativa Nacional	32
Normativa Internacional.....	33
Normativa en Ciencia de Datos y Tecnologías	33
Lineamientos Regionales y Locales	34
Metodología	35

Estructura y Diseño del Sistema de Monitoreo Climático	35
Recolección de Datos en Tiempo Real	35
Análisis Preliminar.....	36
Preprocesamiento y Limpieza de los Datos	37
Limpieza y Estandarización de Datos	38
Análisis de Datos	42
Diseño de un Sistema de Monitoreo Climático	43
Resultados	43
Descripción Objetivos Específicos	52
Analizar los Aspectos Fundamentales del Cambio Climático en Ocaña y la Región, Incluyendo sus Causas, Efectos y Posibles Soluciones	52
Estructurar la Arquitectura del Sistema de Monitoreo Climático, Especificando los Componentes Necesarios, como Sensores, Dispositivos de Comunicación y Plataformas de Procesamiento de Datos	54
Desarrollar un Modelo Detallado de Integración de Sensores y Dispositivos, Delineando el Flujo de Datos Desde la Recolección Hasta el Análisis en Tiempo Real	56
Conclusiones	61
Recomendaciones	62
Referencias Bibliográficas	63

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Función y Detalles de los Componentes del Proyecto</i>	58
--	----

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Visualización del Dataset Original sin Procesamiento Almacenado en MongoDB</i>	36
Figura 2 <i>Fragmento de Código Utilizado para la Importación del Dataset n Google Colab</i>	37
Figura 3 <i>Descripción Detallada del Conjunto de Datos Utilizado, Incluyendo su Origen, Estructura entre otros</i>	38
Figura 4 <i>Código para la Eliminación de Registros Irrelevantes y Conversión de Datos a Formatos Compatibles.....</i>	39
Figura 5 <i>Código para la Conversión de Datos y Eliminación de Valores Nulos</i>	39
Figura 6 <i>Código para la Estandarización de Texto, que Incluye Procesos como la Conversión a Minúsculas</i>	40
Figura 7 <i>Código para la Verificación de la Integridad de los Valores y la Descarga del Dataset Normalizado.....</i>	40
Figura 8 <i>Reporte Detallado que Describe el Proceso de Reorganización de Datos para Reducir la Redundancia y Mejorar la Integridad en una Base de Datos.</i>	41
Figura 9 <i>Dataset Normalizado, Donde los Datos han sido Transformados para Seguir un Formato Consistente y Estandarizado.....</i>	41
Figura 10 <i>Gráfico que Muestra la Variación de los Valores Observados en Función de la Fecha</i>	43
Figura 11 <i>Gráfica de Barras que Muestra la Variación de la Temperatura Observado a lo Largo del Tiempo</i>	44
Figura 12 <i>Código para Generar una Gráfica de Puntos que Muestra los Valores Mínimo, Máximo y Promedio Agrupados por Año de la Temperatura.....</i>	45

Figura 13 <i>Gráfica de Puntos que Muestra la Distribución de los Valores Mínimos, Máximos y Promedios de la Temperatura Registrados Anualmente</i>	46
Figura 14 <i>Código para Generar un Diagrama de Dispersión que Muestra la Variación de la Temperatura Observada a lo Largo del Tiempo</i>	46
Figura 15 <i>Diagrama de Dispersión que Muestra la Variación de la Temperatura Observada a lo Largo del Tiempo</i>	47
Figura 16 <i>Fragmento de Código Utilizado para Generar un Mapa de Calor Basado en la Latitud y Longitud</i>	48
Figura 17 <i>Mapa de Calor Generado a Partir de la Longitud y Latitud</i>	48
Figura 18 <i>Código para la Generación de un Mapa de Distribución Espacial, que Representa Visualmente la Dispersión Geográfica</i>	49
Figura 19 <i>Mapa de Distribución Espacial que Muestra la Ubicación Geográfica de los Puntos de la Estación Meteorológica</i>	50
Figura 20 <i>Código de Análisis Estadístico Descriptivo Básico, que Incluye el Cálculo y Presentación de Medidas de Tendencia Central</i>	50
Figura 21 <i>Análisis Estadístico Descriptivo Básico</i>	51
Figura 22 <i>Arquitectura del Sistema de Monitoreo Climático</i>	56
Figura 23 <i>Modelo Detallado de Integración de Sensores y Dispositivos</i>	59
Figura 24 <i>Diagrama que Ilustra el Flujo de Datos a Través del Sistema, Detallando cómo la Información se Recoge, Procesa y se Transmite</i>	60

Glosario

Cambio climático: Es la alteración a largo plazo en el clima global, provocada por la actividad humana, como la quema de combustibles, aumentando la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Sensor: Dispositivo encargado de detectar acciones exógenas, como temperatura, luz o presión, transformadas en señales eléctricas o digitales que puede ser medida o interpretada por otros dispositivos.

Monitoreo: Proceso de supervisar y medir diferentes parámetros o condiciones a lo largo del tiempo para evaluar el estado de un sistema o fenómeno.

Limpieza de datos: Proceso de reparar o eliminar datos erróneos, defectuosos, inexactos o irrelevantes de una base de datos.

Gases de efecto invernadero (GEI): Gases que aprisionan las altas temperaturas en la atmósfera, como el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxidos de nitrógeno (NO_x), ayudando al calentamiento global.

Big data: Conjunto de datos masivos y complejos que requieren herramientas avanzadas de procesamiento y análisis, utilizados en la recopilación y análisis de información.

Internet de las cosas (IoT): Red de dispositivos físicos interconectados a internet que recopilan, intercambian y procesan datos automáticamente para obtener información en tiempo real.

Adquisición de datos: Proceso de recopilación de datos mediante dispositivos como sensores o sistemas automatizados, generalmente para su posterior análisis y evaluación.

Análisis de datos: Proceso de interpretar datos recopilados a través de sensores u otras fuentes, con el fin de extraer conclusiones, identificar patrones y tomar decisiones informadas.

Automatización: Es la capacidad de utilizar la tecnología para realizar tareas sin intervención humana directa, como en el caso de los sensores que transmiten datos automáticamente.

Introducción

Desde los inicios de la Revolución Industrial, la temperatura en la Tierra ha aumentado rápidamente debido al incremento de gases de efecto invernadero provocadas por las labores humanas gracias a la quema de combustibles (gas, carbón y petróleo) y a esto se le suma la deforestación los cuales han alterado de forma drástica los patrones climáticos y han contribuido al calentamiento global estos efectos nocivos para el planeta afectan la estabilidad de los ecosistemas alterando los ciclos naturales de la región.

Actualmente, es complejo negar que experimentamos y padecemos los efectos del cambio climático en nuestro día a día, ya sea en mayor o menor grado. Desatando alteraciones de temperatura, tormentas extremas e inesperadas, sequías, inundaciones, incendios, plagas, desertificación y la pérdida de biodiversidad del ecosistema (Greenpeace, 2022). Estos cambios no solo afectan la población humana, sino también la fauna y flora ya que compromete el acceso al agua, el aumento de los desastres naturales y la producción de alimentos (Cepal, 2020).

Frente a estos retos la necesidad de desarrollar herramientas de monitoreo climático se vuelve cada vez más importante, un sistema de monitoreo climático avanzado permite obtener datos precisos en tiempo real ante variables climáticas siendo la implementación de estos sistemas una ayuda para la comprensión a fondo de los cambios a lo largo del tiempo, lo cual es fundamental para desarrollar tácticas de adaptación ante los cambios y mitigación para mantener la existencia humana, fauna y flora de la región.

Además, el monitoreo climático proporciona datos críticos para investigaciones científicas ya que los datos históricos obtenidos permiten no solo entender el comportamiento del clima pasado sino también permiten mejorar los modelos climáticos actuales los cuales se utilizan para pronosticar el comportamiento del clima a corto, mediano y largo plazo. Siendo

estos modelos fundamentales en regiones donde las condiciones climáticas pueden cambiar drásticamente. En la región del Catatumbo actualmente la temporada de lluvias ha aumentado el nivel de los ríos del Catatumbo, algodonal y Táchira generando desbordamientos que ocasionan daños significativos en vías de comunicación, áreas de cultivos y viviendas (RCN noticias, 2024) debido a esto, estos sistemas climáticos proporcionan proyecciones sobre aquellas condiciones climáticas futuras que pueden afectar la disponibilidad de recursos naturales, la infraestructura urbana y la salud de los ecosistemas.

En este contexto, el diseño de un sistema de monitoreo climático inteligente con integración de sensores para la recolección de datos en tiempo real se presenta como una solución importante, este permitirá la recolección precisa y continua de datos atmosféricos, proporcionando datos en tiempo real a partir de variables esenciales como lo son: la humedad, la temperatura y la velocidad del viento. La capacidad de detectar cambios climáticos de manera inmediata es importante para la preparación y mitigación de desastres naturales, debido a que se puede generar respuestas inmediatas y eficaces que pueden salvar vidas y reducir daños materiales. Para el desarrollo de este sistema, se utilizaron datos de sensores obtenidos de una base de datos pública de la estación de ideam. Asimismo, los datos recopilados por estos sistemas mejoran significativamente los modelos climáticos y las predicciones a largo plazo, apoyando la investigación científica y permitiendo un análisis más detallado del comportamiento del clima y sus tendencias. Siendo esta información invaluable para la creación de políticas ambientales, la proyección urbana y la gestión sostenible de recursos naturales, como el agua y los bosques. Al contar con datos precisos los responsables de tomar decisiones medioambientales pueden implementar políticas basadas en evidencia que protejan a la población promoviendo el uso de los recursos renovables ayudando a aplacar el impacto del cambio climático.

Planteamiento del Problema

El cambio climático es una problemática que no solo afecta a una región en particular, sino que se manifiesta a nivel mundial. Este fenómeno, impulsado por la actividad humana como la quema de combustibles y la deforestación, ha provocado alteraciones significativas en los patrones climáticos incrementando la constancia e intensidad de eventos meteorológicos extremos como sequías, inundaciones e incendios forestales (Naciones Unidas, 2024).

Un análisis reciente revela que el aumento de las temperaturas globales ha provocado un desplazamiento de al menos el doble de la cantidad de agua dulce desde las zonas cálidas hacia los polos terrestres, intensificando el ciclo del agua más allá de lo que se pensaba anteriormente. De acuerdo a estadísticas, el ciclo del agua se ha intensificado hasta en un 7.4 %, en comparación con estimaciones anteriores que oscilaban de un 2 a un 4%, de acuerdo con una investigación publicada en la revista Nature (Smith, 2023). El ciclo del agua describe el movimiento de la misma en la Tierra: se evapora, asciende a la atmósfera, se enfría y se condensa en forma de lluvia o nieve, y luego regresa a la superficie terrestre. Tradicionalmente, se tiende a pensar en este ciclo como un proceso inmutable que constantemente renueva nuestras fuentes de agua dulce como presas, lagos y acuíferos naturales (Gálvez, 2022).

En Colombia, a pesar de los esfuerzos implementados para la protección de los bosques y reservas naturales, miles de hectáreas de selva han sido destruidas, lo cual afecta gravemente la producción de oxígeno el cual es de suma importancia para la vida en el planeta. Esta degradación ambiental agrava la vulnerabilidad de los países ante los impactos del cambio climático (OIM, 2008), ya que al aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero aumenta el riesgo directo para la realización de sus metas de desarrollo sostenible. Por lo tanto, el gobierno colombiano considera prioritario abordar de manera urgente esta cuestión climática.

Así mismo, un suceso lamentable que debe destacarse es el incendio del páramo de Santurbán, ubicado en la región andina entre los departamentos de Santander y Norte de Santander, Colombia, ocurrió el pasado 22 de enero de 2024. Debido a los fuertes vientos presentados en la zona, un choque de líneas eléctricas generó la chispa inicial que desató un incendio de gran magnitud, dejando como resultado la quema de hectáreas de frailejones (El Espectador, 2024), los cuales son el principal pilar para la conservación del agua, al igual que este suceso, se reportaron más de 8 incendios de gran magnitud en el territorio nacional, varios de estos tuvieron un factor climático como inicio del fuego (Granados, 2024).

Por otro lado, la situación ambiental de Ocaña y la región es un tema de gran importancia, ya que posee un ecosistema único siendo un factor importante para la regulación climática local, lo que representa un desafío adicional debido a la carencia de datos exactos en tiempo real sobre las condiciones climáticas actuales dificulta de cierta manera la toma de decisiones informadas lo que agrava aún más el impacto del cambio climático en diversas comunidades, ya sean agrícolas, rurales, urbanas o en sectores económicos como el turismo (Ortega Contreras y otros, 2018).

Justificación

Debido a la necesidad de conocer y ejecutar efectivamente todo lo que está relacionado con el cambio climático y lo que conlleva a sus impactos tanto negativos como positivos, en distintos sectores se ha vuelto cada vez más primordial dar a conocer a todas las personas la importancia de los efectos y consecuencias que día a día van tomando mucha más fuerza, lo cual se ve reflejado en las altas temperaturas en diferentes parte del país, el descenso de los casquetes polares, el incremento de la desertización y las amenazas de los incendios forestales que se han venido presentando en estos últimos tiempos. Por esta razón el diseño de un sistema de monitoreo climático inteligente con integración de sensores se presenta como una solución fundamental.

Ya que, por medio de la recopilación de información y el análisis, realizado mediante el uso de Python en Google Colab, se pretende abarcar en su gran mayoría los patrones climáticos para lograr identificar con tiempo las fallas que pueden llegar a presentarse. Esto permitirá una observación detallada y continua del clima a escala local, que logrará encender las alertas en el tiempo indicado ante eventos climáticos extremos.

Además, este sistema inteligente proporcionará una base de datos veraz y actualizada que servirá como apoyo fundamental al momento de tomar una decisión en diversos sectores logrando evitar los efectos no esperados que se puedan manifestar, en un tiempo determinado, desde desastres naturales, la agricultura y la planificación urbana, tener la oportunidad de contar con información climática precisa y confiable permitirá una mejor gestión de recursos, una planificación mucho más efectiva y una respuesta más rápida ante cualquier situación que se pueda presentar.

Teniendo en cuenta que es fundamental fortalecer toda la capacidad de adaptación que se presente frente al cambio climático, logrando fomentar el desarrollo sostenible en todos los ámbitos posibles que logre equilibrar las herramientas necesarias y medidas de adaptación efectivas en sectores clave. Asimismo, se pretende renovar la relación con múltiples sistemas naturales y humanos, facilitando las prácticas de desarrollo sostenible en áreas como la administración de recursos naturales, la proyección urbana, la agricultura y la conservación del medio ambiente. Lo cual tiene como fin ayudar y proteger todas las actividades que se realicen de manera adecuada para que logren obtener un resultado eficiente con la preservación y regeneración de los ecosistemas, proporcionando un equilibrio entre el crecimiento económico, la inserción social y la conservación ambiental.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema de monitoreo climático inteligente basado en la nube que integre sensores para la recolección de datos en tiempo real, para la optimización en la toma de decisiones relacionadas con el clima.

Objetivos Específicos

Analizar los aspectos fundamentales del cambio climático en Ocaña y la región, incluyendo sus causas, efectos y posibles soluciones.

Estructurar la arquitectura del sistema de monitoreo climático, especificando los componentes necesarios, como sensores, dispositivos de comunicación y plataformas de procesamiento de datos

Desarrollar un modelo detallado de integración de sensores y dispositivos, delineando el flujo de datos desde la recolección hasta el análisis en tiempo real.

Marco Referencial

Marco Histórico

El diseño de sistemas de monitoreo climático inteligente, a lo largo de la historia ha logrado tener una evolución significativa lo cual lo ha llevado a obtener una importancia trascendental ya que muchas personas han demostrado su interés en el tema desde las primeras observaciones rudimentarias del clima hasta la era actual, gracias a todos los avances que ha tenido la tecnología incluyendo la inteligencia artificial la cual ha facilitado y enseñado ampliar los conocimientos acerca de cualquier tema brindando la información necesaria para lograr cumplir el objetivo planteado (Pérez, 2024).

Teniendo en cuenta lo anterior, es fundamental mencionar la importancia y el interés de abarcar todo lo relacionado con el monitoreo del clima, debido a que se remonta desde hace muchos siglos con observaciones muy concretas que lograron ser registradas por los antiguos astrónomos. Durante el siglo XIX, se lograron establecer las primeras redes de estaciones meteorológicas para recopilar datos sobre temperatura, presión atmosférica y otras variables climáticas claves que fueron indispensables para lograr obtener un buen resultado. Asimismo, todos los avances que se presentaron en el siglo XX en la miniaturización electrónica, donde se logró concretar sensores más precisos y compactos que permitía medir una amplia gama de variables climáticas permitiendo la recopilación automatizada de datos importantes que permitieron reducir las necesidades de observadores humanos en el campo climático (Gómez, 2024).

La telemetría y las comunicaciones inalámbricas han cumplido un papel significativo ya que lograron facilitar la transmisión remota de datos climáticos en tiempo real desde diferentes ubicaciones a centros de procesamiento y análisis. La integración de sensores climáticos con

sistemas de información geográfica (SIG) proporcionó herramientas fuertes para la presentación, exploración y pronósticos de eventos climáticos extremos en tendencias a corto y largo plazo.

Actualmente todos los avances que ha brindado la inteligencia artificial han transformado el tema del monitoreo climático para identificar todos los patrones, falencias y anomalías que se logren presentar en el proceso, estableciendo soluciones con mayor precisión en menor tiempo. Basándose en la combinación de las tecnologías emergentes que proporcionan información en tiempo real sobre los diferentes cambios climáticos que se presentan en los lugares claves, es por esto que es importante identificar que el diseño de sistemas de monitoreo climático ha evolucionado para ofrecer herramientas cada vez más sofisticadas para comprender y abordar los climáticos actuales que se presenten a futuro (López, 2024).

Antecedentes

En un mundo cada vez más consciente del impacto del cambio climático, la necesidad de monitorear de manera precisa y en tiempo real las condiciones climáticas son cruciales. Con el avance de la tecnología, surge la oportunidad de diseñar un sistema de monitoreo climático inteligente, que integre sensores capaces de recopilar datos precisos y relevantes sobre variables climáticas clave. Este proyecto se concentra en la creación de una solución innovadora que permita la recolección de datos climáticos en tiempo real, con el propósito de brindar información de suma importancia para la toma de decisiones informadas y la implementación de medidas adaptativas frente a los desafíos climáticos actuales y futuros (Cuevas Martínez, 2023).

Antecedentes Internacionales

Como primer antecedente internacional tenemos a un “Sistema sensor para el monitoreo ambiental basado en redes Neuronales” desarrollado por José de Jesús Rubio José y Alberto Hernández-Aguilar, “concluye que El prototipo desarrollado combina un arreglo de

sensores de gas de óxido de estaño con una red neuronal utilizada para identificar químicos comunes presentes en el hogar. Los resultados iniciales demuestran la capacidad para el reconocimiento de patrones del paradigma de las redes neuronales en el análisis de sensores. Al mismo tiempo, el prototipo es un desarrollo compacto y portable que facilita el análisis en tiempo real, así como la automatización del proceso de censado, análisis y reconocimiento.

En cuanto a las dos redes neuronales creadas, la primera presenta una tasa de falsos positivos menor a la siguiente, aunque en ambas, dicha tasa de falsos positivos es pequeña y aceptable para el desarrollo de soluciones, sin embargo, la primera, que únicamente contiene 3 neuronas en la capa oculta, presenta una tasa de falsos positivos menor y al mismo tiempo una carga de procesamiento mucho menor que la red con 10 neuronas en la capa oculta. Con este hecho resulta aceptable incorporar algoritmos de redes neuronales en sistemas portables.

Para trabajos futuros se propone comparar las redes neuronales para el análisis de sensores con las técnicas convencionales, explorar otro tipo de paradigmas de redes neuronales e involucrar los prototipos con los sistemas de campo. Al mismo tiempo se concluye que el monitoreo ambiental es un área prometedora para aplicaciones de la tecnología de narices electrónicas” (José de Jesús Rubio, 2022)

En segundo antecedente internacional tenemos a “Sistema de monitoreo de variables medioambientales usando una red de sensores inalámbricos y plataformas de internet de las cosas” elaborado por Manuel Quiñones-Cuenca, Víctor González-Jaramillo y Rommel Torres, Se ha desarrollado un sistema de monitoreo que automatiza el proceso de obtención de datos en tiempo real de variables medio ambientales recomendadas por la OMM usando una RSI y plataformas de internet de las cosas, que facilitan el acceso a la información y su gestión, usando plataformas de hardware y software abiertas, de bajo costo que permiten la integración o cambio

de módulos de sensores o de comunicación, para incrementar las funcionalidades del prototipo, empleando protocolos de comunicación estándar que facilitan la escalabilidad y reconfiguración de los nodos. Además, cuenta con un sistema de abastecimiento de energía solar y de almacenamiento, que garantiza de manera continua y a largo plazo su funcionamiento; e incluye la transmisión de datos en tiempo real usando tecnologías inalámbricas.

Al usar DigiMesh en el sistema se logró una cobertura de 7 km, logrando cubrir varios bosques altos de montaña como la Reserva de Biosfera Podocarpus que es una de las principales fuentes de recurso hídrico de la ciudad de Loja. Además, el sistema permite flexibilidad para expandir la red, con la capacidad de integrar más nodos y crear una red tipo malla (Manuel Quiñones-Cuenca, 2017)

Antecedentes Nacionales

Un primer antecedente señala que, a partir del análisis realizado, se determinó que para las variables climáticas mencionadas era fundamental utilizar sensores resistentes a la corrosión, debido a que los niveles de salinidad en la región Caribe superan el 60%. Por esta razón, fue imprescindible emplear sensores con encapsulados metálicos en los dispositivos más expuestos al suelo, como el Y100, un sensor especializado en medir la humedad del suelo, y el DS18B20, utilizado para medir la temperatura del suelo de manera precisa y duradera.

En contraste, otros sensores como el DHT11, que mide la temperatura y la humedad ambiental, y el LDR, que detecta la intensidad de la luz solar, se instalaron dentro de estructuras plásticas, ya que no requieren contacto directo con el suelo y están menos expuestos a condiciones extremas.

Gracias a esta configuración, se lograron identificar las principales variables agrometeorológicas relevantes para los cultivos de cítricos en plantaciones agrícolas, entre ellas:

la humedad ambiental y del suelo, la temperatura ambiental y del suelo, así como la radiación solar.

En función de estos hallazgos, se diseñó un sistema de control remoto para el riego utilizando un relé, capaz de operar con electroválvulas de 12V DC, 110V AC o superiores, asegurando una gestión eficiente del agua. Finalmente, se implementó un sistema de control de acceso mediante el ESP8266 y la plataforma Blynk, permitiendo la interacción con el Internet de las Cosas (IoT) bajo el protocolo de comunicación IEEE 802.11, lo que facilitó el monitoreo y la gestión remota del sistema. (Alvarado Vanegas, 2022)

Un segundo antecedente, Identificó que el desarrollo de la tecnología Zigbee y IoT, se ha implementado un sistema basado en las aplicaciones de agricultura en invernaderos. El escenario donde se lleva a cabo el proyecto tiene lugar en el invernadero de la granja agrostológica de la Unidad Central del Valle del Cauca (UCEVA), lo que permite adecuar el espacio para realizar dos tipos de sistemas: sistema edáfico (cultivo en tierra) y sistema hidropónico (cultivo en agua). En estos dos métodos se tomaron muestras de las variables físicas de temperatura, humedad relativa y CO₂, con el objetivo de poder conocer el comportamiento del tomate bajo estas dos clases de cultivos. En el capítulo 1 se desarrolla el estado del arte basado en diferentes artículos que utilizan aplicaciones bajo la tecnología Zigbee y de las Redes Inalámbricas de Sensores (WSN) en diferentes contextos de la agricultura. En el capítulo 2 se realiza una descripción del diseño y simulación del sistema, la estructura del invernadero, el estudio de los dispositivos que se necesitan para la elaboración de la red WSN con Matlab/Simulink utilizando el FrameWork True Time. También se ejecuta la simulación de un sistema de control con las variables mencionadas y las condiciones del cultivo. En el capítulo 3 se explica la implementación del sistema diseñado, mencionando la configuración de los diferentes dispositivos que lo conforman

y como se comunican cada uno de ellos. También se realiza una breve descripción de los códigos utilizados para el funcionamiento del sistema y la aplicación de una interfaz gráfica donde se visualizan los datos mediante una página web. En el capítulo 4 se presentan los resultados a la pregunta de investigación, y se lleva a cabo la obtención de las muestras dentro del invernadero para realizar un análisis de ellas” (Racines Vanegas, 2022)

Un tercer antecedente Implementa un prototipo de plataforma colectora de datos que permita la adquisición de información de sensores hidrometeorológicos especializados, su almacenamiento y transmisión a través de internet, integrándose al sistema nacional de visualización utilizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Se desarrolló un prototipo basado en un computador de placa reducida, capaz de capturar y visualizar datos hidrometeorológicos provenientes de sensores electrónicos especializados, almacenándolos en una base de datos relacional y enviando periódicamente las variables al software de visualización nacional del IDEAM, Hydras3. Adicionalmente, el sistema incorpora un módulo de registro fotográfico para capturar imágenes y almacenarlas en memoria para análisis posterior. El prototipo tiene la capacidad de gestionar información proveniente de hasta 8 sensores analógicos con rangos de 0 a 5V, 2 sensores digitales con salidas por pulsos, y 1 entrada para sensores seriales compatibles con el protocolo SDI-12. El desempeño del prototipo cumplió adecuadamente con los objetivos planteados, igualando las capacidades de las plataformas colectoras de datos más utilizadas en el mercado. Sin embargo, es necesario realizar pruebas adicionales para evaluar su comportamiento bajo condiciones de campo y garantizar la calidad de las mediciones obtenidas.

El uso de un computador de placa reducida, como la Raspberry Pi, resultó altamente beneficioso debido a sus capacidades multitarea, compatibilidad con sistemas operativos basados

en Linux y soporte para diversas interfaces de conexión con dispositivos externos, lo que facilita el desarrollo de aplicaciones para la adquisición, procesamiento y visualización de datos provenientes de los sensores. (Rodríguez Pérez, 2018).

Marco Teórico

El presente escrito tiene como referencia explicar teóricamente cada paso de la investigación, (Alain Charles, 2020) “El monitoreo de las condiciones climáticas consiste en la medición, comunicación e interpretación de la información meteorológica recibida de múltiples fuentes. La función de monitoreo de las condiciones climáticas en el CCT está focalizada en el monitoreo de las condiciones de la superficie de la carretera, de la visibilidad para conducir y de la utilización de información específica de la infraestructura vial, tales como puentes (los que podrían ser cerrados como consecuencia de fuertes vientos) y túneles (que podrían verse afectados por inundaciones). Las condiciones meteorológicas existentes y pronosticadas a lo largo de una carretera son críticas para los usuarios que planean un viaje o que ya se encuentran viajando por ella. El objetivo del servicio de monitoreo de las condiciones climáticas es alentar a los diferentes grupos de usuarios a adaptar sus planes de viaje (ruta seleccionada, medio de transporte, horarios) o cambiar sus hábitos de conducción (velocidad), a fin de evitar impactos negativos asociados a las condiciones climáticas. A fin de tomar decisiones acertadas los usuarios deben estar conscientes de las condiciones meteorológicas esperables a lo largo de la trayectoria que recorrerán”

Ya que por medio del monitoreo climático logramos una visión más detallada sobre las condiciones en que se encuentre la atmósfera, lo cual permite con mayor facilidad a todos los investigadores o personas interesadas en el tema entender cada uno de los patrones climáticos a corto y largo plazo, resaltando que es muy importante para las predicciones de todos los

fenómenos meteorológicos tales como inundaciones y fuertes tormentas y sequías, lo cual permitirá de manera rápida evaluar los impactos del cambio de clima que se presenten en diferentes lugares.

Conceptos, Fundamentos Teóricos

Loa (2010), a lo largo de su historia, la Tierra ha experimentado múltiples cambios climáticos, incluyendo ciclos de glaciaciones y periodos de mayor calentamiento. Un ejemplo es el fin de la última glaciación hace aproximadamente 11.700 años, que marcó el inicio de la era climática actual y el desarrollo de la civilización humana. Si bien estos cambios solían estar relacionados con ligeras variaciones en la órbita terrestre, lo que alteraba la cantidad de radiación solar recibida, el calentamiento actual se debe principalmente a la acción humana, especialmente desde mediados del siglo XIX. Las actividades humanas han incrementado la concentración de gases de efecto invernadero, atrapando más calor en el planeta y provocando un aumento de la temperatura global. Esto ha generado transformaciones significativas en la atmósfera, los océanos, los glaciares y los ecosistemas terrestres.

Desde finales del siglo XIX, los científicos comenzaron a sospechar que el cambio climático no era solo consecuencia de procesos naturales, sino también de la acción humana. El rápido incremento de la temperatura global no correspondía con patrones climáticos previos. Estas teorías surgieron cuando se comprendió el efecto invernadero y se reconoció el impacto del uso intensivo de combustibles fósiles, como el carbón, en el calentamiento global (OMS, 2022).

Cambio climático: Una variación identificable en el estado del clima que perdura durante períodos prolongados, generalmente décadas o más, atribuible tanto a procesos naturales como a alteraciones sostenidas en la composición atmosférica o en el uso del suelo derivadas de la actividad humana. Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio

Climático (CMNUCC), el cambio climático se define como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (Salud sin daño, 2024)

Monitoreo: El monitoreo es el proceso por el cual se identifica y revisa la eficiencia que tiene cada aplicación de un proyecto de investigación, ayudando a medir la debilidad, los logros y las consecuencias, todo esto con el fin de aportar las recomendaciones correspondientes para tener una buena ejecución de los objetivos planteados con los resultados requeridos. Por otra parte, el autor (Van de Velde, 2021) nos dice que el monitoreo, es el medio mediante el cual entendemos si hemos utilizado eficazmente nuestro tiempo en el desarrollo de un proyecto. La observación es un proceso constante, mientras que la evaluación se realiza, por lo general, al concluir una etapa o al finalizar el proyecto.

Atmósferas: Las atmósferas se han identificado por toda la historia de la humanidad como una mezcla de gases y aerosoles que presentan constantemente variaciones en los constituyentes del cuerpo y la gravedad. Mientras que Peter Zumthor, determina la atmósfera como un conocimiento. Es una respuesta emocional, una sensación que opera a una velocidad asombrosa y que los seres humanos utilizamos como mecanismo de supervivencia. No siempre queremos detenernos demasiado tiempo a reflexionar si algo nos agrada o si debemos alejarnos rápidamente. Hay algo en nuestro interior que nos brinda una comprensión instantánea, un contacto inmediato o, incluso, un rechazo inmediato. (Zumthor, 2014).

Marco Conceptual

El marco conceptual del proyecto "Diseño de un sistema de monitoreo climático inteligente con integración de sensores para la recolección de datos en tiempo real." Se

fundamenta en varios pilares clave de la ciencia de datos y las tecnologías de monitoreo ambiental.

Monitoreo Climático: Es el proceso de recolección, análisis y evaluación de datos relacionados con variables ambientales como la temperatura, la humedad, la velocidad del viento y las precipitaciones. El monitoreo en tiempo real a través de sensores inteligentes permite identificar tendencias y tomar decisiones basadas en evidencia para mitigar impactos climáticos (Smith, 2023).

Temperatura: Según Max Planck, la temperatura representa el grado de calor o frío de un cuerpo. Por otro lado, R.H. Fowler la define a través de la ley cero de la Termodinámica, que establece: si tres cuerpos, A, B y C están en equilibrio térmico y A y C lo están por separado con B, entonces A y C también estarán en equilibrio térmico entre sí. Adicionalmente, en ciertos materiales la temperatura puede interpretarse como una medida de la densidad de calor de un cuerpo. (Planck, 2020)

Sensores Inteligentes: Dispositivos electrónicos diseñados para medir variables específicas del entorno. En el contexto del cambio climático, estos sensores recopilan datos precisos y en tiempo real que facilitan el análisis climático y la ejecución adecuada de sistemas de alerta temprana.

Ciencia de Datos para el monitoreo ambiental: Se aplican técnicas de limpieza, normalización y análisis de datos para transformar la información recopilada en conocimiento útil. La analítica de datos permite identificar tendencias climáticas, variaciones significativas y patrones críticos, ofreciendo una base sólida para decisiones estratégicas.

Adaptación: Estrategias implementadas para reducir la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático, como el uso de tecnologías para optimizar la agricultura.

Mitigación: Acciones destinadas a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero mediante el uso de energías limpias y prácticas sostenibles.

Análisis Predictivo y Prescriptivo: Con el uso de modelos estadísticos y de aprendizaje automático, se prevén cambios en las variables climáticas y sus posibles impactos. Además, se proponen acciones correctivas que ayudan a la región a adaptarse de manera proactiva a los efectos del cambio climático.

Impacto Regional

El proyecto se enfoca en el ecosistema único del Catatumbo, esencial para la regulación climática y la economía local. Este sistema no solo contribuye al conocimiento científico, sino que también respalda la formulación de políticas ambientales específicas para la región.

La automatización esta se puede definir como la utilidad que se le puede dar a diario a la tecnología para realizar diversas tareas, lo cual permite minimizar y al mismo tiempo facilitar la intervención humana para realizar diversos tipos de trabajos, mientras que (Francisco Morales, 2020) La automatización se define como un fenómeno en el que las máquinas, la informática y la tecnología se emplean con fines industriales. Este concepto implica la transición de procesos manuales a procesos automatizados, otorgando una mayor autonomía a los sistemas y optimizando la eficiencia en los procesos industriales.

La velocidad se define como la capacidad física de una persona, objeto, máquina, entre otros, para ejecutar diversas actividades en el menor tiempo posible. Según Ortiz (2014), la velocidad abarca aspectos como la fisiología, el metabolismo energético, la conducta psíquica y el desarrollo biológico del ser humano. Por su parte, Grosser (2009) la describe como la capacidad de reaccionar con máxima rapidez ante un estímulo o de realizar movimientos a la mayor velocidad posible en una unidad de tiempo. Es importante mencionar la palabra sensores

ya que este es un dispositivo diseñado y gracias a él podemos de medir diferentes cambios en el entorno, logrando convertir los cambios en señales digitales o eléctricas, también se pueden implementar en varias aplicaciones para monitorear la luz, la posición de los movimientos, la presión y humedad, es importante mencionar lo fundamental que ha sido para la humanidad debido a todos sus avances tecnológicos ya que puedes ayudar a las tareas del hogar. Las aplicaciones van de la mano con los sensores y diferentes ámbitos de la industria donde cumplen un papel crucial para el monitoreo de variables como los movimientos, la presión, que hacen referencia a los programas que son diseñados para el funcionamiento de los objetos tecnológicos para garantizar su buen funcionamiento, ya son herramientas necesarias que deben tener un buen funcionamiento para ayudar a la humanidad a realizar tareas diarias.

Para el medio ambiente es primordial todos los elementos que posee la naturaleza debido a que cada uno de ellos cumple un papel fundamental en el ambiente, abarcando el suelo, el agua, el aire y otros componentes que componen la física, que abarcan los patrones climáticos, la salud de cada individuo y el equilibrio del medio ambiente para el sostenimiento de la tierra.

Marco Normativo

El proyecto "*Diseño de un sistema de monitoreo climático inteligente con integración de sensores para la recolección de datos en tiempo real.*" Se enmarca en las normativas nacionales e internacionales asociadas con el cambio climático, la gestión ambiental y el manejo de datos.

Normativa Nacional

Ley 1931 de 2018 (Ley de Cambio Climático): Establece directrices para la gestión del cambio climático en Colombia, promoviendo estrategias de adaptación, mitigación y resiliencia. Este proyecto contribuye al cumplimiento de los objetivos nacionales mediante el monitoreo de variables ambientales clave. (Congreso Nacional, 2018).

Ley 99 de 1993: Crea el Ministerio del Medio Ambiente y define los principios rectores de la política ambiental en Colombia, destacando la protección de ecosistemas estratégicos como el Catatumbo. (Nacional, Ley 99 de 1993, 1993).

Política Nacional de Cambio Climático (PNCC): Orienta las acciones del país hacia la reducción de emisiones de gases y el fortalecimiento de la adaptación climática, en línea con las metas del Acuerdo de París. (Minambiente, 2017).

Normativa Internacional

Acuerdo de París (2015): Colombia es signataria de este acuerdo, que tiene como objetivo limitar el aumento de la temperatura global a 1.5 °C, promoviendo la reducción de emisiones y la implementación de sistemas de monitoreo climático. (United Nations Climate Change, 2015)

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): Este proyecto contribuye específicamente al ODS 13 (Acción por el Clima), promoviendo la recopilación de datos para reducir el cambio climático y fortalecer la resiliencia local. (ORG, 2023)

Convenio de Río (1992): Destaca la importancia de la biodiversidad y los ecosistemas en la regulación climática, especialmente relevante para el ecosistema del Catatumbo. (ORG, 1992)

Normativa en Ciencia de Datos y Tecnologías

Ley 1581 de 2012 (Ley de Protección de Datos Personales): Regula el control y seguridad de los datos personales en Colombia. Aunque el proyecto no utiliza datos sensibles de personas, esta normativa es fundamental para garantizar la seguridad de la información recopilada. (Nacional, Ley 1581 de 2012, 2012)

ISO 27001: Estándar internacional para la administración de la seguridad en la información, aplicable al manejo de datos climáticos para garantizar su integridad y confidencialidad. (National Quality Assurance, 2022)

Lineamientos Regionales y Locales

Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del Catatumbo:

Este plan orienta las acciones para la protección del ecosistema y el desarrollo sostenible de los recursos naturales en la región. (Departamento nacional de planeacion, 2022)

Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC):

Establece acciones específicas para reducir la vulnerabilidad climática en regiones críticas como el Catatumbo. (Minambiente, 2016)

Metodología

Para la ejecución de este proyecto, se implementó una metodología basada en varias fases estructuradas, orientadas a garantizar una ejecución efectiva, la cual abarca desde el diseño del sistema hasta la recopilación y análisis de los datos climáticos, mediante el uso de sensores y principios de ciencia de datos adaptados a la región del Catatumbo. A continuación, se detalla las etapas de esta metodología:

Estructura y Diseño del Sistema de Monitoreo Climático

En esta etapa, se realiza la estructura y diseño del sistema de monitoreo, definiendo y seleccionando los componentes clave para la medición de variables ambientales, se utilizará el sensor de temperatura y humedad (dht11) y un anemómetro para registrar la velocidad del viento. Estos sensores estarán conectados a un Arduino uno y un módulo de comunicación wifi (Esp32) que permitirá la transmisión de los datos recolectados en tiempo real a una base de datos noSQL (Mongodb) seleccionada por su escalabilidad y capacidad para manejar datos no estructurados.

Por otra parte, los sensores fueron seleccionados en función de su precisión, durabilidad, y capacidad de transmitir datos en tiempo real. Lo que garantiza la calidad y confiabilidad de las mediciones. Adicionalmente, la arquitectura fue diseñada para optimizar el flujo de datos, mediante el uso de protocolos robustos de comunicación como el 802.11n (Wifi), lo que asegura la confiabilidad y continuidad en el envío y almacenamiento de la información.

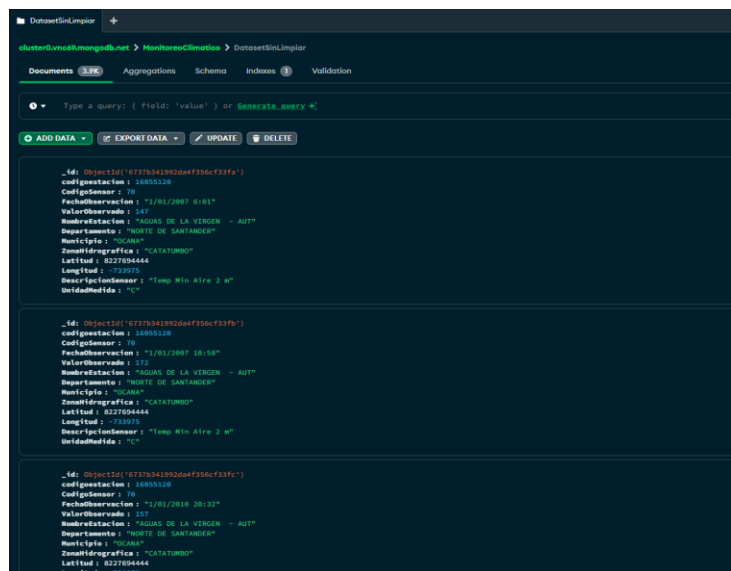
Recolección de Datos en Tiempo Real

Los datos son recolectados directamente por sensores en la región del Catatumbo, Norte de Santander. Estos sensores envían los datos a la base de datos NoSQL (MongoDB) en intervalos regulares Figura 1, lo que garantiza la disponibilidad en tiempo real de las mediciones

las cuales permiten identificar cambios climáticos de manera oportuna. Por ende, esta etapa incluye el monitoreo del desempeño de los sensores para asegurar su correcto funcionamiento y la calidad de los datos recolectados.

Figura 1

Visualización del Dataset Original sin Procesamiento Almacenado en MongoDB



Análisis Preliminar

Este análisis es esencial para la comprensión adecuada de los datos brindados por los sensores en la estación aguas de la virgen, por ende en MongoDB cada fragmento guarda el código de la estación y del sensor esto con el fin de llevar registro sobre qué estación nos está brindando la información, además se guarda la fecha y hora para saber en qué momento se tomó dicho registro, por otra parte este dataset posee el valor del sensor y la unidad de medida que se está utilizando en la toma de estos valores. Estos datos son de vital importancia para la exploración de estos factores ambientales ya que nos ayudan a comprender qué comportamiento ha tomado el clima en la región del Catatumbo para que de esta manera se tomen decisiones a tiempo.

Preprocesamiento y Limpieza de los Datos

Los datos son cargados desde un archivo Excel Figura 2, como se muestra en la cuarta línea del código y se imprime con el fin de corroborar la carga exitosa del dataset Figura 3, permitiendo verificar su integridad. Las variables en este incluyen el código de la estación, que identifica el punto de monitoreo; el código del sensor, que indica el tipo de medición realizada; la fecha de observación, que registra el momento exacto de la medición; y el valor observado, que corresponde a la medición registrada. Además, se tiene el nombre de la estación, su ubicación (departamento y municipio), la zona hidrográfica en la que se encuentra por último tiene sus coordenadas geográficas (latitud y longitud). siendo estos utilizados para el análisis y procesamiento de estos datos, empleando Google Colab con el lenguaje de programación Python, lo que permite realizar tareas como limpieza, estandarización y análisis exploratorio de los datos climáticos.

Figura 2

Fragmento de Código Utilizado para la Importación del Dataset n Google Colab

```
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

Data_temp = pd.read_excel('Clasificacion_datos.xlsx')

print(Data_temp)
```

Figura 3

Descripción Detallada del Conjunto de Datos Utilizado, Incluyendo su Origen, Estructura entre otros

	codigoestacion	CodigoSensor	FechaObservacion	ValorObservado	\
0	16055120	70	2007-01-01 06:01:00	147	
1	16055120	70	2007-01-01 18:58:00	172	
2	16055120	70	2010-01-01 20:32:00	157	
3	16055120	70	2010-01-01 10:02:00	197	
4	16055120	70	2017-01-01 17:59:00	175	
...
3902	16055120	70	12/31/2009 08:25:00 PM	157	
3903	16055120	70	12/31/2016 03:59:00 AM	158	
3904	16055120	70	12/31/2016 04:20:00 AM	157	
3905	16055120	70	12/31/2018 01:43:00 AM	137	
3906	16055120	70	12/31/2018 09:00:00 PM	16	
	NombreEstacion	Departamento	Municipio	\	
0	AGUAS DE LA VIRGEN - AUT	NORTE DE SANTANDER	OCANA		
1	AGUAS DE LA VIRGEN - AUT	NORTE DE SANTANDER	OCANA		
2	AGUAS DE LA VIRGEN - AUT	NORTE DE SANTANDER	OCANA		
3	AGUAS DE LA VIRGEN - AUT	NORTE DE SANTANDER	OCANA		
4	AGUAS DE LA VIRGEN - AUT	NORTE DE SANTANDER	OCANA		
...	
3902	AGUAS DE LA VIRGEN - AUT	NORTE DE SANTANDER	OCANA		
3903	AGUAS DE LA VIRGEN - AUT	NORTE DE SANTANDER	OCANA		
3904	AGUAS DE LA VIRGEN - AUT	NORTE DE SANTANDER	OCANA		
3905	AGUAS DE LA VIRGEN - AUT	NORTE DE SANTANDER	OCANA		
3906	AGUAS DE LA VIRGEN - AUT	NORTE DE SANTANDER	OCANA		
	ZonaHidrografica	Latitud	Longitud	DescripcionSensor	UnidadMedida
0	CATATUMBO	8227694444	-733975	Temp Min Aire 2 m	C
1	CATATUMBO	8227694444	-733975	Temp Min Aire 2 m	C
2	CATATUMBO	8227694444	-733975	Temp Min Aire 2 m	C
3	CATATUMBO	8227694444	-733975	Temp Min Aire 2 m	C
4	CATATUMBO	8227694444	-733975	Temp Min Aire 2 m	C
...
3902	CATATUMBO	8227694444	-733975	Temp Min Aire 2 m	C
3903	CATATUMBO	8227694444	-733975	Temp Min Aire 2 m	C
3904	CATATUMBO	8227694444	-733975	Temp Min Aire 2 m	C
3905	CATATUMBO	8227694444	-733975	Temp Min Aire 2 m	C
3906	CATATUMBO	8227694444	-733975	Temp Min Aire 2 m	C

Limpeza y Estandarización de Datos

Antes de proceder con el análisis los datos recolectados pasan por una etapa de limpieza y preprocesamiento. Esta etapa es esencial para evaluar la calidad de la información antes de su análisis. Ya que elimina registros erróneos o incompletos, identificando y corrigiendo valores atípicos, e imputando los datos faltantes para asegurar que la base de datos sea lo más completa y precisa posible. Con esta depuración, los datos están listos para ser analizados en profundidad.

En esta fase inicialmente se eliminan las filas duplicadas Figura 4, seguido a esto se cambia el formato de fecha ya que la columna de FechaObservacion esto con el fin de comprender un poco más rápido la fecha exacta en la que fue tomado esa lectura además de definir un formato de YY/MM/DD logramos establecer un estándar con el fin de tener un

formato único en todo el dataset además en esta misma columna se almacena la hora la cual tiene varios formatos por lo que se optó por darle un formato estándar a la hora de HH/MM/SS.

Figura 4

Código para la Eliminación de Registros Irrelevantes y Conversión de Datos a Formatos

Compatibles

```
# Eliminar duplicados
Data_temp = Data_temp.drop_duplicates()

# Convertir la columna 'FechaObservacion' al tipo de dato datetime
Data_temp['FechaObservacion'] = pd.to_datetime(Data_temp['FechaObservacion'], errors='coerce')
```

Por otra parte se realizan dos verificaciones Figura 5 la primera se realiza a la columna FechaObservacion específicamente a la conversión de la fecha y hora ya que si hay valores nulos (NaN o NaT) se utiliza “isnull” con el fin de identificar posibles problemas en los datos, como fechas inválidas o valores faltantes por ende la segunda verificación se realiza a las columnas FechaObservacion, ValorObservado, Latitud y Longitud en esta se eliminan las filas en las que tengan valores nulos por medio de “dropna” esto con el propósito de asegurar que la información tiene datos precisos y completos.

Figura 5

Código para la Conversión de Datos y Eliminación de Valores Nulos

```
# Verificar valores nulos después de la conversión
print("\nValores nulos después de la conversión de fechas:")
print(Data_temp.isnull().sum())

# Eliminar filas con valores nulos en columnas críticas
columnas_criticas = ['FechaObservacion', 'ValorObservado', 'Latitud', 'Longitud']
Data_temp = Data_temp.dropna(subset=columnas_criticas)
```

En la tercera fase de la normalización del dataset se estandariza el texto Figura 6 esto con el propósito de limpiar y homogeneizar el texto en las columnas, por lo que se utiliza “str.strip()” para eliminar espacios en blanco al inicio como al final, además se utiliza “str.lower()” el cual convierte todo el texto en minúscula lo cual facilita la comprensión y agrupamiento de datos categorizados evitando errores.

Figura 6

Código para la Estandarización de Texto, que Incluye Procesos como la Conversión a

Minúsculas

```
# Estandarizar texto en columnas categóricas
columnas_texto = ['NombreEstacion', 'Departamento', 'Municipio', 'ZonaHidrografica', 'DescripcionSensor', 'UnidadMedida']
for col in columnas_texto:
    Data_temp[col] = Data_temp[col].str.strip().str.lower()
```

En la cuarta y última fase de normalización se realiza la verificación de los valores de las columnas de latitud y longitud Figura 7 esto tiene como propósito verificar que los datos estén entre el rango válido identificando errores o inconsistencia en la ubicación de los sensores, seguido a esto se guarda el nuevo dataset con los datos normalizados en los archivos de colab además de guardarse una copia en descargas.

Figura 7

Código para la Verificación de la Integridad de los Valores y la Descarga del Dataset

Normalizado

```
# Verificar valores fuera de rango en columnas numéricas (ejemplo: 'Latitud' y 'Longitud')
print("\nRangos de latitud y longitud:")
print(f"Latitud: {Data_temp['Latitud'].min()} a {Data_temp['Latitud'].max()}")
print(f"Longitud: {Data_temp['Longitud'].min()} a {Data_temp['Longitud'].max()}")

# Guardar el dataframe limpio en un nuevo archivo
Data_temp.to_excel("Datos_Limpios.xlsx", index=False)

# Descargar el archivo limpio
from google.colab import files
files.download("Datos_Limpios.xlsx")
```

Al finalizar esta normalización se nos entrega un reporte Figura 8 que generamos al verificar los valores nulos y el rango en las columnas de latitud y longitud el cual nos indica que no hay valores nulos en ninguna fila después de la conversión de la fecha y hora además de que el rango de latitud y longitud es el adecuado en todo el dataset es decir no hay valores erróneos este se descarga y se carga a mongo DB Figura 9, con el fin de tener la información en la nube.

Figura 8

Reporte Detallado que Describe el Proceso de Reorganización de Datos para Reducir la Redundancia y Mejorar la Integridad en una Base de Datos.

```
Valores nulos después de la conversión de fechas y hora:
codigoestacion      0
CodigoSensor        0
FechaObservacion    0
ValorObservado      0
NombreEstacion      0
Departamento       0
Municipio           0
ZonaHidrografica    0
Latitud             0
Longitud            0
DescripcionSensor    0
UnidadMedida        0
dtype: int64

Rangos de latitud y longitud:
Latitud: 8227694444 a 8227694444
Longitud: -733975 a -733975
```

Figura 9

Dataset Normalizado, Donde los Datos han sido Transformados para Seguir un Formato Consistente y Estandarizado

```
1  _id: ObjectId('6737b4fb992da4f356cf4340')
2  codigoestacion : 1605120
3  CodigoSensor : 70
4  FechaObservacion : "2007-01-01 00:01:00,"
5  ValorObservado : 147
6  NombreEstacion : "aguas de la virgen - aut,"
7  Departamento : "norte de santander,"
8  Municipio : "ocana,"
9  ZonaHidrografica : "catatumbo,"
10 Latitud : 8227694444
11 Longitud : -733975
12 DescripcionSensor : "temp min aire 2 m,"
13 UnidadMedida : "c"

--id: ObjectId('6737b4fb992da4f356cf4341')
codigoestacion : 1605120
CodigoSensor : 70
FechaObservacion : "2007-01-01 18:58:00"
ValorObservado : 122
NombreEstacion : "aguas de la virgen - aut"
Departamento : "norte de santander"
Municipio : "ocana"
ZonaHidrografica : "catatumbo"
Latitud : 8227694444
Longitud : -733975
DescripcionSensor : "temp min aire 2 m"
UnidadMedida : "c"

--id: ObjectId('6737b4fb992da4f356cf4342')
codigoestacion : 1605120
CodigoSensor : 70
FechaObservacion : "2010-01-01 20:32:00"
ValorObservado : 157
NombreEstacion : "aguas de la virgen - aut"
Departamento : "norte de santander"
Municipio : "ocana"
ZonaHidrografica : "catatumbo"
```

Análisis de Datos

Una vez los datos han sido preprocesados, se implementan técnicas de visualización, la cual facilita la interpretación y entendimiento de la información recolectada generando gráficos de líneas para observar las tendencias temporales en las variables climáticas, así como diagramas de dispersión que permiten identificar posibles correlaciones entre variables. Adicionalmente, se utilizaron mapas de calor para ilustrar la distribución espacial de estas variables, lo cual es un factor esencial para comprender mejor los patrones climáticos en la región del Catatumbo.

Además, se aplicaron métodos estadísticos descriptivos que ayudaran a caracterizar los datos de manera más detallada. Se calcularon medidas de tendencia central, como la media, la mediana y la dispersión como la desviación estándar. Estos análisis estadísticos proporcionan una visión clara del comportamiento global de las variables climáticas en el tiempo además se realizaron análisis de series temporales lo que permite identificar patrones y tendencias a largo plazo proporcionando información valiosa para entender el comportamiento climático regional analizando su evolución.

Diseño de un Sistema de Monitoreo Climático

En este capítulo se presenta el diseño de un sistema de monitoreo climático para la región del Catatumbo, el cual tiene como objetivo registrar y analizar datos claves sobre la temperatura en esta región, facilitando la identificación de patrones en el climático describiendo la metodología utilizada en el desarrollo del sistema desde la selección de los sensores hasta el flujo y análisis de los datos, los cuales se visualizan en múltiples tipos de gráficos y mapas los cuales permiten una mejor forma de comprender los datos, esto no solo permite interpretar los cambios en el ambiente sino también sirve como una herramienta para la toma de decisiones frente a los cambios que impone el cambio climático.

Resultados

El primer resultado se muestra a partir del código Figura 10 el cual va a representar una gráfica de barras y para ello se utilizó una biblioteca llamada “matplotlib”. Inicialmente se ajusta el tamaño de la gráfica como se muestra en la primera línea donde nos va a dar un tamaño de la figura a 10x5 pulgadas. Luego, se genera una gráfica de barras con los datos de las columnas (Fecha Observación y Valor Observado), en el eje x nos muestra el nombre de la fecha y el valor, y se añade un título al gráfico. Por último, el diseño del gráfico se ajusta para que todos los elementos se vean correctamente y se muestra el gráfico en pantalla

Figura 10

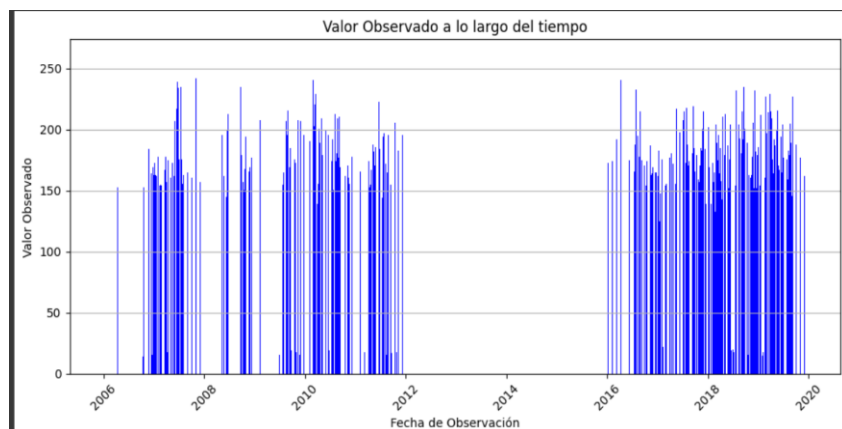
Gráfico que Muestra la Variación de los Valores Observados en Función de la Fecha

```
# Primera gráfica en barras: "Valor Observado" en función de "FechaObservacion"
plt.figure(figsize=(10, 5))
plt.bar(df_limpio['FechaObservacion'], df_limpio['ValorObservado'], color='b')
plt.xlabel('Fecha de Observación')
plt.ylabel('Valor Observado')
plt.title('Valor Observado a lo largo del tiempo')
plt.grid(True, axis='y')
plt.xticks(rotation=45)
plt.tight_layout()
plt.show()
```

La Figura 11 representada por líneas que muestran el valor obtenido por los sensores (A lo largo del tiempo) que va desde el año 2006 hasta 2020 con un rango que va de 0 a 250. Por otra parte, en la fecha se reflejan dos conjuntos de datos (2006-2012 y 2016-2020) que presentan alta variabilidad y picos de hasta 250 unidades y un intervalo sin datos entre 2012 y 2015, lo que permite visualizar patrones y tendencias en los valores observados lo cual indica una inestabilidad climática debido a su alta variabilidad de temperatura al aumentar cada vez más teniendo pocos picos en los que este valor es bajo a lo largo del tiempo.

Figura 11

Gráfica de Barras que Muestra la Variación de la Temperatura Observado a lo Largo del Tiempo



El segundo resultado se visiona en el código de la Figura 12, que tiene como funcionamiento buscar en la data la fecha de observación y automáticamente agrupar por años y calcular las estadísticas. Realizado los pasos anteriores muestra en pantalla una gráfica que ilustra las líneas y los puntos para el mínimo, máximo y promedio cada año con su respectivo color. Además en los costados de la gráfica se visualiza las etiquetas de (Año) (valor observado) (valores mínimo, máximo y promedio por año) cada uno en su lugar específico.

Figura 12

Código para Generar una Gráfica de Puntos que Muestra los Valores Mínimo, Máximo y Promedio Agrupados por Año de la Temperatura

```
[ ] # Extraer el año de 'FechaObservacion'
Data_temp['Año'] = Data_temp['FechaObservacion'].dt.year

# Agrupar por año y calcular estadísticas
estadisticas_por_año = Data_temp.groupby('Año')['ValorObservado'].agg(['min', 'max', 'mean']).reset_index()

# Crear la gráfica
plt.figure(figsize=(10, 6))

# Dibujar líneas y puntos para mínimo, máximo y promedio
plt.plot(estadisticas_por_año['Año'], estadisticas_por_año['min'], marker='o', linestyle='-', label='Mínimo', color='blue')
plt.plot(estadisticas_por_año['Año'], estadisticas_por_año['max'], marker='o', linestyle='-', label='Máximo', color='red')
plt.plot(estadisticas_por_año['Año'], estadisticas_por_año['mean'], marker='o', linestyle='-', label='Promedio', color='green')

# Configurar etiquetas, leyendas y título
plt.xlabel('Año')
plt.ylabel('Valor Observado')
plt.title('Valores Mínimo, Máximo y Promedio por Año')
plt.legend()

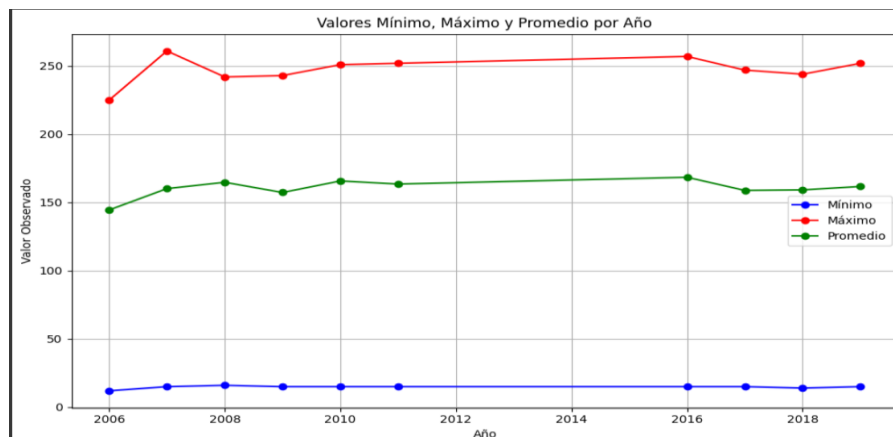
# Mejorar la visualización
plt.grid(True)
plt.tight_layout()

# Mostrar la gráfica
plt.show()
```

La Figura 13 nos muestra 3 líneas que están representando los valores mínimo, máximo y promedio donde se evalúan los años 2006 hasta 2018. La línea azul representa los valores mínimos, la línea roja los máximos y la línea verde el promedio de la temperatura obtenida por los sensores. Se observa que los valores máximos los mantiene la línea roja y está por encima de los 200. Los valores promedio (línea verde) se mantienen alrededor de 150 y los valores mínimos (línea azul) son determinados muy bajos manteniéndose por debajo de los 50 durante todo el periodo. Este análisis puede ser útil para la toma de decisiones y la planificación futura ante circunstancias climáticas que pongan en riesgo a la población, la fauna y flora de la región del Catatumbo.

Figura 13

Gráfica de Puntos que Muestra la Distribución de los Valores Mínimos, Máximos y Promedios de la Temperatura Registrados Anualmente



Otro resultado observado, es el código de la Figura 14, el cual permite observar que el eje x va llevar como nombre (Fecha) y en el eje y (valor observado). El cual va a mostrar una relación entre la fecha y el valor. Para dar con este resultado se debe llamar la biblioteca “matplotlib” para generar la figura y que dibuje los puntos de dispersión de color azul, este grafico incluye el título, etiquetas, cuadrículas y se ajusta automáticamente.

Figura 14

Código para Generar un Diagrama de Dispersión que Muestra la Variación de la Temperatura Observada a lo Largo del Tiempo

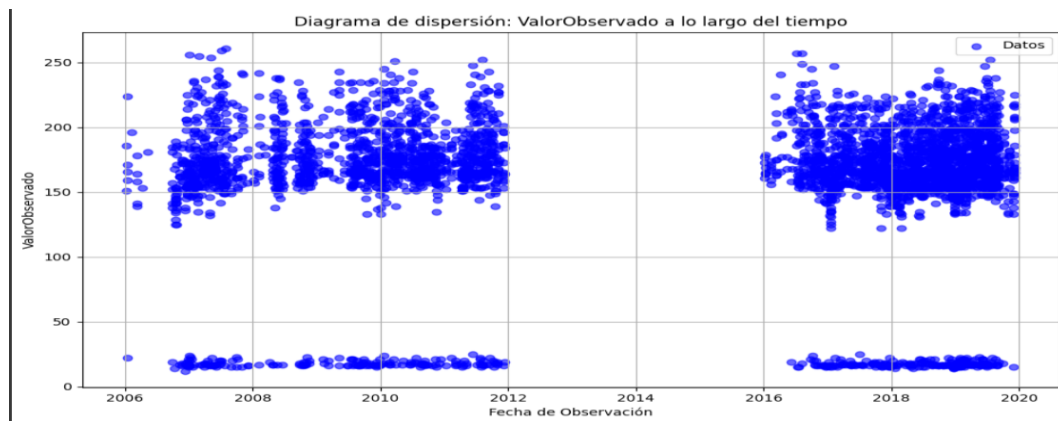
```
# Variables a analizar
x_variable = 'FechaObservacion' # Eje X: Fecha
y_variable = 'ValorObservado' # Eje Y: Valor Observado

# Crear el gráfico de dispersión a lo largo del tiempo
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.scatter(Data_temp[x_variable], Data_temp[y_variable], c='blue', alpha=0.6, label='Valor Observado')
plt.title(f"Diagrama de dispersión: {y_variable} a lo largo del tiempo")
plt.xlabel("Fecha de Observación")
plt.ylabel(y_variable)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.tight_layout()
plt.show()
```

El diagrama Figura 15 de dispersión muestra la relación entre la fecha y el valor a lo largo del tiempo desde 2006 hasta 2020. Los datos están representados por el color azul donde se puede apreciar dos periodos de tiempo con datos uno es desde 2006-2011 y el otro desde 2016-2020 en ambos periodos los valores están entre 150 y 250, con una cantidad de puntos menor entre 0 y 50. Se puede apreciar que entre los años 2012 y 2015 existe una interrupción de datos lo que puede indicar falta de observación o un cambio en la metodología de la recolección de datos. Además, al analizar los puntos en la gráfica se observa que el cambio llega a ser un poco brusco debido a que estos tienen valores muy altos que después tienden a desplomarse a valores bajos.

Figura 15

Diagrama de Dispersión que Muestra la Variación de la Temperatura Observada a lo Largo del Tiempo



El cuarto resultado se evidencia en el código de la Figura 16, el cual crea un mapa de calor centrado en Ocaña Norte De Santander específicamente en la estación ubicada en el agua de la virgen la cual toma valores de temperatura en grados centígrados para la región del

Catatumbo, utilizando las coordenadas y los valores observados para mostrar la intensidad en un mapa interactivo.

Figura 16

Fragmento de Código Utilizado para Generar un Mapa de Calor Basado en la Latitud y Longitud

```
# Coordenadas exactas de Ocaña, Norte de Santander
latitud_oca = 8.227694
longitud_oca = -73.397500

# Crear el mapa centrado en Ocaña
mapa = folium.Map(location=[latitud_oca, longitud_oca], zoom_start=13)

# Preparar los puntos para el mapa de calor: usan solo las coordenadas de `ValorObservado` para intensidad
heat_data = [[latitud_oca, longitud_oca, row['ValorObservado']] for index, row in Data_temp_clean.iterrows()]

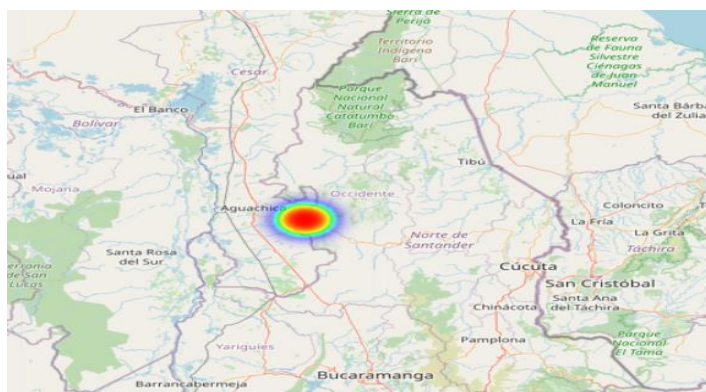
# Crear el mapa de calor con la intensidad de `ValorObservado`
HeatMap(heat_data).add_to(mapa)

# Mostrar el mapa en Google Colab
display(mapa)
```

La Figura 17 muestra un mapa de calor que indica un punto de alta concentración cercano a la localidad de Pueblo Nuevo, específicamente en la estación Agua de la Virgen, ubicada en la región del Catatumbo. Como se puede observar, el mapa está representado por colores que van del azul al rojo, lo que señala una mayor concentración de fenómenos o eventos en esa área particular. Esta representación es de gran utilidad, ya que permite tomar decisiones informadas dependiendo de la intensidad de los colores.

Figura 17

Mapa de Calor Generado a Partir de la Longitud y Latitud



El código de la Figura 18, evidencia el quinto resultado arrojado, el cual genera un mapa de distribución espacial utilizando la librería de “matplotlib” en la cual se define el tamaño de la figura, y se crea un gráfico de dispersión en donde los puntos representan las coordenadas de longitud y latitud de los datos y el color de los puntos. Finalmente se añade una cuadrícula para facilitar la lectura de la gráfica.

Figura 18

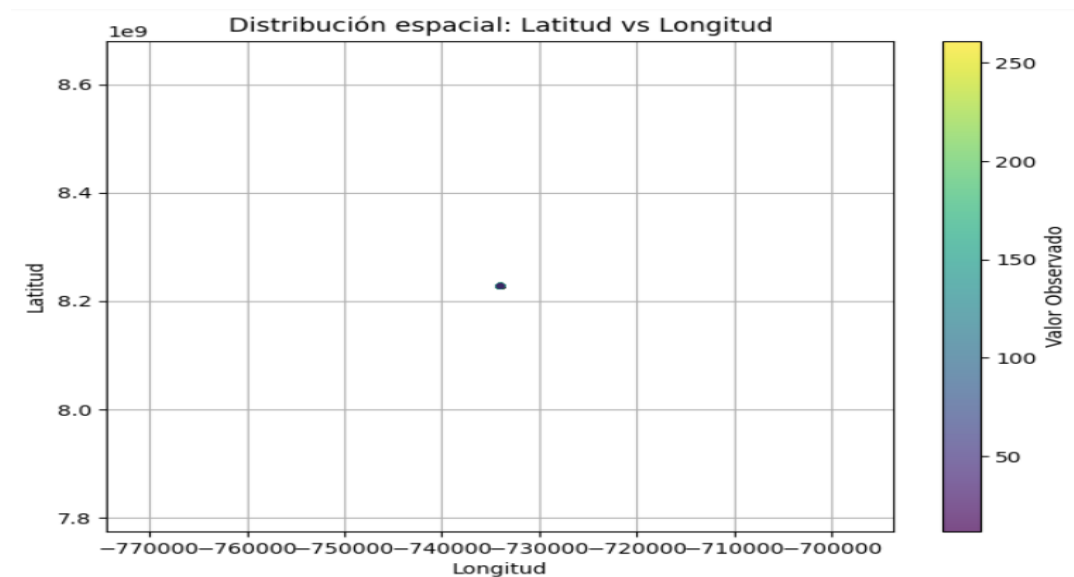
Código para la Generación de un Mapa de Distribución Espacial, que Representa Visualmente la Dispersión Geográfica.

```
# Crear el mapa de distribución espacial
plt.figure(figsize=(8, 6))
plt.scatter(Data_temp['Longitud'], Data_temp['Latitud'], c=Data_temp['ValorObservado'], cmap='viridis', s=10, alpha=0.7)
plt.colorbar(label='Valor Observado')
plt.title("Distribución espacial: Latitud vs Longitud")
plt.xlabel("Longitud")
plt.ylabel("Latitud")
plt.grid(True)
plt.show()
```

La Figura 19 muestra un gráfico de dispersión que lleva como título Distribución espacial: Latitud y Longitud. En el eje horizontal se representa la longitud, con valores que oscilan entre -770000 y -700000, mientras que en el eje vertical se muestra la latitud con valores que van desde 7.8e9 hasta 8.6e9. A la derecha del gráfico hay una barra de colores que indica el (Valor Observado) con una escala que va desde 0 hasta más de 250, utilizando una combinación de colores que va del morado al amarillo. Este gráfico es interesante porque permite visualizar la distribución espacial de un conjunto de datos en términos de latitud y longitud al ser este dataset de un solo punto geográfico (Estación agua de la virgen) solo se visualizará un único dato del cual se obtienen los valores, siendo este mapa de distribución una ayuda para comprender el comportamiento que tiene el clima de acuerdo a los valores obtenidos por las estaciones en la región del Catatumbo.

Figura 19

Mapa de Distribución Espacial que Muestra la Ubicación Geográfica de los Puntos de la Estación Meteorológica



La Figura 20 muestra el sexto resultado, desde donde se calcula y muestra estadísticas descriptivas básicas para todas las columnas numéricas, lo que hace es imprimir un resumen de las estadísticas descriptivas generales como la media, mediana, desviación estándar, valores mínimos y máximos entre otros, proporcionando una visión más detallada de estas variables.

Figura 20

Código de Análisis Estadístico Descriptivo Básico, que Incluye el Cálculo y Presentación de Medidas de Tendencia Central

```
# Estadísticas descriptivas básicas para todas las columnas numéricas
print("\nEstadísticas descriptivas:")
print(Data_temp.describe())

# Calcular medidas específicas para columnas seleccionadas
columnas_numericas = ['ValorObservado', 'Latitud', 'Longitud'] # Agregar nombres de columnas relevantes
for col in columnas_numericas:
    print(f"\nMedidas descriptivas para {col}:")
    print(f"Media: {Data_temp[col].mean():.2f}")
    print(f"Mediana: {Data_temp[col].median():.2f}")
    print(f"Desviación estándar: {Data_temp[col].std():.2f}")
```

La Figura 21 muestra un análisis estadístico descriptivo de un conjunto de datos con varias variables, este análisis es relevante porque nos muestra una visión general de la distribución y las características de los datos, lo que puede ser útil para identificar patrones en el cambio climático de esta región, como se observa la media el cual es el promedio de los datos con un valor de 161.10 lo cual es un valor alto que nos indica el aumento significativo en la temperatura de esta región, la mediana es el valor medio entre estos datos con un valor de 168.00 lo cual corrobora el aumento de estos datos con una diferencia de 6.9, además se obtiene una desviación estándar de 51.43 lo cual indica que tanto se desvían los datos del valor de la media.

Figura 21

Análisis Estadístico Descriptivo Básico

```

Estadísticas descriptivas:
count      codigoestacion  CodigoSensor      FechaObservacion \
mean      16055120.0      70.0      2014-09-16 09:45:44.351164416
min      16055120.0      70.0      2006-01-10 08:01:00
25%      16055120.0      70.0      2010-03-16 15:27:00
50%      16055120.0      70.0      2017-03-09 06:16:00
75%      16055120.0      70.0      2018-10-15 22:23:00
max      16055120.0      70.0      2019-12-08 18:00:00
std      0.0      0.0      NaN

ValorObservado      Latitud      Longitud      Año
count      3907.000000      3.907000e+03      3907.0      3907.000000
mean      161.097773      8.227694e+09      -733975.0      2014.196826
min      12.000000      8.227694e+09      -733975.0      2006.000000
25%      157.000000      8.227694e+09      -733975.0      2010.000000
50%      168.000000      8.227694e+09      -733975.0      2017.000000
75%      186.000000      8.227694e+09      -733975.0      2018.000000
max      261.000000      8.227694e+09      -733975.0      2019.000000
std      51.427011      0.000000e+00      0.0      4.594450

Medidas descriptivas para ValorObservado:
Media: 161.10
Mediana: 168.00
Desviación estándar: 51.43

Medidas descriptivas para Latitud:
Media: 8227694444.00
Mediana: 8227694444.00
Desviación estándar: 0.00

Medidas descriptivas para Longitud:
Media: -733975.00
Mediana: -733975.00
Desviación estándar: 0.00

```

Descripción Objetivos Específicos

Analizar los Aspectos Fundamentales del Cambio Climático en Ocaña y la Región, Incluyendo sus Causas, Efectos y Posibles Soluciones

El cambio climático hace referencia a las alteraciones en los patrones de temperatura causadas por la actividad humana en el mundo, estas alteraciones desequilibran los ecosistemas naturales, los cuales desempeñan un rol fundamental en el control de la temperatura, humedad, calidad del aire y el ciclo del agua, Al verse afectados estos ecosistemas se desencadenan efectos climáticos inesperados que afectan la fauna, flora y asentamientos En Latinoamérica, las proyecciones climáticas aseguran un aumento de temperatura y precipitaciones cada vez más peculiares, con sequías prolongadas o lluvias violentas debido a las condiciones climáticas cada vez más cambiantes, los incendios muestran un peligroso aumento, ya que la vegetación de Latinoamérica sufre transformaciones que no son propias lo cual las vuelve aún más vulnerables tanto a factores humanos como a fenómenos naturales debido a las altas temperaturas. Esta evolución acelerada se refleja en sequías y olas de calor intensas y frecuentes lo que facilita la propagación de incendios y complica su extinción. (Universidad Loyola. Instituto de Desarrollo. Fundación ETEA, 2023)

Los reportes climáticos destacan que en el año 2020 fue un año muy caluroso en centro América y el caribe. Las sequías tuvieron un gran impacto en rutas de navegación, la producción y la agricultura de alimentos especialmente en la región del caribe. Otro factor crítico es el aumento del nivel del mar que ha crecido a un ritmo de 3.3 mm por año. Aunque este aumento parece pequeño, afecta gravemente a las comunidades costeras, ya que más del 27% de la población habita estas zonas, ya que se estima que el 6 a 8% de esta población vive en áreas de alto riesgo sumándole a esto la estimación de la temperatura de los océanos (ONU, 2021)

Además, estos cambios climáticos contribuyen al descenso del acceso a los alimentos, ya que en países de Latinoamérica no tan desarrollados han reportado un gran descenso en las cosechas como lo es México el cual reporta una baja del 50% a comparación con Guatemala la cual reportó una pérdida cercana al 80% de sus cultivos. La ONU recomienda que las regiones deben:

- Monitorear peligros climáticos
- Reforzar los sistemas de alerta temprana
- Establecer planes de prevención de desastres para reducir riesgos. Sin embargo, en

América latina los sistemas de alerta temprana aún están poco desarrollados.

En Colombia la producción de alimentos está en riesgo gracias a la exposición y perceptibilidad de cultivos como frijol, plátano y yuca gracias al cambio climático, lo que podría llevar a la disminución de su disponibilidad y nutrientes. Además, la biodiversidad y los recursos hídricos estarán en riesgo. Ante esta situación la agenda ambiental del presidente Gustavo Petro junto a la ministra Susana Muhamad han priorizado la toma de acciones ante estos fenómenos climáticos en el Plan Nacional de Desarrollo, para gestionar el riesgo de desastres, mitigar la erosión costera y cumplir con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

(Minambiente, 2023)

Debido a estos cambios globales en el clima, se hace necesario la toma de acciones rápidas y eficaces para proteger la fauna, flora y comunidades humanas de cada región. Para abordar esta problemática se utilizan sensores que monitorean de forma continua la temperatura, la humedad y velocidad del viento, esto con el fin de recopilar constantemente esta información la cual es crucial para que se tome conciencia sobre los efectos nocivos de nuestra actividad y de

esta forma reducir los gases de efecto invernadero logrando estabilizar nuevamente el clima en estas regiones.

Estructurar la Arquitectura del Sistema de Monitoreo Climático, Especificando los Componentes Necesarios, como Sensores, Dispositivos de Comunicación y Plataformas de Procesamiento de Datos

El diseño de un sistema de monitoreo climático requiere un análisis detallado tanto de los requisitos funcionales como de los técnicos para asegurar la correcta recopilación, transmisión y procesamiento de datos. Este sistema se compone por diversos componentes esenciales, desde sensores que permiten medir variables ambientales, hasta plataformas de almacenamiento y análisis de datos. Debido a esto cada componente se seleccionó y organizó cuidadosamente para tener un muy buen rendimiento y garantizar una ejecución confiable y en tiempo real. Para lograr esto se identifican las variables climáticas más relevantes en la región, teniendo en cuenta la influencia en el comportamiento climático y su impacto en sectores como la agricultura, el turismo y el medio ambiente.

Las variables principales que se monitorearán son la temperatura, la humedad y la velocidad del viento. Estas variables son esenciales para evaluar las condiciones atmosféricas actuales de la región y para anticipar fenómenos climáticos adversos. En este contexto, la selección adecuada de sensores es fundamental para garantizar la precisión y la confiabilidad de los datos recolectados.

La selección de los sensores es un aspecto esencial a la hora del desarrollo de la arquitectura del sistema. Por ende, para este se utilizará un sensor DTH11 el cual es capaz de detectar temperatura y humedad garantizando que el sensor tenga una alta veracidad y una estabilidad a largo plazo. El sensor cuenta con un elemento de detección de humedad capacitivo

y un elemento de medición de temperatura NTC conectados a un microcontrolador de 8 bits aportante un alto rendimiento. Por otro lado, este sensor tiene una gran variedad de aplicaciones en diferentes ámbitos como en la agricultura, equipos de prueba y estaciones meteorológicas. Además, se debe destacar características esenciales como lo es el bajo costo, estabilidad a largo plazo, excelente calidad, respuesta ultrarrápida, capacidad anti interferencias y calibración precisa. (ASAIR). Adicionalmente se le añadirá a esta arquitectura un anemómetro el cual es un sensor capaz de medir la dirección y velocidad del viento, este sensor es robusto y resistente en condiciones meteorológicas extremas brindando información fiable y segura. Estos sensores recolectarán los datos necesarios para monitorear las condiciones climáticas de forma continua, confiable y segura.

Una vez se obtienen los datos recolectados por los sensores es necesario un microcontrolador que sea capaz de enviar la información a la base de datos, para este propósito se utilizará el ESP32 el cual es un sistema de bajo consumo y bajo costo lo cual lo convierte en la opción principal para el envío de información (Bruno Saravia, 2019), Por otra parte se selecciona el Arduino uno encargado de recibir, procesar y preparar los datos para su transmisión, además su programación está basado en lenguaje C lo que lo hace fácil de desarrollar y ejecutar.

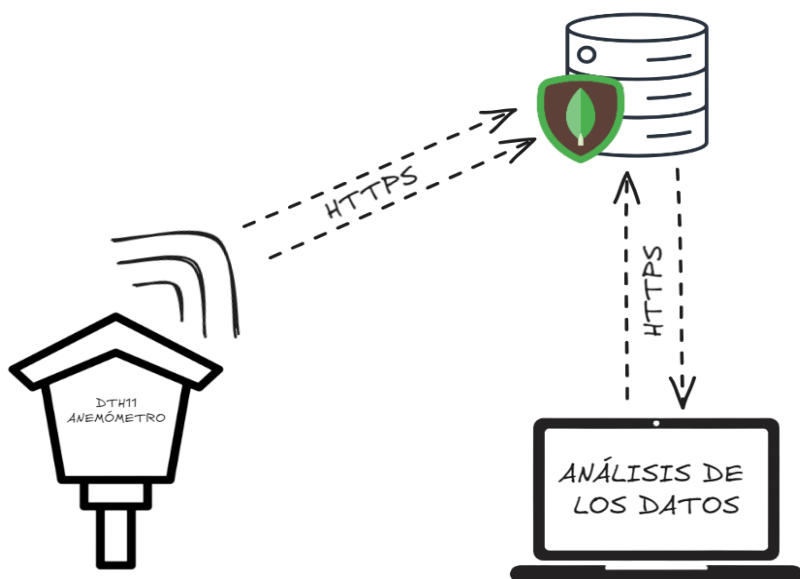
El almacenamiento de los datos procesados por el Arduino uno y enviados por el ESP32 se realiza en una base de datos NoSQL, específicamente MongoDB, debido a que su almacenamiento es en la nube, maneja grandes volúmenes de datos no estructurados facilitando el acceso de estos en tiempo real realizando consultas rápidas para que puedan ser analizadas posteriormente. Este análisis se podrá visualizar en plataformas de análisis de datos que

mostrarán gráficos y estadísticas útiles que ayudarán a la toma de decisiones efectivas basadas en las condiciones climáticas y las tendencias históricas.

Para asegurar que este sistema funcione de forma correcta, se diseñará un diagrama de arquitectura con el fin de mostrar el flujo de datos desde los sensores hasta la base de datos, siguiendo una arquitectura modular la cual permite que los componentes sean cambiados con facilidad sin afectar el funcionamiento de esta siendo importante en esta clase de proyecto en donde la tecnología avanza rápidamente y la facilidad de actualizar los componentes es crucial para mantener la relevancia y precisión de las mediciones a lo largo del tiempo.

Figura 22

Arquitectura del Sistema de Monitoreo Climático



Desarrollar un Modelo Detallado de Integración de Sensores y Dispositivos, Delineando el Flujo de Datos Desde la Recolección Hasta el Análisis en Tiempo Real

El monitoreo climático se ha convertido en una herramienta fundamental para entender y mitigar los efectos del cambio climático en Ocaña y la región del Catatumbo en el que las

condiciones climáticas son peculiares, se hace necesario un sistema que permita la recopilación de información ambiental en tiempo real y el análisis de estos datos para su comprensión y evolución en la toma de decisiones efectivas basada en evidencia científica.

La importancia de integrar sensores y dispositivos radica en no solo adquirir la información, es necesario procesarlos de manera eficiente para que puedan ser útiles en la predicción de eventos y en la planificación de acciones ante posibles cambios de manera repentina en el clima.

En primer lugar, para lograr una integración adecuada de estos sensores es necesario identificar los componentes que formarán parte del sistema. Los principales elementos Tabla 1 son los sensores de temperatura y humedad (DTH11) y el sensor de velocidad del viento (anemómetro). Estos dispositivos son seleccionados por su alta precisión y durabilidad, considerando las condiciones climáticas y ambientales ya que los sensores deben ser capaces de operar de manera autónoma durante largos periodos de tiempo y transmitir datos sin interrupción. Además de los sensores este modelo tendrá un Arduino nano que funcionará como interpretador entre los sensores que serán enviados por medio del ESP32.

El modelo para este sistema se basa en un grupo de sensores los cuales forman un nodo que se comunica con la base de datos en la nube (MongoDB) mediante una red de área amplia de baja potencia (LPWAN). Los datos recolectados se envían a través del microcontrolador que los almacena temporalmente para luego ser transmitidos en tiempo real para su almacenamiento.

Tabla 1*Función y Detalles de los Componentes del Proyecto*

Componente	Función	Detalles
Sensor DHT11	Medición de temperatura y humedad	Bajo costo, fácil configuración
Anemómetro	Medición de velocidad del viento	Resistente a condiciones extremas
ESP32	Transmisión de datos vía Wi-Fi	Bajo consumo energético
Arduino Uno	Procesamiento de datos locales	Compatible con sensores estándar
MongoDB	Almacenamiento de datos	Base de datos noSQL escalable

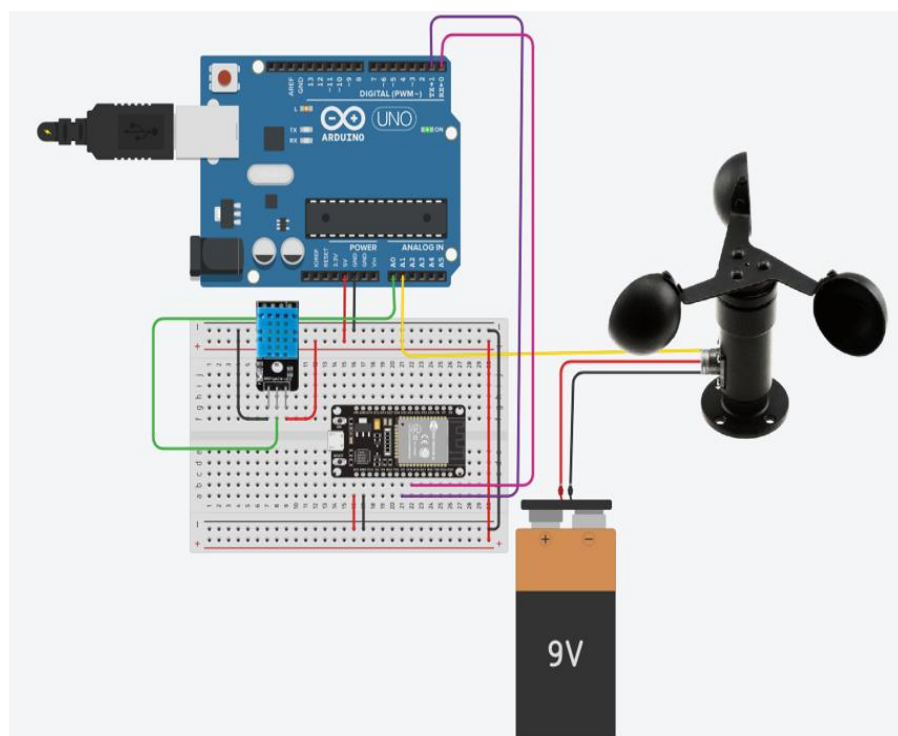
Por otra parte, este modelo para el monitoreo climático, las conexiones físicas son fundamentales para el correcto funcionamiento desde la recolección hasta el envío de los datos, por ende el Arduino se conectara a una fuente de energía y de este se extienden dos cables a la protoboard uno de energía a 5v y uno GND este alimentara el sensor DTH11 que se encarga de medir la temperatura y humedad del ambiente y el ESP32, seguido a esto se conectar el sensor DTH11 al puerto A0 y el anemómetro que medirá la velocidad y dirección del viento en el puerto A1 del Arduino y el ESP32 se conectara al Tx y Rx del Arduino, que son los puertos utilizados para la transmisión y recepción de datos en serie y por último se conecta el anemómetro a una fuente de energía de 9v externa.

En este esquema cada conexión se diseñó cuidadosamente para asegurar el flujo constante de datos además de poder actualizar los componentes sin ningún tipo de problema, esto garantiza que el sistema de monitoreo climático funcione de manera eficiente en cualquier espacio que se halla colocado. La integración de estos componentes demuestra cómo la arquitectura de este sistema es capaz de manejar diversos tipos de datos y enviarlos a una base de

datos remota para su análisis, la principal característica a destacar de este diseño es el bajo consumo energético y una configuración robusta que le permitirá funcionar correctamente de manera autónoma por muchos años sin la necesidad de intervención humana para cumplir con sus funciones incluso en entornos rurales donde los recursos son limitados.

Figura 23

Modelo Detallado de Integración de Sensores y Dispositivos

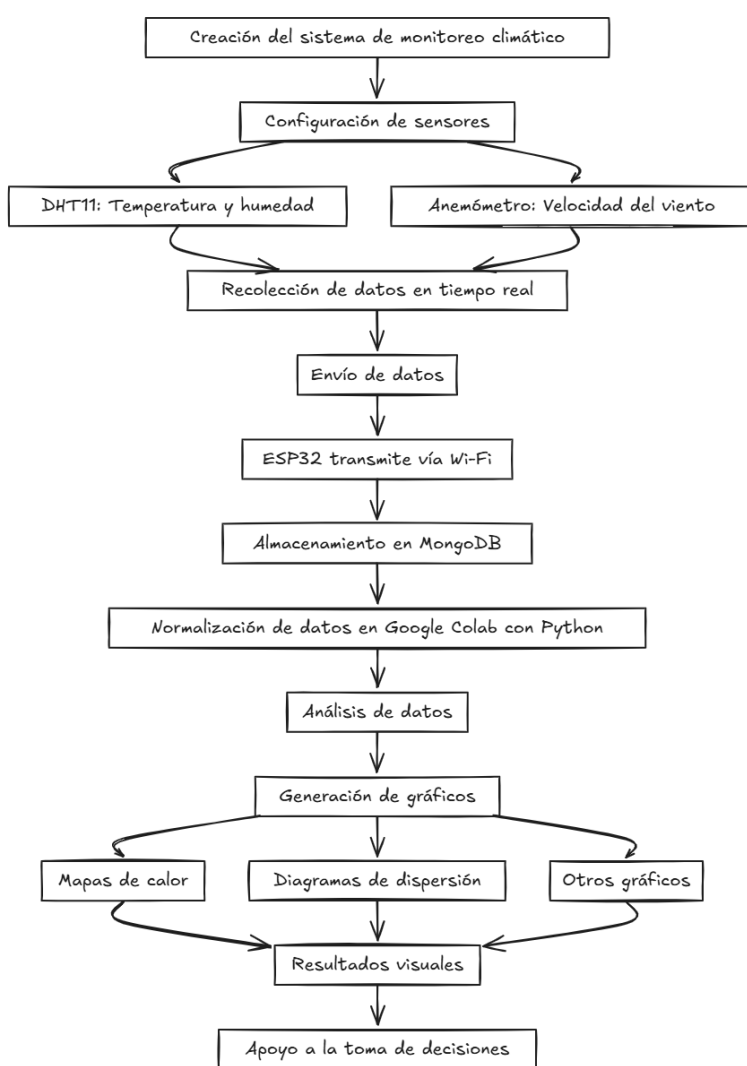


Por otra parte, el flujo de datos del proyecto inicia con la recolección de los datos del medio ambiente por parte de los sensores DHT11 y anemómetro, los cuales miden la temperatura, la humedad y la velocidad del viento. Seguido a esto los datos son capturados en tiempo real y transmitidos gracias al módulo ESP32, el cual los envía por Wi-Fi hacia la base de datos MongoDB la cual al no ser una base NoSQL no tiene una estructura predeterminada para su almacenamiento. Una vez se almacena la información, los datos son extraídos y procesados en

Google Colab, donde se lleva a cabo el proceso de normalización, estandarización y corrección para garantizar su calidad. Por último, los datos procesados son utilizados para realizar un análisis detallado, proporcionando información valiosa sobre las condiciones climáticas monitoreadas.

Figura 24

Diagrama que ilustra el Flujo de Datos a Través del Sistema, Detallando cómo la Información se Recoge, Procesa y se Transmite



Conclusiones

El análisis de la presencia del cambio climático revela que este fenómeno se desarrolló por actividades humanas como la deforestación y las emisiones de gases de efecto invernadero y factores naturales, debido a que los efectos son evidentes como el aumento de la temperatura y degradación de los recursos naturales como el agua. Por ende, para mitigar estos impactos es necesario implementar políticas ambientales, reforestación y monitoreo constante de los factores climáticos.

Los dispositivos electrónicos juegan un papel fundamental en la medición de variables ambientales gracias a sensores y componentes de comunicación por medio de módulos los cuales permiten tomar decisiones acertadas, por ende, este diseño proporciona una base sólida para la toma de decisiones en tiempo real ante eventos naturales inclementes.

Un modelo detallado garantiza un flujo de datos eficiente desde la recolección por parte de los sensores hasta el envío a la base de datos por medio de protocolos de comunicación asegurando un procesamiento ágil y preciso de la información debido a esto este modelo permite tener una idea más clara sobre la utilización de los sensores, su funcionamiento y las capacidades que estos tienen para la recolección de datos facilitando a los seres humanos un entendimiento más precisa de los eventos climáticos que nos afectan.

Los datos analizados permiten comprender las variaciones climáticas a lo largo del tiempo, lo que indica la utilidad de estos sistemas en la identificación de patrones que pueden aproximar eventos climáticos gracias a los sensores que capturan datos en esta región, presentando oportunidades de toma de decisiones a nivel regional.

Recomendaciones

Se recomienda integrar técnicas de inteligencia artificial y machine learning, ya que estas pueden mejorar significativamente la precisión del análisis de los datos climáticos recolectados por los sensores. El uso de modelos predictivos avanzados, como regresión, random forest o redes neuronales, puede permitir predecir tendencias climáticas a largo plazo y detectar patrones ocultos en los datos.

La utilización de redes neuronales para análisis predictivo debido a que estas pueden ser utilizadas para predecir variaciones en las variables climáticas por medio de datos históricos facilitando la toma de decisiones informadas con mayor cautela.

Alertas en tiempo real basadas en condiciones climáticas extremas, añadiendo un sistema de alertas tempranas que notifique a la población sobre eventos climáticos extremos con el fin de realizar las preparaciones necesarias ante los desastres.

Referencias Bibliográficas

- Ortega Contreras, J. Y., Becerra Moreno, D., Barajas Solano, A. F., Ramírez Ríos, L. F., & Sanguino Barajas, P. A. (2018). *La gestión ambiental y su impacto en el desarrollo de las actividades productivas*. Ufps.
- Alvarado Vanegas, J. (2022). *Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo de variables agroclimáticas (temperatura, humedad, brillo solar) y control remoto de riego con modulo esp8266 en cultivos cítricos en la región caribe*. UAN universidad i;o, 1-68.
- Alvarado Vanegas, J. (2022). *Diseño e implementación de un sistema para el monitoreo de variables agroclimáticas (temperatura, humedad, brillo solar) y control remoto de riego con modulo esp8266 en cultivos cítricos en la región caribe*. UAN.
- ASAIR. (s.f.). *Digital Temperature & Humidity Module DHT11 User Manual*. China: ASAIR.
- Belloni, M. C. (2011). *DESARROLLO DE UN SISTEMA DE OBSERVACIÓN Y ANÁLISIS CLIMÁTICO Y AMBIENTAL. DISEÑO DE ESTACIONES AGROMETEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS NIMBUS THP*.
- Bruno Saravia, A. (2019). *ESP32 NODE MCU*. microelectronicash.
- Cama-Pinto, A. A.-C.-E.-O.-M.-O. (2016). *Diseño de una red de sensores inalámbricos para la monitorización de inundaciones repentinas en la ciudad de Barranquilla, Colombia*. Ingeniare. *Revista chilena de ingeniería*, 581-599.
- Casas, V. P. (2021). *DISEÑO DE SENSOR IOT DE VARIABLES CLIMÁTICAS PARA CULTIVO AEROPÓNICO APLICADO A LECHUGA (IOT SENSOR DESIGN OF CLIMATE VARIABLES FOR AEROPONIC CULTIVATION APPLIED TO LETTUCE)*. *Pistas Educativas*, 140.

Cepal. (5 de Abril de 2020). *Cepal. Daño y pérdida de biodiversidad:*

<https://www.cepal.org/es/temas/biodiversidad/perdida-biodiversidad>

Congreso Nacional. (27 de Julio de 2018). Ley 1931 de 2018. *Funcion publica*, 1-8.

Cuevas Martinez, I. (2023). *Design and Evaluation of a Dryer System for IoT Hyperlocal Particulate Matter Monitoring Device*. *Scopus*, 1-14.

<https://doi.org/10.1109/JSEN.2024.3364537>

Departamento nacional de planeacion. (2022). *Juntos por el territorio. colaboracion*, 1-39.

El Espectador. (24 de Enero de 2024). *El incendio en el páramo de Berlín habría sido provocado por un cortocircuito*. pág. 1.

Herrera Gómez, A. y. (2016). *Diseño e Implementación de una Aplicación SIG para la Supervisión y Monitoreo de Sensores en el Campo de la Agricultura de Precisión*. *Trabajo de Grado*. <https://repositorio.unillanos.edu.co/handle/001/1172>

Martinez, I. C. (2024). *Design and Evaluation of a Dryer System for IoT Hyperlocal Particulate Matter Monitoring Device*. *Scopus*, 1-14.

Mateo y Mena Rueda Edison Fernando, L. M. (2021). *Diseño e implementación de una red de sensores inalámbricos fijos y móviles para la monitorización de la calidad de aire y condiciones ambientales en espacios interiores*. Universidad de las Fuerzas Armadas. *Trabajo de grado*.

Minambiente. (2016). *Plan Nacional de Adaptación al cambio climático*. *Minambiente*, 24-68.

Minambiente. (2017). *Politica Nacional de Cambio Climatico*. *Minambiente*, 28-38.

Minambiente. (22 de Abril de 2023). *¿Cómo afectaría el cambio climático a Colombia en los próximos años?*

- Muller, A. C. (2019). *Co-diseñar un sistema de monitoreo y alerta temprana de hambre estacional relacionado a variabilidad climática en Guatemala*.
- Nacional, C. (1993). Ley 99 de 1993. *Función pública*, 1-60.
- Nacional, C. (2012). Ley 1581 de 2012. *Función pública*, 1-9.
- Naciones unidad. (21 de Octubre de 2024). *Naciones unidad*. Causas y efectos del cambio climático: <https://www.un.org/es/climatechange/science/causes-effects-climate-change>
- National Quality Assurance. (2022). *ISO 27001. NQA*, 18-21.
- Odiard, C. A. (2020). *Sistema de información de apoyo a las decisiones en la agricultura de precisión basado en redes de sensores remotos y herramientas de sistemas de información geográfica*. Argentina: Google academico.
- OIM. (2008). *El cambio climático, la degradación del medio ambiente y la migración: qué hacer ante las circunstancias de vulnerabilidad de la población y cómo aprovechar las oportunidades de solventar el problema.*, (págs. 1-22). Ginebra.
https://www.iom.int/sites/g/files/tmzbd1486/files/jahia/webdav/shared/shared/mainsite/events/docs/hsn/hsn_report_spanish.pdf
- OIM. (2022). *Naciones Unidad*. Acción por el clima:
<https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>
- ONU. (17 de Agosto de 2021). *Cambio climático: América Latina será una de las regiones más afectadas*. Cambio climático: América Latina será una de las regiones más afectadas:
<https://news.un.org/es/story/2021/08/1495582>
- ORG. (1992). *Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. ORG, 8.
- ORG. (2023). *Acción por el clima*. *unstats*, 40--41.

- Palacios, J. W. (2016). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO, REGISTRO Y CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA UN CULTIVO DE INVERNADERO. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA*. Trabajo de Grado.
- Quilapanta Chimbolema, J. D. (2024). *Aplicación móvil para difundir datos climáticos de la Provincia Bolívar generados a través del proyecto de investigación Sensores remotos para el monitoreo del estado del tiempo de los 3 pisos climáticos de la Provincia de Bolívar*. Trabajo de Grado.
- Quiñones-Cuenca, M. G.-J. (2017). *Sistema De Monitoreo de Variables Medioambientales Usando Una Red de Sensores Inalámbricos y Plataformas De Internet De Las Cosas. Enfoque UTE,*. Ecuador.
- RCN noticias. (14 de Noviembre de 2024). *La temporada invernal ha originado el desbordamiento de tres ríos en Norte de Santander*. Norte Santander.
- Rentería Flores, R. U. (2022). *Diseño electrónico del sistema de alerta temprana para monitoreo y detección de inundaciones. Revista de difusión científica, ingeniería y tecnologías*, 50-57. <http://difu100cia.uaz.edu.mx/index.php/difuciencia/article/view/337>
- Rivera, A. P. (2023). *Local weather station design and development for cost-effective environmental monitoring and real-time data sharing. Sensors. Sensores de bajo costo para monitoreo ambiental*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s23229060>
- Rodríguez Pérez, M. (2018). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE UN SISTEMA*. Escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito, 2-163.
- Salud sin daño. (2024). *Cambio climático*. Salud sin daño: <https://lac.saludsindanio.org/cambio-climatico-y-salud/glosario-cambio-climatico>

Sánchez Cuevas, J. L. (2023). *MONITOREO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD AMBIENTAL CON LORAWAN: IoT EN EL DESAFÍO ENERGÉTICO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO.*

Revista IPSUMTEC. 60-67.

United Nations Climate Change. (2015). *Acuerdo de París. United Nations Climate Change*, 1-29.

United Nations Climate Change. (2015). *Acuerdo de París. United Nations Climate Change*, 1-29.

Universidad Loyola. Instituto de Desarrollo. Fundación ETEA. (2023). *Congreso Internacional Desarrollo Rural CIDR 2023 Córdoba, 14 - 16 de junio. Libro de resúmenes.* Cordoba.

Van de Velde, H. (2021). *Sistemas de Evaluación, Monitoreo.*

Zumthor, P. (2014). *Atmósferas.* Peter Zumthor, Atmósferas:

<https://tecne.com/biblioteca/zumthor-atmosferas/>