

Análisis de la calidad del aire en la ciudad de Chitré 2024 con internet de las cosas (IoT)

Air quality analysis in the city of Chitre 2024 with the inter-net of things (IoT)

Alexis Camargo

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario Azuero. Panamá

alexis.camargo@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-1801-0712>

Félix H. Camarena Q.

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario Azuero. Panamá

felix.camarena@up.ac.pa <https://orcid.org/0000-0002-5601-3252>

Recepción: 22 de mayo de 2024

Aprobación: 6 de septiembre de 2024

DOI: <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v5n2.6203>

Resumen

La contaminación del aire es un problema crítico que afecta la salud pública y el medio ambiente. Nuestra propuesta aborda este desafío mediante el uso de dispositivos de internet de las cosas (IoT) de bajo costo para el análisis de la calidad del aire en la ciudad de Chitré-Herrera. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la calidad del aire en Chitré utilizando estaciones equipadas con placas Arduino y sensores que generaron información de agentes contaminantes durante el mes de agosto. La metodología involucró la instalación de las estaciones en los corregimientos de Chitré Cabecera y San Juan Bautista, donde se midió los niveles de PM_{2.5}, PM₁₀ y CO₂. Se emplearán técnicas estadísticas descriptivas para identificar patrones, comparar las condiciones entre corregimientos. Los resultados obtenidos indican que las concentraciones de PM_{2.5}, PM₁₀ y CO₂ están dentro de los límites aceptables establecidos por la OMS, con valores promedio de PM_{2.5} = 2.85 µg/m³, PM₁₀ = 5.63 µg/m³ y CO₂ = 51.65 ppm. Los datos recolectados muestran que los niveles de partículas y CO₂ son aceptables o bajos, lo cual no implica un peligro considerable para la salud de la población. Según los parámetros medidos, el aire de Chitré es seguro y sin amenaza de contaminación. Este estudio servirá de punto de referencia valioso para las entidades de salud y educación



que se dedican a la investigación en temas ambientales y de salud pública, contribuyendo al desarrollo de políticas y acciones para la mejora continua de la calidad del aire en la región.

Palabras clave: ambiente, contaminación, calidad del aire, tecnología arduino.

Abstract

Air pollution is a critical problem that affects public health and the environment. Our proposal addresses this challenge by using low-cost Internet of Things (IoT) devices for the analysis of air quality in the city of Chitre-Herrera. This research aimed to evaluate air quality in Chitre using stations equipped with Arduino boards and sensors that generated information on polluting agents during the month of August.

The methodology involved the installation of stations in the towns of Chitre Cabecera and San Juan Bautista, where the levels of PM_{2.5}, PM₁₀ and CO₂ were measured. Descriptive statistical techniques will be used to identify patterns and compare conditions between townships. The results obtained indicate that the concentrations of PM_{2.5}, PM₁₀ and CO₂ are within the acceptable limits established by the WHO, with average values of PM_{2.5} = 2.85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀ = 5.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and CO₂ = 51.65 ppm . The data collected shows that the levels of particles and CO₂ are acceptable or low, which does not imply a considerable danger to the health of the population. According to the measured parameters, Chitre air is safe and without threat of pollution. This study will serve as a valuable reference point for health and education entities that are dedicated to research on environmental and public health issues, contributing to the development of policies and actions for the continuous improvement of air quality in the region.

Keywords: air quality, arduino technology, environment, pollution.



INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire representa un desafío global debido a su impacto en la salud pública y el medio ambiente, especialmente en áreas urbanas donde la industrialización y la actividad vehicular son constantes. Esta se define como el grado en el que el aire está libre de contaminantes que pueden afectar la salud humana y el medio ambiente (Fenaer, 2023). A nivel mundial, la exposición a contaminantes atmosféricos se asocia con enfermedades respiratorias, afectando tanto a poblaciones vulnerables como a la comunidad en general (OMS, 2021). En América Latina, la exposición a contaminantes atmosféricos como partículas en suspensión (PM_{10} y $PM_{2.5}$), y dióxido de carbono (CO_2) está vinculada a un aumento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares, especialmente en grandes ciudades. Ciudades como Bogotá, Ciudad de México, São Paulo y Santiago frecuentemente exceden los límites de contaminación recomendados por la OMS, lo cual incrementa los casos de bronquitis, infecciones respiratorias en niños y enfermedades cardíacas en adultos mayores (Wtitzmfeld, n.d.). Según la Organización Panamericana de la Salud, hasta el 76% de los habitantes urbanos en la región están expuestos a niveles de partículas superiores a los recomendados, lo que genera un impacto significativo en la salud pública y una mayor carga sobre los sistemas de salud (Organización Panamericana de la Salud, 2016). En la ciudad de Chitré, provincia de Herrera, Panamá, la calidad del aire se ha convertido en una preocupación significativa debido al crecimiento demográfico e industrial.

Los estudios en torno a la calidad del aire en entornos urbanos han demostrado que factores como la densidad poblacional, el tráfico vehicular y las condiciones meteorológicas influyen en la concentración de contaminantes (Domingo et al, 2020). En Panamá, el Ministerio de Ambiente (MiAMBIENTE) a través de la **Dirección de Verificación del Desempeño Ambiental**, es la entidad responsable de monitorear y evaluar la calidad del aire en el país, que sigue las directrices internacionales y establece normativas para mantener los contaminantes dentro de límites aceptables. Sin embargo, los sistemas de monitoreo de alta precisión en el país se limitan a ciertas áreas, lo que impide tener una visión completa de la calidad del aire en regiones fuera de la capital, como Chitré (Quintero et al., 2023).



El uso de tecnología del Internet de las Cosas (IoT) de bajo costo para el monitoreo ambiental ha ganado relevancia en la última década, gracias al desarrollo de plataformas de hardware libre como Arduino (Kaur, S., & Singh, S., 2020), (Banzi, M., & Shiloh, M. 2014). Estos sistemas permiten el despliegue de estaciones de monitoreo de bajo costo y cobertura amplia, con capacidad para recolectar datos en tiempo real (Banzi & Shiloh, 2014). En el contexto de la ciudad de Chitré, provincia de Herrera, la implementación de estaciones de monitoreo equipadas con sensores IoT(Arduino) ofrece una oportunidad para obtener información valiosa sobre la calidad del aire en las áreas más pobladas de la ciudad. Este enfoque innovador no solo facilita la recolección de datos, sino que también contribuye al análisis de patrones y tendencias en la contaminación, permitiendo a las autoridades competentes y a la comunidad tomar decisiones informadas. Mas aún que la falta de datos locales precisos dificulta la comprensión de los niveles y la variabilidad de los contaminantes, lo cual es fundamental para el desarrollo de políticas efectivas de control de la contaminación y protección ambiental.

Este estudio tiene como objetivo analizar la calidad del aire en dos corregimientos de Chitré (Chitré cabecera – San Juan Bautista) mediante el uso de sensores de partículas en suspensión ($PM_{2.5}$, PM_{10}) y dióxido de carbono (CO_2) integrados en estaciones de monitoreo IoT (Arduino). Además la investigación se centra en identificar las variaciones de la calidad del aire proporcionando así una base de datos actualizada que pueda guiar la implementación de medidas de mitigación y la mejora de la salud pública en la región

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del área de estudio

Figura 1.

Ubicación de los sensores Arduino para medir la calidad del aire en el distrito de Chitré.



Fuente: Google maps

En la figura 1 se observa marcados con la flecha roja los lugares donde se colocaron las estaciones de monitoreo.

Tipo de Datos

Los datos recolectados en este proyecto son **cuantitativos**, ya que se basan en la medición numérica de la concentración de partículas en el aire ($PM_{2.5}$, PM_{10}) y niveles de dióxido de carbono (CO_2) en partes por millón (ppm). Estos datos cuantitativos permiten un análisis estadístico y comparativo con los estándares internacionales, como los establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Forma de Obtener los Datos

Frecuencia de la recogida de los datos:

Ambas estaciones enviaban lecturas cada 20 segundos, haciendo un total aproximado de 10800 lecturas diarias, de las cuales se sacó un promedio diario.

Para la recolección de datos, se utilizó una **metodología experimental** mediante la implementación de dispositivos Arduino equipados con sensores específicos para medir la concentración de contaminantes en el aire. Los sensores más comúnmente usados incluyen:

Sensor de polvo y partículas (PM_{2.5} y PM₁₀) SDS011: Estos sensores detectan la concentración de partículas en el aire y emiten datos en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Figura 2

Sensor SDS011.



Fuente: ESPHome. (s.f.).

En la figura 2 se muestra el sensor SDS011 que se utilizó en el proyecto para medir los niveles de partículas PM_{2.5} y PM₁₀.

Sensor de CO₂ (MQ135): Mide la concentración de dióxido de carbono en el aire en partes por millón (ppm).

Figura 3

Sensor MQ135



Fuentes: Moviltronics (2023)

En la figura 3 se muestra el sensor MQ135 que se utilizó en el proyecto para medir los niveles de CO₂.

Arduino Yun: El Arduino Yun es una placa de desarrollo basada en un sistema Linux, el cual permite la conexión avanzada a redes y aplicaciones. Permite conectar la placa a la red Wi-Fi o a una red cableada de una forma sencilla gracias al panel web de Yun.

Figura 4

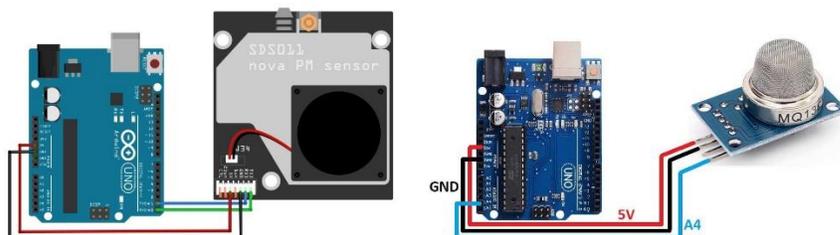
Arduino Yun



Fuente: Arduino Yun. (s.f.)

Figura 5

Esquema de conexión de sensores a la placa Arduino



Fuente: ElectroVigyan. (s.f.).

En la figura 5 se puede observar el esquema de conexión de los sensores usados con Arduino.

b. Descripción de los métodos y técnicas de investigación escogidos.

Para la presente investigación se utilizó el método cuantitativo experimental debido a la necesidad de medir, cuantificar, y analizar datos específicos sobre la calidad del aire, lo que permite una evaluación objetiva y precisa. Además, el enfoque experimental permite manipular y controlar las condiciones bajo las cuales se recolectan los datos, garantizando la validez de los resultados obtenidos (Anguera, n.d.).

Este enfoque proporcionará datos sólidos y fiables que pueden ser utilizados para hacer inferencias sobre la calidad del aire en la ciudad de Chitré y su impacto en la salud pública.

c. Selección de la muestra:

Para el presente estudio, se seleccionó el **muestreo intencional o por juicio**. En el muestreo intencional, también conocido como muestreo por juicio, es una técnica no probabilística en la que el investigador selecciona deliberadamente las unidades de estudio basándose en su conocimiento y criterio sobre qué áreas serán más representativas o relevantes para el objetivo de la investigación (Neftali, 2016).

La elección de los corregimientos de Chitré Cabecera y San Juan Bautista como muestras para el estudio de monitoreo de la calidad del aire es una decisión fundamentada en varios factores clave que podían influir en la representatividad y la relevancia de los datos obtenidos. A continuación, se justifica esta selección de los siguientes corregimientos:

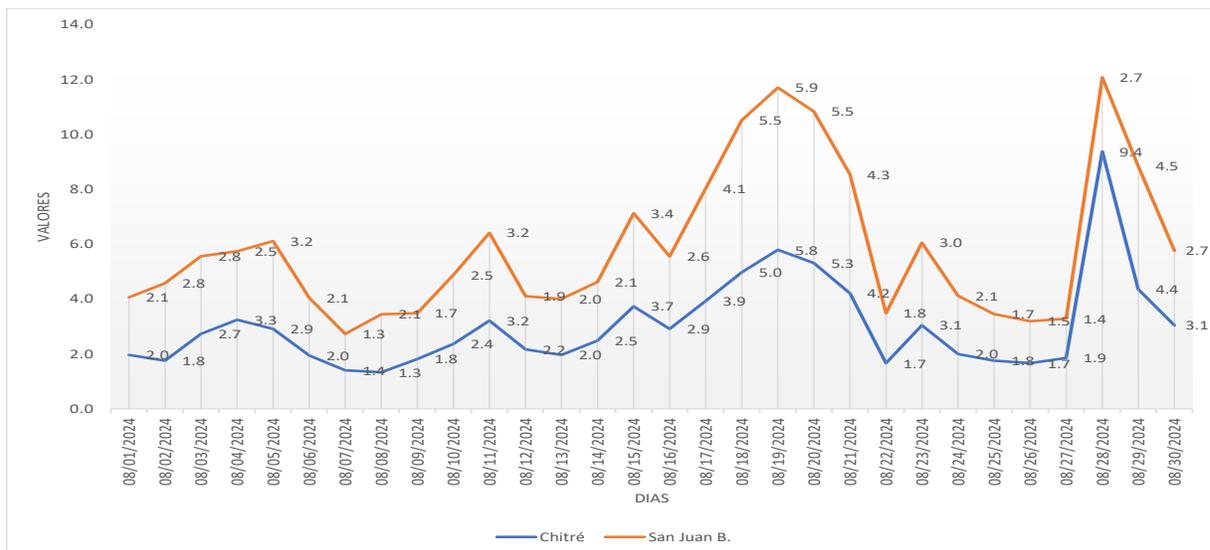
Chitré Cabecera: Es el centro urbano principal de la ciudad, donde se concentra la mayor parte de la actividad comercial, administrativa y residencial. Este corregimiento es representativo de las zonas más densamente pobladas y urbanizadas, lo que permite captar los niveles de contaminación del aire asociados al tráfico vehicular, la actividad industrial ligera y el uso de combustibles fósiles en el día a día.

San Juan Bautista: Este corregimiento, aunque también urbano, puede ofrecer una perspectiva contrastante al ser menos denso que Chitré Cabecera. Permite evaluar cómo varía la calidad del aire en un área con menos congestión vehicular y menor actividad comercial, lo que ayuda a identificar posibles variaciones en la contaminación atmosférica dentro de la misma ciudad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura 6.

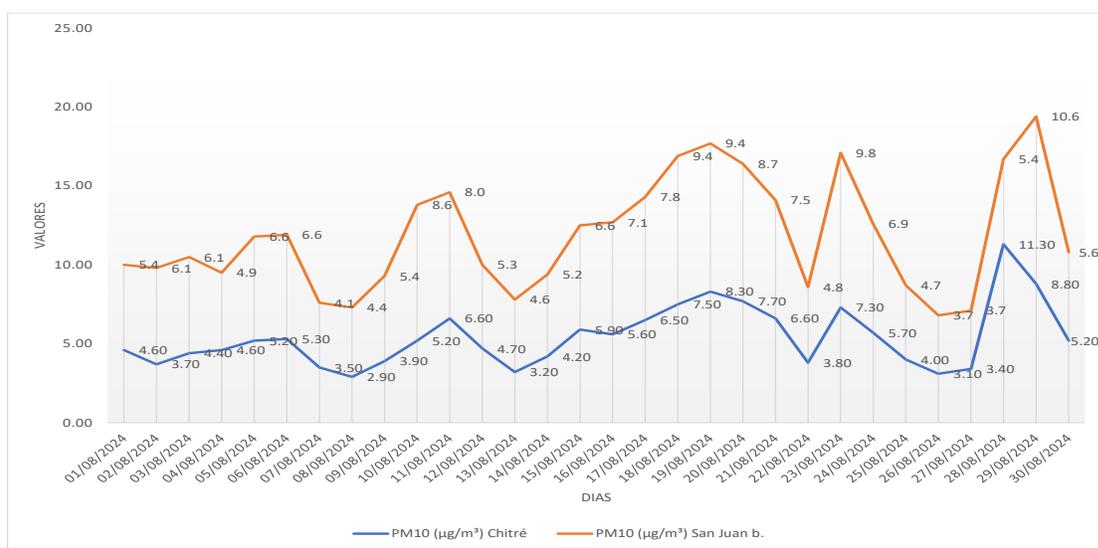
Partículas PM_{2.5} en la Estación Base de Chitré y San Juan Bautista



En la figura 6 se puede observar que los días con mayores concentraciones de $PM_{2.5}$ para la estación de Chitré fueron el 28 de agosto ($9.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que el de menor concentración fueron el 8 de agosto ($1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y para la estación de San Juan Bautista días con concentración más altas fue el 17/08/2024 ($4.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Figura 7

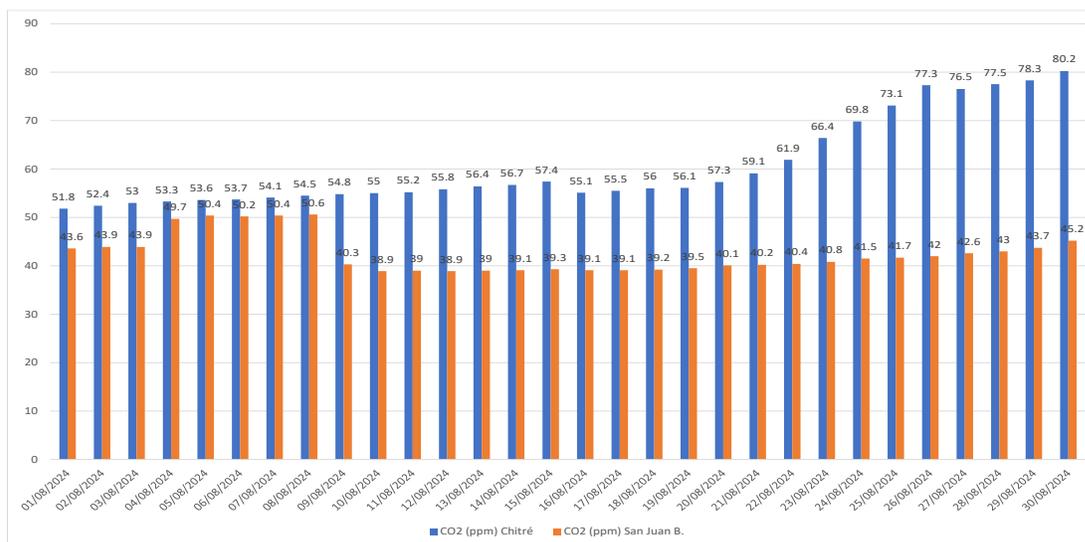
Partículas PM_{10} en la Estación Base de Chitré y San Juan Bautista



En la figura 7 se puede observar que los días con mayores concentraciones de PM_{10} registrado en Chitré fue el 28 de agosto con $11.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en San Juan Bautista fue el 29/08/2024, con $10.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figura 8

Niveles de CO₂ Estación Base de Chitré y San Juan Bautista



Como podemos ver en la figura 8 los valores del CO₂ para ambas estaciones están por debajo de 1,000 ppm.

Análisis Comparativo entre las Dos Estaciones

Tabla 1.

Promedio Mensual de Partículas PM_{2.5}, PM₁₀ y CO₂ de la Estación de Chitré Cabecera y la estación de San Juan Bautista

Promedio Mensual (01- al 30 de agosto de 2024)

Ubicación de la Estación	Partículas PM _{2.5}	Partículas PM ₁₀	CO ₂
Chitré	3.24 µg/m ³	5.45 µg/m ³	59.4 ppm
San Juan Bautista	2.47 µg/m ³	5.81 µg/m ³	43.9 ppm

La calidad del aire describe el estado del aire en nuestro entorno y su nivel de pureza en cuanto a la ausencia de contaminantes que pueden afectar la salud y el medio ambiente (Qué Es La Calidad Del Aire: Importancia Y Medición, 2024). Está influenciada por diversos contaminantes en la atmósfera, como partículas en suspensión (PM_{10} y $PM_{2.5}$), dióxido de carbono, dióxido de azufre, monóxido de carbono y ozono, los cuales provienen tanto de fuentes naturales como de actividades humanas, tales como la industria y el tráfico vehicular. Estos contaminantes pueden causar problemas respiratorios y cardiovasculares en las personas y afectar negativamente a los ecosistemas. La calidad del aire se mide y clasifica en índices, que permiten a las autoridades tomar decisiones para proteger la salud pública, incluyendo restricciones de tráfico o el uso de mascarillas en días críticos (Fenaer, 2023), (World Health Organization, 2021).

Los datos mostrados en las figuras 6,7,8 indican que los valores promedios diarios de partículas $PM_{2.5}$, PM_{10} y CO_2 están muy por debajo del umbral de los $25 \mu g/m^3$, $50 \mu g/m^3$ y 1000 ppm respectivamente y coinciden al estar dentro de los valores establecidos por la OMS, (2021), que establece límites para la exposición diaria a ciertos contaminantes del aire con el fin de proteger la salud pública. Estos índices generalmente clasifican la calidad del aire en categorías como buena, moderada, insalubre para grupos sensibles, insalubre, muy insalubre y peligrosa (WHO Global Air Quality Guidelines, 2021).

Para las partículas finas $PM_{2.5}$, el límite diario recomendado es de $15 \mu g/m^3$, mientras que para las partículas más grandes PM_{10} , el límite diario es de $45 \mu g/m^3$. En cuanto al dióxido de carbono (CO_2), aunque la OMS no establece un valor límite específico para la exposición diaria, se considera concentraciones inferiores a 1.000 ppm en interiores. Estos valores están diseñados para minimizar los riesgos de enfermedades respiratorias y cardiovasculares asociadas con la contaminación del aire. indicando que los niveles son buenos y seguros (World Health Organization: WHO, 2021).

Los días con mayores concentraciones de $PM_{2.5}$ para la estación de Chitré fueron el 28 de agosto ($9.4 \mu g/m^3$), seguido del 19 de agosto ($5.8 \mu g/m^3$) y 20 de agosto ($5.3 \mu g/m^3$). Mientras que los días con menores concentraciones fueron el 8 de agosto ($1.3 \mu g/m^3$) y el 7 de agosto



($1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fueron los días con menor presencia de partículas $\text{PM}_{2.5}$. Para la estación de San Juan Bautista el promedio es bajo, hay días con concentraciones más altas, como los días 17/08/2024 ($4.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 18/08/2024 ($5.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 19/08/2024 ($5.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), y 20/08/2024 ($5.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Estos picos, aunque están por debajo del límite diario según la OMS, podrían indicar eventos o condiciones temporales que contribuyen a un aumento en la concentración de partículas $\text{PM}_{2.5}$. Ver figura 6,7,8.

Los días con mayor concentración de PM_{10} en la estación base de Chitré fue registrado el 28 de agosto con $11.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que sigue siendo considerablemente inferior al límite recomendado por la OMS. Se observaron algunos días con concentraciones más altas, especialmente entre el 18/08/2024 y el 29/08/2024. En este periodo, las concentraciones fluctúan entre $7.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $11.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual sigue estando dentro de los límites aceptables según la OMS (2021), pero es notable que las concentraciones sean más elevadas en comparación con los otros días. En tanto que para la estación base de San Juan Bautista se pueden observar algunos picos significativos, especialmente hacia la segunda mitad del mes, como el día 18/08/2024 y el 29/08/2024, donde los valores alcanzan $9.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $10.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Estos picos pueden reflejar episodios de mayor contaminación que pueden ser importantes para una evaluación detallada de la calidad del aire.

Tanto para los valores de las partículas $\text{PM}_{2.5}$ como para los valores de las partículas PM_{10} existen picos de concentración que podrían deberse a factores externos como fenómenos climáticos, aumento de actividades humanas (construcción, tránsito vehicular, etc.).

Los valores del CO_2 para ambas estaciones están por debajo de 1,000 ppm, lo cual es considerado aceptable y seguro para ambientes interiores, indicando una concentración segura y adecuada de CO_2 (OMS, 2021). Los datos parecen consistentes en términos de concentración de CO_2 , con valores que se mantienen en un rango bastante estrecho, lo que indica estabilidad en las condiciones de ventilación y emisión de CO_2 en el área monitoreada.

Análisis Comparativo entre las Dos Estaciones

Comparar la calidad del aire entre dos estaciones de monitoreo permite analizar variaciones en la concentración de contaminantes como $PM_{2.5}$, PM_{10} y CO_2 , y ofrece una comprensión detallada de los factores que influyen en cada ubicación. Esta comparación ayuda a identificar fuentes de contaminación, a evaluar la exposición de la población a riesgos de salud, y a observar patrones de contaminación que varían según la temporada o el día. También es útil para medir la efectividad de políticas ambientales implementadas, al analizar los cambios en las concentraciones de contaminantes antes y después de las intervenciones. Este análisis comparativo apoya la generación de modelos predictivos que permiten alertas tempranas para reducir el impacto de la contaminación en la salud pública (Fenaer, 2023; World Health Organization, 2021).

Según los datos mostrados en la tabla No.1, el promedio mensual de partículas $PM_{2.5}$ en ambos lugares están muy por debajo del estándar de $25 \mu g/m^3$, pero San Juan Bautista tiene una concentración promedio ligeramente más baja.

De igual manera, el promedio mensual de partículas PM_{10} en ambos lugares están por debajo del estándar de $50 \mu g/m^3$, pero la estación de Chitré muestra valores ligeramente más bajos a pesar de se encontraba a 350 metros de la avenida central y a 800 metros de la terminal de transporte de la ciudad de Chitré.

En cuanto a los niveles de CO_2 , ambos lugares están dentro del rango aceptable (menos de 1,000 ppm), pero la estación de San Juan Bautista muestra concentraciones de CO_2 algo más bajas, indicando mejor ventilación o menos fuentes de emisión en comparación con Chitré Cabecera.

CONCLUSIONES

El uso de tecnología del Internet de las cosas (Arduino) para el monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Chitré nos permitió obtener mediciones precisas y en tiempo real de los contaminantes atmosféricos, lo que contribuirá a una mejor comprensión de los niveles de contaminación y facilitará la toma de decisiones para mejorar la calidad del aire.



Los valores promedio diarios de partículas $PM_{2.5}$ y PM_{10} en las estaciones de Chitré y San Juan Bautista se encuentran considerablemente por debajo de los límites establecidos por la OMS, lo que indica que la calidad del aire es buena y segura para la salud pública. A pesar de algunos picos registrados en días específicos, como el 28 de agosto, estos no superan los umbrales recomendados, lo que sugiere que las fluctuaciones en las concentraciones de partículas probablemente estén relacionadas con factores temporales o externos, como fenómenos climáticos o actividades humanas.

Las concentraciones de CO_2 en ambas estaciones monitoreadas se mantienen consistentemente por debajo del límite de 1,000 ppm establecido por la OMS para ambientes interiores, lo que indica que las condiciones de ventilación en las áreas evaluadas son adecuadas y seguras. La estabilidad en los valores de CO_2 refuerza la idea de que no hay riesgos significativos asociados con este contaminante en los lugares monitoreados.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al apoyo financiero proporcionado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) de Panamá, a través de su programa Jóvenes Científicos. Expresamos nuestro profundo agradecimiento a SENACYT por su compromiso con el desarrollo científico y el fomento de la investigación en jóvenes investigadores, brindándonos la oportunidad de contribuir al avance del conocimiento en Tecnología y Ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anguera, M. T. (n.d.). *El control experimental*. Recuperado de <https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/24051/1/18712.pdf>
- Arduino Yun. (s.f.). DEV-12053 - SparkFun Electronics. <https://www.sparkfun.com/products/retired/12053>
- Banzi, M., & Shiloh, M. (2014). *Getting started with Arduino: The open source electronics prototyping platform*. Maker Media, Inc.
- Domingo, J. L., Rovira, J., & Schuhmacher, M. (2020). Health Effects of Air Pollutants on Humans: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 1–16. <https://doi.org/10.3390/ijerph17145271>



- Fenaer. (2023, August 8). Calidad del aire - FENAER. Federación Nacional De Asociaciones De Pacientes Alérgicos Y Con Enfermedades Respiratorias. <https://fenaer.es/calidad-del-aire/>
- Google maps. www.google.com/maps
- ElectroVigyan. (s.f.). *Interface MQ135 Air Quality Sensor with Arduino* [Imagen de sensor de calidad del aire MQ135 con Arduino]. Recuperado de <https://www.electrovigyan.com/arduino/mq135-air-quality-sensor/>
- Kaur, S., & Singh, S. (2020). Internet of Things (IoT) in environmental monitoring: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(6), 5908-5920. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07382-6>
- Madrid, S. (2024, August 29). Partículas en suspensión y salud. Página De Salud Pública Del Ayuntamiento De Madrid. <https://madridsalud.es/particulas-en-suspension-y-salud/>
- Neftali, T. D. D. L. (2016). Población y muestra. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/63099/secme26877.pdf?sequence=1>
- Organización Panamericana de la Salud. (2016). *La salud y el ambiente en la Agenda de Desarrollo Sostenible*. Organización Panamericana de la Salud. Recuperado de <https://iris.paho.org/handle/10665.2/28392>
- Organización Panamericana de la Salud. (2022). Las funciones esenciales de la salud pública ambiental. In *Un Marco Para Poner En Marcha La Agenda De Las Américas Sobre Salud, Medioambiente Y Cambio Climático 2021-2030*. https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/55703/OPSCDECE220003_spa.pdf?iSAllowed=y&sequence=1
- Quintero, E., González, J., García, F., Sáez, Y., & Collado, E. (2023). IoT-based system prototype for particulate matter monitoring in the city of Chitre, Panama. Public. <https://doi.org/10.18687/laccei2023.1.1.847>
- ESPHome. (s.f.). *Imagen del sensor de partículas SDS011*. Recuperado de <https://esphome.io/components/sensor/sds011.html>
- Moviltronics. (2023). *Imagen del sensor de gas MQ135 de calidad del aire*. Recuperado de <https://moviltronics.com/tienda/sensor-mq135/>
- Wtitzmfeld, (s.f.) Contaminación atmosférica y salud en américa latina. In *Bulletin of the Pan American Health Organization* (Vol. 26, Issue 1). <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/16541/v112n2p97.pdf?sequence=1&iSAllowed=y>



World Health Organization (WHO). (2021). Air Quality Guidelines: Global Update 2021. Geneva: World Health Organization.

<https://www.who.int/publications/i/item/9789240034051>

World Health Organization: WHO. (2021, September 22). Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire tienen como objetivo evitar millones de muertes debidas a la contaminación del aire. OMS.

<https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>