



## EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA, AGOSTO-SEPTIEMBRE 2023

### AIR QUALITY EVALUATION AT THE NATIONAL UNIVERSITY OF ENGINEERING, AUGUST-SEPTEMBER 2023

Jocsan Flores Gutiérrez<sup>1</sup>  
Elvis Rafael Conde Velásquez<sup>2</sup>  
Juniors Carrillo Morales<sup>3</sup>  
José Luis Canda<sup>4</sup>  
Silvano Cruz Sánchez<sup>5</sup>

(Recibido/received: 13-noviembre-2023; aceptado/accepted: 6-diciembre-2023)

**RESUMEN:** La evaluación de la calidad del aire se realizó en el Recinto Universitario Simón Bolívar de la Universidad Nacional de Ingeniería, se seleccionó cinco sitios exteriores: Monumento Simón Bolívar, Edificio Rigoberto López Pérez, Fuentes Alternas de Energía o PFAE-BORDA, Rectoría y Parqueo Instituto de Estudios Superiores (IES) y cuatro sitios interiores: Aula A-I-4, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Aula 1 de Maestría UNI-PIENSA, IES Aula 13. Los parámetros objeto de monitoreo fueron: Partículas Totales en Suspensión (PTS), Partículas Menores de 2.5 micras ( $PM_{2.5}$ ), Partículas Menores de 10 micras ( $PM_{10}$ ), Dióxido de Nitrógeno ( $NO_2$ ), Dióxido de azufre ( $SO_2$ ), Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ), Monóxido de Carbono (CO), Ozono ( $O_3$ ) y Plomo (Pb). Las mediciones se realizaron con equipos automáticos medidores de partículas, instalados y monitoreados por analistas del laboratorio del Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicio del Ambiente (PIENSA), utilizando la metodología de la NTON 05 012-02, Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de Calidad del Aire para la medición del material particulado. Los monitoreos de los contaminantes atmosféricos establecidos por dicha Norma y la de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en los sitios exteriores no superaron los valores límites máximos permisibles de Calidad del Aire para cada uno de los contaminantes

<sup>1</sup> Responsable Laboratorio de Microbiología de Aguas. Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua, código postal 11127. E-mail: [jocsan.flores@piensa.uni.edu.ni](mailto:jocsan.flores@piensa.uni.edu.ni).

<sup>2</sup> Responsable de Laboratorio de Calidad del Aire. Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua, código postal 11127. E-mail: [elvis.conde@piensa.uni.edu.ni](mailto:elvis.conde@piensa.uni.edu.ni)

<sup>3</sup> Analista de Laboratorio Físico-Químico de Aguas Residuales. Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua, código postal 11127. E-mail: [juniors.carrillo@piensa.uni.edu.ni](mailto:juniors.carrillo@piensa.uni.edu.ni)

<sup>4</sup> Analista de Laboratorio Físico-Químico de Aguas Residuales. Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua, código postal 11127. E-mail: [jose.canda@piensa.uni.edu.ni](mailto:jose.canda@piensa.uni.edu.ni)

<sup>5</sup> Director Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua, código postal 11127. E-mail: [silvano.cruz@fiq.uni.edu.ni](mailto:silvano.cruz@fiq.uni.edu.ni)

evaluados, solo las concentraciones de ozono exceden el límite máximo permisible en el sitio parqueo IES.

**PALABRAS CLAVES:** contaminación atmosférica; monitoreo de la calidad del aire; ozono.

**ABSTRACT:** The evaluation of air quality was carried out at the Simón Bolívar University Campus of the National University of Engineering, five outdoor sites were selected: Simón Bolívar Monument, Rigoberto López Pérez Building, Alternative Energy Sources or PFAE-BORDA, Rectory and IES Parking and four interior sites: Classroom A-I-4; Unit Operations Laboratory, UNI-PIENSA Master's Classroom 1, Institute of Higher Studies Classroom 13. The parameters monitored were: Total Suspended Particles (PTS), Particles Less than 2.5 microns ( $PM_{2.5}$ ), Particles Less than 10 microns ( $PM_{10}$ ), Nitrogen Dioxide ( $NO_2$ ), Sulfur Dioxide ( $SO_2$ ), Oxide of Carbon ( $CO_2$ ), Carbon Monoxide (CO), Ozone ( $O_3$ ) and Lead (Pb). The measurements were carried out with automatic particle measuring equipment, installed and monitored by analysts from the laboratory of the Research Program, National Studies and Environmental Service, PIENSA, using the methodology of NTON 05 012-02, Nicaraguan Mandatory Technical Standard for Quality of the Air for measuring particulate matter. The monitoring of atmospheric pollutants established by said Standard and that of the World Health Organization in outdoor sites did not exceed the maximum permissible limit values of Air Quality for each of the pollutants evaluated, only ozone concentrations exceed the limit. maximum allowable in the IES parking lot.

**KEYWORDS:** atmospheric pollution; air quality monitoring; ozone.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es un problema medioambiental y social, que genera una gran variedad de efectos adversos en la salud humana, los ecosistemas y el clima, convirtiéndose en uno de los mayores riesgos medioambientales para la salud en la actualidad (OCDE, 2012). La calidad del aire es el factor más importante que influye directamente en la incidencia de enfermedades respiratorias graves y disminuye la calidad de vida, si su calidad se sigue deteriorando, el costo de la contaminación puede convertirse en una pesada carga para los sistemas de salud de los gobiernos principalmente en los países en desarrollo.

Los contaminantes que han sido documentados como perjudiciales para la salud pública corresponden a las partículas en suspensión (PM), el ozono ( $O_3$ ) y el monóxido de carbono (CO) (OMS, 2022). Por ejemplo, las de diámetro igual a 10  $\mu m$  ( $PM_{10}$ ), son de vital importancia para la salud pública, dado que son capaces de ingresar profundamente en los pulmones y las  $PM_{2.5}$  incluso pueden ingresar al torrente sanguíneo, lo que puede generar, principalmente, problemas cardiovasculares y respiratorios.

En el año 2013, el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer de la OMS determinó que la contaminación del aire exterior y las PM son cancerígenas. El origen de

estos contaminantes puede ser natural y antropogénica. Aunque las principales fuentes de contaminantes antropogénicos del aire varían de un lugar a otro, las primordiales son el sector transporte, la generación energía eléctrica, uso doméstico para calefacción/refrigeración y cocción, vertederos de desechos, actividades industriales y agropecuarias.

En el caso de Nicaragua, el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARENA 2009), determinó que las principales fuentes de contaminación en la zona urbana de Managua corresponden a las emisiones generadas por el transporte urbano, y en alguna medida, también a la suspensión de polvo en calles, emisiones en calles sin pavimento y zonas erosionadas, además de fuentes puntuales como hornos de ladrillos, vertederos y quemas de residuos urbanos y agrícolas. La combustión es la mayor fuente de contaminantes, sobre todo la combustión ineficiente de combustibles fósiles y biomasa destinados para producir energía (OMS, 2022). La exposición a estos contaminantes generalmente ocurre en vías con mucho tráfico y congestión, en áreas y regiones industriales con contaminantes secundarios formados por vientos bajos como el ozono troposférico.

El presente trabajo se desarrolló a solicitud de la Dirección del PIENSA de la Universidad Nacional de Ingeniería con la finalidad de evaluar el estado de la calidad del aire en todo el recinto Simón Bolívar de la universidad, y como objetivo principal la salud pública de toda la comunidad universitaria y el ambiente de este recinto universitario, comparando con los valores límites permisibles en la legislación nacional vigente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### *Recolección de muestra*

El monitoreo de calidad del aire se llevó a cabo con equipos automáticos, medidores de partículas y sensores de gases, instalados y monitoreados por un equipo de técnicos especialistas del programa UNI-PIENSA. El periodo del monitoreo se realizó con base a las directrices técnicas de medición establecido en la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de Calidad del Aire (La Gaceta, 2002).

### *Parámetros solicitados y métodos utilizados*

En la Tabla 1 se presenta los métodos de análisis y tiempo utilizado para determinar los parámetros.

Tabla 1. Métodos de análisis y tiempo utilizado para determinar los parámetros

<i>Contaminante</i>	<i>Límites de Detección</i>	<i>Método Analítico</i>	<i>Tiempo de monitoreo</i>
PTS	0.001 µg/m <sup>3</sup>	Método Gravimétrico, Sensor Óptico Laser.	24 horas

PM <sub>2.5</sub>	0.001 µg/m <sup>3</sup>	Método Gravimétrico, Sensor Óptico Laser.	8 horas
PM <sub>10</sub>	0.001 µg/m <sup>3</sup>	Método Gravimétrico, Sensor Óptico Laser.	24 horas
SO <sub>2</sub>	0.1 ppm	Método Potenciométrico, Sensor Electroquímico	24 u 8 horas
NO <sub>2</sub>	0.1 ppm	Método Potenciométrico, Sensor Electroquímico	1 hora
CO <sub>2</sub>	0.1 ppm	Método Potenciométrico, Sensor Electroquímico	8 horas
CO	0.1 ppm	Método Potenciométrico, Sensor Electroquímico	8 horas
O <sub>3</sub>	0.1 ppm	Método Potenciométrico, Sensor Electroquímico	8 horas
Pb	0.001 µg/m <sup>3</sup>	Colorimétrico 3500B –Ditizona	24 u 8 horas

Fuente: Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de Calidad del Aire (La Gaceta, 2002)

#### *Criterio de selección y ubicación de los sitios de muestreo*

La selección y ubicación de los sitios de evaluación se basó en los lugares críticos de mayor exposición de los contaminantes atmosféricos que son provenientes de fuente natural como la erosión eólica y de fuentes antropogénicas como la incidencia urbana de las fuentes móviles o vehículos automotores que circulan por las calles aledañas al Recinto Universitario Simón Bolívar de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Los sitios seleccionados por los especialistas, correspondieron para puntos de evaluación exterior e interior del Recinto Universitario, los cuales fueron designados como sitios exteriores (ver tabla 2): Monumento a Simón Bolívar, Edificio Rigoberto López Pérez, PFAE-BORDA, Rectoría, Parqueo IES y sitios interiores (ver tabla 2): Aula A-I-4, Laboratorio de Operaciones Unitarias, Aula 1 de Maestría UNI-PIENSA, Aula 13 IES; otros factores tomados en cuenta fueron la seguridad de los equipos y personal que realizaría el muestreo. En la figura 1, se presentan los sitios monitoreados.

Tabla 2. Ubicación de los sitios de evaluación de calidad del aire

ID	Sitio de muestreo	Coordenadas UTM-WGS84	
		X	Y
F01	Monumento a Simón Bolívar	579446	1340834
F02	Edificio Rigoberto López Pérez	579450	1341241
F03	PFAE-BORDA	579585	1341166
F04	Rectoría	579311	1341199
F05	Parqueo IES	579393	1341308

M01	Aula A-I-4	579453	1341256
M02	Laboratorio de Operaciones Unitarias (FIQ)	579488	1341326
M03	Aula I de maestría UNI-PIENSA	579446	1340862
M04	IES Aula 13	579329	1341275

Fuente: UNI-PIENSA, 2023.

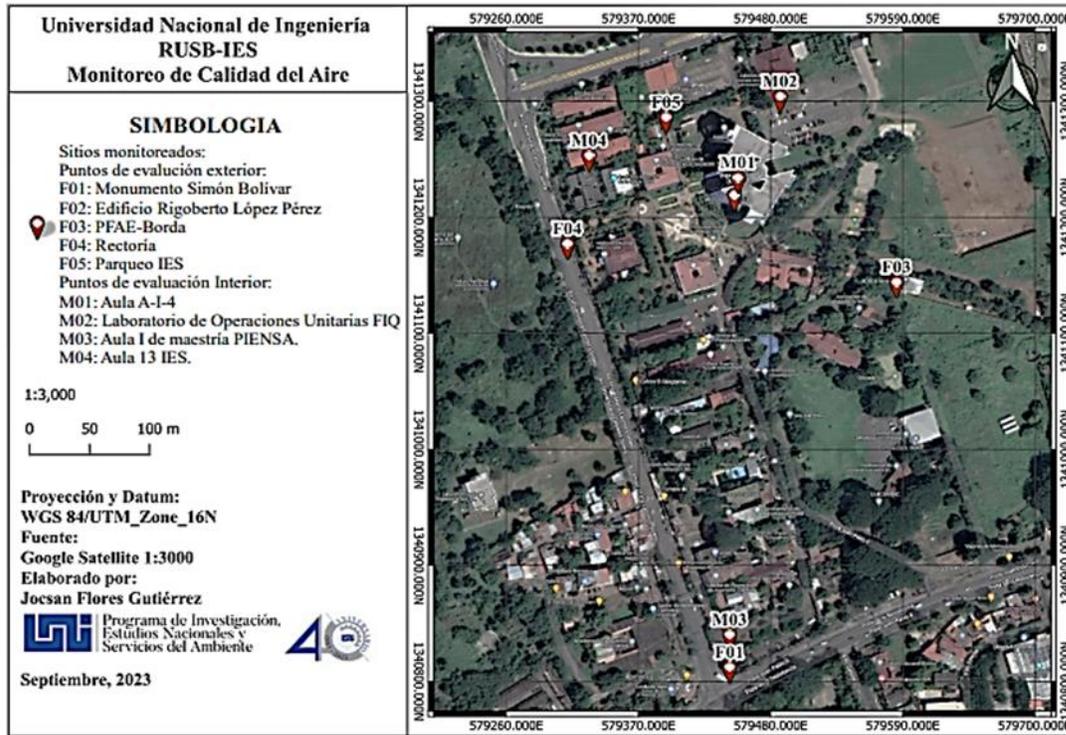


Figura 1. Área perimetral y sitios seleccionados para el estudio de calidad del aire.

Fuente: UNI-PIENSA, 2023.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la interpretación de resultados de los parámetros monitoreados en los sitios ambientales y ocupacionales se utilizó el límite permisible establecido por la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON 0512-02) y los valores guía de las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022). Los valores límites permisible establecidos por la normativa nacional e internacional, aparecen en la tabla de concentración promedio obtenida en cada uno de los sitios de monitoreo.

### *Análisis de resultados de los sitios exteriores de monitoreo*

En la tabla 3, se observan los resultados de los valores obtenidos de los contaminantes monitoreados continuamente en los periodos establecidos con base a la normativa nacional (NTON 05012-02), para cada contaminante. Los puntos de evaluación fueron cinco puntos

exteriores en estudio perimetral en todo el Recinto Universitario Simón Bolívar de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Las concentraciones obtenidas en los cinco sitios mostrados en la tabla 3, correspondientes a las partículas totales suspendidas y partículas menores a 10 micras (PM<sub>10</sub>), son muy inferiores a los valores máximos permisibles que establece la NTON 05 012-2 (PTS 260 µg/m<sup>3</sup> y para las PM<sub>10</sub> 150 µg/m<sup>3</sup>). Los valores de las concentraciones de partículas principalmente corresponden a las actividades urbanas de las fuentes móviles, fuentes antropogénicas, y la erosión eólica en los terrenos baldíos del recinto.

Con respecto a los gases atmosféricos se determinó que las concentraciones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y CO en la determinación en este estudio, no superaron los valores máximos permisibles establecidos en la NTON 05 012-02, siendo su valor para el SO<sub>2</sub>: 0.21 ppm/24 horas continuas de monitoreo, para el NO<sub>2</sub>: 0.14 ppm/1 hora de monitoreo y para el CO: 9 ppm/8 horas de monitoreo. Por otra parte, el contaminante atmosférico O<sub>3</sub> supera el valor límite permisible establecido por la NTON 05012-02, en el sitio parqueo IES, sin embargo, las concentraciones obtenidas en los otros sitios están por debajo del valor máximo permisible establecido en la NTON 05012-02, el cual es de 0.08 ppm/8 horas de monitoreo.

El resultado de las concentraciones promedio de los gases atmosféricos hace inferencia a factores antropogénicos producto de la actividad humana, destacando en gran parte a la incidencia urbana, aportada por las fuentes móviles que circulan a los alrededores de las carreteras aledañas al recinto universitario, mientras que en el caso del ozono, denominado gas secundario, el valor es debido a la formación de las reacciones fotoquímicas entre los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), más los óxidos nitrosos en la atmosfera y la incidencia de los rayos ultravioleta.

Tabla 3. Concentraciones promedio de los contaminantes monitoreados en los puntos de evaluaciones exteriores.

Ensayo realizado	Unidad	Concentración promedio					Valores máximos permisibles
		Monumento Simón Bolívar (F01)	Edificio Rigoberto López Pérez (F02)	PFAE-BORDA (F03)	Rectoría (F04)	Parqueo IES (F05)	NTON 05 012-02
PTS	µg/m <sup>3</sup>	10.038	40.32	127.22	20.76	24.02	260.00
PM <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>	7.35	18.32	26.98	14.02	15.84	150.00
SO <sub>2</sub>	ppm	ND	ND	ND	0.008	ND	0.21
NO <sub>2</sub>	ppm	0.022	ND	ND	0.001	ND	0.14

CO	ppm	0.117	0.102	ND	1.550	0.014	9.00
O <sub>3</sub>	ppm	0.03	0.021	0.021	0.020	0.125	0.08
Pb	µg/m <sup>3</sup>	0.037	NS	NS	0.039	0.117	1.5 (t)

Fuente: UNI-PIENSA, 2023

#### *Análisis de resultados de los sitios interiores de monitoreo*

Como resultado de los cuatros puntos de calidad del aire interior evaluados en el periodo de agosto y septiembre, con el objetivo principal de velar por la salud pública de toda la comunidad universitaria que permanece en las aulas de clases y laboratorios desarrollando aprendizajes académicos, entre otras actividades, se determinó que las concentraciones de los contaminantes atmosféricos evaluados en metodologías de muestreo puntual para cada punto de evaluación de los valores obtenidos en las aulas y laboratorios, no superaron los valores máximos permisibles establecidos por la NTON 05012-02 y la OMS, siendo los aportes principales para estas concentraciones el ingreso de los contaminantes en el exterior y el proceso de climatización en el laboratorio.

Tabla 4. Concentración promedio de los puntos de evaluaciones interiores

Ensayo realizado	Unidad	Concentración promedio				Valores máximos permisibles
		Aula A-I-4 (M01)	Laboratorio de Operaciones Unitarias FIQ (M02)	Aula I de maestría UNI-PIENSA (M03)	Aula 13 IES (M04)	NTON 05012-02 / OMS (*)
PM <sub>2.5</sub>	µg/m <sup>3</sup>	3.56	6.25	1.25	10.00	<b>15.00*</b>
SO <sub>2</sub>	ppm	ND	ND	ND	ND	<b>0.21</b>
NO <sub>2</sub>	ppm	ND	ND	ND	ND	<b>0.14</b>
CO	ppm	ND	0.014	ND	0.008	<b>9.00</b>
CO <sub>2</sub>	ppm	585	635	586	595	<b>5000*</b>
O <sub>3</sub>	ppm	0.021	0.013	0.05	ND	<b>0.08</b>

Fuente: UNI-PIENSA, 2023.

### Condiciones Climáticas

En las siguientes figuras, se muestra el comportamiento vectorial del viento durante el periodo de realización del monitoreo, con la finalidad de identificar los componentes: dirección del viento, intensidad y frecuencia, con ellos se puede asociar la incidencia de los valores obtenidos en los puntos evaluados con la pluma contaminante que existe en la atmosfera durante el período de monitoreo.

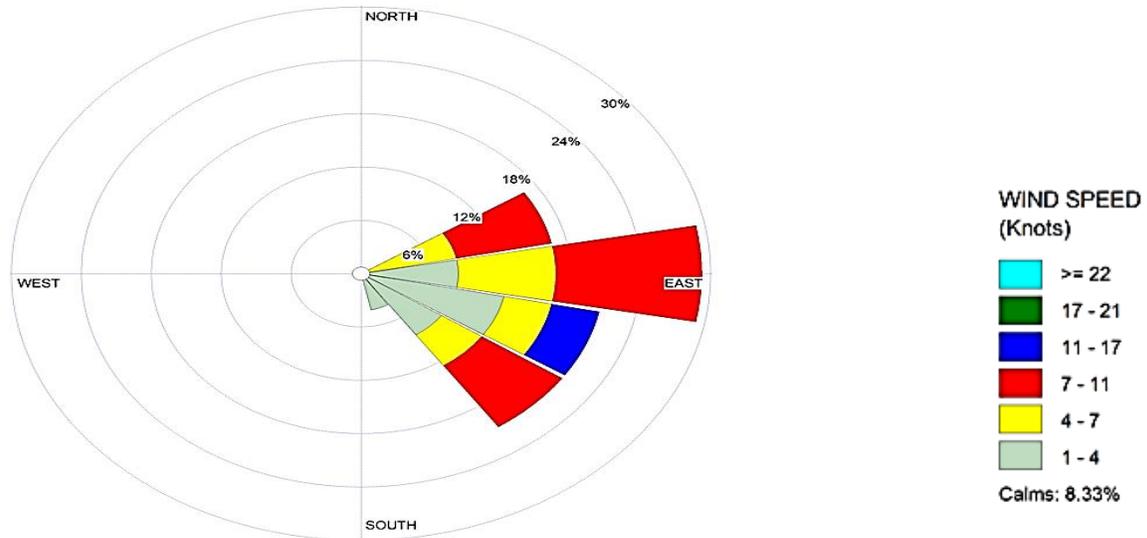


Figura 2. Rosa de los vientos del día 22 al 23 del mes de agosto

En la figura 2, se observa la dirección predominante y velocidad del viento en el periodo de las mediciones del 22 al 23 de agosto 2023, obteniendo el vector resultante correspondiente a un 97% hacia este-noreste, siendo la dirección predominante del periodo evaluado. En la rosa de los vientos se observa una frecuencia menor a 39%, sin porcentaje de calma, siendo la velocidad predominante media en un rango de 7-11 m/s.

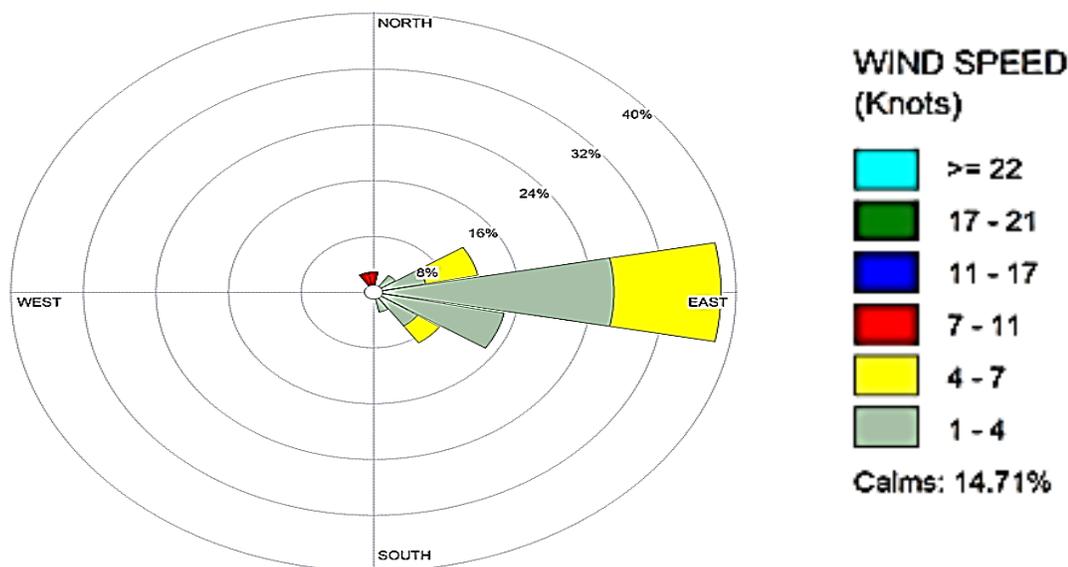


Figura 3. Rosa de los vientos del 23 al 24 de agosto

En la figura 3 se observa la dirección predominante y velocidad del viento en el periodo de las mediciones del 23 al 24 de agosto 2023, obteniendo el vector resultante correspondiente a un 93% hacia este-oeste, siendo la dirección predominante del periodo evaluado. En la rosa de los vientos se observa una frecuencia menor a 28%, sin porcentaje de calma, siendo la velocidad predominante media en un rango de 1- 4 m/s, lo que significa que los contaminantes tienen una dispersión a la dirección del viento como se muestra en la figura.

### CONCLUSIONES

En la comparación del comportamiento de cada contaminante atmosférico establecido por la NTON 05012-02 en los sitios exteriores evaluados, se determinó que las concentraciones de los contaminantes monitoreados no superaron los valores máximos permisibles establecidos en la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de Calidad del Aire NTON 05012-02 para cada uno de los contaminantes evaluados, sin embargo, el único contaminante que supera el valor permisible es el O<sub>3</sub> en el sitio parqueo IES donde existe mayor cantidad de automóviles y el sitio queda aledaño a una carretera principal.

Con respecto a los sitios interiores evaluados a través de la metodología técnica de determinación de cada contaminante, los resultados contrastados con los valores límites de la NTON 05012-02 y la OMS se concluye que ninguno de los resultados evaluados en cada punto de monitoreo superó dichas normas vigentes, sino que son muy inferiores a los valores máximos admisibles.

## REFERENCIAS

Administración de Seguridad y Salud Ocupacional. (1970). Normas de seguridad y salud en el trabajo: Salud ocupacional y control ambiental: Exposición al ruido en el trabajo (Norma OSHA nº 1910.95). Departamento de Trabajo de los Estados Unidos. <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.95>

La Gaceta, Diario Oficial (2002). NTON 05 012-02 Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de Calidad del aire. Nicaragua.

MARENA (2009). Borrador del Informe Estado del Ambiente. GEO 2007-2008. Nicaragua.

OCDE (2012). Perspectivas económicas de América Latina 2012. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

Organización Mundial de la Salud (1998). Guías para la calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza.

Organización Mundial de la Salud (2022). Contaminación del aire ambiente (exterior).

## SEMBLANZA DE LOS AUTORES



*Jocsan Flores Gutiérrez.* Licenciado en Química Industrial de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua), posgrado en Ergonomía, Higiene y Seguridad del Trabajo de la Dirección de Estudios de Posgrado y Educación Continua (UNI-DEPEC), 5to año de Ingeniería Industrial de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Responsable del Laboratorio de Calidad del Aire UNI-PIENSA, desde mayo 2020 hasta junio 2023, Responsable del Laboratorio de Microbiología de Aguas de la UNI-PIENSA. Experto Regional en la Herramienta AirQ+ en Calidad del Aire de la Organización Panamericana de Salud (OPS, OMS), Técnico Especialista en Monitoreo Ambiental de la calidad de aire, Ruido Ambiental y calidad de agua en todas sus matrices.



*Juniors Carrillo Morales.* Egresado del Instituto Tecnológico Nacional (INTECNA-Granada) de la carrera técnico medio en Laboratorio y Análisis Químicos. Estudiante de tercer año de la carrera de Ingeniería Industrial, octubre 2018 a la actualidad. Analista de Laboratorio del Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente UNI-PIENSA. (2021 al 2023), analista del laboratorio de Calidad del Aire, en la manipulación y control de equipos automatizados, medidores de partículas, gases, ruido ambiental y variables meteorológicas así mismo, experiencia en la elaboración de emisión de informes de resultados de los

Laboratorios Ambientales UNI-PIENSA.



*José Luis Canda,* Analista del Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente (PIENSA) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) desde el año 1990 hasta la fecha, Técnico Especialista en análisis de Aguas Residuales. Además, especialista en Monitoreos Ambientales de la calidad de Aire y Ruido Ambiental a partir del 2022 hasta la fecha.



*Elvis Rafael Conde Velásquez.* Egresado de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua) de la carrera de Química Industrial, con estudios en medio ambiente como: cambio climático, inventario de gases de efecto invernadero, desechos sólidos, y recursos hídricos. Analista del programa UNI-PIENSA del área de calidad del aire.