



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA



Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
(PIENSA)

**Calidad del aire en tres puntos de alto tráfico vehicular en el distrito
uno de la Ciudad de Managua en el período octubre 2017 a enero 2018**

Tesis para optar al título de:

**MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES CON MENCIÓN EN GESTIÓN
AMBIENTAL**

Tesistas:

Lic. Norlan Javier Mejía Martínez

Ing. Diana Maribel Navarrete Pavón

Tutor:

MSc. Lic. Roberto José Dávila Altamirano

Asesores:

Msc. Ing. Miguel Ángel Balladares

Msc. Ing. Miguel Blanco Chávez

Phd. Arq. Heimdall Hernández

Managua, septiembre de 2020

DEDICATORIA

A mis tres tías abuelas, Guillermina, Olga y Sara Pérez Gallo, gracias por todos sus esfuerzos, dedicación, amor y ejemplo de vida para convertirme en el ser humano que soy, las llevo siempre en mis pensamientos y en mi corazón.

A mi madre, María Eugenia Martínez, por esforzarse todos los días por educarme y asegurarse que sea un profesional competente para asumir los retos laborales y de vida.

A todos los nicaragüenses que trabajan día a día para que vivamos en un país más equitativo, justo e incluyente, el cual heredaremos a las próximas generaciones.

Lic. Norlan Javier Mejía Martínez

A mi madre Martha Pavón Ramírez, por su apoyo incondicional en cada reto de mi vida y por ser sostén en esta etapa de estudio de maestría.

Ing. Diana Maribel Navarrete Pavón

AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor, MSc. Lic. Roberto Dávila por el seguimiento y compromiso con esta investigación, por compartir su experiencia y conocimientos.

Al comité de tesis, conformado por MSc. Ing. Miguel Blanco y MSc. Ing. Miguel Balladares por sus oportunas recomendaciones y observaciones realizadas en todo el proceso de elaboración de tesis.

A nuestra asesora metodológica PhD. Heimdall Hernández por apoyarnos a realizar las correcciones necesarias para mejorar la presente tesis.

MSc. Ing. Larisa Korsak por su apoyo incondicional e importante gestión para compilar toda la información necesaria para esta investigación.

MSc. Ing. Luz Violeta Molina, por todo el apoyo recibido durante los años de estudio de maestría.

A nuestro amigo MSc. Ing. Henry Vílchez por sus observaciones y comentarios realizados para la elaboración de tesis.

MSc. Lic. Elías Martínez por todos los conocimientos compartidos para elaborar el diseño estadístico de esta investigación.

Al personal del Laboratorio de Calidad del Aire del PIENSA-UNI por el apoyo realizado a través de la ejecución de los monitoreos de contaminantes atmosféricos.

Lic. Isolina Gutiérrez del INETER por su ayuda para obtener los datos meteorológicos utilizados en este estudio.

Al propietario de Laboratorios Bengoechea y al director del CIGEO-UNAN por permitir el acceso a sus instalaciones y realizar las mediciones de contaminantes atmosféricos.

Al departamento de viabilidad de la Alcaldía de Managua por proporcionar los datos de conteos vehiculares en vías aledañas a los sitios de monitoreo.

Lic. Norlan Mejía Martínez e Ing. Diana Navarrete Pavón

RESUMEN

El nivel elevado de contaminación del aire urbano que afecta la salud pública, es el problema más complejo en los países en desarrollo como Nicaragua, debido al crecimiento de las áreas urbanas, que genera un impacto en la calidad de aire. La ciudad de Managua, ha experimentado un crecimiento demográfico, en el período comprendido entre 2010 a 2015, la población de Managua incremento en un 3.3%, alcanzando 1 048, 134 habitantes al final del período.

El crecimiento poblacional ha generado aumento en el parque automotor de Nicaragua, en el año 2017 se contabilizaba en 679,259 unidades de los cuales el 48.5 % corresponde a Managua para una cantidad de 329,461 unidades.

En la presente investigación se seleccionaron tres estaciones de monitoreo de calidad del aire que fueron: i) Universidad Nacional de Ingeniería (RUSB), ii) Laboratorios Bengoechea y iii) Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO), ubicados en el distrito uno de la ciudad de Managua, considerando que se encuentran en zonas de alto tráfico vehicular y alta actividad comercial e industrial con altos niveles de inmisiones de contaminantes atmosféricos. En estas tres estaciones se realizaron mediciones de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos: PM10, Dióxido de Nitrógeno y Ozono en el periodo comprendido entre el 1/10/2017 al 31/01/2018.

Se debe mencionar que la NTON de calidad del aire de Nicaragua (NTON 05 012-02) establece otros parámetros que se deben de monitorear, pero estos, no se tomaron en cuenta, por falta de fondos en el desarrollo de la investigación, además que, para efectos de comparación con respecto a la investigación realizada por Dávila (2000) en la que analizo únicamente el comportamiento de PM10, NO₂ y O₃ en la ciudad de Managua en el período 1997-1998.

En el presente estudio, se analizó el comportamiento horario y mensual de las concentraciones de los contaminantes criterios de estudio, así como la influencia de las variables meteorológicas en la dispersión y transporte de los contaminantes.

Se estableció que las concentraciones horarias de PM10 se caracterizan por ser bajas en las primeras horas de la madrugada, seguido por dos picos máximos al final de la mañana y la tarde respectivamente, para dióxido de nitrógeno y ozono se presentan bajas concentraciones por la mañana, las que aumentan por la tarde. Con respecto al comportamiento mensual de las concentraciones de los contaminantes, estas comienzan a incrementarse desde el período lluvioso (octubre a noviembre) hacia el período seco (diciembre y enero).

Se determinó que las variables meteorológicas influyen en el comportamiento de concentraciones de los contaminantes. Así la concentración de PM10, está afectada por la velocidad del viento, mientras que las concentraciones de NO₂ y O₃ son influenciadas por la temperatura, radiación solar y velocidad del viento.

Las concentraciones determinadas de PM10 y Dióxido de Nitrógeno en el período comprendido entre octubre 2017 a enero 2018, son menores que el límite máximo permisible establecido por la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de Calidad del Aire (NTON 05 012-02), mientras que las concentraciones de Ozono exceden el límite máximo permisible de esta normativa.

Con los resultados de esta investigación se logró actualizar el inventario de los valores de las concentraciones de las sustancias contaminantes PM10, NO₂ y O₃ en el Distrito I de la ciudad de Managua. Las lecciones aprendidas de esta experiencia, se pueden utilizar como punto de partida para continuar en otros sitios de la ciudad con el monitoreo de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos, para finalmente reinstalar la red de monitoreo de calidad del aire de Managua.

TABLA DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	11
2.1. Objetivo general.....	11
2.2. Objetivos específicos	11
III. MARCO TEÓRICO	13
3.1 Calidad del Aire	13
3.2 Contaminación del Aire	15
3.2.1 Material Particulado	17
3.2.2 Dióxido de Nitrógeno.....	18
3.2.3 Ozono.....	19
3.3 Métodos de medición de calidad del aire.....	21
IV. HIPÓTESIS	27
V. DISEÑO METODOLÓGICO	29
5.1 Tipo de estudio	29
5.2 Etapas de la investigación.....	30
5.2.1 Etapa 1: Recolección de información básica.....	31
5.2.2 Etapa 2: Selección de estaciones de monitoreo	31
5.2.3 Etapa 3. Definición de las variables de estudio	37
5.2.4 Etapa 4: Determinación de los contaminantes atmosféricos.....	39
5.2.5 Metodología de medición de los contaminantes atmosféricos	39
5.2.6 Etapa 5: Análisis estadístico	41
VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS	45
6.1 Comportamiento horario de PM10	45
6.2 Comportamiento horario Dióxido de Nitrógeno	54
6.3 Comportamiento horario Ozono	62
6.4 Comportamiento mensual de PM10	70
6.5 Comportamiento mensual de Dióxido de Nitrógeno	73
6.6 Comportamiento mensual de Ozono	76
6.7 Discusión de resultados	79
VII. CONCLUSIONES	86
VIII. RECOMENDACIONES	88
IX. BIBLIOGRAFÍA	90

LISTA DE FIGURAS

Gráfico 1 Esquema general de la metodología de la investigación	30
Gráfico 2 Distritos de la ciudad de Managua.....	32
Gráfico 3 Estación de monitoreo Universidad Nacional de Ingeniería (RUSB).....	33
Gráfico 4 Estación de monitoreo Laboratorios Bengoechea	34
Gráfico 5 Estación de monitoreo CIGEO-UNAN.....	35
Gráfico 6 Equipo EPAM 5000.....	40
Gráfico 7 Equipo Aeroqual Series 500	41
Gráfico 8 Concentraciones horario de PM10 UNI.....	46
Gráfico 9 Concentraciones horario de PM10 Laboratorios Bengoechea	48
Gráfico 10 Concentraciones horario de PM10 CIGEO-UNAN	52
Gráfico 11 Concentración horario de Dióxido de Nitrógeno UNI	55
Gráfico 12 Concentración horario de Dióxido de Nitrógeno Laboratorios Bengoechea	57
Gráfico 13 Concentración horario Dióxido de Nitrógeno CIGEO-UNAN.....	59
Gráfico 14 Concentración horario de ozono UNI.....	62
Gráfico 15 Concentración horario de ozono Laboratorios Bengoechea	65
Gráfico 16 Concentración horario de Ozono CIGEO	68
Gráfico 17 Comportamiento mensual de PM10.....	70
Gráfico 18 Comportamiento mensual de dióxido de nitrógeno.....	73
Gráfico 19 Comportamiento mensual de Ozono	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Métodos de referencia de medición para PM10, NO ₂ y O ₃	23
Tabla 2 Límites máximos permisibles para PM10, NO ₂ y O ₃ según Unión Europea, EPA y NTON 05 012-02	24
Tabla 3 Grado de relación según coeficiente de correlación de Spearman	42
Tabla 4 Correlación entre concentraciones de PM10 y variables meteorológicas	72
Tabla 5 Correlación entre concentraciones de NO ₂ y variables meteorológicas.....	75
Tabla 6 Correlación entre concentraciones de O ₃ y variables meteorológicas	78

Símbolos

CO: monóxido de carbono

HNO₃: ácido nítrico

N₂: nitrógeno diatómico

NO₂: dióxido de nitrógeno

NO: óxido de nitrógeno

O*: oxígeno electrónicamente excitado

O: oxígeno molecular

O₂: oxígeno diatómico

OH: Hidroxilo

O₃: ozono

PM10: material particulado menos a 10 micras

PTS: partículas totales en suspensión

SO₂: dióxido de azufre

Pb: plomo

Capítulo I

Introducción

I. INTRODUCCIÓN

A través de los años debido al crecimiento poblacional y el incremento de las áreas urbanas e industriales, la calidad del aire se ha convertido en una problemática ambiental mundial, ya que dichas áreas generan inmisiones y provocan un impacto negativo en la salud de la población. Como consecuencia diferentes países y organizaciones, desde finales del siglo XIX han realizado estudios para obtener registros y evidencias del daño ambiental y del daño hacia la salud. Con el paso del tiempo, estos datos han aportado a la construcción de políticas y legislaciones ambientales enfocadas en reducir las concentraciones de los principales contaminantes atmosféricos.

Tanto es así que desde las dos últimas décadas del siglo XX se puede afirmar que “Hoy en día, son ampliamente reconocidos los problemas de contaminación ambiental, en particular del aire, que dan lugar a la acumulación de riesgos para la salud y el bienestar de la población”, así lo aseveran Romieu (1995); Segala (1999); en Lacasaña-Navarro, Aguilar-Garduño y Romien (1999; 204). En las zonas urbanas, los vehículos son las principales fuentes de contaminación del aire debido a la quema de combustibles como gasolina y diésel. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018) estima que la contaminación ambiental del aire, tanto en las ciudades como en las zonas rurales, fue causa de 4.2 millones de muertes prematuras en todo el mundo por año; esta mortalidad se debe a la exposición a partículas que causan enfermedades cardiovasculares y respiratorias, y cáncer.

Según Romieu (1991), World Health Organization/United Nations Environmental Programme (1992) y el Departamento del Distrito Federal/Gobierno del Estado de México/Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca/Secretaría de Salud (1990) en Lacasaña-Navarro et al. (1999; 204) “Gran parte de esos problemas son consecuencia del rápido y desordenado crecimiento urbano, así como, de la industrialización (...)”. Según Shrenk (1949), Ministry of Health-United Kingdom (1954) y Firket (1936) en Lacasaña-Navarro et al. (1999; 204) “Desde hace varias décadas la contaminación del aire se ha asociado con ciertos efectos nocivos para la salud de las poblaciones. En 1948 los niveles extremadamente altos de contaminación del aire se asociaron con episodios de exceso de mortalidad en Donora, Pennsylvania, en Estados Unidos de América (EUA), al igual que en Londres, Inglaterra, en 1952 y en Meuse Valley,

Bélgica, en 1930. Esos episodios se caracterizaron por elevados niveles de partículas, bióxido de azufre y mezclas”.

Con respecto a América Latina, la ciudad de México ha estado altamente contaminada desde los años de 1980, década en que el ritmo de crecimiento de la contaminación atmosférica fue vertiginoso. En respuesta a tal situación en 1990, se procedió a la formulación del Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México en la que se comprometió a varios sectores de la industria a disminuir sus propias emisiones (PICCA, 1990). Este programa conllevó a que en 1993 se publicaran los valores máximos permisibles de calidad del aire para los contaminantes atmosféricos: PM10, PM2.5, NO₂, CO, Pb y O₃.

De acuerdo con Rodríguez (2018) la primera crisis de contaminación atmosférica en la ciudad de México, se logró controlar limitando significativamente la actividad industrial en la zona metropolitana, de ahí que, se trasladó a la industria pesada fuera de la ciudad. A pesar de, estas restricciones siguen asentadas en la ciudad un gran número de industrias que son una fuente importante de generación de contaminantes atmosféricos y compuestos de efecto invernadero, tales como: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e hidrofluorocarbonos. Como resultado, de estas iniciativas en el período comprendido entre 1986 a 2012, se ha registrado una disminución continua en la concentración de todos los contaminantes del aire.

En Nicaragua, los estudios de calidad del aire se han concentrado a las inmisiones de gases y partículas provenientes de los escapes de los automóviles, dejando a un lado lo referente a las emisiones de las industrias. Según entrevista realizada a Dávila (Ver Anexo 1), las primeras mediciones de contaminantes atmosféricos se realizaron entre 1989 y 1994, por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), con el objetivo de dar seguimiento a las emisiones de las principales industrias de Managua, tales como Café Soluble, ELPELSA, Tabacalera Nicaragüense S.A. (TANIC), PENWALT y NICALIT.

Estas mediciones se realizaron con la finalidad de conocer el impacto de las industrias (como fuente fija de emisiones), a las poblaciones ubicadas en el área de influencia y dispersión de los contaminantes atmosféricos, siendo la principal problemática el impacto negativo a la

salud de los ciudadanos que se encontraban en barrios aledaños a estas empresas. En la recopilación realizada se determinó que en el Barrio San Luis, Batahola y Santo Domingo se realizaban mediciones de SO_2 procedentes de las empresas Café Soluble, ELPELSA, TANIC y NICALIT; mientras que en la Empresa PENWALT y Ciudad Sandino se realizaron mediciones de Cloro en estado gaseoso. Conviene subrayar como limitante, que no se obtuvieron las concentraciones de SO_2 y Cloro, ni los casos de enfermedades respiratorias o cardíacas en los pobladores cercanos al área de influencia de las empresas.

Con respecto a la región centroamericana, en el período comprendido entre 1993 a 2001, se desarrolló el Proyecto Monitoreo del Aire como parte del Programa Aire Puro para Centroamérica, financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) que desde su inicio en 1993, fue ejecutado por la Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico, (Swisscontact). Este proyecto consistió en realizar mediciones de contaminantes atmosféricos tales como NO_2 , CO, O_3 , PTS y PM_{10} , en las ciudades de: Guatemala (constaba de seis estaciones de monitoreo); San Salvador (cinco estaciones); Tegucigalpa (siete estaciones); Managua (siete estaciones); San José (seis estaciones); Ciudad de Panamá (cuatro estaciones). La finalidad de este proyecto, fue el de caracterizar a través de los años las concentraciones de las inmisiones vehiculares y el impacto de estas en la salud de la población.

Se debe agregar que, la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) apoyó a la región centroamericana en establecer la política de calidad del aire y guías de calidad del aire ambiental para inmisiones atmosféricas, debido a que ningún país de la región centroamericana contaba con un reglamento que estableciera los límites máximos permisibles de inmisiones. Esta política tenía por objeto establecer dichos límites de los principales contaminantes del aire: NO_2 , SO_2 , CO, O_3 , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, PTS y Pb; así como los métodos de muestreo, período de medición, métodos analíticos y el índice centroamericano de calidad del aire.

Como consecuencia de estos primeros estudios de contaminación industrial, en 1995 se firmó convenio de cooperación entre la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y el Proyecto Aire Puro, auspiciado por COSUDE y ejecutado por Swisscontact para caracterizar las

concentraciones de contaminantes atmosféricos generador por el tráfico vehicular. De esta manera la ciudad de Managua se anexó al proyecto con alcance centroamericano cuya duración fue de 1996 a 2001.

Para esta ocasión se seleccionaron siete estaciones ubicadas en la Subasta, Siete Sur, Recinto Universitario Simón Bolívar de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Colonia Centroamérica, Villa Libertad, Recinto Universitario Carlos Fonseca Amador (RUCFA) de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN) y el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), las que conformaron la red de monitoreo del aire, para medir las inmisiones generadas por el tráfico vehicular, no incluyendo a las generadas por la industria. La ejecución de los monitoreos estuvo a cargo del Laboratorio de Calidad del Aire del Programa de Investigación y Docencia en Medio Ambiente (PIDMA) de la Universidad Nacional de Ingeniería.

Los contaminantes atmosféricos en estudio fueron NO_2 , O_3 y PM_{10} . Estos contaminantes fueron incluidos a sugerencia de la Cooperación Suiza, ya que se consideraban de mayor relevancia para la salud pública debido a los efectos que genera en la población expuesta a estos contaminantes, además que, en ese momento, Nicaragua no contaba con legislación ambiental que estableciera los límites máximos permisibles de inmisiones vehiculares, por lo tanto, como referencia se utilizaron las guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1995). Según los informes de calidad del aire presentados por el Proyecto Aire Puro, (Dávila & Jaen, 1997-2001) el resultado del comportamiento de los contaminantes en estudio fue el siguiente:

a) Partículas con un diámetro menor a 10 micras ($\text{PM}_{\leq 10}$)

- Las mediciones indicaron que las concentraciones de material particulado excedían los valores guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio anual.
- Los promedios anuales de PM_{10} determinados fueron de $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1996), $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1997), $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1998), $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1999), $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2000) y $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2001). Lo que evidenció que el PM_{10} representan un indicador de contaminación en la ciudad de Managua desde mediados de los años 1990.

b) Dióxido de Nitrógeno

- Los registros de dióxido de nitrógeno, no excedieron el valor guía de OMS de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio anual. Se registraron concentraciones de $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1996), $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1997), $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1998), $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1999), $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2000) y $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2001), siendo las mayores concentraciones entre 1996 y 1999, la máxima concentración fue de $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1999.

c) Ozono

- Los registros históricos de ozono fueron fluctuantes, reportándose concentraciones mayores y menores al valor guía de OMS de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a lo largo del período de estudio.
- Se registraron concentraciones de $88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1996), $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1997), $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1998), $119 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1999), $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2000) y $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2001). De ahí que, entre los años 1996 a 1999 se excedió el valor guía de referencia de OMS, de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

No existen datos horarios de dióxido de nitrógeno y ozono en la investigación del Proyecto Aire Puro, debido a que la metodología utilizada era de tubos pasivos, que consistía en la captación del contaminante a través de la adsorción en un sustrato químico por un período mayor a una hora, esta metodología imposibilitó determinar los aumentos de concentración con respecto al tráfico vehicular durante el día.

Como consecuencia de la información generada del proyecto, Dávila, quien también participó en el mismo, presentó en el año 2001 la investigación titulada: Estudio comparativo de contaminantes: PM₁₀, NO₂ y O₃ durante 1997 y 1998 en tres puntos de alto tráfico vehicular en la ciudad de Managua, tanto en la estación seca como lluviosa. Los sitios seleccionados para esta investigación fueron: Colonia Centroamérica, Siete Sur y Gancho de Caminos. Se tomó en cuenta la influencia de las variables meteorológicas en la dispersión y transporte de los contaminantes.

Como resultado de la investigación, Dávila determinó que las concentraciones de NO₂ en los años no presentaron variaciones significativas entre estaciones de monitoreo y estaciones

climáticas. Respecto a los promedios anuales de ozono en 1997 ($66 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y 1998 ($76 \mu\text{g}/\text{m}^3$) superaron en más del 50% de las veces el valor guía establecido por OMS de $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, también se determinó que existió diferencia significativa entre las concentraciones de la estación seca y lluviosa. Para las concentraciones de PM10 de ambos años no se presentó variación significativa, aunque al comparar las concentraciones por estación de monitoreo, el análisis de varianza demostró que sí existió diferencias significativas.

Con los datos de ambos proyectos, se tuvo base para normar las emisiones vehiculares, es así que en el año 1997 se publicó y entró en vigencia el decreto 32-97, Reglamento general para el control de emisiones de los vehículos automotores de Nicaragua, que tenía por objeto establecer los requisitos y condiciones que deben reunir los vehículos automotores y los procedimientos normalizados para la medición de sus emisiones, con el fin de reducir la contaminación atmosférica por ellos producida.

Para el 2002, se incrementa el marco legal relacionado a los controles de calidad del aire para el control de las emisiones de los vehículos automotores de Nicaragua a través de la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de Calidad del Aire NTON 05 012-02, la cual tiene por objeto establecer los límites máximos permisibles de inmisión de los principales contaminantes atmosféricos sobre el territorio nicaragüense; así como los métodos de monitoreo para la vigilancia del cumplimiento de la norma, con el fin de proteger el ambiente y la salud de la población nicaragüense. La normativa es aplicable y de obligatorio cumplimiento para toda persona natural o jurídica que realice monitoreo de calidad de aire en todo el territorio nacional con fines de prevención y control de la contaminación atmosférica. Su alcance se limita a los siguientes contaminantes atmosféricos: PTS, PM10, SO₂, NO₂, O₃, CO y Pb. (NTON 05 012-02, 2002:7041-7042).

Con la entrada en vigencia de la NTON 05 012-02, el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) tiene la facultad legal para supervisar a las empresas generadoras de contaminantes atmosféricos contenidos en la normativa, a través de la ejecución de monitoreos de calidad del aire en el área de influencia de las mismas, tomando en cuenta las variaciones climatológicas y estacionales y cualquier otra condición que pueda incidir en la

calidad del aire. La limitante al recopilar información sobre estos informes es que son confidenciales y la autoridad reguladora no da acceso a los mismos.

Por otro lado, la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo (USAID) en el año 2009, en el marco del fortalecimiento de los sistemas de gestión ambiental en los países suscriptores al Tratado de Libre Comercio entre Estados Unidos, Centroamérica y República Dominicana (DR-CAFTA), se realizó la política nacional, estrategia y plan de acción sobre la calidad del aire a través de la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) adscrita al Sistema de Integración Centroamericano (SICA). Esta política parte de la necesidad de que el país cuente en su marco legal ambiental, con un instrumento orientador para la gestión de la calidad de aire, cuya finalidad es hacer frente a la contaminación ambiental y proteger la salud de los nicaragüenses y salvaguardar su bienestar y la de sus recursos naturales de posibles efectos y daños por contaminación atmosférica (MARENA, 2009).

De manera análoga, la Organización Panamericana de la Salud (OPS), Ministerio de Salud (MINSa) y el Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente (PIENSA, antiguo PIDMA) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) en el año 2016 firmaron acuerdo de cooperación para desarrollar el Proyecto Intersectorial Salud y Desarrollo Municipal (MINSa/OPS, UNI) que incluía, entre otras iniciativas ambientales, la elaboración de la propuesta de monitoreo de aire en exteriores para la ciudad de Managua. El principal objetivo de este proyecto era para fortalecer el sistema de vigilancia para la población, asociado a la contaminación vehicular de la ciudad de Managua, cuyo producto sería el desarrollo, aplicación y seguimiento de políticas, estrategias y programas que permitieran reducir la incidencia de las enfermedades respiratorias atribuibles a la exposición al aire exterior contaminado por emisiones vehiculares.

La propuesta se centraba en la medición de la contaminación atmosférica, incluyendo únicamente las inmisiones generadas por el tráfico vehicular, determinando las concentraciones de PM10, dióxido de nitrógeno y ozono en diez puntos de embotellamiento crítico de Managua siendo estos: Portezuelo, Universidad de las Américas (ULAM), Centro de Investigaciones y Estudios de la Salud (CIES-UNAN), Km. 7 carretera sur, Oficinas de las Naciones Unidas, Linda Vista, Universidad del Valle, el Recinto Universitario Simón Bolívar de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), Laboratorios Bengoechea e Instituto de Geología

y Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (IGG-CIGEO-UNAN). De este proyecto, el PIENSA destinó la ejecución de tres sitios a los postulantes de la Maestría en Ciencias Ambientales, siendo los autores los únicos del grupo de maestrantes en interesarse por este tema de calidad del aire.

Después de la investigación realizada por Dávila en 2001, Estudio comparativo de contaminantes PM10, NO₂ y O₃ durante 1997 y 1998 en tres puntos de alto tráfico vehicular en la ciudad de Managua; en las maestrías ofertadas por la Universidad Nacional de Ingeniería, incluida la que oferta el PIENSA, a la fecha no se ha encontrado evidencia de otros estudios relacionados con la contaminación del aire en Managua. Esta tesis tiene por alcance realizar estudio comparativo de las emisiones vehiculares en tres puntos de alto tráfico vehicular para medir el nivel de los contaminantes PM10, NO₂ y O₃ durante dos años, tomando en cuenta el efecto de la estación seca y lluviosa en la dispersión y transporte de los contaminantes en el aire, utilizando el método de tubos pasivos para la determinación de NO₂ y O₃, mientras que para PM10 se utilizó un medidor de bajo volumen para determinar partículas.

A nivel mundial, el registro de investigaciones evidencia la importancia de estudiar este tema por las consecuencias de la contaminación del aire en salud humana y ambiental. Es por ello que los autores visualizan la necesidad de analizar la calidad del aire, aceptando trabajar en el proyecto ofrecido por el PIENSA.

Por los antecedentes establecidos y la justificación misma de la necesidad de realizar estudios acerca de la calidad del aire provocado por las inmisiones del tráfico vehicular, es que se define el tema de la tesis de Maestría titulada **CALIDAD DEL AIRE EN TRES PUNTOS DE ALTO TRAFICO VEHICULAR EN EL DISTRITO I DE LA CIUDAD DE MANAGUA EN EL PERIODO DE OCTUBRE 2017 A ENERO 2018**, siendo el segundo trabajo de investigación generado por el PIENSA-UNI.

La tesis tiene su alcance en evaluar el impacto en la calidad del aire en un período de cuatro meses, tomando en cuenta los contaminantes atmosféricos PM10, NO₂ y O₃ generados

únicamente por el tráfico vehicular y el comportamiento de estos en la estación seca y lluviosa, tomando en cuenta la influencia de las variables meteorológicas.

La investigación se desarrolla en varias partes, siendo las trascendentales las referidas al Marco Teórico relacionado al tema, que ayudó a determinar el proceso metodológico de la investigación, identificando el método de análisis de los datos. La otra parte importante de la tesis es la correspondiente al análisis de resultados, donde se puede contrarrestar la teoría con los estudios anteriores y aseverar la idoneidad de la metodología utilizada. Se finaliza la tesis planteando las Conclusiones Generales y Recomendaciones Generales. A continuación el desarrollo de la tesis.

Capítulo II.

Objetivos

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar la calidad del aire en el Distrito I de la Ciudad de Managua en el período 17/10/2017 al 28/01/2018.

2.2. Objetivos específicos

Determinar las concentraciones de los contaminantes PM10, Dióxido de Nitrógeno y Ozono en una atmósfera urbana con influencia de tráfico vehicular en los sitios seleccionados.

Establecer la influencia de las variables meteorológicas en el comportamiento de las concentraciones temporales de los contaminantes en la atmósfera urbana.

Evaluar el cumplimiento de las disposiciones legales de la Norma Técnica Nicaragüense de Calidad del Aire - NTON 05 012-02, en relación a las concentraciones de PM10, Dióxido de Nitrógeno y Ozono.

Capítulo III.

Marco Teórico

III. MARCO TEÓRICO

El marco teórico, que se desarrolla a continuación permite conocer los conceptos básicos necesarios para el entendimiento de la presente investigación.

Primeramente se define que es la calidad del aire y se contrastan las definiciones de esta por parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS), Unión Europea y la Norma Técnica Nicaragüense de Calidad del Aire (NTON 05 012-02). Seguidamente se aborda la problemática de la contaminación del aire, las principales fuentes de emisión de contaminantes, la clasificación de los contaminantes según la forma en que se emiten a la atmósfera y como estos se transportan y dispersan en la troposfera.

A continuación se abordan las definiciones de los tres contaminantes en estudio, Material Particulado menor a 10 micras (PM10), dióxido de nitrógeno (NO₂) y ozono (O₃), sus fuentes de emisión, cómo reaccionan en la atmósfera y los efectos nocivos a la salud de las personas que están expuestos a estos. Seguidamente se mencionan los métodos de referencia utilizados para realizar la vigilancia de la calidad del aire, que permiten determinar las concentraciones de los contaminantes a través de métodos de referencia establecidos por la legislación de Estados Unidos, Europa y Nicaragua.

Finalmente se abordan los límites máximos permisibles para los contaminantes en estudio según la legislación ambiental de la Unión Europea, Estados Unidos y Nicaragua. A continuación el desarrollo del marco teórico de la investigación.

3.1 Calidad del Aire

La atmósfera recibe de forma regular entradas de diferentes gases procedentes de varias fuentes naturales como relámpagos, procesos de degradación aeróbica y anaeróbica o emisiones volcánicas, estos gases no se acumulan en las atmósferas limpias, ya que, además de las fuentes que los originan, también disponen de sumideros que los van destruyendo continuamente.

“Los principales componentes de una atmósfera no contaminada son el nitrógeno diatómico (N₂), alrededor del 78% de las moléculas; el oxígeno diatómico, O₂ (un 21%); el argón

(alrededor del 1%), y el dióxido de carbono, CO₂ (presente en un 0.04%)” (Colin & Baird, 2014:4). A su vez, la calidad del aire es influida por la presencia de sustancias indeseables en el aire, estas son mayores que los límites máximos permisibles pueden producir efectos nocivos en el ambiente y en los seres vivos.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2006) se considera que el aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humano. Sin embargo, su contaminación sigue representando una amenaza importante para la salud en todo el mundo.

OMS estima que la contaminación ambiental del aire, tanto en las ciudades como en las zonas rurales fue causa de 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo por año. Debido a esto en el año 2005, se realizó la última actualización de las Guías de Calidad del Aire (OMS, 2005:14-19) que tiene por objeto ofrecer orientación sobre la manera de reducir los efectos de la contaminación del aire en la salud, estas guías se refieren a cuatro contaminantes criterio: material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂).

Por su parte la Unión Europea (2018) lleva trabajando décadas para mejorar la calidad del aire mediante el control de las emisiones de sustancias nocivas en la atmósfera, la mejora de la calidad de los combustibles y la integración de requisitos de protección medioambiental en los sectores del transporte, la industria y la energía.

La UE ha establecido su política de Aire Puro cuyo objetivo es reducir la contaminación del aire a niveles que minimicen los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en el territorio europeo y, a tal fin, insta a que se cumplan plenamente la legislación sobre calidad del aire y los objetivos y acciones estratégicos para después de 2020, en particular en materia de cambio climático y biodiversidad.

Su base para ello son los estándares de calidad del aire (2008), identificando los siguientes contaminantes atmosféricos como contaminantes criterio: material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), ozono (O₃), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), Plomo (Pb), Benceno, Arsénico (As), Cadmio (Cd), Nickel (Ni) e hidrocarburos aromáticos policíclicos.

A nivel local, la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de calidad del aire (NTON 05 012-02) establece que el aire, es un elemento indispensable para la vida y su calidad debe ser satisfactoria para el ambiente en general, el bienestar y salud de la población. La presencia de sustancias contaminantes en la atmósfera afecta la calidad del aire y origina efectos nocivos a la salud pública, por lo tanto, es necesario preservar la calidad del aire dentro de límites que no afecten la vida humana ni el desarrollo normal de los seres vivos, por lo tanto, su utilización debe estar sujeta a normas que eviten el deterioro de su calidad. La normativa establece los límites máximos permisibles de inmisión en el aire para siete contaminantes criterio: Partículas totales en suspensión (PTS), material particulado menor o igual a 10 micrómetros (PM10), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃), monóxido de carbono (CO) y plomo (Pb) los que son considerados como nocivos para la salud.

Para los autores el aire limpio es un requisito básico de la salud y el bienestar humano, debido a esto los gobiernos del mundo han decidido adoptar estrategias y políticas ambientales para reducir las concentraciones de gases y partículas contaminantes del aire que producen afectaciones a la salud de la población, así como el impacto negativo al ambiente.

3.2 Contaminación del Aire

Desde la segunda revolución industrial, las emisiones de gases que se derivan de las actividades humanas han provocado y provocan cambios capaces de alterar los equilibrios que mantienen las propiedades y funciones de la atmósfera actual, ya sea modificando la proporción de sus componentes o mediante la introducción de elementos extraños a ésta, lo que conocemos en su conjunto como contaminación atmosférica.

La contaminación del aire, es definida por la Unión Europea como la presencia en el aire de contaminantes o sustancias contaminantes en una concentración tal que interfiere con la salud o el bienestar humano o que produce otros efectos medioambientales perjudiciales. La organización mundial de la salud (OMS) por su parte la define como la aparición en el aire de una o varias sustancias extrañas en cantidades y durante periodos de tiempo suficientemente prolongados como para producir efectos nocivos sobre el hombre, los animales, las plantas o el suelo, así como perturbar el bienestar o el uso de los bienes.

En cualquier caso, de los conceptos anteriores, se trata de un problema que puede tener efectos sobre multitud de receptores (salud o bienestar humano, bienes y medioambiente en su conjunto). Además, la contaminación atmosférica actúa a distintas escalas, desde cambios locales de la calidad del aire que provocan malestar a los habitantes de las grandes ciudades hasta procesos globales, que afectan al medioambiente de todo el planeta, como el agujero de la capa de ozono.

Los contaminantes atmosféricos se pueden clasificar según su origen como naturales y antropogénicos. Las emisiones naturales se generan por procesos que ocurren en la naturaleza como emisiones volcánicas y marinas, incendios forestales o la actividad de los seres vivos (bacterias desnitrificadoras, digestión de los herbívoros, entre otros.)

Las emisiones antropogénicas, reciben este nombre por ser generadas por las actividades humanas, principalmente la extracción, distribución y uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) para la generación de energía o el transporte, la actividad industrial, la gestión de los residuos, la agricultura, el crecimiento poblacional y las áreas urbanas. Según la fuente emisora se tienen gases y partículas procedentes de fuentes móviles (como el transporte por carretera, aviación o navegación) o fuentes fijas (como por ejemplo las industrias o las centrales térmicas de generación de energía eléctrica).

Otra manera de clasificar los contaminantes atmosféricos se realiza atendiendo a la forma en la que se emiten a la atmósfera, así se puede distinguir entre contaminantes primarios y secundarios. Los contaminantes primarios son aquellos que se emiten directamente a la atmósfera, son de muy diversa naturaleza química y provienen de una gran variedad de fuentes de emisión. Los contaminantes secundarios, por el contrario, son el resultado de transformaciones químicas de los contaminantes primarios después de ser emitidos mediante reacciones con otras sustancias gaseosas, con el agua de la atmósfera o con la radiación solar. Se forman a partir de precursores, sustancias químicas que en las condiciones adecuadas reaccionan para generar otro contaminante que se denomina secundario.

Una vez los contaminantes atmosféricos se encuentran en la atmósfera, pueden resultar transportados por movimientos horizontales o verticales, dispersados o transformados en otras especies químicas. La concentración atmosférica resultante de todos estos procesos se conoce como nivel de inmisión ya que es la concentración de contaminantes existentes en la atmósfera a nivel del suelo, de modo temporal o permanente (Martín y Santamaría, 2000).

Para poder provocar efectos nocivos a los seres humanos (salud) y ecosistemas (terrestres y acuáticos) los contaminantes deben ser transportados hacia la superficie, en un proceso conocido como depósito atmosférico. Existen dos modalidades de depósito, en función de los procesos que los gobiernan.

El depósito húmedo consiste en el transporte de la sustancia contaminante hasta la superficie mediante su incorporación al agua de lluvia, la nieve o la niebla; mientras que el depósito seco de gases y partículas supone la captura directa de los contaminantes por la superficie mediante impacto, sedimentación o difusión.

Para el caso de la presente investigación se abordan tres contaminantes atmosféricos, dos de ellos considerados secundarios (NO_2 y O_3) y uno primario (PM10) generados principalmente por el tráfico vehicular como fuente móvil origen antropogénico, a la vez se determina el comportamiento de estos ante la influencia de las variables meteorológicas.

Estos tres contaminantes fueron seleccionados debido a los efectos nocivos que generan en las personas debido a la exposición y porque la Organización Panamericana de la Salud (OPS) presenta interés en actualizar las concentraciones de estos en la ciudad de Managua.

3.2.1 Material Particulado

Las PM10 o partículas gruesas también llamadas partículas inhalables, son las partículas menores a 10 micrómetros, pero más grandes que 2.5 micrómetros de diámetro, se consideran como contaminantes constituidos por material líquido y sólido de muy diversa composición y tamaño, que se encuentran en el aire (Tzintzun et al., 2005) y pueden ser generadas tanto por fuentes móviles como estacionarias, de manera natural o antropogénica (Villalobos et al., 2008).

El material particulado es emitido por fuentes antropogénicas tales como procesos de combustión en vehículos, principalmente aquellos que usan diésel, industrias de fundición, pinturas, cerámica y plantas de energía. Pueden ser emitidas directamente a la atmósfera (partículas primarias) o producirse mediante reacciones químicas en la atmósfera (partículas secundarias).

La toxicidad de las partículas está determinada por sus propiedades físicas y químicas. El tamaño es un parámetro importante para caracterizar su comportamiento, ya que de él depende el tiempo de suspensión en el aire ambiente, y la capacidad de penetración en diversas regiones del sistema respiratorio y, por ende, la dosis a la que puede estar expuesta la población. La presencia de las partículas suspendidas en el aire, representa uno de los mayores riesgos para la salud. Se ha analizado en estudios epidemiológicos la asociación entre la concentración de partículas suspendidas y los daños a la salud humana. Pueden agravar el asma, reducir la función pulmonar, incrementar el riesgo de bronquitis y otras enfermedades respiratorias y cardiovasculares. La exposición a altas concentraciones de PM10 y PM2.5, se asocia con el incremento en el riesgo de morbilidad y mortalidad en todos los grupos de la población.

3.2.2 Dióxido de Nitrógeno

Los óxidos de nitrógeno son un conjunto de gases de los cuales los más representativos son el óxido nitroso (N_2O) y los NO_x . Estos últimos los conforman fundamentalmente el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el monóxido de nitrógeno (NO). El NO_2 y el NO son considerados contaminantes primarios porque son emitidos directamente por la fuente, aunque una vez en el aire pueden dar lugar a toda una serie de reacciones que produzcan nuevos contaminantes como el ozono o el ácido nítrico (Gallego et al., 2012)

El NO_2 es un gas parduzco, de fuerte olor, corrosivo e irritante. Es más abundante que el NO porque este último, cuando es emitido a la atmósfera, reacciona rápidamente con el oxígeno del aire para generar dióxido de nitrógeno. La fuente dominante de los óxidos de nitrógeno en el aire son los procesos de combustión, en su mayor forma como monóxido de nitrógeno (NO). Éste es oxidado a dióxido de nitrógeno, según la siguiente reacción:



El dióxido de nitrógeno también reacciona con los hidróxidos (OH) del vapor de agua formando ácido nítrico, uno de los precursores de la lluvia ácida a través de la siguiente reacción:



Según OMS (2018), estudios epidemiológicos han revelado que los síntomas de bronquitis en niños asmáticos aumentan en relación con la exposición prolongada al NO₂. La disminución del desarrollo de la función pulmonar también se asocia con las concentraciones de NO₂ registradas (u observadas) actualmente en ciudades europeas y norteamericanas. Estas condiciones adversas a la salud se generan durante el verano, en condiciones secas y sin precipitaciones ya que el dióxido de nitrógeno que acumula en la atmósfera.

3.2.3 Ozono

La capa de ozono es una región de la atmósfera conocida como la pantalla solar natural de La Tierra, ya que filtra los rayos ultravioletas (UV) dañinos procedentes de la luz solar antes que alcancen la superficie de nuestro planeta y causen daño a los seres humanos y a otros organismos vivos. Cualquier reducción sustancial de este ozono podría amenazar la vida tal como la conocemos. En consecuencia, la aparición a mediados de los años 1980 de un gran agujero en la capa de ozono sobre la Antártida ha representado una de las mayores crisis ambientales. Aunque se han tomado medidas para prevenir su extensión, el agujero continuará apareciendo cada primavera sobre el Polo Sur; uno de los mayores agujeros tuvo lugar en el año 2006 (Baird & Cann, 2014; 3).

Muy por encima de la estratosfera, el aire es muy ligero y la concentración de moléculas es tan baja que la mayor parte del oxígeno está en forma atómica, y se ha formado por disociación de las moléculas de O₂ a partir de los fotones UV de la luz solar. Finalmente, la colisión de átomos de oxígeno entre sí conduce de nuevo a la formación de moléculas de O₂, las cuales otra vez se disocian fotoquímicamente al absorber más luz solar (Baird & Cann, 2014; 16).



En la misma estratosfera, la intensidad de la luz UV es mucho menor, ya que gran parte de esta luz es filtrada por el oxígeno diatómico que se encuentra por encima, y puesto que el aire es más denso del que se encuentra más arriba, la concentración de oxígeno molecular en la estratosfera es mucho mayor. Por esta combinación de razones, la mayor parte del oxígeno estratosférico está como O₂ en lugar de como oxígeno atómico. Puesto que la concentración de oxígeno atómico es relativamente grande y la concentración de átomos de oxígeno muy pequeña, el destino más probable de los átomos de oxígeno estratosférico creados por la descomposición química de O₂ no es su colisión mutua y la formación de moléculas de O₂ (Baird & Cann, 2014; 17).

En lugar de ello, es más probable que a estas altitudes los átomos de oxígeno choquen y reaccionen con moléculas intactas de oxígeno no disociadas, lo cual da lugar a la producción de ozono:



En efecto, esta reacción es la fuente de todo el ozono estratosférico. Durante el día, el ozono se forma constantemente mediante este proceso, cuya velocidad depende de la cantidad de luz UV y por consiguiente de la concentración de átomos y moléculas de oxígeno a una determinada altitud.

Ozono troposférico

Por otro lado, “el origen fotoquímico del ozono troposférico proviene de la oxidación de compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono (CO) y metano (CH₄) en presencia de óxidos de nitrógeno y radiación solar en condiciones de estabilidad atmosférica (ausencia de viento y lluvias) y de temperaturas moderadas. Las reacciones que se dan en estas condiciones pueden dar lugar al smog fotoquímico, una mezcla de varios compuestos fuertemente oxidantes de los cuales el ozono es el más representativo. La concentración de O₃ en la troposfera es, por tanto, el resultado de un complejo equilibrio entre los procesos de formación, transporte y destrucción, todos ellos influidos a su vez por los factores meteorológicos y el transporte de O₃ desde la estratosfera” (Royal Society, 2008).

En la troposfera el ozono se forma por las siguientes reacciones:

Primero la luz ultravioleta del sol rompe la molécula de oxígeno (O₂) dando como resultado dos átomos de oxígeno (O).



Posteriormente, los átomos de oxígeno producidos (O) reaccionan con otra molécula de oxígeno (O₂) formando ozono (O₃).



A su vez, el ozono (O₃) producido puede descomponerse por acción de la luz ultravioleta del sol produciendo oxígeno molecular (O₂) y un átomo de oxígeno electrónicamente excitado (O*).



Según OMS (2018), el exceso de ozono troposférico en el aire puede producir efectos adversos de consideración en la salud humana, puede causar problemas respiratorios, provocar asma, reducir la función pulmonar y originar enfermedades pulmonares.

3.3 Métodos de medición de calidad del aire

La vigilancia de la calidad atmosférica consiste en la medición sistemática de los componentes del mismo para determinar la concentración de los mismos y determinar si éstas concentraciones son perjudiciales o no a los organismos receptores vulnerables (personas, animales, plantas) basándose en métodos de referencia indicados en las normativas de calidad del aire.

Los métodos de medición para gases se clasifican en manuales (pasivos) y automáticos. La metodología para realizar un muestreo a través de tubos pasivos para gases inorgánicos tales como dióxido de nitrógeno y ozono, consiste en recolectar muestras utilizando un tubo cilíndrico cerrado en uno de los extremos, captando al contaminante por medio de la adsorción y/o absorción en un sustrato químico durante un período de muestreo, la muestra colectada se analiza en el laboratorio por medio de una determinación fotométrica después

de una reacción de coloración adecuada. La desventaja de la aplicación de esta metodología consiste en que no permite determinar las concentraciones del contaminante en tiempo real, sino por períodos de acumulación durante el período de muestreo (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2013).

La metodología automática para gases consiste en utilizar equipos que realizan mediciones de manera continua en tiempo real, el principio del método consiste en el uso de sensores electroquímicos el cual funciona basándose en la valoración potenciométrica sensible a los iones. Entre las ventajas de la utilización de este tipo de equipos se encuentra la alta precisión de las mediciones, operación accesible por el usuario, posibilidad de cambiar los cabezales (para determinar ozono o dióxido de nitrógeno) alimentación con batería, almacenamiento de datos y descarga de los mismos a ordenador para su respectivo procesamiento e interpretación (Gallego et al., 2012)

Por su parte, la metodología gravimétrica para la determinación de PM10 consiste en la determinación de concentraciones máscas de PM10 mediante el muestreo de la materia particulada en filtros y la pesada de los mismos por medio de una balanza (Asociación Española de Normalización y Certificación, 2015).

La metodología automática consiste en utilizar el principio de dispersión de la luz de una radiación infrarroja para medir de forma inmediata y en tiempo real (en intervalos de segundos, minutos o veinticuatro horas) la concentración de PM10 la cual se expresa en mg/m^3 , los datos son almacenados en la memoria interna del equipo y gestionados en un ordenador (Gallego et al., 2012)

En la tabla 1 se presentan los métodos de referencia establecidos por la Unión Europa, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) y la NTON de Calidad del Aire de Nicaragua para los contaminantes PM10, Dióxido de Nitrógeno y Ozono.

Tabla 1
Métodos de referencia de medición para PM10, NO₂ y O₃

Organismo Regulador	Método de referencia	Tipo de método
PM10		
Unión Europea	Método de medición gravimétrico normalizado para la determinación másica PM10 o PM2.5 de la materia particulada en suspensión EN 12341:2014	Método Gravimétrico
Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)	Método de referencia para la determinación de PM10 en la atmósfera	Método Gravimétrico
NTON de Calidad del Aire Nicaragua	Método de muestreo de bajo volumen o alto volumen	Método Gravimétrico
Dióxido de Nitrógeno		
Unión Europea	Método normalizado de medida de la concentración de dióxido de nitrógeno y monóxido de nitrógeno por quimioluminiscencia	Quimioluminiscencia (Método Automático)
Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)	Método de Quimioluminiscencia en fase gaseosa	Quimioluminiscencia (Método Automático)
NTON de Calidad del Aire Nicaragua	Método de Espectrofotometría	Instrumental Manual
	Método de Quimioluminiscencia	Instrumental Automático
Ozono		
Unión Europea	Método normalizado de medida de la concentración de ozono por fotometría ultravioleta	Fotometría ultravioleta
Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)	Principio de medición de referencia y procedimiento de calibración para la medición del ozono en la atmósfera	Quimioluminiscencia
NTON de Calidad del Aire Nicaragua	Método de Espectrofotometría	Instrumental Manual
	Método de Quimioluminiscencia	Instrumental Automático

Elaborado por: Mejía (2020) en base a Asociación Española de Normalización y Certificación (2013, 2015), United States Environmental Protection Agency (2010, 2012, 2016) y La Gaceta Diario Oficial de Nicaragua NTON 05 012-02.

Y en cuanto a los límites máximos permisibles según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, la Unión Europea y Nicaragua se presentan en tabla 2 a continuación:

Tabla 2
Límites máximos permisibles para PM10, NO₂ y O₃ según Unión Europea, EPA y NTON 05 012-02

Organismo Regulador	Límite máximo permisible	Período de medición
	PM10	
Unión Europea	50 µg/m ³	24 horas
Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)	40 µg/m ³	1 año
NTON 05 012-02 de Calidad del Aire Nicaragua	150 µg/m ³	1 año
	50 µg/m ³	24 horas
	50 µg/m ³	1 año
	Dióxido de Nitrógeno	
Unión Europea	200 µg/m ³	1 hora
Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)	40 µg/m ³	1 año
NTON 05 012-02 de Calidad del Aire Nicaragua	100 ppb	1 hora
	53 ppb	1 año
	0.21 ppm	1 hora
	0.05 ppm	1 año
	Ozono	
Unión Europea	120 µg/m ³	8 horas
Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)	180 µg/m ³	1 hora
NTON 05 012-02 de Calidad del Aire Nicaragua	0.070 ppm	8 horas
	0.12 ppm	1 hora
	0.08 ppm	8 horas
	0.12 ppm	1 hora

Elaborado por: Mejía (2020) en base a European Environment Agency (2008), United States Environmental Protection Agency (2010, 2013, 2015) y La Gaceta Diario Oficial de Nicaragua NTON 05 012-02.

En la presente investigación se seleccionaron los métodos automáticos para determinar la concentración de contaminantes atmosféricos (PM10, NO₂ y O₃), ya que permite observar el comportamiento horario del contaminante y su variación a través del período de medición, además las mediciones son precisas, los equipos son accesibles para la utilización del usuario, son recargables y pueden utilizarse sin necesidad de corriente eléctrica, cuenta con almacenamiento de datos en memoria interna y exportación de datos en archivo de Microsoft Excel para su procesamiento, además son los métodos que establece la NTON 05 012-02 y son los que aplica el Laboratorio de Calidad del Aire del PIENSA-UNI.

Capítulo IV

Hipótesis

IV. HIPÓTESIS

Las concentraciones determinadas de PM10, Dióxido de Nitrógeno y Ozono medidas en cada estación de monitoreo no superan los límites máximos permisibles de la NTON 05 012-02.

Capítulo V
Diseño
Metodológico

V. DISEÑO METODOLÓGICO

La investigación centra su análisis en determinar el comportamiento horario y mensual de los contaminantes en estudio (PM10, NO₂ y O₃), así como la relación que existe entre las concentraciones de los contaminantes atmosféricos con respecto a las variables meteorológicas (temperatura, radiación solar, precipitación, humedad relativa, velocidad y dirección del viento), de tal manera que se describe a continuación la metodología empleada para llegar a los resultados.

5.1 Tipo de estudio

Según Hernández, Fernández y Baptista (2018); Dankhe (1986), existen cuatro tipos de investigación: exploratorios, descriptivos, correlaciones y explicativos. En este caso sólo se explicarán los que fueron utilizados para realizar la investigación.

Descriptivo: se describen situaciones y eventos, es decir como son y cómo se comportan determinados contaminantes atmosféricos. Buscando a especificar las propiedades importantes de los contaminantes sobre la calidad de aire en la ciudad de Managua. Se tomaron como variables los contaminantes atmosféricos (PM10, NO₂ y O₃) y se determinó cada uno de ellos de manera independiente para así poder describir las fluctuaciones que estos tuvieron en el periodo investigado.

Correlacional: la utilidad y el propósito principal de este enfoque fue saber cómo se comportaron las variables ambientales (velocidad del viento, temperatura, dirección del viento, precipitación y aforos vehiculares) conociendo el comportamiento de las variables atmosféricas (PM10, NO₂ y O₃). Con el objetivo de conocer, si están o no relacionadas entre ellas y así analizar la correlación existente.

Explicativos: se realizó con el objetivo de responder a las causas de los contaminantes atmosféricos y brindar explicación a la fenomenología de estas reacciones y en qué condiciones ambientales se dan.

De acuerdo a Fernández et al. (2017) una investigación puede tener una combinación de los diferentes tipos de estudios, pero nunca podrá ser básicamente de un solo tipo, sino que siempre tendrá elementos de alguno de los otros tipos de estudios. Es por esta razón que se presentan tres tipos de enfoques descriptivo, correlacional y explicativo considerando dos factores muy importantes como son el estado del arte en contaminantes atmosféricos y el enfoque a que se dio considerando el análisis de las variables y sus incidencias ambientales.

5.2 Etapas de la investigación

La investigación describe una metodología integral para establecer una red sistemática y robusta de monitoreo de la calidad del aire en el distrito uno. La investigación fue desarrollada en cinco etapas secuenciales que se observan en el gráfico uno.



Gráfico 1 Esquema general de la metodología de la investigación

Fuente: Elaboración propia, 2020

Del gráfico 1 se observa que las etapas de la investigación son secuenciales y dependientes entre sí.

5.2.1 Etapa 1: Recolección de información básica

Se realizó la recolección de información de soporte, a través de la revisión bibliografía para conocer el estado de la calidad del aire en Nicaragua. Otras de las fuentes consultadas son las instituciones del estado como:

Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) y Alcaldía de Managua (ALMA): se obtuvieron datos de aforos vehiculares del 2017 de la oficina de la dirección de tránsito nacional, quienes realizan los aforos vehiculares e inventario vial de la ciudad de Managua, así como el departamento de viabilidad de la Alcaldía de Managua por proporcionar los datos de conteos vehiculares en vías aledañas a los sitios de monitoreo.

Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER): se obtuvieron datos de la Dirección General de Meteorología que es la instancia responsable de operar y explotar la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas.

Estación Solar Julio López de la Fuente SJ de la Universidad Centroamericana (UCA): se obtuvieron datos de radiación solar.

El Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), se obtuvieron datos de los estudios en calidad del aire que se han realizado en Managua, así como las comunicaciones nacionales de Nicaragua ante la Convención Marco de Naciones Unidas de Cambio Climático.

El Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Ingeniería (PIENSA-UNI) se obtuvieron antecedentes y resultados del proyecto aire puro, así como, los resultados de la investigación de Dávila (2000).

Esta etapa permitió explicar la importancia del problema de estudio y sus aportes a la sociedad. Se realizaron observaciones in situ, evaluaciones a los predios en que se encuentran previos a la realización de los monitoreos.

5.2.2 Etapa 2: Selección de estaciones de monitoreo

Se detalla a continuación los criterios de selección con una descripción de cada de unos los sitios de monitoreo desarrollados en la investigación.

Descripción de los sitios de muestreo

Managua es la capital de Nicaragua con una superficie de 289 km², el municipio consta de siete distritos, es la sede del gobierno y poderes del Estado, es el centro de la economía nacional, el comercio y los servicios, y las principales industrias de procesamiento y manufactureras (ALMA, 2017).

Managua tiene una población urbana de 1, 495,385 habitantes y el área de estudio, que es el distrito uno tiene una población de 218,252 habitantes (ALMA, 2016). Se observa en la gráfico dos la distribución político administrativo de la ciudad de Managua, el área de estudio que se encuentra en el distrito uno.

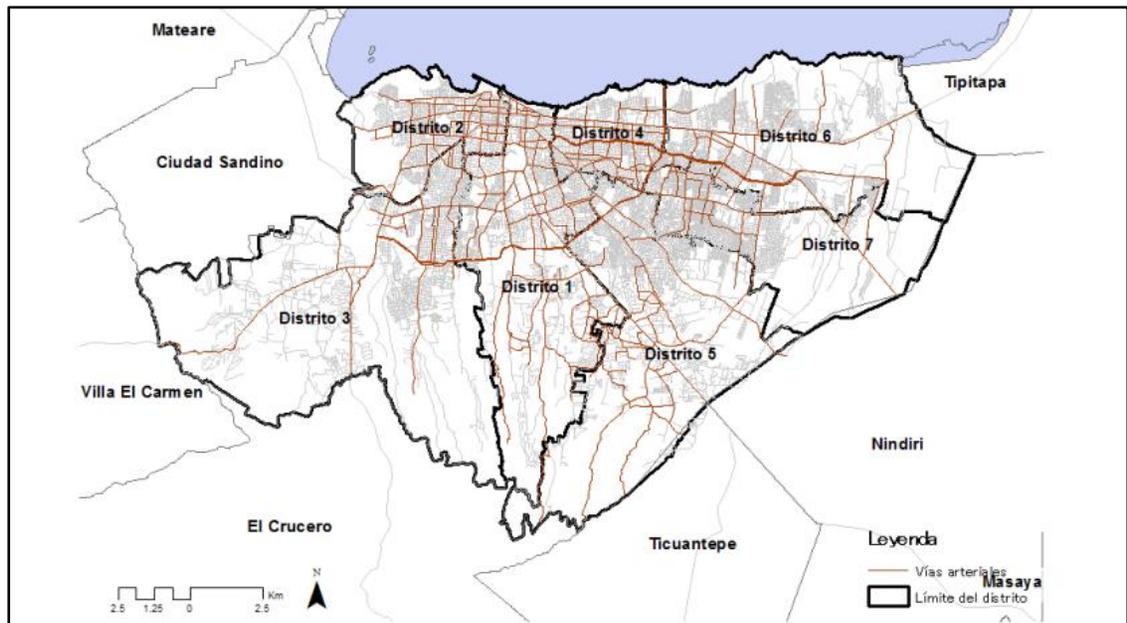


Gráfico 2 Distritos de la ciudad de Managua

Fuente: JICA, 2017

El distrito uno de la ciudad de Managua se encuentra en un área en constante desarrollo, en el están localizadas las principales universidades del país, centros comerciales, bancos, escuelas, áreas de recreación y centros financieros. Es atravesado por tres vías importantes, Carretera a Masaya, Pista Juan Pablo II y Pista Suburbana.

En esta investigación se seleccionaron tres estaciones de monitoreo ubicadas en sitios de alto tráfico vehicular como son:

- Estación de monitoreo uno: Universidad Nacional de Ingeniería. Recinto Universitario Simón Bolívar.
- Estación de monitoreo dos: Colonia Centroamérica. Paso a desnivel. Laboratorios Bengoechea.
- Estación de monitoreo tres: Instituto de Geología y Geofísica IGC-CIGEO - UNAN Managua. Recinto Universitario Rubén Darío.

A continuación se describe cada una de las estaciones seleccionadas y su ubicación:

a) Universidad Nacional de Ingeniería (RUSB)

En el gráfico tres se ilustra, la estación de monitoreo número uno identificada como UNI, está ubicada en el extremo sur del Recinto Universitario Simón Bolívar, en frente a la Universidad Centroamericana (UCA) y a orillas de la Pista Juan Pablo II.

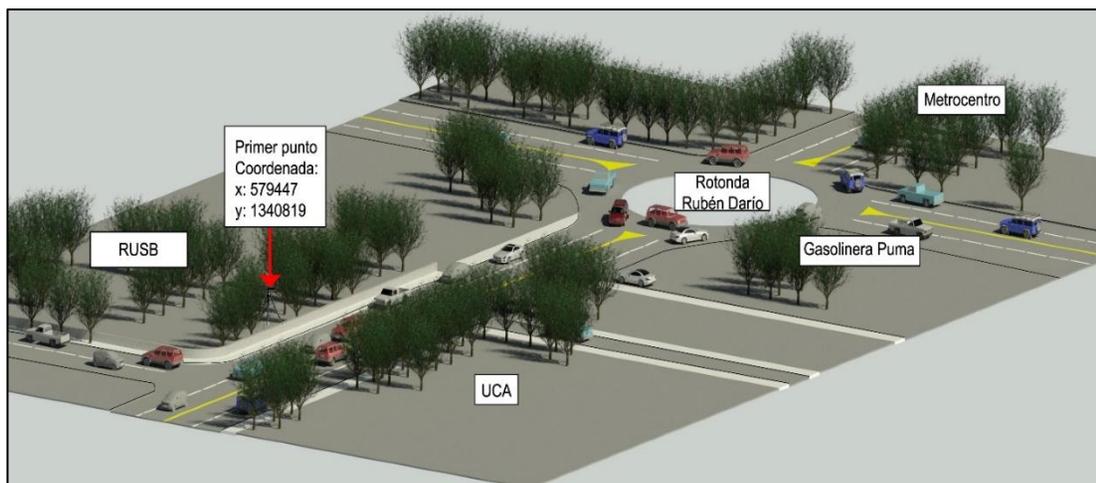


Gráfico 3 Estación de monitoreo Universidad Nacional de Ingeniería (RUSB)

Fuente: Elaboración propia, 2020

Como se observa en la gráfico 3 este punto de monitoreo al encontrarse a orillas de la Pista Juan Pablo II, es un lugar donde se generan importantes inmisiones debido a los automotores que se transitan en dirección de este a oeste (de la rotonda Rubén Darío hacia los Semáforos de ENEL) y de oeste a este (de ENEL a la Rotonda Rubén Darío) y hacia el norte al Paseo Tiscapa.

En este sitio de monitoreo se presenta una actividad permanente debido a la proximidad de dos universidades (UCA y UNI), la terminal de buses inter locales de Masaya, Granada y León,

así como el centro comercial Metrocentro, áreas recreacionales como bares y restaurantes y el recién inaugurado Estadio Nacional de béisbol Dennis Martínez.

De acuerdo a aforos vehiculares realizados en un período de 12 horas (7:00 a 18:00 horas) por el Departamento de Viabilidad de la Alcaldía de Managua en el año 2016 y 2017 por la Rotonda Rubén Darío (ver anexo 3, pág. 1) transitan 58,142 automotores (motos, camiones, automóviles y buses) de los cuales 17,873 transitan en dirección oeste hacia el punto de monitoreo de la UNI y por la intersección de ENEL (ver anexo 2, pág. 2) transitan 63,491 automotores (motos, camiones, automóviles y buses) de los cuales 15,285 transitan en dirección este hacia la estación de monitoreo de la UNI.

b) Colonia Centroamérica. Laboratorios Bengoechea.

En el gráfico cuatro se observa, la localización de la estación de monitoreo número dos, identificada como Colonia Centroamérica se encuentra ubicada en la zona perimetral sur de la colonia del mismo nombre en el área de estacionamiento de los Laboratorios Bengoechea. Su ubicación geográfica en la ciudad de Managua corresponde a las coordenadas: X 581003, Y 1339168, con una elevación de 162.39 msnm.

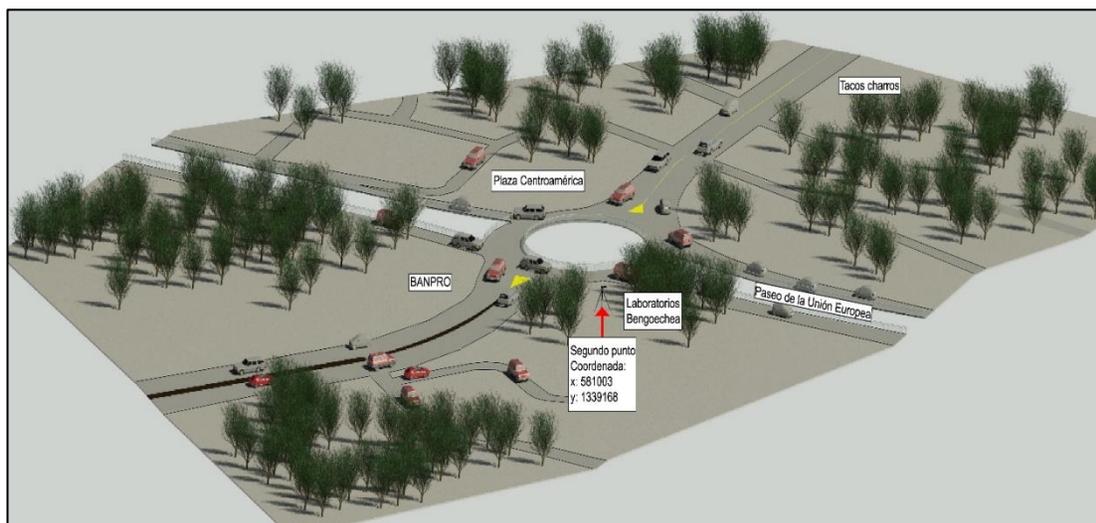


Gráfico 4 Estación de monitoreo Laboratorios Bengoechea

Fuente: Elaboración propia, 2020

Este punto de monitoreo constituye el sitio de entrada de los vehículos que provienen de los departamentos de Masaya, Granada y Rivas, así como de las urbanizadoras que se encuentran aledañas a Carretera hacia Masaya, así como los vehículos que circulan hacia los barrios

surorientales de Managua. Aledaño a este sitio se encuentran áreas comerciales, bancos, entidades gubernamentales, restaurantes, universidades, centros escolares los cuales hacen que se presente un constante tráfico vehicular.

De acuerdo con aforos vehiculares realizados por el Departamento de Viabilidad de la Alcaldía de Managua, en la rotonda Roberto Terán (ver anexo 3, pág. 1) por un período de doce horas (7:00 a las 18:00 horas) en el año 2017 transitaron 96,646 automotores (motos, camiones, automóviles y buses).

c) Instituto de Geología y Geofísica IGC-CIGEO - UNAN Managua.

La estación de monitoreo del CIGEO se ilustra en el gráfico cinco, se encuentra a orillas de la Pista Suburbana, esta geográficamente ubicado en el Distrito Uno de la Ciudad de Managua. Su localización es la siguiente: X 579432, Y 1339073.



Gráfico 5 Estación de monitoreo CIGEO-UNAN

Fuente: Elaboración propia, 2020

Está ubicada en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua), específicamente en el extremo sur del IGC-CIGEO y contiguo al portón sur de la universidad. Este punto de monitoreo está cercano a la rotonda universitaria, por la cual transitan los vehículos que vienen de la Pista Suburbana y la intersección de ENEL, además en los últimos años se han construido plazas comerciales, negocios, un área de bares, discoteca (plaza 101) y oficinas, por lo tanto, es un área de continuo desarrollo, según aforos vehiculares realizados

por la Alcaldía de Managua en la rotonda Universitaria (ver anexo 3, pág. 2) en el año 2017 transitaron 57,116 vehículos, entre motos, camiones y autobuses.

Criterios de selección de estaciones de monitoreo

Para la realización de la investigación se utilizó como punto de partida las seis estaciones de monitoreo propuesta en el proyecto aire puro de 1996-2001 que estaban ubicadas en MARENA, Linda Vista, UNI, Colonia Centroamérica, Villa Libertad y Siete Sur. Sin embargo de acuerdo a Dávila (2000) las estaciones que brindaron datos con mayor confiabilidad fueron: Recinto Simón Bolívar (RUSB – UNI), Colonia Centroamérica y Siete sur.

De tal manera que para comparar los datos actuales (2017), con respecto a registro de 1997-1998, se tomaron en cuenta las mismas estaciones monitoreadas por Dávila (2000), además que se consideraron los siguientes criterios:

Representatividad: las tres estaciones consideradas representan zonas representativas en cuanto a su tránsito promedio diario anual de acuerdo a cifras del MTI (2017). Cada día presentan un alto tránsito generado por ser zonas de entradas y salidas a la ciudad. Así como, zonas de tránsito desarrollados por ser zonas comerciales de bienes perecederos y no perecederos.

Seguridad: en estos puntos se contaba con seguridad que permitió garantía de tener los equipos de muestreos sean dañados o robados por vándalos.

Condiciones meteorológicas y topográficas: no existen barreras naturales, ni artificiales, que obstruyan la difusión y transporte de los contaminantes en la dirección de los vientos, delante de los puntos seleccionados.

Distancia de los equipos de monitorio a la vía: las mediciones cercanas a la carretera generalmente se toman a una distancia mínima de 6–20 m del borde de la carretera, con el objetivo de reducir los impactos de los flujos de aire complejos en las mediciones (por ejemplo, turbulencia inducida por el vehículo, meandros en contra del viento). Incluso pequeñas diferencias en la distancia dentro de este rango de 6-20 m afectan significativamente las concentraciones medidas (Wang et al., 2018, Karanasiou et al., 2014). Por lo tanto, las mediciones se realizaron a distancias menores a 7m en todas las estaciones.

Dada la afluencia de personas a estas vías, se podrán relacionar mejor con la exposición que experimentan los usuarios de los distintos medios de transporte.

5.2.3 Etapa 3. Definición de las variables de estudio

Existen diversas definiciones referentes a las variables, sin embargo se resalta de Hernández et al. (2010) que señalan que una variable es una propiedad que puede variar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse. De manera que se entiende como cualquier característica, propiedad o cualidad que presenta un fenómeno que varía, en efecto puede ser medido o evaluado. Por esta razón se definieron las siguientes variables:

a. Variables de contaminación atmosférica

Las variables de contaminación atmosférica que se consideraron para los tres sitios de monitoreo son: PM₁₀, NO₂ y O₃. Se tomó en consideración que la disposición de los datos podría ser de manera horaria, diaria, mensual o anual, sin embargo, de acuerdo a Sunil Gulia, Isha Khanna, Komal Shukla y Mukesh Khare (2020), Longhurst et al., 1996; Gokhale y Khare, 2007; Gulia et al., 2015; 2017 el manejo de los datos de concentraciones de contaminantes atmosféricos se debe realizar de manera horaria, ya que, es la mejor forma de visualizar y analizar el comportamiento de los contaminantes.

La norma técnica obligatoria nicaragüense de calidad del aire (NTON 05 012-02) en su acápite seis, establece los lineamientos para el monitorio de los contaminantes atmosféricos:

- El material particulado (PM₁₀) se debe de realizar por 24 horas continuas, dos veces por semana volumen alto.
- El dióxido de nitrógeno (NO₂) se debe realizar por 24 horas continuas por absorción manual espectrofotometría durante ocho días.
- Ozono (O₃) se debe realizar por 24 horas continuas por absorción manual espectrofotometría durante ocho días.

De lo antes descrito en el acápite seis de la NTON 05 012-02, se debe aclarar que por motivos presupuestarios de la investigación y carga laboral del laboratorio de calidad del aire del UNIPIENSA, no se pueden realizar los monitoreos de PM₁₀ dos veces por semana, porque se necesitarían más equipos de medición para lograr este fin, por lo tanto en la presente

investigación se realizaron dos veces por mes. En el caso de dióxido de nitrógeno y ozono se realizaron por ocho horas dos veces por mes.

Debido a que a diversos autores han reportado que existe diferencia significativa entre la concentración de contaminantes en temporada de secas y de lluvias, siendo mayor la concentración de contaminantes en la temporada seca. En la ciudad de Managua de acuerdo a INETER (2000) se presenta un período lluvioso muy bien definido de mayo a octubre, con una disminución en los meses de julio a agosto debido al período de la canícula. A partir de noviembre se presenta el período seco, siendo el mes de febrero el más seco. Por esta razón, se abarcaron dos meses de la estación lluviosa y dos meses de la estación seca, los monitoreos se realizaron con un intervalo de 15 días aproximadamente, ejecutándose dos monitoreos por mes en cada sitio.

Se debe mencionar que la normativa establece otros parámetros que se deben de monitorear, pero estos, no se tomaron en cuenta, por falta de fondos en el desarrollo de la investigación, además que, para efectos de comparación con respecto a la investigación realizada por Dávila (2000) en la que analizo el comportamiento de PM₁₀, NO₂ y O₃ en la ciudad de Managua.

b. *Variables ambientales*

A continuación se explica la importancia de analizar las variables ambientales y su correlación con los contaminantes atmosféricos.

La concentración de los contaminantes en la atmósfera es afectada por las variables meteorológicas como: la temperatura, humedad relativa, precipitación, velocidad y dirección del viento. Estas variables controlan a su vez la velocidad con la que se efectúan las reacciones químicas atmosféricas. Por otro lado, la dispersión de estos contaminantes es influenciada por la velocidad y dirección de los vientos, así como la estabilidad que predomina en la atmósfera.

Para fines del estudio se obtuvo de INETER los siguientes datos: temperatura, humedad relativa, precipitación, nubosidad, velocidad y dirección del viento, mientras que los datos de radiación solar fueron proporcionados por la estación solar Julio López de la Fuente, SJ de la

UCA. Los variables ambientales corresponden al período comprendido en octubre 2017 y enero 2018.

La estación de referencia que se utilizó fue: la estación meteorológica principal del aeropuerto internacional de Managua (código 069027), que tiene las coordenadas 12°08'36"N-86°09'49"O con una elevación de 56 msnm. No se lograron obtener datos de la estación principal del Recinto Universitario Rubén Darío porque estaba en mantenimiento durante la realización de la investigación.

5.2.4 Etapa 4: Determinación de los contaminantes atmosféricos

Las muestras corresponden a las inmisiones de contaminantes atmosféricos (PM_{10} , O_3 y NO_2) emitidas a la atmósfera a través de la ignición de combustibles fósiles en los automotores en general que circulan en los tres sitios de muestreo.

Para el desarrollo de esta investigación, se decidió realizar una serie de rondas de muestreos en los tres sitios, el cual consistió en un monitoreo en el mes de octubre 2017, dos monitoreos en los meses noviembre 2017, diciembre 2017 y enero 2018, el intervalo entre los muestreos de noviembre 2017 a enero 2018 fue de 15 días aproximadamente.

La medición de las concentraciones de Material Particulado se realizó en un intervalo de 10 segundos durante un período de veinticuatro horas, los datos fueron almacenados en la memoria interna del equipo EPAM 5000 y descargados a través de software al computador del Laboratorio de Calidad del Aire del PIENSA.

En el caso de Dióxido de Nitrógeno y Ozono, las mediciones se realizaron durante cinco minutos en una hora, en un período de ocho horas continuas, los datos fueron almacenados en la memoria interna del equipo Aeroqual y descargados a través de software al computador del Laboratorio de Calidad del Aire del PIENSA-UNI.

5.2.5 Metodología de medición de los contaminantes atmosféricos

Para la medición de contaminantes atmosféricos se utilizaron equipos automáticos, los cuales permiten realizar la determinación de las concentraciones en tiempo real, a continuación se explica el principio de medición de los contaminantes en estudio:

a) Material Particulado (PM10)

Para la medición de las Partículas menores de 10 μm (PM10), se utilizó equipo EPAM 5000-Haz Dust Particulate Monitors de la Marca EDC, (ver gráfico seis), el EPAM 5000 utiliza el principio de la dispersión de la luz de una radiación infrarroja para medir de forma inmediata y continua la concentración en mg/m^3 de partículas de polvo transportadas por el aire.



Gráfico 6 Equipo EPAM 5000

Fuente: Elaboración propia, 2020

Este principio utiliza una fuente de luz infrarroja colocada en un ángulo de 90 grados desde una foto detector. Cuando las partículas en el aire entran en el haz infrarrojo, dispersan la luz. La cantidad de luz que recibe la foto detector es directamente proporcional a la concentración del aerosol. Una señal única procesa internamente y compensa el ruido y la deriva. Esto permite una alta resolución, límites de detección bajos y una excelente estabilidad de línea de base.

b) Dióxido de nitrógeno y ozono

Para la medición de los Gases: NO_2 y O_3 , se utilizó un equipo de la marca Aeroqual modelo Series 500 (ver gráfico siete), el cual posee una tecnología de sensores electroquímicos, los cuales funcionan basándose en el principio de la valoración potenciométrica sensible a los iones. Los sensores están rellenos con un electrolito acuoso, específico para la tarea, en el que están dispuestos tres electrodos, igualmente combinados, entre los que hay un campo eléctrico. Los sensores están sellados del exterior mediante membranas permeables al gas. Las moléculas del contaminante pasan a través de la membrana permeable al gas, al electrodo

de trabajo donde se forman iones H^+ como consecuencia de una reacción química. Estos migran en el campo eléctrico al contra electrodo, donde se genera un flujo de corriente en el circuito externo mediante otra reacción química desencadenada por el oxígeno (O_2) del aire puro, también aportado.

El tercer electrodo (electrodo de referencia) sirve para estabilizar la señal del sensor. La caída de tensión desarrollada en una resistencia situada en el circuito sirve luego como señal de medición que se utiliza para el procesado electrónico posterior y determinar la concentración del gas a monitorear. Este equipo cuenta con un sensor para cada uno de los gases que se determinó.



Gráfico 7 Equipo Aeroqual Series 500

Fuente: Elaboración propia, 2020

5.2.6 Etapa 5: Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron con el software Microsoft Excel 2013. Se efectuaron los siguientes análisis estadísticos:

Correlación de Spearman

Para determinar si existe correlación entre las concentraciones de los contaminantes en estudio y las variables meteorológicas se aplicó el método de correlación de Spearman.

El coeficiente de correlación de rangos de Spearman puede puntuar desde -1.0 hasta +1.0, y se interpreta así: los valores cercanos a +1.0, indican que existe una fuerte asociación entre

las clasificaciones, o sea que a medida que aumenta un rango el otro también aumenta; los valores cercanos a -1.0 señalan que hay una fuerte asociación negativa entre las clasificaciones, es decir que, al aumentar un rango, el otro decrece. Cuando el valor es 0.0, no hay correlación (Anderson et al., 1999)

La interpretación de los valores se ha expresado por diversos autores en escalas, siendo una de las más utilizadas la que se presenta a continuación en la tabla 3:

Tabla 3
Grado de relación según coeficiente de correlación de Spearman

Rango	Relación
- 0.91 a -1.00	Correlación negativa perfecta
-0.76 a -0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.51 a -0.75	Correlación negativa considerable
-0.11 a -0.50	Correlación negativa media
-0.01 a -0.10	Correlación negativa débil
0.00	No existe correlación
+0.01 a +0.10	Correlación positiva débil
+0.11 a +0.50	Correlación positiva media
+0.51 a +0.75	Correlación positiva considerable
+0.76 a +0.90	Correlación positiva muy fuerte
+0.91 a +1.00	Correlación positiva perfecta

Fuente: Hernández & Fernández, 1998

Prueba de Hipótesis

Para determinar si la concentración promedio día de PM10, promedio horario de dióxido de nitrógeno y promedio de ocho horas de ozono es mayor al límite máximo permisible respectivo para cada contaminante, se aplicó la prueba de hipótesis Z. Suponiendo que la desviación estándar es conocida, la distribución de muestreo de la media tiene una distribución normal, la estadística de prueba Z sería:

$$Z = \frac{(x - \mu_{H_0})}{\sigma_x}$$

La hipótesis nula y alternativa para cada uno de los contaminantes es la siguiente:

PM10

$H_0: \mu_x = 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un período de 24 horas

$H_1: \mu_x \neq 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un período de 24 horas

Dióxido de Nitrógeno

$H_0: \mu_x = 0.21 \text{ ppm}$ para una hora

$H_1: \mu_x \neq 0.21 \text{ ppm}$ para una hora

Ozono

$H_0: \mu_x = 0.08 \text{ ppm}$ para ocho horas

$H_1: \mu_x \neq 0.08 \text{ ppm}$ para ocho horas

Las pruebas se realizan con un nivel de significancia del 5% y con un nivel de aceptación del 95%, siendo el valor de Z de 1.96.

La regla de decisión a utilizar es:

Rechazar H_0 si $Z > +1.96$ o si $Z < -1.96$, en cualquier otro caso, no rechazar H_0

Capítulo VI

Análisis de

Resultados

VI. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo, en una primera etapa se explica el comportamiento horario de los tres contaminantes atmosféricos en estudio (PM10, NO₂ y O₃) en los siete monitoreos ejecutados, relacionando las concentraciones determinadas con el efecto que tienen las variables meteorológicas y el tráfico vehicular sobre la dispersión y transporte de los contaminantes.

En una segunda etapa se describe el comportamiento de los tres contaminantes en estudio por cada mes de monitoreo, también se explica si existe diferencia significativa en las concentraciones de cada estación por cada mes de medición y si existe correlación entre las concentraciones de (PM10, NO₂ y O₃) y las variables meteorológicas específicas que inciden en el comportamiento de los contaminantes.

6.1 Comportamiento horario de PM10

A continuación se describe el comportamiento horario del contaminante PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en las tres estaciones de monitoreo, con la finalidad de conocer en qué momento del día se presentan las mayores y menores concentraciones, las mediciones se realizaron en un período de 24 horas, en las tres estaciones de monitoreo.

Estación de monitoreo 1: Universidad Nacional de Ingeniería (RUSB)

El comportamiento de las concentraciones de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) se ilustran en el gráfico ocho, en el cual se observa el comportamiento del contaminante, las concentraciones están representadas por promedio hora durante los días de medición.

El primer monitoreo realizado el 17-18 octubre 2017, en el intervalo horario de las 13:00 a las 15:00 horas las concentraciones se mantuvieron por debajo de los 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, esto se debe a la relación directa que existe con la velocidad del viento que al momento de la determinación es de 3.3 m/s, el efecto que produce es una dispersión y transporte del contaminantes debido al tamaño de las partículas. A partir de las 16:00 horas se presenta incremento en las concentraciones, alcanzando el máximo día de 53.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 20:00 horas, el cual coincide con la acumulación del contaminante luego del período de alto tráfico vehicular comprendido entre las 17:00 y 18:00 horas que es generado por el desplazamiento de los ciudadanos de centros de trabajo. Seguidamente las concentraciones descienden por la disminución del tráfico vehicular a 13.96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 22:00 horas, siendo la medición más baja del día.

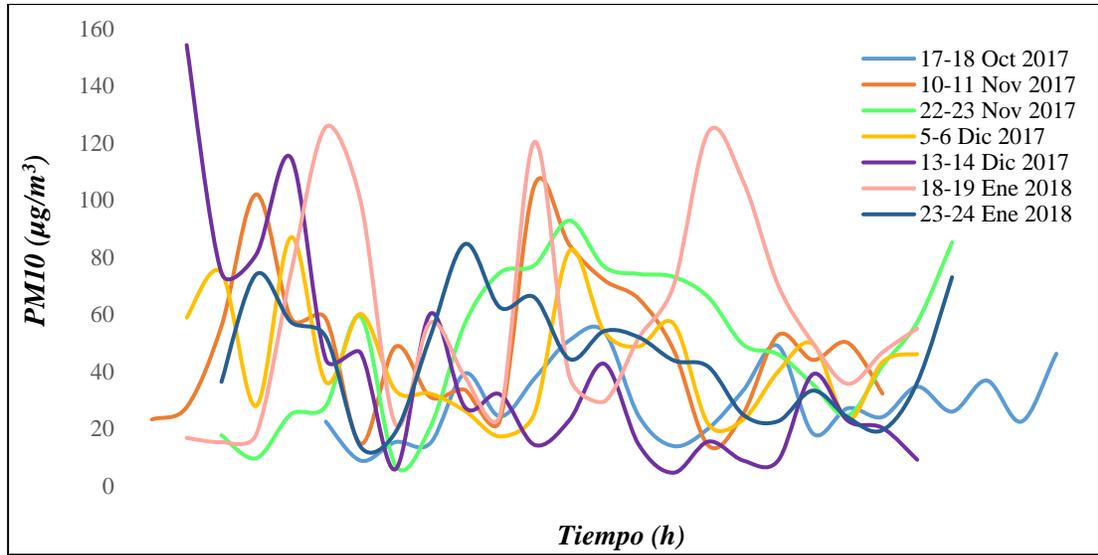


Gráfico 8 Concentraciones horario de PM10 UNI

Fuente: Elaboración propia, 2020

El segundo monitoreo, realizado en 10-11 noviembre 2017, se presenta un primer pico de medición a las 10:00 horas de $102.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que es generado por la acumulación del contaminante después de un pico de alto tráfico vehicular entre las 6:00 y 8:00 horas. En el periodo comprendido entre las 11:00 y las 16:00 horas descienden las concentraciones, hasta presentarse un segundo incremento a las 18:00 horas de $105.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (este incremento coincide con el aumento del tráfico vehicular correspondiente al momento en que los habitantes se trasladan hacia sus hogares luego de la jornada laboral) luego descienden nuevamente las concentraciones hasta llegar a la medición horaria mínima del día, de $14.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 23:00 horas.

El tercer monitoreo, realizado el 22-23 noviembre 2017, en el período comprendido entre las 9:00 y 12:00 horas las concentraciones se encuentran por debajo de los $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se presenta un primer incremento a las 13:00 horas de $59.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el que es generado por la acumulación del contaminante después del incremento del tráfico vehicular de medio día (ver anexo 3, pág. 1). A las 14:00 horas se determina la concentración mínima del día de $7.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguidamente a partir de las 16:00 horas se registra el segundo aumento constante en las concentraciones alcanzando $92.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 19:00 horas, este incremento coincide con el aumento de la circulación de vehículos debido al traslado de los habitantes de sus centros de trabajo hacia casas de habitación, seguidamente las concentraciones tienen a disminuir entre las 20:00 horas y las 5:00 horas.

El cuarto monitoreo, realizado en 5-6 de diciembre 2017, a las 9:00 horas se presenta el primer aumento en las concentraciones de $74.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguido por un segundo a las 11:00 horas de $87.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a continuación disminuyen las mediciones entre las 12:00 y las 18:00 horas, lo cual puede ser influenciado por el aumento de la intensidad de los vientos con respecto a las registradas en el mes de noviembre 2017 (anexo 3, pág. 1), registrándose ráfagas de hasta 4.6 m/s, este genera la dispersión y transporte del contaminante, se alcanza un tercer incremento de $82.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 19:00 horas, el cual coincide con un pico en el tráfico vehicular debido al desplazamiento de la población desde sus áreas de trabajo hacia sus casas de habitación, así como el traslado de buses inter locales en la terminal en frente de la UCA hacia los departamentos de Masaya, Granada y León.

El quinto monitoreo realizado, en 13-14 diciembre 2017, a las 8:00 horas se presenta el primer incremento y máxima medición del día de $154.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual coincide con un incremento en el tráfico vehicular (anexo 3, pág. 1) debido al traslado de los ciudadanos hacia centros de trabajo, universidades provenientes de la Pista Juan Pablo II y de los departamentos orientales a Managua, esta medición se encuentra superando el límite máximo permisible de la normativa nacional para PM10, seguido por un segundo incremento de $114.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 11:00 horas. A continuación se presenta descenso en las concentraciones hasta alcanzar un tercer aumento a las 15:00 horas de $60.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, entre las 16:00 y las 20:00 se presenta una relativa estabilidad en las mediciones, a partir de las 21:00 horas se presenta un segundo descenso en las mediciones, alcanzando la mínima concentración del día a las 22:00 horas de $4.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

El sexto monitoreo realizado, en 18-19 enero 2018, entre las 11:00 y las 13:00 horas se observa un incremento constante en las mediciones, alcanzando a las 12:00 horas el primer pico de concentración de $125.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguidamente se presenta un descenso y cierta estabilidad entre las 14:00 y 17:00 horas, a continuación se presenta un segundo pico de concentración de $120.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 18:00 horas, ambos incrementos en las concentraciones corresponden picos en el tráfico vehicular, en los cuales la población se desplaza hacia sus hogares luego de las actividades académicas y laborales. Es importante mencionar que a medida que se profundiza la estación seca, se presenta una acumulación del contaminante en la atmósfera, lo que incrementa su concentración, debido a la ausencia de precipitaciones como se observa en el anexo 2, página 4.

El séptimo monitoreo realizado, en 23-24 enero 2018, a las 10:00 horas se presenta el primer incremento en las concentraciones alcanzando $74.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el que es generado por la acumulación del contaminante que es generado entre las 6:00 y 8:00 horas, período que es considerado de alto tráfico vehicular. Seguidamente descienden las mediciones hasta $13.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 13:00 horas, siendo esta la concentración mínima del día. A continuación, entre las 15:00 y 18:00 se presenta un incremento constante, observándose el segundo pico de medición $84.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 16:00 horas, lo que es influenciado un segundo aumento en el tráfico vehicular característico de esta hora de medición, las concentraciones descienden a partir de las 19:00 horas hasta las 05:00 horas debido a que una relación lineal entre las inmisiones vehiculares y el tránsito de vehículos.

Estación de monitoreo 2: Laboratorios Bengoechea

El comportamiento de las concentraciones de PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) se ilustran en el gráfico nueve, en el cual se observan las principales oscilaciones del contaminante, están presentados por promedio hora durante los días de medición.

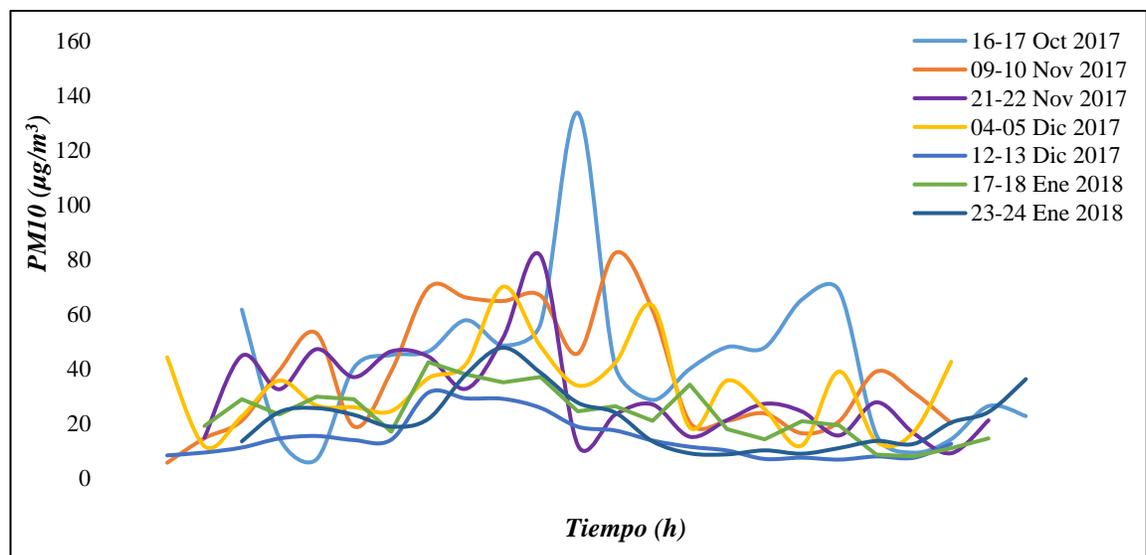


Gráfico 9 Concentraciones horario de PM10 Laboratorios Bengoechea

Fuente: Elaboración propia, 2020

El primer monitoreo realizado, el 16-17 octubre 2017, a las 10:00 horas se presenta un pico de medición de $61.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el cual es a las inmisiones del contaminante en el primer pico de tráfico vehicular generado en el período de las 06:00 a 08:00 horas, a como se observa en el anexo 2, pág. 1. Seguidamente se presenta disminución en las concentraciones entre las

11:00 y 12:00 horas. A partir de las 13:00 horas hasta las 16:00 horas aumentan las concentraciones de manera constante, alcanzando el pico máximo día a las 19:00 horas que es de $133.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$, este incremento es influenciado por el aumento en el tráfico vehicular registrado desde las 17:00 horas y el cual se puede observar en el anexo 3, pág. 1, este incremento se genera por el desplazamiento de los ciudadanos de sus centros laborales y académicos a sus casas de habitación, además este sitio es la salida de Managua hacia los departamentos de Masaya y Granada, así como las urbanizadoras que se encuentran aledañas a carretera a Masaya.

El segundo monitoreo realizado el 9-10 noviembre 2017, entre las 8:00 y 10:00 horas se presentan mediciones por debajo de los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual está influenciado por la velocidad del viento y la dirección del mismo, presentándose ráfagas de 2.1 m/s con dirección sureste (SE) (ver anexo 2, pág. 2 y 3), lo que genera dispersión y transporte del contaminante en la fuente de generación. En el período comprendido entre las 11:00 horas y 12:00 horas se presenta un incremento constante en las concentraciones. A partir de las 15:00 horas se presenta nuevamente un período de incremento de las concentraciones, alcanzando la medición máxima del día a las 20:00 horas de $82.42 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Después de este período de incrementos, las concentraciones descienden de manera constante hasta la finalización del monitoreo a las 5:00 horas del día 10 de noviembre, debido a la poca afluencia de vehículos en la noche y la madrugada.

El tercer monitoreo realizado, 21-22 noviembre 2017, a las 10:00 horas ($44.83 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y las 12:00 horas ($47.22 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se presentan los dos primeros incrementos de las concentraciones del contaminante, entre las 17:00 ($51.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y las 18:00 ($81.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se da un tercer y cuarto incremento (el cual es la medición máxima día) la cual coincide con las horas de alto tráfico vehicular debido al transporte de la población de sus centros de trabajo, escolares y de esparcimiento hacia sus viviendas, según aforos vehiculares (ver anexo 3, pág. 1) realizados por el Departamento de Viabilidad de ALMA en el año 2017, entre las 17:00 y 18:00 horas transitan 17,907 vehículos aproximadamente por la rotonda Roberto Terán. A partir de las 19:00 horas descienden las concentraciones hasta llegar a la medición del mínima del día a las 5:00 horas que es de $9.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

El cuarto monitoreo realizado 4-5 diciembre 2017, a las 8:00 horas se presenta el primer pico de concentración de $44.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual coincide con el momento en que los ciudadanos se

trasladan a sus centros de trabajo y de estudio lo que genera incrementos en el tráfico vehicular, según aforos vehiculares (ver anexo 3, pág. 1) realizados por el Departamento de Viabilidad de ALMA en el año 2017, entre las 07:00 y 08:00 horas transitan 17,689 vehículos aproximadamente en la rotonda Roberto Terán. Seguidamente se presenta estabilidad en las mediciones, a partir de las 16:00 horas inicia incrementos, alcanzando el segundo pico y medición máxima del día a las 17:00 horas de $70.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$, este incremento coincide con el aumento del tráfico vehicular debido al desplazamiento de los habitantes desde áreas de trabajo, comerciales o de esparcimiento hacia sus viviendas.

El quinto monitoreo realizado 12-13 diciembre 2017, entre las 8:00 y las 14:00 horas se presenta cierta estabilidad en las mediciones y ningún incremento significativo de las mismas, a las 15:00 horas ($31.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se presenta el primer aumento significativo del día, entre las 16:00 y las 18:00 horas se reportan valores cercanos al primer pico de medición, a partir de las 17:00 horas se presenta la disminución de las mediciones hasta determinarse la concentración mínima del día que es de $7.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a media noche. En este monitoreo se presentan las concentraciones más bajas determinadas en todo el período de estudio, esta disminución es debido al aumento de la velocidad del viento (ver anexo 2, pág. 2) que alcanzó 4.3 m/s con dirección SE (sureste) lo que genera dispersión y transporte del contaminante.

El sexto monitoreo realizado, 17-18 enero 2018, desde las 9:00 a 14:00 horas no se presentan incrementos significativos en las mediciones, éstas presentan valores menores a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es hasta en el período entre las 15:00 horas ($42.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y 18:00 horas ($37.09 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que se incrementan las concentraciones del contaminante. Luego de este incremento las concentraciones tienden a disminuir y se determina la medición mínima del día a las 4:00 horas de $8.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este día de monitoreo se caracteriza porque las concentraciones del contaminante no superan los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, durante el mes de enero en Nicaragua es característico que las ráfagas de viento tiendan a aumentar su intensidad a como se puede apreciar en el anexo 2, pág. 2, lo que genera la dispersión y transporte del contaminante como otros autores han reportado.

El séptimo monitoreo realizado 26-27 enero 2018, desde las 9:00 a las 15:00 no se presentan aumentos significativos en las concentraciones se presentan valores menores a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en el período de las 16:00 a las 18:00 horas las mediciones incrementan y se obtiene el pico máximo día de $47.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 17:00 horas, este incremento coincide con un período de

aumento en el tráfico vehicular debido al desplazamiento de la población de sus centro de trabajo a sus casas de habitación, según aforos vehiculares (ver anexo 3, pág. 1) realizados por el Departamento de Viabilidad de ALMA en el año 2017, entre las 16:00 y 78:00 horas transitan 16,078 automotores aproximadamente por la rotonda Roberto Terán. Seguidamente las mediciones tienden a disminuir hasta alcanzar a las 23:00 horas la medición mínima del día de $8.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este monitoreo, al igual que el primero realizado en el mes de enero se caracteriza por no superar los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual es ocasionado por la influencia de la dispersión del contaminante que genera la velocidad del viento que osciló entre 5.8 a 6.5 m/s (ver anexo 2, pág. 2) con dirección hacia el este.

Estación de monitoreo 3: CIGEO-UNAN

El comportamiento de las concentraciones de PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) se ilustran en el gráfico 10, en el cual se observan las principales oscilaciones del contaminante, están presentados por promedio hora durante los días de medición.

En esta estación de monitoreo, el aumento de las concentraciones, en noviembre 2017 y enero 2018 está asociado a las inmisiones generadas por tráfico vehicular, debido a que es un sitio donde convergen la entrada y salida de vehículos que provienen de carretera sur conectándose a través de la Pista Suburbana y la rotonda universitaria, incrementando la afluencia de vehículos, debido a la cercanía de universidades y colegios.

El primer monitoreo realizado, 16-17 octubre 2017, de las 10:00 a las 13:00 se presenta estabilidad en las concentraciones siendo menores a los $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguidamente entre las 14:00 y 15:00 horas incrementan las concentraciones obteniendo el primer pico y el máximo del día a las 14:00 horas de $38.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, luego se presenta un aumento en la concentración las 17:00 horas de $36.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, alcanzando el segundo punto máximo del día. Es importante mencionar que, en días anteriores a la realización de este monitoreo, se presentaron precipitaciones en la ciudad de Managua de hasta 17 mm (ver anexo 2, pág. 4), debido a las precipitaciones el contaminante es transportado por las gotas de lluvia hacia el suelo, generando un fenómeno que se denomina deposición húmeda, disminuyendo su presencia en el aire.

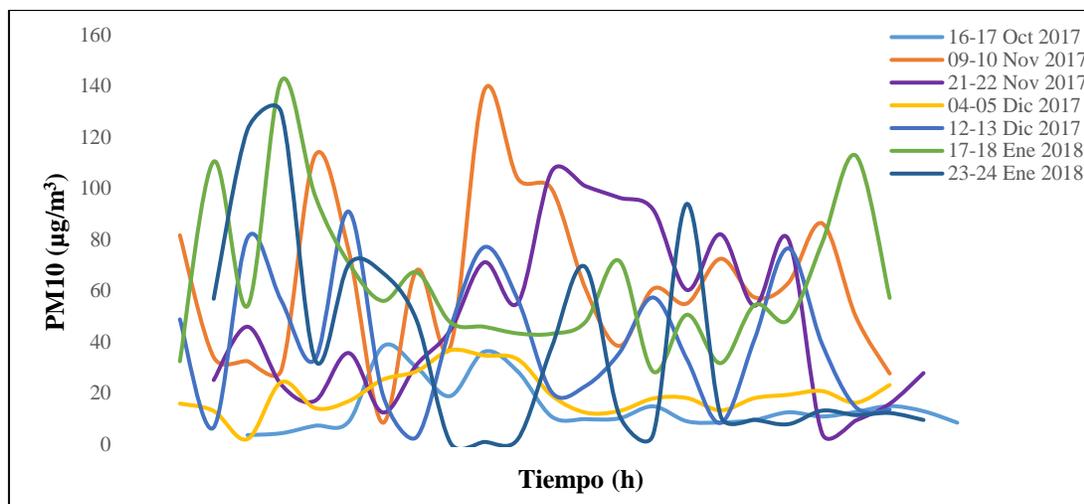


Gráfico 10 Concentraciones horario de PM10 CIGEO-UNAN

Fuente: Elaboración propia, 2020

El segundo monitoreo, 10-11 noviembre 2017, a las 8:00 horas se presenta el primer pico de medición de $81.69 \mu\text{g}/\text{m}^3$, el cual es generado por un período de aumentos en el tráfico vehicular comprendido entre las 7:00 y 8:00 horas, según aforo realizado por el Departamento de Vialidad de ALMA (ver anexo 3, pág. 2) transitan 10,761 automotores en este período. Seguidamente las mediciones descienden entre las 9:00 y 11:00 horas, incrementando nuevamente a medio día alcanzando $112.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Entre las 17:00 y las 18:00 se presenta un tercer incremento alcanzando la concentración máxima día a las 17:00 horas ($138.18 \mu\text{g}/\text{m}^3$), este período de incrementos en las concentraciones coincide con tres picos de alto tráfico vehicular (por la mañana, medio día y finalizando la tarde). Este día se caracteriza por presentar tres momentos en los cuales las concentraciones se acercan al límite máximo permisible ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de la normativa nacional.

El tercer monitoreo, 21-22 Noviembre 2017, durante el período de las 9:00 a las 16:00 horas no se presentan variaciones significativas en las mediciones, éstas presentan valores menores a $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es a partir de las 17:00 horas ($71.08 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que aumentan las concentraciones alcanzado a las 19:00 horas ($106.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$) la medición máxima día, generado por acumulación del contaminante debido a incremento en el tráfico vehicular (ver anexo 3, pág. 2), según aforo del Departamento de Vialidad de ALMA, entre las 17:00 y 18:00 horas transitan 12,287 automotores por la rotonda Universitaria.

El cuarto monitoreo, 4-5 Diciembre 2017, en el período comprendido entre las 8:00 a las 15:00 horas las concentraciones de material particulado son relativamente estables (inferiores a $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$), es en el período de las 16:00 a las 18:00 horas que las concentraciones aumentan ligeramente, alcanzando a las 16:00 horas el pico máximo del día de $36.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En este monitoreo se observa disminución de las concentraciones con respecto al monitoreo anterior, esto es generado por el aumento en la velocidad del viento (ver anexo 2, pág. 2), que alcanzó ráfagas entre 4.3 y 4.6 m/s, generando transporte y dispersión del material particulado.

El quinto monitoreo realizado, 12-13 Diciembre 2017, por la mañana se presentan un pico de medición a las 8:00 horas ($48.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$), los que están influenciados por el tráfico vehicular típico de ese período, en el cual los pobladores se desplazan hacia sus centros de trabajo, escolares o de esparcimiento, luego descienden las concentraciones de material particulado en entre las 11:00 y 12:00 horas. Se presenta un tercer pico de concentración mayor a los anteriores a las 13:00 horas de $90.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seguidamente las mediciones tienen a disminuir observándose la medición mínima del día a las 15:00 horas de $2.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$, finalmente a partir de las 16:00 hasta las 18:00 horas las concentraciones tienden a aumentar, logrando el cuarto pico de concentración de $77.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 17:00 horas, este incremento coincide con el aumento del tráfico vehicular reflejado en el anexo 3, pág. 2, según aforo realizado por del Departamento de Vialidad de ALMA entre las 16:00 y 18:00 horas transitan 16,984 automotores por la rotonda Universitaria.

El sexto monitoreo realizado, 17-18 Enero 2018, a las 9:00 horas ($110.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 11:00 horas ($142.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y 12:00 horas ($97.20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se presentan los tres picos más significativos del día, siendo del de las 11:00 horas la medición máxima, éstas concentraciones son influenciadas por la estación seca, debido a la ausencia de las precipitaciones el viento provoca erosión del suelo transportando partículas que se mezclan con las generadas por la ignición de combustibles de los automotores, permitiendo que el material particulado se acumule en la atmósfera.

El séptimo monitoreo realizado, 26-27 Enero 2018, a las 10:00 horas ($123.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y 11:00 horas ($129.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se presentan las mediciones más altas del día, las cuales se acercan al límite máximo permisible de la normativa nacional de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y están influenciadas por la estación seca en la cual no se presenta la deposición húmeda del contaminante debido a

ausencia de precipitaciones y permite la acumulación del material particulado en el aire. Seguidamente las concentraciones de material particulado tienden a disminuir drásticamente en el horario vespertino (entre las 16:00 a 18:00 horas) finalmente en el período de la madrugada las concentraciones disminuyen debido a la bajo tráfico vehicular típico de ese período.

6.2 Comportamiento horario Dióxido de Nitrógeno

A continuación se describe el comportamiento horario del contaminante dióxido de nitrógeno (ppm) en las tres estaciones de monitoreo, con la finalidad de determinar en qué momento del día se presentan las mayores y menores concentraciones, las mediciones se realizaron durante un período de 5 minutos con una frecuencia de una muestra cada hora en forma continua durante 8 horas.

Estación de monitoreo 1: Universidad Nacional de Ingeniería (RUSB)

El comportamiento de las concentraciones de dióxido de nitrógeno (ppm) se ilustra en el gráfico 11, donde se observa el principal comportamiento del contaminante, están presentados por promedio hora durante los días de medición.

Durante el primer monitoreo, 17 octubre 2017, entre las 11:00 y 12:00 horas se presenta el primer pico de medición de 0.0145 ppm, el cual coincide con incremento del tráfico vehicular, según aforo realizado por el Departamento de Vialidad de ALMA en este período transitan 10,306 automotores por la rotonda Rubén Darío (ver anexo 3, pág. 1). Seguidamente durante las horas vespertinas las concentraciones descienden al punto de no ser detectadas por el equipo, esto es debido a la velocidad del viento de 3.3 m/s (ver anexo 1, pág. 2) generando dispersión y transporte el contaminante. Finalmente entre las 19:00 y 20:00 horas se presenta incremento en las concentraciones debido a la acumulación de inmisiones generadas posterior a la salida laboral y de estudiantes.

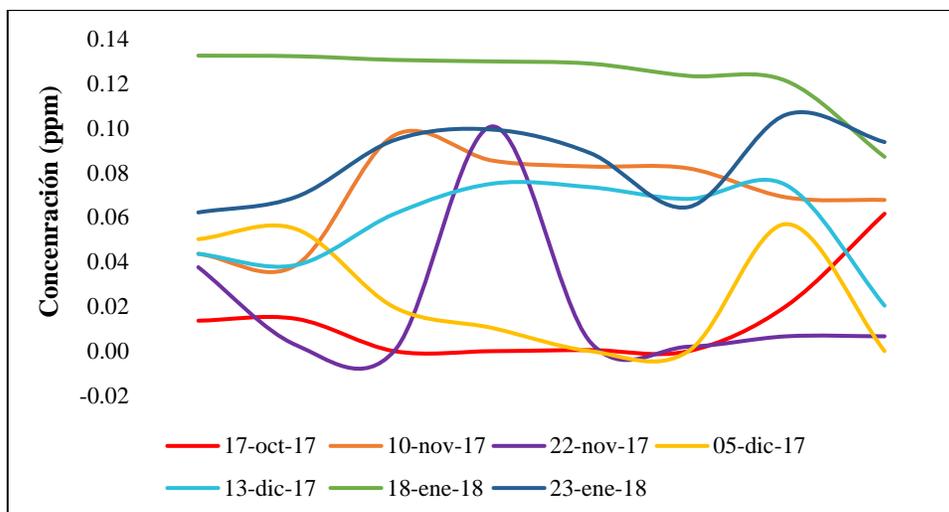


Gráfico 11 Concentración horario de Dióxido de Nitrógeno UNI

Fuente: Elaboración propia, 2020

En el segundo monitoreo, 10 noviembre 2017, a las 10:00 horas se presenta el pico máximo día de 0.096 ppm, este pico es generado por la acumulación del contaminante en las primeras horas de la mañana debido al tráfico vehicular (ver anexo 3, pág. 1), según aforo realizado por el Departamento de Vialidad de ALMA entre las 7:00 y 10:00 horas transitan 19,675 automotores por la rotonda Rubén Darío. Seguidamente en el período entre las 16:00 a 18:00 horas disminuyen las concentraciones y se reportan valores cercanos a 0.08 pm, esta disminución en las concentraciones es generada por la dirección del viento, que se dirigía hacia el sur este (SE) por lo tanto el contaminante es dispersado y transportado.

En el tercer monitoreo, 22 noviembre 2017, a las 9:00 horas se presenta el primer pico de 0.037 ppm, seguidamente en el período entre las 11:00 y 13:00 horas las mediciones descienden a valores cercanos a 0.002 ppm esto es influenciado por la velocidad y dirección del viento, que fue de 2.0 m/s (ver anexo 2, pág. 2) con dirección hacia el este (ver anexo 2, pág. 3) respectivamente, esto genera transporte y dispersión del contaminante. A las 14:00 horas se presenta la máxima de medición del día de 0.101 ppm, seguidamente entre las 15:00 y las 19:00 horas las concentraciones disminuyen determinándose concentraciones menores a 0.006 ppm.

Durante el cuarto monitoreo, 5 diciembre 2017, en el período comprendido entre las 8:00 y 9:00 horas las mediciones presentan estabilidad determinándose valores de 0.05 ppm respectivamente, este comportamiento es influenciado por el tráfico vehicular debido al

desplazamiento de la población hacia centros de trabajo y escolares, seguidamente entre las 10:00 horas y las 15:00 horas las mediciones descienden a valores menores a 0.02 ppm, esta disminución está influenciada por la velocidad y dirección del viento, que es de 4.6 m/s (ver anexo 2, pág. 2) con dirección hacia el este (ver anexo 2, pág. 3) respectivamente, lo que genera que el dióxido de nitrógeno sea transportado en el área de generación del mismo.

En el quinto monitoreo realizado, 13 diciembre 2017, a partir de las 8:00 horas se presenta incremento constante en las concentraciones de dióxido de nitrógeno, alcanzado la máxima día a las 11:00 horas y a las 13:00 horas de 0.07 ppm, este período de incrementos coincide con horas de alto tráfico vehicular comprendido entre las 7:00 horas y las 13:00 horas, según aforos realizados por el departamento de Vialidad de ALMA, por la rotonda Rubén Darío (ver anexo 3, pág. 1) transitan 34,224 automotores en este período. Seguidamente las concentraciones disminuyen en entre las 14:00 y 17:00 horas, este decrecimiento generado por la velocidad y dirección del viento, que es de 4.6 m/s (ver anexo 2, pág. 2) con dirección hacia el norte (ver anexo 2, pág. 3) lo que genera que el contaminante sea dispersado y transportado.

En el sexto monitoreo, 18 enero 2018, a las 9:00 horas se presenta el pico máximo de medición del día de 0.132 ppm, seguidamente entre las 10:00 y las 13:00 horas las mediciones se mantienen cercanas al valor máximo del día, lo cual es debido a la presencia de la estación seca, en la cual no se registran precipitaciones, y el dióxido de nitrógeno tiende a acumularse en la atmósfera.

Durante el séptimo monitoreo, 23 enero 2018, en el período comprendido entre las 9:00 y 11:00 horas se presenta incremento constante en las mediciones, estos incrementos son generados por el tráfico vehicular típico de este período, según aforos realizados por el departamento de vialidad de ALMA, en la rotonda Rubén Darío (ver anexo 2, pág. 1) transitan 14,080 automotores entre las 9:00 y 11:00 horas. Seguidamente entre las 14:00 y 15:00 horas las concentraciones tienden a disminuir, alcanzando a las 16:00 horas el pico máximo día de 0.106 ppm, el cual es generado por la acumulación del dióxido de nitrógeno durante el día y la presencia de la estación seca, en la que no se registran precipitaciones, permitiendo que el contaminante persista en la atmósfera.

Estación de monitoreo 2: Laboratorios Bengoechea

El comportamiento de las concentraciones de dióxido de nitrógeno (ppm) se ilustra en el gráfico 12, en el cual se observa el comportamiento de las concentraciones del contaminante, están presentados por promedio hora durante ocho horas de medición.

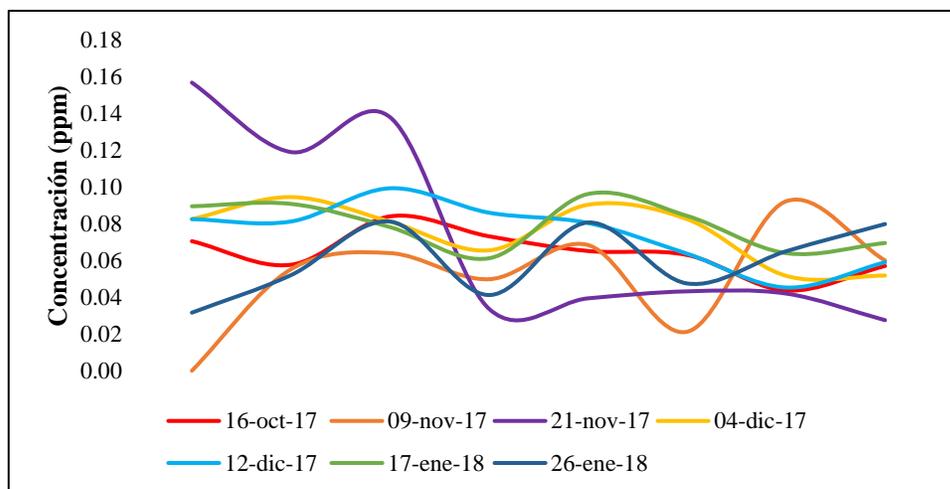


Gráfico 12 Concentración horaria de Dióxido de Nitrógeno Laboratorios Bengoechea

Fuente: Elaboración propia, 2020

Durante el primer monitoreo, 16 octubre 2017, a las 9:00 horas se presenta el primer pico de medición de 0.071 ppm, seguidamente las concentraciones tienden a disminuir, alcanzando a las 13:00 horas el pico máximo día de 0.084 ppm, este incremento está influenciado por el aumento en el tráfico vehicular debido al traslado de estudiantes de colegios aledaños y universidades a sus casas de habitación, así como trabajadores que utilizan el período de almuerzo para realizar gestiones, según aforos realizados por el departamento de vialidad de ALMA en la rotonda Roberto Terán transitan 37,372 vehículos como se puede observar en el anexo 3, pág. 1.

En el segundo monitoreo, 9 noviembre 2017, a las 8:00 horas se presenta el primer pico de 0.064 ppm, seguidamente las concentraciones disminuyen entre las 10:00 y las 12:00 horas, esta disminución está influenciada por la velocidad del viento (ver anexo 2, pág. 2) que es de 2.1 m/s con dirección hacia el este, lo que transporta y dispersa el contaminante. A partir de las 13:00 horas las concentraciones aumentan considerablemente presentándose la medición

máxima del día de 0.092 ppm, este incremento es generado por el incremento en el tráfico vehicular debido a la movilización de estudiantes de universidades y colegios aledañas al sitio de monitoreo, a continuación las concentraciones nuevamente disminuyen hasta finalizar el monitoreo.

El tercer monitoreo, 21 noviembre 2017, a las 9:00 horas se presenta el pico máximo día de 0.156 ppm, seguidamente entre las 10:00 y las 11:00 horas las concentraciones presentan cierta estabilidad y valores cercanos a 0.1 ppm, esta persistencia del contaminante está influenciada por la acumulación del mismo, debido a la ausencia de precipitaciones (ver anexo 2, pág. 4). Por la tarde, entre las 13:00 y 14:00 horas las mediciones tienden a disminuir hasta finalizar el monitoreo.

Durante el cuarto monitoreo, 4 diciembre 2017, entre las 9:00 y las 10:00 horas se presenta el primer incremento en las concentraciones, determinándose a las 10:00 horas el valor más alto del día de 0.094 ppm, a continuación entre las 12:00 y 13:00 horas las concentraciones decrecen, esta disminución está influenciada por la velocidad del viento (ver anexo 2, pág. 2) de 4.3 m/s con dirección hacia el sur, lo que genera dispersión y transporte del contaminante. Seguidamente a las 15:00 horas la concentración aumenta a 0.090 ppm.

En el quinto monitoreo, 12 diciembre 2017, a las 9:00 horas se presenta el primer incremento en las mediciones registrándose 0.082 ppm, seguidamente a las 13:00 horas se determina la máxima medición del día de 0.099 ppm, este incremento es influenciado por la acumulación del contaminante debido al tráfico vehicular en la rotonda Roberto Terán (ver anexo 3, pág. 1), según aforos realizados por el departamento de vialidad de ALMA en el año 2017, en el período comprendido entre las 9:00 horas y 13:00 horas circulan 35,637 automotores aproximadamente. A continuación, las concentraciones se mantienen cercanas al valor máximo del día entre las 14:00 y 15:00 horas, para finalmente presentarse disminución en las concentraciones hasta concluir el monitoreo.

Durante el sexto monitoreo, 17 enero 2018, a las 10:00 horas (0.090 ppm) se presenta el primer incremento en las concentraciones de dióxido de nitrógeno, seguidamente las mediciones disminuyen en el período comprendido entre las 10:00 y las 11:00 horas. A continuación, las concentraciones aumentan por segunda ocasión a las 13:00 horas registrándose de 0.096 ppm. Los dos incrementos de las concentraciones de dióxido de nitrógeno registrados durante el día son generados por la acumulación del contaminante

después de períodos de alto tráfico vehicular, siendo el primero entre las 6:00 y 08:00 horas y el segundo entre las 12:00 y 13:00 horas, en estos intervalos circulan 17,689 y 17,743 automotores respectivamente.

En el séptimo monitoreo, 26 enero 2018, en el período comprendido entre 9:00 y 11:00 horas las mediciones incrementan constantemente hasta alcanzar el pico máximo día de 0.081 ppm a las 13:35 horas, a continuación a las 15:36 horas se presenta un segundo pico de medición (0.080 ppm) cercano al valor determinado anteriormente, este constante incremento es generado por la ausencia de precipitaciones (ver anexo 2, pág. 4), característica de la estación seca, lo que permite que el contaminante se acumule en el aire.

Estación de monitoreo 3: CIGEO-UNAN

El comportamiento de las concentraciones de dióxido de nitrógeno (ppm) se ilustra en el gráfico 13, en el cual se observan el comportamiento de las concentraciones del contaminante, están presentados por promedio hora durante ocho horas de medición.

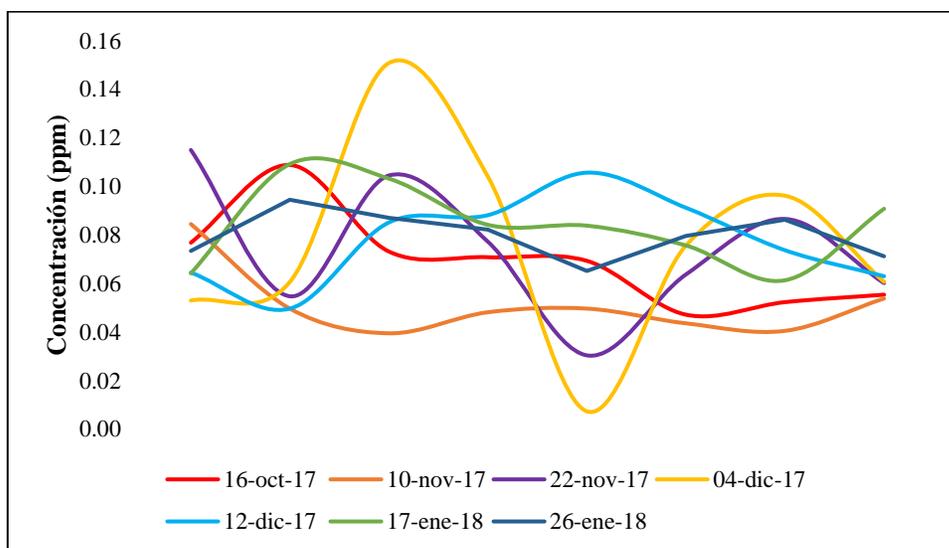


Gráfico 13 Concentración horaria Dióxido de Nitrógeno CIGEO-UNAN

Fuente: Elaboración propia, 2020

Durante el primer monitoreo, 16 octubre 2017, a las 13:18 horas se determina el pico máximo de medición del día de 0.108 ppm, este incremento coincide con la acumulación del contaminante desde la mañana que es generado por las inmisiones del tráfico vehicular, según aforos (ver anexo 2, pág. 2) realizados por el departamento de vialidad de ALMA, en el período comprendido entre las 7:00 y 13:00 horas transitan 31,996 automotores por la

rotonda Universitaria. A continuación, las mediciones tienen a disminuir y presentar cierta estabilidad hasta finalizar el monitoreo.

En el segundo monitoreo, 10 noviembre 2017, a las 8:00 horas se presenta el pico máximo del día de 0.084 ppm, este incremento es debido al tráfico vehicular, generado por el desplazamiento de los ciudadanos hacia sus centros de trabajo y escolares (colegios y universidades) así como el tráfico que proviene de la carretera sub urbana donde circulan vehículos procedentes de residenciales y municipios al sur de Managua. A continuación, en el período entre las 10:00 y 11:00 horas las concentraciones disminuyen, para luego mantenerse constante a valores cercanos a 0.04 ppm.

En el tercer monitoreo, 22 noviembre 2017, a las 9:34 horas se presenta el pico máximo día de 0.115 ppm, seguidamente a las 11:00 horas las concentraciones disminuyen, luego aumentan nuevamente a las 12:00 horas (0.104 ppm) obteniéndose el segundo pico del día, de menor concentración al anterior, estos dos incrementos son generados por las inmisiones de los vehículos que transitan por la rotonda Universitaria, según aforos (ver anexo 3, pág. 2) realizados por el departamento de vialidad de ALMA en el año 2017, entre las 9:00 y 12:00 horas se desplazan 17,388 automotores. A continuación, entre las 13:00 y 16:00 horas las mediciones disminuyen, para finalmente ocurrir un tercer pico de 0.086 ppm a las 17:00 horas, este tercer incremento es debido a las inmisiones debido a otro período de alto tráfico vehicular típico de este período.

En el cuarto monitoreo, 4 diciembre 2017, entre las 8:00 y 9:00 horas no se presenta incremento significativo en las concentraciones, a las 10:55 horas se presenta el pico máximo de medición del día de 0.15 ppm, está influenciado por la no ocurrencia de precipitaciones (ver anexo 2, pág. 4) lo que genera que el contaminante persista en el sitio donde se genera y se acumule. Seguidamente en el período comprendido entre las 13:00 y las 16:00 horas las concentraciones disminuyen, a las 17:42 horas se presenta un segundo pico de 0.096 ppm de menor concentración al anterior, que es influenciado por el aumento del tráfico vehicular generado por el desplazamiento de la población de sus centros de trabajo a sus domicilios.

Durante el quinto monitoreo, 12 diciembre 2017, a las 9:00 horas se presenta el primer incremento en las concentraciones alcanzando 0.064 ppm, seguidamente las mediciones disminuyen a las 11:00 horas, en el período comprendido entre las 13:00 y 16:00 horas las concentraciones aumentan a valores cercanos a 0.08 ppm, este incremento es influenciado

por la dirección del viento (ver anexo 2, pág. 3) que se dirigía hacia el sureste, dirección en la que se encuentra la estación de monitoreo del CIGEO, por lo tanto el contaminante generado en la rotonda universitaria es transportado hacia la estación de monitoreo. A continuación, a las 18:25 horas se obtiene el pico máximo día de 0.105 ppm, el cual coincide con un pico de alto tráfico vehicular generado por el desplazamiento de los habitantes de sus centros de trabajo hacia sus casas de habitación, seguidamente las mediciones descienden gradualmente hasta la conclusión del monitoreo.

En el sexto monitoreo, 17 enero 2018, a partir de las 8:00 horas y finalizando a las 10:00 horas se presenta incremento en las mediciones, obteniéndose el pico máximo del día a las 9:42 horas de 0.109 ppm, este incremento es debido a las inmisiones del contaminante generadas por el tráfico vehicular comprendido entre las 7:00 y 10:00 horas, según aforos realizados por el departamento de vialidad de ALMA en el año 2017 en este período transitan 19,533 automotores. Seguidamente en el período comprendido entre las 11:00 y las 14:00 horas las concentraciones descienden gradualmente, obteniéndose valores cercanos a 0.08 ppm, a continuación, a las 16:56 horas se presenta un segundo aumento de 0.090 ppm, este incremento es generado por la acumulación del contaminante durante todo el día debido a la ausencia de precipitaciones en este día de monitoreo (ver anexo 2, pág. 4).

Durante el séptimo monitoreo, 26 enero 2018, entre las 9:00 y 10:00 horas se presenta incremento en las concentraciones determinándose 0.094 ppm de dióxido de nitrógeno a las 10:00 horas, este incremento es debido a las inmisiones generadas por el tráfico vehicular en este período. Seguidamente entre las 10:50 y las 14:00 horas las mediciones tienen a disminuir obteniéndose valores menores a 0.08 ppm. A continuación, entre las 15:00 y 17:00 horas incrementan las concentraciones de dióxido de nitrógeno alcanzando valores cercanos a 0.086 ppm, este aumento es debido a la acumulación del contaminante durante el día generado por el tráfico vehicular.

6.3 Comportamiento horario Ozono

A continuación se describe el comportamiento horario del contaminante ozono (ppm) en las tres estaciones de monitoreo, con la finalidad de determinar en qué momento del día se presentan las mayores y menores concentraciones, las mediciones se realizaron durante un período de 5 minutos cada hora durante ocho horas continuas.

En esta estación de monitoreo, el aumento de las concentraciones, en noviembre 2017 y enero 2018 está asociado a las inmisiones de dióxido de nitrógeno que genera el tráfico vehicular, este contaminante siendo el precursor de la formación de ozono, reacciona con luz solar a una longitud de onda entre 290 y 430 nm, formando óxido de nitrógeno y oxígeno atómico, el oxígeno atómico reacciona con el oxígeno molecular generando ozono troposférico.

Estación de monitoreo 1: Universidad Nacional de Ingeniería (RUSB)

Durante el primer monitoreo realizado, 17 octubre del 2017 (ver gráfico 14) la medición máxima del día se presentó a las 13:35 horas de 0.027 ppm, este pico es generado durante la mañana, este reacciona con la luz solar y produce ozono, la menor concentración se determinó a las 11:33 horas de 0.02 ppm. El promedio día es 0.024 ppm, con lo cual no se excede al límite máximo permisible de la NTON 05-012-01 de 0.08 ppm en caso que se utilice instrumental automático en un período de cinco minutos durante ocho horas continuas.

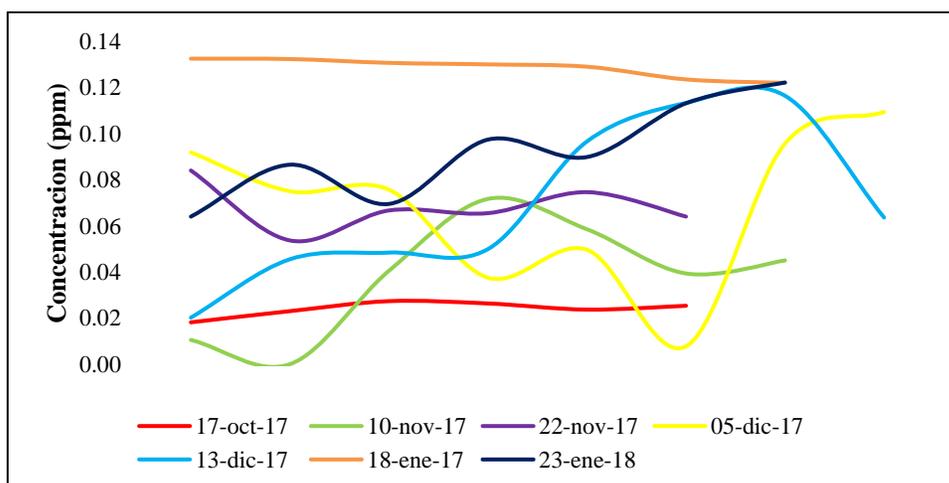


Gráfico 14 Concentración horario de ozono UNI

Fuente: Elaboración propia, 2020

En el segundo monitoreo, 10 noviembre 2017, entre las 8:00 y 11:00 horas las concentraciones son menores a 0.05 ppm, seguidamente entre las 12:00 y 13:00 horas se presentan dos picos de 0.066 ppm, éstos incrementos son producidos por la acumulación de dióxido de nitrógeno en la mañana, debido a las inmisiones generadas por el alto tráfico vehicular y la reacción fotoquímica del dióxido de nitrógeno que produce al ozono. El promedio día es 0.051 ppm, con lo cual no se excede al límite máximo permisible de la NTON 05-012-01 de 0.08 ppm en caso que se utilice instrumental automático en un período de cinco minutos durante ocho horas continuas.

En el tercer monitoreo, 22 noviembre 2017, desde el inicio de las mediciones a las 10:00 horas se presentan concentraciones que superan el valor de 0.09 ppm y se mantienen durante todo el período de monitoreo, la máxima medición se registra a las 15:00 horas siendo de 0.106 ppm. Las concentraciones son mayores a las registradas en el monitoreo anterior, debido a poca nubosidad, lo que genera mayor radiación solar (ver anexo 2, pág. 5) y aumento de la temperatura (ver anexo 1) lo que favorece el proceso fotoquímico que da origen al ozono troposférico. El promedio día es 0.101 ppm, excediendo al límite máximo permisible de la NTON 05-012-02 que es de 0.08 ppm en caso que se utilice instrumental automático en un período de cinco minutos durante ocho horas continuas.

En el cuarto monitoreo, 5 diciembre 2017, a las 8:00 horas se presenta primer incremento de 0.091 ppm, seguidamente entre las 9:00 y 11:00 horas las concentraciones descienden hasta 0.037 ppm, a continuación las concentraciones aumentan a medio día, seguidamente a las 16:00 horas (0.109 ppm) se presenta la máxima concentración, que es generada por la acumulación de dióxido de nitrógeno durante el día. El promedio de ocho horas de monitoreo es de 0.067 ppm, con lo cual no se excede al límite máximo permisible de la NTON 05-012-02 que es de 0.08 ppm en caso que se utilice instrumental automático en un período de cinco minutos durante ocho horas continuas.

En el quinto monitoreo, 13 diciembre de 2017, entre las 8:00 horas y 11:00 horas se presenta incremento constante en las concentraciones de ozono obteniéndose valores cercanos a 0.049 ppm, a continuación se presentan las dos mediciones máximas del día a las 13:00 horas (0.096 ppm) y las 16:31 horas (0.113 ppm), este incremento es influenciado por la presencia de la estación seca en donde la poca nubosidad, mayor radiación solar y fuertes vientos favorecen la formación, difusión y transporte de Ozono. El promedio de ocho horas de

monitoreo es de 0.069 ppm con lo cual no se excede al límite máximo permisible de la NTON 05-012-02 que es de 0.08 ppm en caso que se utilice instrumental automático en un período de cinco minutos durante ocho horas continuas.

En el sexto monitoreo, 18 enero 2018, desde la primera medición realizada a las 9:00 horas las concentraciones están por encima de la normativa registrándose 0.131 ppm, entre las 10:00 y las 13:00 horas las mediciones se mantienen en valores cercanos a 0.13 ppm, este comportamiento está influenciado por la estación seca en donde hay poca nubosidad, mayor radiación solar que incrementa la temperatura. Entre las 14:00 y 15:00 horas las concentraciones de ozono se mantienen cercanas al valor de 0.12 ppm. Este monitoreo se caracteriza en que todas las mediciones realizadas sobrepasan el límite máximo permisible de la normativa. El promedio de ocho horas de monitoreo es de 0.129 ppm, excediéndose al límite máximo permisible de la NTON 05-012-02 de 0.08 ppm.

En el séptimo monitoreo, realizado el 23 enero 2018, entre las 9:00 y 11:00 horas se presenta irregularidad en las mediciones, primeramente las concentraciones aumentan a las 10:00 horas (0.086 ppm) descendiendo a las 11:00 horas (0.069 ppm), seguidamente entre las 12:00 horas y las 16:00 horas las mediciones incrementan constantemente, obteniéndose el valor máximo del día a las 16:20 horas de 0.122 ppm. Este comportamiento en las concentraciones de ozono se debe a la presencia de la estación seca en la que existe poca nubosidad, la cual permite el incremento de la radiación solar (ver anexo 2, pág. 5) y temperatura (ver anexo 2, pág. 1). El promedio de ocho horas de monitoreo es de 0.092 ppm, excediéndose al límite máximo permisible de la NTON 05-012-02 de 0.08 ppm.

Estación de monitoreo 2: Laboratorios Bengoechea

Durante el primer monitoreo realizado, 16 octubre 2017 (ver gráfico 15) se presenta marcada irregularidad en las concentraciones, iniciando a las 9:44 horas con 0.108 ppm, seguido a las 11:23 horas de 0.115 ppm, en ambos momentos los valores se acercan al límite máximo permisible de la normativa para una hora de 0.12 ppm, este comportamiento es debido a que en este día de monitoreo no se registraron precipitaciones (ver anexo 2, pág. 4) junto con poca nubosidad, la cual permite mayor radiación solar (ver anexo 2, pág. 5) lo que favorece la reacción fotoquímica que da origen a la formación de ozono a partir del dióxido de nitrógeno. A partir de las 13:37 horas las mediciones descienden a 0.012 ppm siendo esta la mínima

determinación del día. El promedio de ocho horas de monitoreo es de 0.079 ppm, con lo cual no se excede el límite máximo permisible de la NTON 05-012-02 de 0.08 ppm.

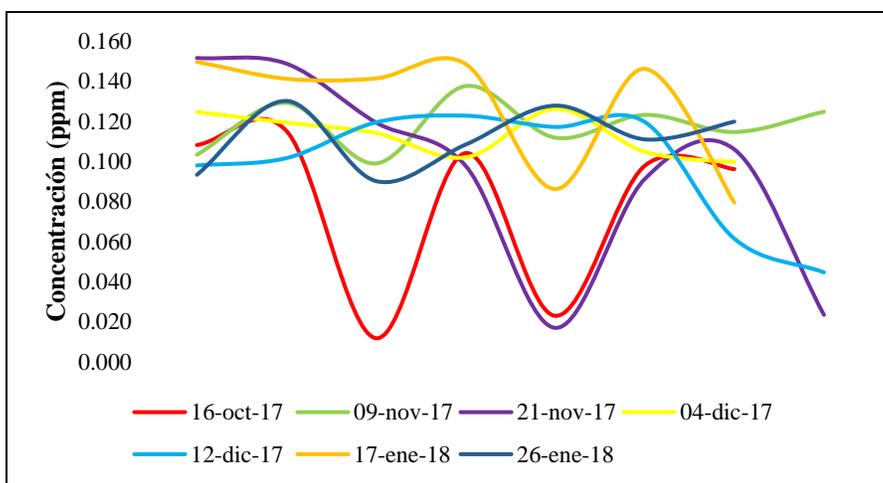


Gráfico 15 Concentración horario de ozono Laboratorios Bengoechea

Fuente: Elaboración propia, 2020

En el segundo monitoreo, 9 noviembre 2017, a las 6:54 horas la concentración de ozono es de 0.103 ppm, seguidamente las mediciones continúan aumentando determinándose a las 7:47 horas 0.129 ppm de concentración, en este momento se excede el límite máximo permisible de la normativa nacional de calidad del aire de 0.12 ppm para una hora de medición. Seguidamente a las 10:00 horas se presenta la máxima medición del día de 0.137 ppm. Entre las 11:00 y 14:00 horas las concentraciones se mantienen estables entre valores de 0.11 a 0.12 ppm. Este comportamiento es debido a la poca nubosidad, que genera mayor radiación solar junto con fuertes vientos que favorecen la formación, difusión y transporte de ozono. El promedio de ocho horas de monitoreo es de 0.118 ppm, con lo cual no se excede el límite máximo permisible de la NTON 05-012-02.

El tercer monitoreo, 21 noviembre 2017, a partir de las 9:24 horas se presenta el primer pico de concentración de 0.151 ppm, seguidamente entre las 10:00 y 12:00 horas las mediciones disminuyen, en todo este período las concentraciones de ozono exceden el límite máximo permisible para una hora de 0.12 ppm, este comportamiento está influenciado por la disponibilidad del contaminante primario, dióxido de nitrógeno, que presenta valores cercanos a 0.1 ppm en este mismo período, junto con poca nubosidad y radiación solar, las que favorecen la reacción fotoquímica que da origen a la formación de ozono troposférico. A

las 14:43 horas se presenta decrecimiento en las concentraciones alcanzando 0.017 ppm, a continuación, las mediciones aumentan entre las 15:00 (0.091 ppm) y 16:00 horas (0.106 ppm). El promedio de ocho horas de monitoreo es de 0.094 ppm, lo cual se excede al límite máximo permisible de la NTON 05-012-02 de 0.08 ppm.

El cuarto monitoreo, realizado el 4 diciembre 2017, todas las mediciones son mayores a 0.1 ppm durante todo el período de monitoreo comprendido entre las 9:52 horas a 17:00 horas. El valor máximo determinado es de 0.126 ppm a las 15:50 horas. Este comportamiento del ozono está influenciado por las características de la estación seca, en la cual se presenta poca nubosidad y vientos de 4.3 m/s (ver anexo 2, pág. 2) que favorecen la formación, difusión y transporte de ozono. El promedio de ocho horas de monitoreo es 0.115 ppm, con lo que se excede al límite máximo permisible de la NTON 05-012-02 que es de 0.08 ppm para ocho horas continuas de medición.

En el quinto monitoreo, realizado el 12 diciembre 2017, al igual que en el monitoreo anterior las concentraciones de ozono son mayores a 0.1 ppm en el período comprendido entre las 11:34 horas a las 17:20 horas. La medición máxima del día se determinó a las 14:35 horas de 0.122 ppm. El comportamiento de ozono en este día de medición es influenciado por los cielos despejados, que generan mayor radiación solar (ver anexo 2, pág. 5), ambas condiciones favorecen el proceso fotoquímico que da origen a la formación del ozono troposférico. El promedio de ocho horas de medición es de 0.157 ppm, lo que excede al límite máximo permisible de la NTON 05-012-02 que es de 0.08 ppm para un período de ocho horas continuas.

En el sexto monitoreo, 17 enero 2018, al igual que en mediciones realizadas en diciembre 2017, las concentraciones superan el límite máximo permisible para ozono en una hora (0.12 ppm) desde el inicio del monitoreo a las 08:57 horas (0.149 ppm), entre las 09:55 y las 10:54 horas las mediciones se mantienen cercanas a valores de 0.14 ppm, alcanzando la máxima medición del día a las 11:38 horas (0.148 ppm), esta tendencia está influenciada por las condiciones de menor nubosidad, mayor radiación solar ultravioleta y el aumento de la velocidad del viento típico en este mes, favoreciendo la formación, difusión y transporte de Ozono. El promedio de ocho horas de monitoreo es de 0.127 ppm excediendo el límite máximo permisible de la NTON 05-012-02 de 0.08 ppm.

En el séptimo monitoreo, realizado el 26 enero 2018, desde el inicio de las mediciones a las 09:45 horas (0.093 ppm) se presenta tendencia al incremento constante en las mismas, determinándose a las 10:25 horas la concentración máxima del día de 0.13 ppm, estas concentraciones están influenciadas por la disponibilidad del contaminante primario dióxido de nitrógeno, precursor de la formación de ozono que presenta concentraciones cercanas a 0.08 ppm en este mismo día de monitoreo, el que junto con poca nubosidad y mayor radiación solar, favorecen la reacción fotoquímica que da origen a la formación de ozono troposférico. A las 11:19 horas las mediciones disminuyen para luego aumentar de manera constante en el período comprendido entre las 13:00 (0.108 ppm) y 14:00 horas (0.127 ppm). El promedio de ocho horas de monitoreo es 0.111 ppm excediendo al límite máximo permisible de la NTON 05-012-02 de 0.08 ppm.

Estación de monitoreo 3: CIGEO-UNAN

En el primer monitoreo, 16 octubre 2017 (ver gráfico 16) desde la primera medición a las 11:34 horas (0.124 ppm) que es la máxima concentración determinada en el día, se excede el límite máximo permisible de la normativa de 0.12 ppm para una hora, este comportamiento es similar en todo el día, este comportamiento es influenciado por la acumulación de dióxido de nitrógeno en el aire (la concentración promedio día es 0.069 ppm), de manera que debido a la poca nubosidad, que genera incremento en la radiación solar (ver anexo 2, pág. 5) e incremento de la temperatura, favorecen el proceso fotoquímico que da origen al ozono troposférico.

El promedio de ocho horas de monitoreo de 0.091 ppm, lo cual excede al límite máximo permisible de la NTON 05-012-02 de 0.08 ppm.

En el segundo muestreo, 10 noviembre 2017 todas las mediciones excedieron el límite máximo permisible en el período comprendido entre las 08:36 hasta las 18:00 horas. La máxima concentración se presentó a las 13:50 horas de 0.135 ppm. Este comportamiento es debido a la ausencia de precipitación (ver anexo 2, pág. 4) que permite la acumulación de dióxido de nitrógeno (la concentración promedio día es de 0.051 ppm) y junto con poca nubosidad, mayor radiación solar favorecen la formación, difusión y transporte de ozono. El promedio de ocho horas de medición es 0.110 ppm, lo que excede al límite máximo permisible de la NTON 05-012-02 de 0.08 ppm.

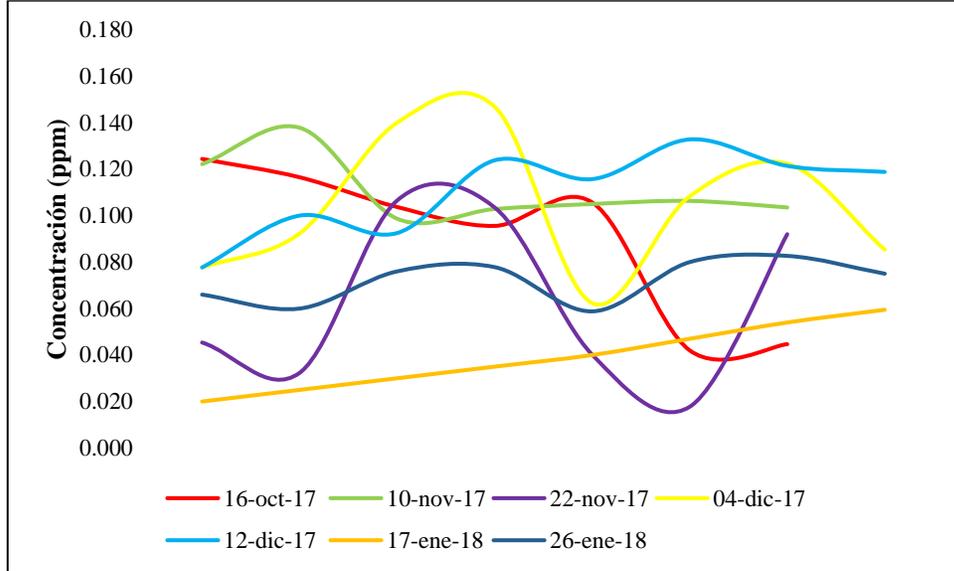


Gráfico 16 Concentración horario de Ozono CIGEO

Fuente: Elaboración propia, 2020

En el tercer monitoreo, 21 noviembre 2017, el comportamiento del ozono es irregular, ya que el período comprendido entre las 09:43 y 11:12 horas las concentraciones son menores a 0.04 ppm, seguidamente a medio día se presentan dos picos de 0.106 ppm a las 12:12 horas y 0.103 a las 12:51 horas, este incremento es generado por el tráfico vehicular, según aforos vehiculares (ver anexo 3, pág. 2) realizados por el departamento de vialidad de ALMA, en este período transitan 17,388 automotores, siendo estos el principal emisor de dióxido de nitrógeno, contaminante precursor de ozono. Seguidamente las mediciones descienden entre las 14:00 (0.04 ppm) y 16:00 horas (0.017 ppm). El promedio de ocho horas de monitoreo es 0.062 ppm, no excediendo al límite máximo permisible de la NTON 05-012-02 que es de 0.08 ppm.

El cuarto monitoreo, 4 diciembre 2017, a partir de la primera medición registrada a las 8:26 horas las concentraciones incrementan alcanzándose la máxima medición del día a las 10:55 horas de 0.135 ppm, todo este período se caracteriza por exceder el límite máximo permisible de la normativa, este comportamiento está influenciado por la estación seca, en la cual el dióxido de nitrógeno se acumula, siendo este el contaminante precursor de la formación de ozono, debido a que no se registran precipitaciones (ver anexo 2, pág. 4), no reacciona con el agua de lluvia. Seguidamente entre las 13:15 y 15:28 horas las concentraciones disminuyen

hasta 0.06 ppm. El promedio de ocho horas de monitoreo es 0.101 ppm, excediendo al límite máximo permisible de la NTON 05-012-02 de 0.08 ppm.

El quinto monitoreo, 12 diciembre del 2017, se caracteriza por tener un comportamiento irregular, a partir de las 09:05 horas las concentraciones incrementan alcanzando el primer pico de 0.10 ppm de ozono a las 11:00 horas. A continuación, a las 13:47 horas las concentraciones disminuyen hasta 0.092 ppm, para incrementar nuevamente a las 16:31 horas alcanzándose máxima concentración del día de 0.123 ppm, todo este día de monitoreo se caracteriza por presentar concentraciones mayores a 0.08 ppm. El promedio de ocho horas de monitoreo es 0.110 ppm, excediendo al límite máximo permisible de la NTON 05-012-02 que es de 0.08 ppm.

En el sexto monitoreo, 17 enero 2018, se presenta incremento lineal en las concentraciones a partir de la primera medición a las 8:20 horas de 0.02 ppm, la medición máxima del día se presenta a las 15:44 horas de 0.059 ppm, este incremento es influenciado por la acumulación de dióxido de nitrógeno en todo el día debido a las inmisiones generadas por tráfico vehicular, siendo este el contaminante precursor de la formación de ozono, junto con condiciones de poca nubosidad, incremento de la radiación solar y fuertes vientos que favorecen la formación, difusión y transporte de ozono. El promedio de ocho horas de monitoreo es 0.038 ppm, no excediendo al límite máximo permisible de la NTON 05-012-02 de 0.08 ppm.

En el séptimo monitoreo, 26 enero 2018, este día se caracteriza por tener un comportamiento irregular, entre las 9:00 y 10:00 las concentraciones presentan valores cercanos a 0.06 ppm, es en el período comprendido entre las 11:00 y 13:00 horas que se genera un incremento en las concentraciones alcanzando 0.07 ppm, este incremento es debido a las inmisiones generadas por el tráfico vehicular a medio día. Seguidamente a las 14:00 horas las mediciones desciende, incrementando en el período entre las 15:00 y 17:00 horas alcanzando la medición máxima del día de 0.08 ppm, este incremento por la tarde está influenciado por la acumulación de dióxido de nitrógeno en todo el día, siendo este el contaminante precursor para la formación de ozono, durante la época seca las condiciones de menor nubosidad, mayor radiación solar ultravioleta y fuertes vientos favorecen la formación, difusión y transporte de ozono.

El promedio de ocho horas de monitoreo es 0.072 ppm, no excediendo al límite máximo permisible de la NTON 05 012-02 de 0.08 ppm.

6.4 Comportamiento mensual de PM10

A continuación se describe el comportamiento de material particulado menor a 10 micras en las tres estaciones de monitoreo (UNI, Bengoechea y CIGEO) en el período de estudio, el cual se ilustra en el gráfico 17.

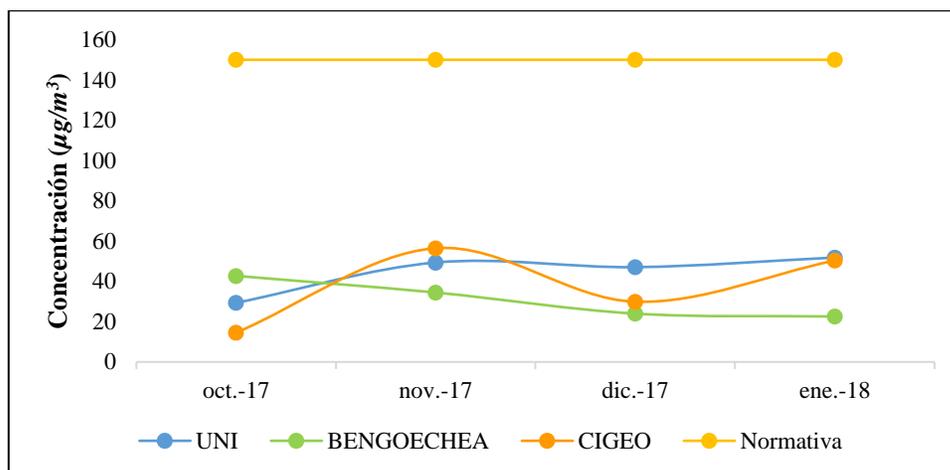


Gráfico 17 Comportamiento mensual de PM10

Fuente: Elaboración propia, 2020

En octubre 2017, la estación de CIGEO presenta la menor concentración del mes ($14.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguido por la estación UNI ($29.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que la estación Bengoechea, es la de mayor concentración ($42.73 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La variación en las concentraciones de PM10 en las tres estaciones durante este mes se debe principalmente a las lluvias típicas de octubre, según datos de precipitación acumulada por INETER en octubre 2017 se registraron 303.6 mm (ver anexo 2, pág. 4). Las precipitaciones generan el proceso más eficiente para la eliminación de material particulado a través del lavado atmosférico que produce la lluvia. Los episodios de lluvia dan lugar a bajos niveles de partículas, no solo durante la lluvia, sino también en un período tras ella, ya que se inhiben procesos como la re suspensión de las partículas. Ninguna de las concentraciones determinadas en las tres estaciones de monitoreo en octubre 2017, excede al límite máximo permisible de la NTON 05 012-02 de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un período de 24 horas.

A continuación en noviembre 2017, las concentraciones de PM10 aumentan en las estaciones de UNI y CIGEO, $49.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $56.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, mientras que en Bengoechea disminuyen con respecto al mes anterior a $34.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El aumento que se registra en las

estaciones UNI y CIGEO se debe principalmente a la disminución de la precipitación con respecto al mes de octubre 2017 y la velocidad y dirección del viento. Según datos de INETER, en noviembre 2017 se registró precipitación acumulada de 66 mm (ver anexo 2, pág. 4) y la velocidad y dirección del viento, 2.3 m/s con dirección predominante hacia el este, como se ilustra en la rosa de los vientos en el anexo 5, pág.1. Este comportamiento genera incremento en las concentraciones de material particulado debido a la re suspensión y transporte de partículas a causa de la erosión que genera el viento en el suelo cuando no hay humedad.

En el caso de la estación de *Bengoechea* en noviembre 2017, la disminución de la concentración de PM10 se debe principalmente a la infraestructura vial, ya que la combinación de paso a desnivel con rotonda permite el desplazamiento de los vehículos con mayor rapidez, disminuyendo el tiempo de permanencia en el sitio y facilitando la dispersión y transporte del contaminante.

En ninguna de las estaciones de monitoreo en noviembre 2017, se excede el límite máximo permisible de la NTON 05 012-02 de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un período de 24 horas.

En diciembre 2017, las concentraciones de PM10 ($47.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en la estación UNI son similares a las de noviembre ($49.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que las estaciones de Bengoechea y CIGEO son menores, $23.38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $29.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con respecto a noviembre.

El comportamiento del material particulado de la estación UNI es debido a la estructura cañón que se forma en la pista Juan Pablo II en el transepto de la rotonda Rubén Darío hacia la intersección de ENEL, debido a la presencia de árboles de gran tamaño a orillas de la pista al extremo sur de la UCA, los árboles son una barrera natural del aire, debido a esto producen turbulencia y la acumulación de partículas en este sitio.

En las estaciones de Bengoechea y CIGEO la disminución de las concentraciones de PM10 se debe al incremento de la velocidad del viento (ver anexo 2, pág. 2) con respecto a noviembre 2017, lo que genera la dispersión y transporte del contaminante, además incide la disminución del tráfico vehicular debido a los períodos de vacaciones de fin de año de estudiantes de colegios y universidades aledaños a estos dos sitios.

En ninguna de las estaciones de monitoreo durante diciembre 2017 se excede el límite máximo permisible de la NTON 05 012-02 de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un período de 24 horas en ninguna de las estaciones de monitoreo en diciembre 2017.

En *enero 2018*, las concentraciones de PM10 aumentan en las estaciones UNI y CIGEO, 51.82 y 50.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, mientras que en la estación de Bengoechea es similar a la de diciembre 2017.

El aumento de las concentraciones de material particulado en la estación UNI y CIGEO es debido a las características de la estación seca, en la cual no se presentan precipitaciones (ver anexo 1, pág. 4) y al aumentar la velocidad del viento (ver anexo 2, pág. 3), se genera re suspensión y transporte de partículas a causa de la erosión que genera el viento en el suelo aumentando las concentraciones de material particulado.

Se realizó correlación entre las concentraciones de PM10 promedio de los siete monitoreos ejecutados en cada estación, los que se observan en la tabla 5, el objetivo de aplicar esta correlación es para determinar cuáles variables meteorológicas tienen mayor incidencia en el comportamiento del material particulado.

Las variables meteorológicas contrastadas son: velocidad del viento, precipitación, humedad relativa y temperatura de los mismos días de monitoreo, generándose los siguientes resultados:

En la estación UNI, la relación que se observa entre la precipitación y humedad relativa con respecto a las concentraciones de PM10, es una correlación positiva media, determinada al utilizar el coeficiente de correlación de Spearman. Estas dos variables explican el 23% y 35% de veces el comportamiento del material particulado, lo que sugiere que prácticamente no existe relación entre estas dos variables y la concentración de PM10, a como se observa en la tabla 4.

Tabla 4
Correlación entre concentraciones de PM10 y variables meteorológicas

Variables Meteorológicas	Concentración PM10 UNI	Concentración PM10 Bengoechea	Concentración PM10 CIGEO
Velocidad del viento	-0.02	-0.52	-0.34
Precipitación	0.23	0.06	0.19
Humedad relativa	0.35	-0.84	0.21
Temperatura	-0.53	0.52	-0.26

Fuente: *Elaboración propia, 2020*

En la estación Bengoechea, la relación que se observa con la velocidad del viento es una correlación negativa considerable y con la humedad relativa es una correlación negativa muy fuerte, por lo tanto a un aumento de la velocidad del viento y humedad relativa, se observa una tendencia a disminuir las concentraciones de PM10.

En la estación CIGEO, la relación que se observa entre la velocidad del viento, temperatura y las concentraciones de PM10 es una correlación negativa media, mientras que con la precipitación y temperatura es una correlación positiva media, lo que sugiere que prácticamente no existe relación entre las cuatro variables y el comportamiento de PM10 en esta estación.

6.5 Comportamiento mensual de Dióxido de Nitrógeno

A continuación se describe el comportamiento de dióxido de nitrógeno en las tres estaciones de monitoreo (UNI, Bengoechea y CIGEO) en el período de estudio, el cual se ilustra en el gráfico 18.

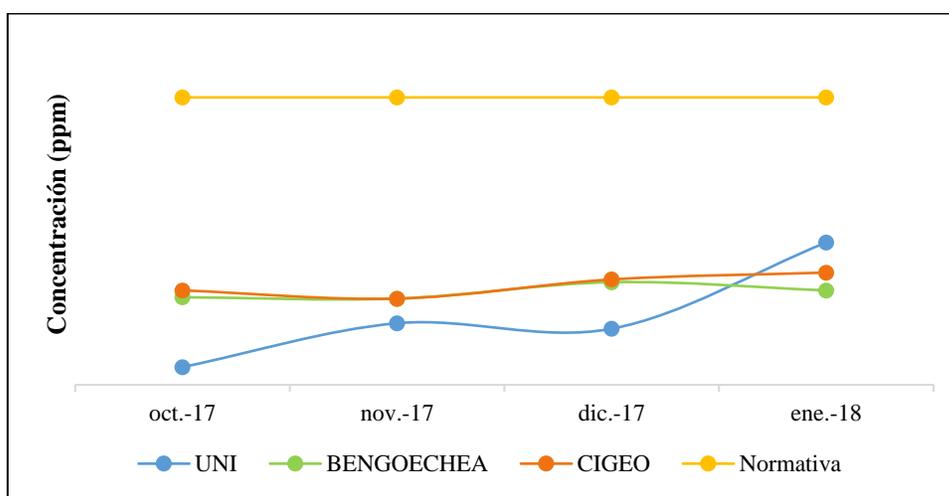


Gráfico 18 Comportamiento mensual de dióxido de nitrógeno

Fuente: Elaboración propia, 2020

En octubre 2017, la estación UNI presenta la menor concentración del mes, 0.013 ppm, mientras que las estaciones de Bengoechea y CIGEO tienen concentraciones similares (0.064 y 0.069 ppm respectivamente). Este comportamiento es debido a las precipitaciones típicas del mes de octubre en el país, según datos de precipitación acumulada por INETER en octubre 2017 se registraron 303.6 mm (ver anexo 2, pág. 4), el dióxido de nitrógeno reacciona con la humedad del aire formando ácido nítrico, uno de los principales contribuyentes de la

formación de lluvia ácida, por lo tanto la concentración en la estación lluviosa generalmente es menor que en verano.

En este mes de mediciones ninguna de las estaciones de monitoreo supera el límite máximo permisible de la NTON 05 012-02 de 0.21 ppm para una hora de medición.

A partir de noviembre 2017 hasta enero 2018 se observa incremento en las concentraciones de dióxido de nitrógeno en las tres estaciones de monitoreo, obteniéndose las concentraciones más altas en enero 2018, este comportamiento se debe principalmente a la disminución de las precipitaciones, característico de la estación seca en Managua, lo que permite que el contaminante generado por las fuentes móviles en horas de alto tráfico vehicular, incremente su concentración, además debido a la velocidad y dirección del viento el contaminante es transportado y dispersado en el aire.

Durante el período comprendido entre noviembre 2017 y enero 2018, no se excede en ninguna de las estaciones de monitoreo el límite máximo permisible de la NTON 05 012-02 de 0.21 ppm para una hora de medición.

Se realizó correlación entre las concentraciones de dióxido de nitrógeno promedio de los siete monitoreos ejecutados en cada estación, los que se observan en la tabla 5. La finalidad de aplicar esta correlación, es de determinar cuáles variables meteorológicas tienen mayor incidencia en el comportamiento de este contaminante.

Las variables meteorológicas contrastadas fueron: temperatura, radiación solar, velocidad del viento, humedad relativa y precipitación, de los mismos días de monitoreo, generándose los siguientes resultados:

En la estación UNI, la relación que se observa para la temperatura y precipitación es una correlación negativa media, por lo tanto al aumentar la intensidad de estas dos variables disminuye la concentración de dióxido de nitrógeno. Con respecto a la radiación solar existe una correlación positiva considerable, a causa de esto, se determina, que la radiación solar incide en las reacciones químicas que forman al dióxido de nitrógeno y su contaminante secundario el ozono. Con respecto a la velocidad del viento y humedad relativa la correlación es positiva media, lo que significa que existe alguna relación, pero otras variables ambientales como la temperatura, precipitación y radiación solar tienen mayor influencia en el comportamiento del contaminante en estudio.

Tabla 5
Correlación entre concentraciones de NO₂ y variables meteorológicas

Variabes	Concentración NO₂	Concentración NO₂	Concentración
Meteorológicas	UNI	Bengoechea	NO₂ CIGEO
Temperatura	-0.50	-0.53	-0.22
Radiación solar	0.65	-0.02	-0.18
Velocidad del viento	0.42	0.67	0.64
Humedad relativa	0.39	0.28	0.04
Precipitación	-0.50	0.64	0.74

Fuente: Elaboración propia, 2020

En la estación Bengoechea, la relación que se observa con la velocidad del viento y precipitación es una correlación positiva considerable, ambas variables influyen en la difusión y transporte del contaminante.

Con respecto a la temperatura se observa una correlación negativa considerable, por lo tanto a un aumento de la temperatura disminuyen las concentraciones de dióxido de nitrógeno.

En la estación CIGEO, se presenta una correlación positiva considerable con la velocidad del viento y la precipitación, lo que indica que ambas variables inciden en el comportamiento del dióxido de nitrógeno. Con respecto a la temperatura y radiación solar la correlación es negativa media, con la humedad relativa presenta una correlación positiva débil, lo cual sugiere que, prácticamente no existe relación entre ellas.

6.6 Comportamiento mensual de Ozono

A continuación, se describe el comportamiento de ozono en las tres estaciones de monitoreo (UNI, Bengoechea y CIGEO) en el período de estudio, que se ilustra en el gráfico 19.

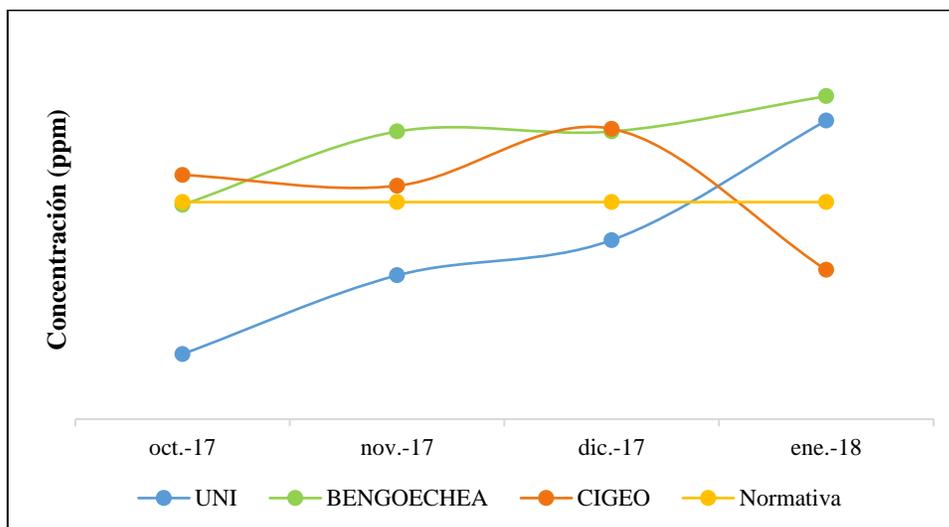


Gráfico 19 Comportamiento mensual de Ozono

Fuente: Elaboración propia, 2020

En octubre 2017, la estación UNI, presenta la menor concentración del mes (0.024 ppm), seguido de Bengoechea con (0.079 ppm), mientras que la estación CIGEO es la de mayor concentración (0.090 ppm). En octubre, se determinaron las menores concentraciones del período de estudio, este comportamiento es debido a las precipitaciones características de la estación lluviosa, datos de precipitación acumulada en octubre 2017 se registraron 303.6 mm (ver anexo 2, pág. 4). Debido a esto, el dióxido de nitrógeno, que es el contaminante precursor de la formación de ozono, reacciona con la humedad del aire, disminuyendo el pH de las precipitaciones al formar ácido nítrico, disminuyendo finalmente las concentraciones de ozono. En octubre 2017, solamente la estación de CIGEO excede el límite máximo permisible de 0.08 ppm de la NTON 05 012-02 para un período de 8 horas continuas de medición.

Durante noviembre 2017, las concentraciones de ozono aumentaron en las estaciones UNI y Bengoechea con respecto al mes anterior mientras que en CIGEO son similares a las de octubre 2017. El aumento en las concentraciones es debido a la disminución de las precipitaciones con respecto al mes de octubre 2017. Según datos de INETER, en noviembre 2017 se registró precipitación acumulada de 66 mm, lo que junto con menor nubosidad,

mayor radiación solar e incremento de la temperatura favorece la formación de ozono troposférico. En noviembre 2017, las estaciones de Bengoechea y CIGEO exceden el límite máximo permisible 0.08 ppm de la NTON 05 012-02 para un período de 8 horas continuas de medición.

Las mediciones realizadas en diciembre 2017 reflejan que las concentraciones de ozono aumentan en las tres estaciones de monitoreo con respecto al mes anterior, siendo la estación de CIGEO la que reporta la mayor concentración (0.107 ppm). El incremento en las concentraciones es debido a la ausencia de precipitaciones y el aumento de la velocidad del viento que favorecen la formación, difusión y transporte de Ozono. En diciembre 2017, las estaciones de Bengoechea y CIGEO exceden el límite máximo permisible 0.08 ppm de la NTON 05 012-02 para un período de 8 horas continuas de medición.

En enero 2018, las concentraciones de ozono aumentan en las estaciones UNI y Bengoechea, determinándose las mayores concentraciones del período de estudio en ambas estaciones, mientras que la estación de CIGEO disminuyó con respecto a diciembre 2017. El incremento de las concentraciones de ozono en las estaciones UNI y Bengoechea, es debido a la predominancia de cielos despejados típicos de la estación seca, que genera el incremento de la radiación solar (ver anexo 2, pág. 5) y temperatura, las que son determinantes en la formación de ozono troposférico.

De igual manera, se realizó correlación entre las concentraciones de ozono promedio de los siete monitoreos ejecutados en cada estación, éstas fueron contrastadas contra las variables meteorológicas (velocidad del viento, precipitación, radiación solar y temperatura) de los mismos días de monitoreo, generándose los siguientes resultados:

En la estación UNI, la relación que se observa entre la radiación solar con respecto a las concentraciones de ozono, es una correlación positiva media, determinada al utilizar el coeficiente de correlación de Spearman.

Mientras que la velocidad del viento, tiene una correlación positiva considerable, que incide en el transporte y dispersión del contaminante.

Respecto a la precipitación es una correlación negativa débil y la temperatura es una correlación negativa considerable, lo que sugiere que prácticamente no existe relación entre estas dos variables y la concentración de ozono, a como se observa en la tabla 6.

Tabla 6
Correlación entre concentraciones de O₃ y variables meteorológicas

Variables Meteorológicas	Concentración O₃ UNI	Concentración O₃ Bengoechea	Concentración O₃ CIGEO
Temperatura	-0.66	-0.18	-0.12
Radiación solar	0.23	-0.05	0.64
Velocidad del viento	0.53	0.23	-0.08
Precipitación	-0.04	-0.31	-0.34

Fuente: Elaboración propia, 2020

En la estación Bengoechea la temperatura y la precipitación tienen una correlación negativa media respecto al contaminante de ozono, lo cual sugiere que no existe relación entre ellas.

La radiación solar tiene una correlación negativa débil con respecto al contaminante, mientras la velocidad del viento presenta una correlación positiva media, por lo que no existe relación entre estas variables y las concentraciones de ozono en esta estación de monitoreo.

En la estación de monitoreo CIGEO, la radiación solar tiene una correlación positiva considerable, respecto a las concentraciones de ozono, debido a que la radiación solar incide directamente en las reacciones químicas que forman el ozono.

La temperatura, velocidad del viento y precipitación no tienen correlación con las concentraciones de ozono.

6.7 Discusión de resultados

Relacionado a la influencia de las características meteorológicas de la estación seca (noviembre a abril) y lluviosa (mayo a octubre) en Managua, en la presente investigación, se observa el siguiente comportamiento en las concentraciones de:

Material Particulado menos a 10 micras (PM10)

Los registros diarios de PM10 presentaron un comportamiento relativamente uniforme, con dos picos máximos entre 8:00 horas - 10:00 horas y 17:00 horas - 19:00 horas y un mínimo intermedio aproximadamente a las 14:00 horas. A partir de las 21:00 horas los valores comienzan a descender, hasta alcanzar los mínimos del día entre las 02:00 horas y 04:00 horas de la madrugada.

Las concentraciones de PM10 promedio mes, en la época lluviosa (octubre 2017), en las estaciones UNI y CIGEO, $29.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $14.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, son las de menor concentración del período de estudio, esto se debe a que en la presencia de precipitaciones el material particulado presenta una deposición húmeda hacia el suelo. Similarmente, Dávila, reportó disminución de las concentraciones de PM10 en octubre 1997 en las estaciones UNI y Bengoechea, $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, debido a la influencia de las precipitaciones, velocidad y dirección del viento.

Las mayores concentraciones de PM10 se determinaron en el período seco, enero 2018, en las estaciones UNI y CIGEO, $51.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $50.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, mientras que la estación Bengoechea, reportó una concentración de $22.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$, no mostrando el mismo comportamiento que las otras dos estaciones. En la investigación realizada por Dávila (2000), se reporta el aumento de las concentraciones de PM10, a $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en diciembre 1997, durante el período seco, en las estaciones de monitoreo UNI y Bengoechea.

En ninguno de los monitoreos realizados, la concentración promedio para un período de veinticuatro horas del contaminante PM10, se excede el límite máximo permisible de la normativa de calidad del aire (NTON 05-012-02) de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Con respecto a los valores guías de OMS (2005) y la Unión Europea (2008) para el contaminante PM10, es de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para un período de 24 horas. Al comparar los resultados obtenidos en la presente investigación con las dos guías mencionadas anteriormente, se

determina que: la estación CIGEO excede los valores guía en noviembre 2017 ($56.47 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y enero 2018 ($50.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$), la estación UNI, en enero 2018 ($51.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que la estación Bengoechea no los excede en ningún mes de monitoreo.

Con respecto a la correlación entre las concentraciones de PM10 de cada estación de muestreo y las variables meteorológicas (velocidad del viento, precipitación, humedad relativa y temperatura) se determinó que:

En la estación UNI no existe correlación entre la velocidad del viento, precipitación y humedad relativa, mientras que con la temperatura existe una correlación negativa considerable.

En la estación Bengoechea la relación que se observa con la velocidad del viento es una correlación negativa considerable y con la humedad relativa es una correlación negativa muy fuerte, por lo tanto a un aumento de la velocidad del viento y humedad relativa, se observa una tendencia a disminuir las concentraciones de PM10.

En la estación CIGEO no existe correlación entre las cuatro variables ambientales en estudio y la concentración de PM10.

Dióxido de nitrógeno

En la estación UNI se presenta incremento en las concentraciones de dióxido de nitrógeno desde octubre 2017 ($15.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a enero 2018 ($127.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Este incremento, es debido a la influencia que tiene la precipitación sobre la dispersión del contaminante, que genera que las gotas de lluvia reaccionen con este y formen ácido nítrico, uno de los principales compuestos que acidifican el pH de la lluvia. Al disminuir las precipitaciones a partir de noviembre 2017, las concentraciones de NO_2 aumentan hasta la finalización de las mediciones en enero 2018.

Dávila, en el informe anual de la calidad del aire de la ciudad de Managua, en el año 1997 y 1998, reportó comportamiento similar al obtenido en esta investigación en la estación UNI, en la que las concentraciones de NO_2 aumentan a partir de noviembre 1997 ($33 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a enero 1998 ($39 \mu\text{g}/\text{m}^3$), debido a la disminución de las precipitaciones.

En las estaciones de Bengoechea y CIGEO, en el período de octubre 2017 a enero 2018, se presenta un comportamiento similar entre sí, en el que las concentraciones tienen valores cercanos, en un rango entre $76.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $99.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de dióxido de nitrógeno.

Las concentraciones de NO₂ registradas en las estaciones Bengoechea y CIGEO, son mayores en los meses de octubre, noviembre y diciembre 2017, que las determinadas en la estación UNI, en los mismos meses de medición.

En ninguno de los monitoreos realizados, la concentración horaria del contaminante NO₂, excede el límite máximo permisible de la normativa de calidad del aire (NTON 05-012-02) de 0.12 ppm.

Con respecto a los valores guías de OMS (2005) y la Unión Europea (2008), para el contaminante NO₂ es 200 µg/m³, valor medio para una hora de medición. Al comparar los resultados obtenidos en la presente investigación con las dos guías mencionadas anteriormente, se determina que en ninguna de las estaciones de monitoreo (UNI, Bengoechea y CIGEO) durante todo el período de estudio (octubre 2017 a enero 2018), se excede el valor de 200 µg/m³.

Con respecto a la correlación entre las concentraciones de NO₂ de cada estación de muestreo y las variables meteorológicas (temperatura, radiación solar, velocidad del viento, humedad relativa y precipitación) se determinó que:

En la estación UNI se determinó que existe una correlación positiva considerable con la radiación solar, a causa de esto, se comprueba que la radiación solar incide en las reacciones químicas que forman al dióxido de nitrógeno y su contaminante secundario el ozono. Mientras que, no existe relación con las variables temperatura, velocidad del viento, humedad relativa y precipitación.

En la estación Bengoechea la relación que se observa con la velocidad del viento y precipitación es una correlación positiva considerable, debido a esto se comprueba que ambas variables influyen en la difusión y transporte del contaminante. Con las variables temperatura, humedad relativa y radiación solar no se determinó correlación.

En la estación CIGEO, se presenta una correlación positiva considerable con la velocidad del viento y la precipitación, lo que indica que ambas variables inciden en el comportamiento del dióxido de nitrógeno.

Ozono

En las estaciones de monitoreo UNI y Bengoechea las concentraciones de ozono aumentan desde 46.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en octubre 2017 hasta 216.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en enero 2018, en el caso de la estación UNI. Mientras que en la estación Bengoechea el aumento va desde 154.68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en octubre 2017 hasta 233.98 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en enero 2018. El incremento de las concentraciones de ozono desde octubre 2017 a enero 2018, es debido a la transición entre el período lluvioso a seco, en el que se disminuyen la precipitación y se genera el aumento de la radiación solar, temperatura, menor nubosidad, que facilitan las reacciones químicas que generan al ozono troposférico.

Dávila (2000), reportó comportamiento similar en los meses de diciembre y enero, en los informes anuales de la calidad del aire de la ciudad de Managua de los años 1997 y 1998. En la estación UNI, las concentraciones de ozono aumentaron a partir del mes de noviembre 1997 (86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) alcanzando en diciembre 1997 (130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), y en enero 1998 (105 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Mientras que en la estación Bengoechea determinó incremento gradual en las concentraciones de ozono desde 56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en octubre 1997 hasta 103 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en enero 1998. Este comportamiento del contaminante, lo relacionó con la disminución de las precipitaciones y cielos despejados, y con el aumento de la radiación solar.

Con respecto a la normativa nacional de calidad del aire NTON 05 012-012, la estación UNI no excede el límite máximo permisible para ocho horas de medición de 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en octubre, noviembre y diciembre del año 2017, excediéndolo únicamente en el mes de enero 2018. Las estaciones Bengoechea y CIGEO, no exceden la normativa en el mes de octubre 2017, mientras que en noviembre y diciembre del año 2017, así como en enero 2018, exceden el límite máximo permisible de 160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para ocho horas de medición.

Con respecto a los valores guías de OMS (2005) y la Unión Europea (2008), para el contaminante ozono, es 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, para ocho horas de medición. Al comparar los resultados obtenidos en la presente investigación con las dos guías mencionadas anteriormente, se determinó que la estación UNI no excede estos guías, en el mes de octubre 2017 (46.99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), pero si los excede en los meses de noviembre 2017, diciembre 2017 y enero 2018. En el caso de las estaciones Bengoechea y CIGEO exceden estos valores guías, en todo el período comprendido entre octubre 2017 a enero 2018.

Legislación Ambiental

En estudios anteriormente realizados, se ha demostrado el impacto positivo de la implementación de regulaciones referente al tipo de combustible y normativas de calidad del aire. (Zalakeviciute et al., 2017).

Lo antes mencionado, es aplicable a la ciudad de Managua. Desde finales de la década de 1990, el estado de Nicaragua a través de MARENA, MTI, INETER y otras instituciones, han creado y publicado decretos, leyes y normativas con la finalidad de disminuir las emisiones vehiculares.

Implementando el reglamento general para el control de emisiones de los vehículos automotores a través de los centros de certificación de emisiones, estableciendo los límites máximos permisibles de la inmisión de los principales contaminantes atmosféricos en el aire (NTON 05-012-02), restringiendo la importación de automóviles usados no mayores a diez años de fabricación, renovando de la flota de buses urbanos en la ciudad de Managua, modernizando la infraestructura vial de la ciudad con rotondas y pasos a desnivel, con la finalidad de disminuir los tiempos de desplazamiento de los automotores en la ciudad.

Todas estas acciones implementadas han logrado la disminución de las concentraciones promedio mes de material particulado, en dos sitios de monitoreo de la presente investigación, UNI y Bengoechea, en el año 2017, con respecto a las reportadas por Dávila, en el año 1997.

En noviembre y diciembre 1997, Dávila reportó en la estación UNI, $102 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y en la estación Bengoechea $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en esta investigación se determinó en noviembre y diciembre 2017, $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la estación UNI, y $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la estación Bengoechea.

Metodología de medición empleada

La metodología utilizada para la medición de los contaminantes atmosféricos en la investigación es automática, ya que se utilizaron equipos que permiten realizar las mediciones en tiempo real y con esto determinar el comportamiento horario de los contaminantes y sus variaciones durante el tiempo de monitoreo, además los datos se descargaron de la memoria interna de los equipos hacia una computadora y se exportaron en formato Microsoft Excel lo

que permitió fácil gestión e interpretación de los datos, por lo tanto los autores consideran idónea la aplicación de esta metodología para futuras investigaciones en monitoreo de contaminantes atmosféricos.

Prueba de hipótesis

Se realizó prueba de hipótesis para determinar si las concentraciones de los contaminantes atmosféricos en estudio exceden o no los límites máximos permisibles de la NTON 05 012-02.

En el caso de las concentraciones promedio día de PM₁₀, para siete monitoreos realizados, la hipótesis nula es ($H_0: = 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y la hipótesis alternativa ($H_1: \neq 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$), utilizando un nivel de significancia del 5% y la región de rechazo es entre +1.96 y -1.96, se realizó prueba de hipótesis Z obteniendo el valor de -35.33, siendo este <que -1.96, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las concentraciones promedio diario de PM₁₀ no exceden el límite máximo permisible de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para 24 horas de medición.

Para dióxido de nitrógeno, se utiliza el promedio horario de cada día de medición, siendo la hipótesis nula ($H_0: = 0.21 \text{ ppm}$) y la hipótesis alternativa ($H_1: \neq 0.21 \text{ ppm}$), utilizando un nivel de significancia del 5% y la región de rechazo es entre +1.96 y -1.96, se realizó prueba de hipótesis Z obteniendo el valor de -56.37, siendo este <que -1.96, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las concentraciones promedio horario de NO₂ no exceden el límite máximo permisible de 0.21 ppm para una hora de medición.

Finalmente, en el caso de ozono, se utiliza el promedio de ocho horas de medición, siendo la hipótesis nula ($H_0: = 0.08 \text{ ppm}$) y la hipótesis alternativa ($H_1: \neq 0.08 \text{ ppm}$), utilizando un nivel de significancia del 5% y la región de rechazo es entre +1.96 y -1.96, se realizó prueba de hipótesis Z obteniendo el valor de 0.23, $-1.96 < 0.23 > +1.96$, por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las concentraciones promedio horario de O₃ exceden el límite máximo permisible de 0.08 ppm para una ocho horas de medición.

Capítulo VII

Conclusiones

VII. CONCLUSIONES

1. Se identificó el comportamiento de los contaminantes atmosféricos, PM10, dióxido de nitrógeno y ozono, horario y mensual en las tres estaciones de monitoreo. El comportamiento horario de PM10 se caracteriza por bajas concentraciones en las primeras horas de la madrugada, seguido por dos picos máximos al final de la mañana y la tarde respectivamente, para dióxido de nitrógeno y ozono se presentan bajas concentraciones por la mañana, las que aumentan por la tarde. Con respecto al comportamiento mensual de los tres contaminantes, las concentraciones aumentan desde el período lluvioso (octubre a noviembre) hacia el período seco (diciembre y enero).
2. A través del cálculo de las correlaciones entre las concentraciones promedio día de los contaminantes y las variables meteorológicas es estudio se concluye que para PM10 existe una mejor relación con la velocidad del viento, mientras que para NO₂ y O₃ se presenta mejor correlación con la temperatura, radiación solar y velocidad del viento.
3. Al contrastar las concentraciones de PM10, NO₂ y O₃ con la NTON de Calidad del Aire de Nicaragua NTON 05 012-02, se concluye que las concentraciones de PM10 y Dióxido de nitrógeno no exceden el límite máximo permisible de esta normativa entre octubre 2017 a enero 2018, mientras que las concentraciones de ozono exceden el límite máximo permisible de la normativa en los meses de noviembre y diciembre del año 2017, así como en enero 2018.

Capítulo VIII

Recomendaciones

VIII. RECOMENDACIONES

El Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente (PIENSA-UNI) en coordinación con el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), la Alcaldía de Managua (ALMA) y el Instituto de Estudios Territoriales (INETER) y otras instituciones del estado de Nicaragua, deberían de unir esfuerzos para instalar la red de monitoreo de calidad del aire para la ciudad de Managua, la cual constaría de diez sitios de monitoreo, logrando así extender el alcance de futuras investigaciones, lo cual generará información actualizada sobre cómo se comportan los contaminantes en períodos estacionales y anuales.

Para futuras investigaciones, es importante contar con una estación meteorológica más cercana a los sitios de monitoreo de calidad del aire, para así correlacionar el comportamiento horario de los contaminantes con la variación horaria de las condiciones ambientales.

MARENA, debería de incluir los índices de calidad del aire y el límite máximo permisible para el contaminantes PM2.5 en futuras actualizaciones de la normativa nacional, tomando como referencia las guías de calidad del aire de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) o Unión Europea.

Capítulo IX

Bibliografía

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Española de Normalización y Certificación (2013). Método normalizado de medida de la concentración de dióxido de nitrógeno y monóxido de nitrógeno por quimioluminiscencia. Recuperado de: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0035271>
- Asociación Española de Normalización y Certificación (2013). Método normalizado de medida de la concentración de ozono por fotometría ultravioleta. Recuperado de: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0051313>
- Asociación Española de Normalización y Certificación (2015). Método de medición gravimétrico normalizado para la determinación másica PM10 o PM2.5 de la materia particulada en suspensión. Recuperado de: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0054246>
- Baird, C. & Cann, M. (2014). Química Ambiental. Barcelona, España: Editorial Reverté.
- Balladares, M. (2017). Proyecto Intersectorial Salud y Desarrollo Municipal MINSA/OPS/UNI-PIENSA: Propuesta de monitoreo de aire en exteriores para la ciudad de Managua.
- Dávila, R. (1997). Proyecto Aire Puro: Monitoreo de la calidad del aire de la ciudad de Managua (Informe Anual 1996).
- Dávila, R. (1998). Proyecto Aire Puro: Monitoreo de la calidad del aire de la ciudad de Managua (Informe Anual 1997).
- Dávila, R. & Jaen, R. (1999). Proyecto Aire Puro: Monitoreo de la calidad del aire de la ciudad de Managua (Informe Anual 1998).
- Dávila, R. & Jaen, R. (2000). Proyecto Aire Puro: Monitoreo de la calidad del aire de la ciudad de Managua (Informe Anual 1999).
- Dávila, R. & Jaen, R. (2001). Proyecto Aire Puro: Monitoreo de la contaminación del aire en la ciudad de Managua (Informe Anual 2000).

- Dávila, R. (2001). *Estudio Comparativo de contaminantes: PM10, NO2 y O3 durante 1997 y 1998 en tres puntos de alto tráfico vehicular en la ciudad de Managua* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Managua.
- Dávila, R. & Jaen, R. (2002). Proyecto Aire Puro: Monitoreo de la contaminación del aire en la ciudad de Managua (Informe Anual 2001).
- Decreto del Reglamento General para el control de emisiones de los vehículos automotores de Nicaragua (No. 32-97), La Gaceta Diario Oficial No. 114 (1997).
- European Environmental Agency. Air quality in Europe – 2019 report. Recuperado de: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019>
- Gallego, A., González, I., Sánchez, B., Fernández, P., Garcinuño, R., Bravo, J., ...Durand, J (2012) Contaminación Atmosférica. Madrid, España. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Lacasaña-Navarro, M., Aguilar-Garduño, C., & Romieu, I. (1999). Evolución de la contaminación del aire e impacto de los programas de control en tres megaciudades de América Latina. *Salud Pública de México*, 41, (3) 203-215. Recuperado de: <http://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/6150/7257>
- Martín, A., Santamaría, J.M. (2000). Diccionario terminológico de contaminación ambiental. Pamplona. Eunsa.
- Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. (2009a). Elementos de Diagnóstico de la Calidad del Aire y de su marco legal y gestión. Recuperado de: http://www.sica.int/busqueda/busqueda_archivo.aspx?Archivo=odoc_71000_1_20072012.pdf
- Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense de Calidad del Aire (NTON 05 012-02), La Gaceta Diario Oficial No. 211 (2002).
- Organización Mundial de la Salud (2018). Calidad del aire y salud. Recuperado de: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Organización Mundial de la Salud (2006). Guías de Calidad del Aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Recuperado de: https://www.who.int/publications/list/who_sde_phe_oe_h_06_02/es/

PICCA (1996). Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Rodríguez, A. (2018). *Evaluación cronológica del impacto en la calidad del aire por partículas suspendidas en la zona metropolitana de la ciudad de México y propuesta de medidas de prevención* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

Royal Society. (2008). Ground level ozone in the 21st century: future trends, impacts and policy implications. Science Policy Report 15/08. Londres, Reino Unido. The Royal Society.

Swisscontact. (2001). Documentación de los sitios de muestreo; Monitoreo del Aire en Centro América. Recuperado de:
https://www.sica.int/busqueda/busqueda_basica.aspx?idCat=&idMod=3&IdEnt=2%20&Pag=99

Tzintzun, M.G., Rojas, L. & Fernández, A. (2005). Las partículas suspendidas en tres grandes ciudades mexicanas, Gaceta ecológica: 74, 15-28.

United States Environmental Protection Agency (2010). Primary National Ambient Air Quality Standards for Nitrogen Dioxide. Recuperado de:
<https://www.federalregister.gov/documents/2010/02/09/2010-1990/primary-national-ambient-air-quality-standards-for-nitrogen-dioxide>

United States Environmental Protection Agency (2012). Part 50 - NATIONAL PRIMARY AND SECONDARY AMBIENT AIR QUALITY STANDARDS Appendix J to Part 50 - Reference Method for the Determination of Particulate Matter as PM10 in the Atmosphere. Recuperado de: <https://www.govinfo.gov/app/details/CFR-2012-title40-vol2/CFR-2012-title40-vol2-part50-appj>

United States Environmental Protection Agency (2016). Part 50 - NATIONAL PRIMARY AND SECONDARY AMBIENT AIR QUALITY STANDARDS Appendix D to Part 50 - Reference Measurement Principle and Calibration Procedure for the Measurement of Ozone in the Atmosphere (Chemiluminescence Method). Recuperado de: <https://www.govinfo.gov/app/details/CFR-2016-title40-vol2/CFR-2016-title40-vol2-part50-appD>

Viana, M.M. (2003). Niveles, composición, y origen del material particulado atmosférico en los sectores norte y este de la península Ibérica y Canarias, Tesis de Doctorado, Departamento de Geoquímica y Petrología, Universidad de Barcelona, España.

Anexos

X. ANEXOS

Anexo 1. Entrevista a MSc. Lic. Roberto Dávila

Fecha: 8 Febrero 2020

Hora: 10:30 a.m.

Sitio: Colonia Don Bosco, Managua

1. Buenos Días Don Roberto, nos gustaría que nos hablara acerca de los primeras mediciones realizadas en Nicaragua sobre calidad del aire.

Buenas tardes, las primeras mediciones de contaminantes atmosféricos en Nicaragua se realizaron entre 1989 y 1994, fueron ejecutadas por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER) con el objetivo de dar seguimiento a las emisiones de las principales industrias de Managua, tales como Café Soluble, ELPELSA, Tabacalera Nicaragüense S.A. (TANIC), PENWALT y NICALIT. Las mediciones se realizaron con la finalidad de conocer el impacto de las industrias (como fuente fija de emisiones), a las poblaciones ubicadas en el área de influencia y dispersión de los contaminantes atmosféricos, siendo la principal problemática el impacto negativo a la salud de los ciudadanos que se encontraban en barrios aledaños a estas empresas.

En el Barrio San Luis, Batahola y Santo Domingo se realizaban mediciones de SO₂ procedentes de las empresas Café Soluble, ELPELSA, TANIC y NICALIT; mientras que en la Empresa PENWALT y Ciudad Sandino se realizaron mediciones de Cloro en estado gaseoso.

2. Podría comentarnos acerca de cómo fue que Nicaragua fue incluida en el Proyecto Aire Puro?

En el año de 1995 luego de los estudios anteriormente realizados sobre calidad del aire el Dr. Jorge Grütter, en representación del Organismo Cooperante Suizo Swiss Contact, dependiente de la Cooperación Suiza para el desarrollo (COSUDE) y el Arq. Edgard Herrera Z., rector de la UNI, firmaron un convenio que permitió incorporar al país, a la Red Centroamericana de Monitoreo de Calidad del aire, también conocida como Proyecto Aire Puro.

3. Cuáles fueron las estaciones seleccionadas en Managua y quién fue el responsable de realizar los monitoreos de calidad del aire en Nicaragua?

El laboratorio de calidad del aire del Programa de Investigación y Medio Ambiente (PIDMA) fue el encargado de realizar los monitoreos de contaminantes atmosféricos en el período comprendido entre 1996 a 2001. La red de monitoreo de calidad del aire estaba conformada por siete estaciones: Oficinas Centrales del Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA), La Subasta, Universidad Nacional de Ingeniería (RUSB), Colonia Centroamérica, Villa Libertad, Gancho de Caminos y Siete Sur.

4. Qué contaminantes atmosféricos son los que se les daba seguimiento a través del Proyecto Aire Puro?

En los siete estaciones de monitoreo seleccionadas se realizaron mediciones de dióxido de nitrógeno, ozono y material particulado menor o igual que 10 micrómetros (PM10), estos contaminantes fueron incluidos por sugerencia de la cooperación suiza debido a que se consideraban de mayor relevancia para la salud pública dado que Nicaragua no contaba con legislación que regulaba las inmisiones atmosféricas.

5. Podría comentarnos cuáles fueron los alcances de la investigación realizada por usted en su tesis de maestría?

Para la investigación que realicé se seleccionaron las mediciones de PM10, dióxido de nitrógeno y ozono de los años 1997 y 1998 en tres estaciones que formaban parte del Proyecto Aire Puro, Colonia Centroamérica, Siete Sur y Gancho de Caminos o RUCFA, con los resultados obtenidos se determinó que las concentraciones de dióxido de nitrógeno no presentaron variaciones significativas ni entre estaciones de monitoreo, estaciones climáticas o años en estudio. Las concentraciones de ozono reportadas en verano presentaron variaciones significativas con respecto a las de invierno. Mientras que las concentraciones de PM10 no presentaron variaciones significativas como promedio de las tres estaciones pero si como estaciones de monitoreo. Tanto el ozono como PM10 superaron en más del 50% los valores guías correspondientes de OMS.

Muchas Gracias por su tiempo estimado Maestro Roberto Dávila

Anexo 2 Mediciones de variables meteorológicas

Temperatura

Día	Octubre 2017	Noviembre 2017	Diciembre 2017	Enero 2018
1	26.1	27.4	27.1	26.6
2	26.0	27.5	26.4	26.9
3	26.7	26.5	26.2	26.2
4	26.8	26.5	26.5	25.6
5	24.4	27.2	27.0	25.2
6	25.4	27.4	25.6	25.1
7	26.6	27.5	26.5	25.5
8	27.8	27.2	26.5	26.7
9	27.9	26.7	26.5	27.0
10	26.8	26.9	25.5	27.5
11	27.3	27.5	24.7	26.8
12	28.9	27.7	24.9	27.3
13	23.0	28.2	25.4	27.9
14	27.5	27.0	25.7	26.4
15	27.0	26.7	25.7	25.6
16	27.6	25.6	25.4	26.0
17	28.3	26.3	26.3	26.1
18	26.8	25.5	26.7	26.2
19	27.7	25.5	26.1	26.8
20	27.5	26.5	27.1	27.6
21	27.7	26.8	27.5	28.0
22	28.1	26.3	25.7	27.2
23	28.6	27.0	26.4	26.1
24	27.3	26.8	25.5	26.8
25	25.7	27.1	26.6	26.5
26	25.6	28.1	26.4	28.0
27	25.2	27.7	26.5	27.3
28	26.1	26.0	26.0	26.6
29	26.1	27.6	24.9	26.9
30	26.9	27.3	26.9	27.5
31	26.8	-	26.8	28.1
PROM	26.8	26.9	26.2	26.7

Fuente: INETER, 2018

Velocidad media del viento

Día	Octubre 2017	Noviembre 2017	Diciembre 2017	Enero 2018
1	1.4	2.6	3.5	4.2
2	1.8	2.1	3.6	4.4
3	1.8	2.4	3.3	3.4
4	2.5	2.2	4.3	4.3
5	2.0	1.8	4.6	3.6
6	2.5	2.5	3.0	3.8
7	2.5	3.2	2.5	3.3
8	2.5	3.0	1.6	3.6
9	2.5	2.1	1.8	3.6
10	2.5	1.6	2.5	3.3
11	1.3	1.7	3.3	2.5
12	2.0	1.5	4.3	2.3
13	2.2	1.7	4.2	4.4
14	2.5	1.7	3.9	3.9
15	2.4	1.7	3.6	3.5
16	2.8	1.7	4.0	3.7
17	3.3	1.6	3.5	3.5
18	3.2	1.6	3.8	4.9
19	3.0	2.1	5.3	5.4
20	2.9	2.7	4.7	5.3
21	1.6	2.0	5.0	5.0
22	2.3	1.1	4.0	3.9
23	1.4	2.3	4.8	4.4
24	1.6	3.1	4.3	7.4
25	1.3	3.2	5.2	4.8
26	1.8	3.3	4.8	6.5
27	1.5	3.2	5.8	5.8
28	1.4	3.0	4.0	4.6
29	1.5	3.8	3.5	4.2
30	1.8	3.2	3.8	7.3
31	2.8	-	3.7	7.0
PROM	2.1	2.3	3.9	4.4

Fuente: INETER, 2018

Dirección del viento

Día	Octubre 2017	Noviembre 2017	Diciembre 2017	Enero 2018
1	W	SE	E	E
2	SE	E	E	E
3	NW	SE	E	S
4	NW	S	E	E
5	NW	E	E	E
6	S	SE	SE	E
7	NW	E	E	E
8	W	E	E	E
9	E	SE	S	E
10	SE	SE	NE	SE
11	E	N	E	SE
12	SE	SE	SE	E
13	E	N	E	E
14	E	NW	SE	E
15	E	E	SE	E
16	E	S	E	E
17	E	SE	E	E
18	SE	E	E	E
19	E	S	E	E
20	SE	E	E	E
21	E	SE	E	E
22	SE	S	E	E
23	E	E	E	NE
24	SE	E	E	E
25	SE	S	E	E
26	N	E	E	E
27	E	E	E	E
28	E	SE	NE	E
29	E	E	E	E
30	E	E	E	E
31	E	-	E	E
PROM	E	E	E	E

Fuente: INETER, 2018

Precipitación

Día	Octubre 2017	Noviembre 2017	Diciembre 2017	Enero 2018
1	3.0	0.0	0.0	0.0
2	22.0	1.3	0.0	0.0
3	7.6	0.3	0.5	0.0
4	51.5	5.4	0.0	0.0
5	67.5	0.0	0.2	0.0
6	1.2	0.0	2.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.1	0.0	0.0	0.0
9	3.1	0.0	7.3	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.4	0.0	0.0	0.0
12	8.0	0.0	0.0	0.0
13	0.0	27.0	0.0	0.0
14	0.0	1.3	0.0	0.0
15	17.0	28.5	0.0	0.0
16	0.0	0.5	1.4	0.0
17	0.0	0.0	1.8	0.0
18	0.5	0.0	3.0	0.0
19	0.0	0.0	1.9	0.0
20	6.2	0.0	0.0	0.0
21	0.0	1.0	0.0	0.0
22	3.6	0.7	1.7	0.0
23	5.5	0.0	0.0	0.0
24	2.5	0.0	0.0	0.4
25	64.7	0.0	0.0	0.0
26	12.7	0.0	0.0	0.0
27	0.3	0.0	0.0	0.0
28	13.5	0.0	0.0	0.0
29	8.7	0.0	0.0	0.0
30	4.0	0.0	0.0	0.0
31	0.0	-	0.0	0.0
PROM	9.8	2.2	0.6	0.0
SUMA	303.6	66.0	19.8	0.4

Fuente: INETER, 2018

Radiación solar

16/10	17/10	9/11	10/11	21/11	22/11	4/12	5/12	17/01	18/01	23/01	26/01
/17	/17	/17	/17	/17	/17	/17	/17	/18	/18	/18	/18
320.9	426.1	361. 1	460.9	381.2	271	401. 3	379. 8	313.6	500	423.6	478.1

Fuente: Estación Solar Julio López de la Fuente SJ, 2018

Anexo 3 Aforos Vehiculares

Aforo Vehicular Rotonda Rubén Darío

ENTRADA				
8 febrero 2016				
Dirección de Viabilidad/ALMA				
Hora	Norte-2	Oeste-4	Sur-6	Este-8
7:00 a.m.	1047	1452	1294	1397
8:00 a.m.	988	1458	1285	1385
9:00 a.m.	873	1500	1113	1259
10:00 a.m.	847	1437	1129	1211
11:00 a.m.	923	1482	1118	1188
12:00 p.m.	930	1473	1272	1263
13:00 p.m.	990	1525	1037	1348
14:00 p.m.	891	1445	1049	1453
15:00 p.m.	842	1456	912	1494
16:00 p.m.	847	1574	980	1457
17:00 p.m.	913	1636	997	1428
18:00 p.m.	934	1435	906	1269
Total	11,025	17,873	13,092	16,152
Total 12 horas	58,142			

Fuente: ALMA, 2017

Aforo Vehicular Rotonda Roberto Terán

ENTRADA					PUENTE	
26 septiembre 2017						
Dirección de Viabilidad/ALMA						
Hora	Norte-2	Oeste-4	Sur-6	Este-8	Norte-Sur	Sur-Norte
7:00 a.m.	895	1509	1290	1571	1218	2790
8:00 a.m.	653	1612	1580	1501	1105	1965
9:00 a.m.	612	1552	1303	1451	960	1456
10:00 a.m.	580	1465	1252	1419	924	1299
11:00 a.m.	643	1569	1350	1472	1080	1391
12:00 p.m.	776	1749	1292	1570	1327	1301
13:00 p.m.	704	1537	1280	1418	1359	1481
14:00 p.m.	672	1636	1321	1339	1282	1672
15:00 p.m.	696	1612	1300	1326	1366	1501
16:00 p.m.	714	1588	1307	1516	1428	1159
17:00 p.m.	732	1571	1344	1845	1823	1051
18:00 p.m.	519	1370	1194	1742	1838	921
Total	8,196	18,770	15,813	18,170	15,710	17,987
Total 12 horas	94,646					

Fuente: ALMA, 2017

Aforo Vehicular Rotonda Universitaria

ENTRADA				
21 Julio 2017				
Dirección de Viabilidad/ALMA				
Hora	Norte-2	Oeste-4	Sur-6	Este-8
7:00 a.m.	985	2378	564	1718
8:00 a.m.	932	1870	588	1726
9:00 a.m.	997	1512	550	1401
10:00 a.m.	1061	1515	478	1258
11:00 a.m.	1053	1391	589	1308
12:00 p.m.	994	1420	575	1286
13:00 p.m.	902	1160	583	1202
14:00 p.m.	887	1136	666	1227
15:00 p.m.	963	1318	657	1282
16:00 p.m.	996	1552	704	1445
17:00 p.m.	1072	2610	735	1894
18:00 p.m.	1119	2436	742	1679
Total	11,961	20,298	7,431	17,426
Total 12 horas		57,116		

Fuente: ALMA, 2017

Aforo Vehicular Intersección ENEL

Dirección de Viabilidad/ALMA				
29 noviembre 2017				
Hora	Norte-2	Oeste-4	Sur-6	Este-8
7:00 a.m.	1128	1481	1795	1543
8:00 a.m.	1006	1476	1750	1464
9:00 a.m.	924	1510	1519	1313
10:00 a.m.	888	1505	1442	1346
11:00 a.m.	1037	1497	1374	1410
12:00 p.m.	1051	1643	1427	1298
13:00 p.m.	1002	1578	1389	1128
14:00 p.m.	894	1609	1353	1102
15:00 p.m.	916	1457	1481	1077
16:00 p.m.	915	1379	1422	1238
17:00 p.m.	1132	1492	1670	1284
18:00 p.m.	1026	1411	1627	1082
Total	11,919	18,038	18,249	15,285
Total 12 horas		63,491		

Fuente: ALMA, 2020

Anexo 4. Concentraciones promedio hora

Concentraciones de PM10 en la estación de monitoreo UNI

	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
	17-18 Oct 2017	10-11 Nov 2017	22-23 Nov 2017	5-6 Dic 2017	13-14 Dic 2017	18-19 Ene 2017	23-24 Ene 2018
	22.54	23.29	17.77	58.95	154.36	16.84	36.46
	8.87	27.64	9.73	74.75	74.56	15.35	74.11
	15.36	56.03	25.16	28.04	81.06	18.11	57.38
	14.97	102.08	27.99	87.11	114.88	74.84	52.21
	39.42	58.73	59.28	36.40	44.30	125.67	13.74
	24.37	58.58	7.27	60.22	46.63	99.69	18.80
	37.63	14.84	20.58	33.49	5.85	21.69	52.30
	50.98	48.76	56.93	32.38	60.26	57.17	84.72
	54.00	31.15	74.59	26.29	27.56	38.22	62.56
	24.35	33.63	77.31	17.34	32.10	24.63	66.00
	13.97	22.81	92.93	25.50	14.41	120.47	44.44
	20.19	105.39	76.81	82.27	23.03	38.38	54.20
	33.49	84.46	74.23	54.10	42.79	29.57	52.04
	49.02	72.08	73.22	48.89	14.35	51.96	43.95
	18.39	65.44	66.03	56.78	4.66	70.23	41.69
	27.19	47.56	49.47	21.57	15.56	124.00	24.94
	24.16	14.11	46.07	23.25	8.89	106.63	22.68
	34.74	25.36	35.60	40.03	8.89	70.36	33.39
	26.05	52.83	24.69	49.76	39.12	50.07	24.09
	36.91	44.15	42.09	23.18	22.90	35.78	19.54
	22.57	50.17	57.34	43.38	20.34	46.74	36.21
	46.31	32.37	85.26	46.20	9.18	55.14	73.08
PROM	29.34	48.70	50.02	44.09	39.35	58.71	44.93
MAX	54.00	105.39	92.93	87.11	154.36	125.67	84.72
MIN	8.87	14.11	7.27	17.34	4.66	15.35	13.74

Fuente: Elaboración propia, 2020

Concentraciones de PM10 en la estación de monitoreo Laboratorios Bengoechea

	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
	16-17 Oct 2017	9-10 Nov 2017	21-22 Nov 2017	4-5 Dic 2017	12-13 Dic 2017	17-18 Ene 2018	26-27 Ene 2018
	61.71	5.68	14.85	44.24	8.38	19.12	13.50
	14.87	14.66	44.83	11.73	9.42	28.93	24.21
	6.92	21.11	32.56	22.68	11.25	23.27	25.66
	40.39	39.41	47.23	35.70	14.54	29.88	23.20
	45.09	53.05	37.00	26.61	15.47	28.95	18.91
	46.40	18.95	46.42	26.01	13.98	17.05	21.79
	57.81	39.05	44.48	24.53	14.09	42.48	37.96
	48.58	69.74	32.73	36.67	31.38	38.01	47.78
	56.49	66.14	51.49	41.69	29.24	35.12	38.63
	133.72	64.83	81.43	70.09	29.05	37.09	27.63
	41.06	66.82	12.08	48.31	25.76	24.50	24.01
	28.63	45.66	23.29	33.91	18.85	26.41	13.52
	40.02	82.43	27.00	42.22	17.48	20.97	9.13
	48.01	61.53	15.19	63.23	13.81	34.31	8.75
	47.79	20.44	21.28	18.58	11.52	18.01	10.21
	65.34	21.03	27.23	35.77	10.15	14.30	8.99
	68.60	23.73	24.43	25.33	7.07	20.93	11.06
	15.78	16.46	15.67	11.98	7.54	19.40	13.66
	9.38	20.85	27.79	39.04	6.83	8.66	12.58
	14.29	39.06	16.43	13.44	7.98	8.01	20.36
	26.40	31.24	9.17	16.95	7.50	11.01	24.24
	22.74	20.17	21.21	42.62	12.62	14.65	36.26
PROM	42.73	38.27	30.63	33.24	14.72	23.68	21.46
MAX	133.72	82.43	81.43	70.09	31.38	42.48	47.78
MIN	6.92	5.68	9.17	11.73	6.83	8.01	8.75

Fuente: Elaboración propia, 2020

Concentraciones de PM10 en la estación de monitoreo CIGEO

	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
	16-17 Oct	10-11 Nov	21-22 Nov	4-5 Dic	12-13 Dic	17-18 Ene	26-27 Ene
	2017	2017	2017	2017	2017	2018	2018
	3.58	81.69	25.09	15.88	48.83	32.44	56.86
	4.29	34.03	45.95	13.00	6.55	110.53	123.01
	7.22	32.48	23.27	2.00	80.67	54.01	129.72
	8.90	28.93	16.99	24.26	56.16	142.17	32.96
	38.21	112.96	35.66	14.11	33.13	97.20	70.36
	30.09	75.38	12.43	16.87	90.95	70.77	67.04
	18.84	8.41	31.00	25.24	19.54	56.05	48.57
	36.14	67.93	44.55	28.50	2.73	67.22	0.63
	28.39	38.05	71.09	36.76	45.51	47.69	0.88
	10.79	138.18	55.30	34.71	77.03	45.93	1.99
	9.81	103.83	106.73	33.18	56.44	43.31	37.91
	10.12	99.81	100.92	19.07	20.38	43.20	69.23
	14.81	60.81	96.40	12.39	22.73	47.83	11.36
	8.98	38.41	91.78	13.00	35.67	71.71	3.72
	8.52	60.78	60.32	17.86	57.38	28.43	93.99
	9.47	55.03	82.10	18.06	33.26	50.64	11.03
	12.47	72.53	54.14	13.25	8.34	31.72	9.59
	10.83	57.44	80.20	18.01	41.01	54.37	7.84
	12.65	63.03	4.23	19.32	76.59	48.51	13.12
	14.92	86.37	9.28	20.78	39.18	78.70	11.39
	12.91	49.80	15.80	16.23	14.46	112.86	12.21
	8.41	27.63	27.81	23.18	13.50	57.20	9.46
PROM	14.56	63.34	49.59	19.80	40.00	63.29	37.40
MAX	38.21	138.18	106.73	36.76	90.95	142.17	129.72
MIN	3.58	8.41	4.23	2.00	2.73	28.43	0.63

Fuente: Elaboración propia, 2020

Concentraciones de Dióxido de Nitrógeno en estación de monitoreo UNI

NO ₂ (ppm)							
	17-oct-17	10-nov-17	22-nov-17	05-dic-17	13-dic-17	18-ene-18	23-ene-18
	0.0137	0.0437	0.0377	0.0503	0.0437	0.1326	0.0623
	0.0145	0.0387	0.0027	0.0548	0.0387	0.1323	0.0693
	0.0000	0.0968	0.0002	0.0197	0.0616	0.1307	0.0947
	0.0000	0.0855	0.1008	0.0104	0.0752	0.1300	0.0994
	0.0005	0.0828	0.0040	0.0000	0.0736	0.1290	0.0888
	0.0000	0.0820	0.0020	0.0000	0.0683	0.1235	0.0647
	0.0203	0.0690	0.0067	0.0570	0.0744	0.1212	0.1062
	0.0617	0.0678	0.0067	0.0000	0.0204	0.0872	0.0938
PROM	0.0138	0.0708	0.0201	0.0240	0.0570	0.1233	0.0849
MAX	0.0617	0.0968	0.1008	0.0570	0.0752	0.1326	0.1062
MIN	0.0000	0.0387	0.0002	0.0000	0.0204	0.0872	0.0623

Fuente: Elaboración propia, 2020

Concentraciones de Dióxido de Nitrógeno en la estación de monitoreo Laboratorios Bengoechea

NO ₂ (ppm)							
	16-oct-17	09-nov-17	21-nov-17	04-dic-17	12-dic-17	17-ene-18	26-ene-18
	0.0705	0.0000	0.1568	0.0825	0.0825	0.0895	0.0316
	0.0577	0.0552	0.1190	0.0945	0.0812	0.0908	0.0520
	0.0840	0.0640	0.1380	0.0812	0.0993	0.0782	0.0812
	0.0732	0.0498	0.0338	0.0655	0.0860	0.0612	0.0412
	0.0652	0.0684	0.0394	0.0903	0.0804	0.0962	0.0807
	0.0630	0.0212	0.0432	0.0825	0.0637	0.0843	0.0475
	0.0437	0.0922	0.0420	0.0517	0.0453	0.0640	0.0650
	0.0570	0.0600	0.0275	0.0518	0.0590	0.0695	0.0798
PROM	0.0643	0.0514	0.0750	0.0750	0.0747	0.0792	0.0599
MAX	0.0840	0.0922	0.1568	0.0945	0.0993	0.0962	0.0812
MIN	0.0437	0.0000	0.0275	0.0517	0.0453	0.0612	0.0316

Fuente: Elaboración propia, 2020

Concentraciones de Dióxido de Nitrógeno en la estación de monitoreo CIGEO

NO2 (ppm)							
	16-oct-17	10-nov-17	22-nov-17	04-dic-17	12-dic-17	17-ene-18	26-ene-18
	0.0768	0.0845	0.1150	0.0530	0.0645	0.0642	0.0735
	0.1088	0.0497	0.0548	0.0607	0.0497	0.1092	0.0945
	0.0732	0.0395	0.1045	0.1508	0.0852	0.1032	0.0870
	0.0708	0.0482	0.0772	0.1040	0.0882	0.0842	0.0822
	0.0693	0.0497	0.0304	0.0073	0.1057	0.0838	0.0652
	0.0472	0.0436	0.0638	0.0757	0.0912	0.0757	0.0796
	0.0523	0.0405	0.0866	0.0962	0.0737	0.0613	0.0863
	0.0554	0.0538	0.0602	0.0607	0.0630	0.0908	0.0712
PROM	0.0692	0.0512	0.0740	0.0760	0.0776	0.0841	0.0799
MAX	0.1088	0.0845	0.1150	0.1508	0.1057	0.1092	0.0945
MIN	0.0472	0.0395	0.0304	0.0073	0.0497	0.0613	0.0652

Fuente: Elaboración propia, 2020

Concentraciones de Ozono en la estación de monitoreo UNI

Ozono (ppm)							
	17-oct-17	10-nov-17	22-nov-17	05-dic-17	13-dic-17	18-ene-17	23-ene-18
	0.0182	0.0105	0.0840	0.0918	0.0202	0.1325	0.0640
	0.0230	0.0000	0.0537	0.0750	0.0455	0.1323	0.0865
	0.0273	0.0405	0.0667	0.0757	0.0484	0.1307	0.0695
	0.0263	0.0717	0.0655	0.0375	0.0499	0.1300	0.0974
	0.0237	0.0585	0.0746	0.0496	0.0966	0.1290	0.0898
	0.0253	0.0393	0.0640	0.0078	0.1133	0.1235	0.1132
		0.0450		0.0957	0.1164	0.1220	0.1222
				0.1093	0.0636		
PROM	0.0240	0.0379	0.0681	0.0678	0.0692	0.1286	0.0918
MAX	0.0273	0.0717	0.0840	0.1093	0.1164	0.1325	0.1222
MIN	0.0182	0.0000	0.0537	0.0078	0.0202	0.1220	0.0640

Fuente: Elaboración propia, 2020

Concentraciones de Ozono en la estación de monitoreo Laboratorios Bengoechea

Ozono (ppm)							
	16-oct-17	9-nov-17	21-nov-17	4-dic-17	12-dic-17	17-ene-18	26-ene-18
	0.1082	0.1033	0.1516	0.1247	0.0980	0.1497	0.0933
	0.1152	0.1292	0.1488	0.1193	0.1017	0.1413	0.1302
	0.0118	0.0990	0.1194	0.1142	0.1195	0.1414	0.0902
	0.1042	0.1376	0.0978	0.1020	0.1228	0.1486	0.1084
	0.0230	0.1118	0.0170	0.1262	0.1172	0.0862	0.1278
	0.0978	0.1232	0.0913	0.1048	0.1197	0.1462	0.1110
	0.0962	0.1147	0.1060	0.0997	0.0615	0.0795	0.1199
		0.1248	0.0235		0.0447		
PROM	0.0795	0.1180	0.0944	0.1130	0.0981	0.1275	0.1115
MAX	0.1152	0.1376	0.1516	0.1262	0.1228	0.1497	0.1302
MIN	0.0118	0.0990	0.0170	0.0997	0.0447	0.0795	0.0902

Fuente: Elaboración propia, 2020

Concentraciones de Ozono en la estación de monitoreo CIGEO-UNAN

Ozono (ppm)							
	16-oct-17	10-nov-17	22-nov-17	04-dic-17	12-dic-17	17-ene-18	26-ene-18
	0.1244	0.1221	0.0454	0.0777	0.0777	0.0200	0.0660
	0.1165	0.1378	0.0323	0.0923	0.1000	0.0250	0.0600
	0.1037	0.0987	0.1065	0.1400	0.0925	0.0300	0.0760
	0.0956	0.1028	0.1035	0.1468	0.1238	0.0350	0.0778
	0.1057	0.1050	0.0402	0.0623	0.1157	0.0400	0.0588
	0.0420	0.1063	0.0178	0.1083	0.1328	0.0470	0.0800
	0.0447	0.1035	0.0920	0.1223	0.1214	0.0540	0.0827
				0.0853	0.1188	0.0595	0.0750
PROM	0.0904	0.1109	0.0625	0.1044	0.1103	0.0388	0.0720
MAX	0.1244	0.1378	0.1065	0.1468	0.1328	0.0595	0.0827
MIN	0.0420	0.0987	0.0178	0.0623	0.0777	0.0200	0.0588

Fuente: Elaboración propia, 2020

Anexo 5 Rosa de vientos

Rosa de los vientos octubre a diciembre 2017



Fuente: INETER, 2017

Rosa de los vientos enero 2018



Fuente: INETER, 2018

Anexo 6. Certificados de resultados de Laboratorio de Calidad del Aire

Resultados PM₁₀, NO₂ y O₃ estación de monitoreo Bengoechea y CIGEO, 16 octubre 2017



Universidad Nacional de Ingeniería
 Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
 Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
 Managua, Nicaragua



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-ACA-A-641

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN:		TELEFONO
Proyecto de Investigación OPS					
			CARGO:	EMAIL:	CELULAR
Proyecto OPS, Calidad de aire en managua			Directora del PIENSA-UNI	larisa.korsak@piensa.uni.edu.ni	89666020
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
18/10/2017	19/10/2017	26/10/2017	27/10/2017	2971	Dos (2)
Fecha y Hora de Muestreo			16/10/17; 08:00 am	16/10/17; 08:30 am	
Muestreado por			Lic. Bayardo Bojorege S.	Lic. Bayardo Bojorege S.	
Supervisor de Muestreo en Campo					
Fuente			N/A	N/A	Rango o valor máximo permisible
Tipo de muestra			Aire	Aire	
Observaciones de Ubicación			Laboratorio Bengoechea	CIGEO-UNAN	
Coordenadas					
Codificación PIENSA			LA-1710-0863	LA-1710-0864	
METODO	ENSAYO REALIZADO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		NTON 06012-02*
-SM // EPA	PARAMETRO		MUESTRA 1	MUESTRA 2	
40 CFR 53 USEPA	Partículas menores de 10 micras (PM ₁₀)	µg/m ³	57.953	14.175	150.0
Sensores	Dioxido de Nitrogeno (NO ₂)	ppm	0.065	0.069	0.21
Sensores	Ozono (O ₃)	ppm	0.084	0.088	0.08/0.12

ND: No Detectable, NE= No especificado en la Norma, NS= No solicitado por el cliente, µg/m³= Microgramos por metro cúbico, ppm= Partes por millón
 Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, Environmental Protection Agency.

* Norma Técnica Obligatoria Nicaraguense 06012-02

Ph.D. Lidando Paríño
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio asume sus derechos de confidencialidad e imparcialidad del informe.

0006973

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios Tel.: 2270-1517
 5847-6823 (C) y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

Resultados PM10, NO₂ y O₃ estación de monitoreo UNI, 17 octubre 2017



Universidad Nacional de Ingeniería
 Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
 Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
 Managua, Nicaragua



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-ACA-A-642

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN:		TELEFONO
Proyecto de Investigación OPS					
ATENCIÓN			CARGO	EMAIL	CELULAR
Proyecto OPS, Calidad de aire en managua			Directora del PIENSA-UNI	larisa.korsak@piensa.uni.edu.ni	89686020
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
18/10/2017	19/10/2017	28/10/2017	27/10/2017	2971	Uno (1)
Fecha y Hora de Muestreo			17/10/17; 9:00 am		
Muestreado por			Lic. Jhony Cabrera V.		
Supervisor de Muestreo en Campo			NR		
Fuente			N/A		
Tipo de muestra			Aire		
Observaciones de Ubicación			Universidad Nacional de Ingeniería		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1710-0665		
METODO - SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION MUESTRA 1		NTON 05012-02*
40 CFR 53 USEPA	Partículas menores de 10 micras (PM ₁₀)	µg/m ³	30.03		150.0
Sensores	Dioxido de Nitrogeno (NO ₂)	ppm	0.060		0.21
Sensores	Ozono (O ₃)	ppm	0.024		0.08/0.12

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectivas.
 ND: No Detectable, NE= No especificado en la Norma, NS= No solicitado por el cliente, µg/m³= Microgramos por metro cúbico, ppm= Partes por millón
 Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, Environmental Protection Agency.
 * Norma Técnica Obligatoria Nicaraguense 05012-02



Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio asegura los derechos de confidencialidad e imparcialidad del informe.

0006972

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios Tel.: 2270-1517 5847-6823 (C) y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

Resultados PM10, NO₂ y O₃ estación de monitoreo Bengoechea, 9 noviembre 2017



Universidad Nacional de Ingeniería
 Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
 Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
 Managua, Nicaragua



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-ACA-A-644

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN:		TELEFONO
Proyecto de Investigación OPS					
ATENCIÓN			CARGO	EMAIL	CELULAR
Proyecto OPS, Calidad de aire en managua			Directora del PIENSA-UNI	larisa.korsak@piensa.uni.edu.ni	89666020
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO			FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE		CADENA CUSTODIA
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	24/11/2017		2983
11/11/2017	13/11/2017	24/11/2017			Numero de MUESTRAS
Fecha y Hora de Muestreo			09/11/17; 8:00 am		Rango o valor máximo permisible
Muestreado por			Lic. Jhony Cabrera V.		
Supervisor de Muestreo en Campo			NR		
Fuente			N/A		
Tipo de muestra			Aire		
Observaciones de Ubicación			Laboratorio Bengoechea		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1711-0885		NTON 05012-02*
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION MUESTRA 1		
40 CFR 53 USEPA	Partículas menores de 10 micras (PM ₁₀)	µg/m3	44.587		
Sensores	Dioxido de Nitrogeno (NO ₂)	ppm	0.058		
Sensores	Ozono (O ₃)	ppm	0.115		0.08/0.12

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
 ND: No Detectable, NE= No especificado en la Norma, NS= No solicitado por el cliente, µg/m³= Microgramos por metro cúbico, ppm= Partes por millón
 Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, Environmental Protection Agency.
 * Norma Tecnica Obligatoria Nicaraguense 05012-02



Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio asegura los derechos de confidencialidad e imparcialidad del informe.

0006969

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios Tel.: 2270-1517 5847-6823 (C) y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

Resultados PM10, NO₂ y O₃ estación de monitoreo UNI y CIGEO, 10 noviembre 2017



Universidad Nacional de Ingeniería
 Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
 Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
 Managua, Nicaragua



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-ACA-A-645

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN:		TELEFONO
Proyecto de Investigación OPS					
			CARGO:	EMAIL:	CELULAR
Proyecto OPS, Calidad de aire en managua			Directora del PIENSA-UNI	larisa.korsak@piensa.uni.edu.ni	89686020
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO:		INICIO DE ANALISIS:		FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA
11/11/2017		13/11/2017		24/11/2017	2975
Fecha y Hora de Muestreo			10/11/17; 08:30 am	10/11/17; 09:00 am	Dos (2)
Muestreado por			Lic. Bayardo Bojorege S.	Lic. Bayardo Bojorege S.	
Supervisor de Muestreo en Campo					
Fuente			N/A	N/A	Rango o valor máximo permisible
Tipo de muestra			Aire	Aire	
Observaciones de Ubicación			Universidad Nacional de Ingeniería	CIGEO-UNAN	
Coordenadas					
Codificación PIENSA			LA-1710-0871	LA-1710-0872	
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		NTON 05912-02*
			MUESTRA 1	MUESTRA 2	
40 CFR 53 USEPA	Partículas menores de 10 micras (PM ₁₀)	µg/m ³	64.614	82.124	150.0
Sensores	Dioxido de Nitrogeno (NO ₂)	ppm	0.075	0.054	0.21
Sensores	Ozono (O ₃)	ppm	0.051	0.114	0.08/0.12

ND: No Detectable, NE= No especificado en la Norma, NS= No solicitado por el cliente, µg/m³= Microgramos por metro cúbico, ppm= Partes por millón
 Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, Environmental Protection Agency.
 * Norma Técnica Obligatoria Nicaraguense 05912-02

PhD. Leandro Paragó
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados es de uso exclusivo del cliente, el laboratorio asegura los derechos de confidencialidad e imparcialidad del informe.

0006970

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios Tel.: 2270-1517 5847-6823 (C) y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

Resultados PM10, NO₂ y O₃ estación de monitoreo Bengoechea y CIGEO, 21 noviembre 2017



Universidad Nacional de Ingeniería
 Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
 Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
 Managua, Nicaragua



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-ACA-A-647

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN:		TELEFONO
Proyecto de Investigación OPS				
		CARGO:	EMAIL:	CELULAR
Proyecto OPS, Calidad de aire en managua		Directora del PIENSA-UNI	larisa.korsak@piensa.uni.edu.ni	89666020
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO			FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	01/12/2017	3018
23/11/2017	24/11/2017	01/12/2017		
Fecha y Hora de Muestreo		21/11/17; 08:00 am	21/11/17; 08:30 am	Dos (2)
Muestreado por		Lic. Jhony Cabrera V.	Lic. Jhony Cabrera V.	
Supervisor de Muestreo en Campo				
Fuente		N/A	N/A	Rango o valor máximo permisible
Tipo de muestra		Aire	Aire	
Observaciones de Ubicación		Laboratorio Bengoechea	CIGEO-UNAN	
Coordenadas				
Codificación PIENSA		LA-1712-0868	LA-1712-0869	
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION	
			MUESTRA 1	MUESTRA 2
40 CFR 53 USEPA	Partículas menores de 10 micras (PM ₁₀)	µg/m ³	43.238	59.148
Sensores	Dioxido de Nitrogeno (NO ₂)	ppm	0.062	0.057
Sensores	Ozono (O ₃)	ppm	0.100	0.067
				0.08/0.12

ND: No Detectable, NE= No especificado en la Norma, NS= No solicitado por el cliente, µg/m³= Microgramos por metro cúbico, ppm= Partes por millón
 Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, Environmental Protection Agency.

* Norma Técnica Obligatoria Nicaraguense 05012-02


 Ph.D. Leandro Parameño
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio asume los deberes de confidencialidad e imparcialidad del informe.

0006966

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios Tel.: 2270-1517 5847-6823 (C) y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

Resultados PM10, NO₂ y O₃ estación de monitoreo UNI, 22 noviembre 2017



Universidad Nacional de Ingeniería
 Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
 Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
 Managua, Nicaragua



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-ACA-A-646

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN:		TELEFONO
Proyecto de Investigación OPS					
ATENCIÓN			CARGO	EMAIL	CELULAR
Proyecto OPS, Calidad de aire en managua			Directora del PIENSA-UNI	larisa.korsak@piensa.uni.edu.ni	88666020
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
23/11/2017	24/11/2017	01/12/2017	01/12/2017	3018	Uno (1)
Fecha y Hora de Muestreo			22/11/17; 8:00 am		
Muestreado por			Lic. Bayardo Bojorege S.		
Supervisor de Muestreo en Campo					
Fuente			N/A		
Tipo de muestra			Aire		
Observaciones de Ubicación			Universidad Nacional de Ingeniería		
Coordenadas					
Codificación PIENSA			LA-1712-0970		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION MUESTRA 1		Rango o valor máximo permisible
40 CFR 53 USEPA	Partículas menores de 10 micras (PM ₁₀)	µg/m ³	50.548		150.0
Sensores	Dioxido de Nitrogeno (NO ₂)	ppm	0.067		0.21
Sensores	Ozono (O ₃)	ppm	0.101		0.08/0.12

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

ND= No Detectable, NE= No especificado en la Norma, NS= No solicitado por el cliente, µg/m³= Microgramos por metro cúbico, ppm= Partes por millón
 Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, Environmental Protection Agency.

* Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 05012-02

Ph.D. Leandro Perdomo
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio asegura los derechos de confidencialidad e imparcialidad del informe.

0006968

Telefax Dirección: (505) 2278-1462 • Teléfonos: Área Académica 2270-5613 y 8866-6702 (M); Atención al Cliente Laboratorios Tel.: 2270-1517 5847-6823 (C) y 8152-7314 (M); Coordinación de Laboratorios 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

Resultados PM₁₀, NO₂ y O₃ estación de monitoreo Bengoechea y CIGEO 4 diciembre 2017



Universidad Nacional de Ingeniería
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
Managua, Nicaragua



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-ACA-A-660

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN:		TELÉFONO	
Proyecto de Investigación OPS		NR			
CARGO:		EMAIL:		CELULAR	
Proyecto OPS, Calidad de aire en managua		Directora del PIENSA-UNI		larisa.korsak@piensa.uni.edu.ni	
8966-6020					
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO:		INICIO DE ANALISIS:		FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	
06/12/2017		11/12/2017		09/01/2018	
FINAL DE ANALISIS:		CADENA CUSTODIA		NUMERO DE MUESTRAS	
20/12/2017		3019		Dos (2)	
Fecha y Hora de Muestreo		04/12/17; 08:46 am		04/12/17; 08:10 am	
Muestreado por		Lic. Jhony Cabrera V.		Lic. Jhony Cabrera V.	
Supervisor de Muestreo en Campo		NR		NR	
Fuente		N/A		N/A	
Tipo de muestra		Aire		Aire	
Observaciones de Ubicación		Laboratorio Bengoechea		CIGEO-UNAN	
Coordenadas		NR		NR	
Codificación PIENSA		LA-1712-0971		LA-1712-0972	
METODO SM y EPA		ENSAYO REALIZADO PARAMETRO		VALOR DE CONCENTRACION	
		Unidad		MUESTRA 1 MUESTRA 2	
40 CFR 53 USEPA		Partículas menores de 10 micras (PM ₁₀)		µg/m ³ 35.07 20.99	
Sensores		Dioxido de Nitrogeno (NO ₂)		ppm 0.065 0.069	
Sensores		Ozono (O ₃)		ppm 0.113 0.106	
				150.0 0.21 0.08/0.12	

ND: No Detectable, NE= No especificado en la Norma, NS= No solicitado por el cliente, µg/m³= Microgramos por metro cúbico, ppm= Partes por millón.
NR: No Reportado. Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, Environmental Protection Agency.
* Norma Técnica Obligatoria Nicaraguense 05012-02



Ph.D. Leandro Parra
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio asegura los derechos de confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000495

Dirección: (505) 2278-1462 • Área Académica: 2270-5613 y 8866-6702 (M) • Atención al Cliente: 8496-8568 (C) y 8152-7314 (M)
Coordinación de Laboratorios: 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

Resultados PM10, NO₂ y O₃ estación de monitoreo UNI, 5 diciembre 2017



Universidad Nacional de Ingeniería
 Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
 Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
 Managua, Nicaragua



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-ACA-A-661

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN:		TELEFONO	
Proyecto de Investigación OPS		NR			
ATENCIÓN		CARGO		EMAIL	
Proyecto OPS, Calidad de aire en managua		Directora del PIENSA-UNI		larisa.korsak@piensa.uni.edu.ni	
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO		FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS		CADENA CUSTODIA	
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:			NUMERO DE MUESTRAS
06/12/2017	11/12/2017	20/12/2017	05/01/2018	3019	Uno (1)
Fecha y Hora de Muestreo		05/12/17; 8:09 am			
Muestreado por		Lic. Bayardo Bojorege S.			
Supervisor de Muestreo en Campo		NR			
Fuente		N/A			
Tipo de muestra		Aire			
Observaciones de Ubicación		Universidad Nacional de Ingeniería			
Coordenadas		NR			
Codificación PIENSA		LA-1712-0973			
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION MUESTRA 1	Rango o valor máximo permisible	
40 CFR 53 USEPA	Partículas menores de 10 micras (PM ₁₀)	µg/m ³	71.40	NTON 05012-02*	
Sensores	Dioxido de Nitrogeno (NO ₂)	ppm	0.070	150.0	
Sensores	Ozono (O ₃)	ppm	0.073	0.21	
				0.08/0.12	

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
 ND: No Detectable, NE= No especificado en la Norma, NS= No solicitado por el cliente, µg/m³= Microgramos por metro cúbico, ppm= Partes por millón
 NR: No Reportado. Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, Environmental Protection Agency.
 * Norma Técnica Obligatoria Nicaraguense 05012-02

Ph.D. Leandro Paramo
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio asegura los derechos de confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000496

Dirección: (505) 2278-1462 • Área Académica: 2270-5613 y 8866-6702 (M) • Atención al Cliente: 8496-8568 (C) y 8152-7314 (M)
 Coordinación de Laboratorios: 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

Resultados PM10, NO₂ y O₃ estación de monitoreo Bengoechea y CIGEO, 12 diciembre 2017



Universidad Nacional de Ingeniería
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
Managua, Nicaragua



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-ACA-A-662

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN:		TELÉFONO
Proyecto de Investigación OPS			NR		NR
Proyecto OPS, Calidad de aire en managua			CARGO: Directora del PIENSA-UNI	EMAIL: larisa.korsak@piensa.uni.edu.ni	CELULAR 8966-6020
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					CADENA CUSTODIA
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS		
14/12/2017	15/12/2017	20/12/2017	09/01/2018		3021
Fecha y Hora de Muestreo			12/12/17: 08:36 am	12/12/17: 08:01 am	Dos (2)
Muestreado por			Lic. Jhony Cabrera V.	Lic. Jhony Cabrera V.	Rango o valor máximo permisible
Supervisor de Muestreo en Campo			NR	NR	
Fuente			N/A	N/A	
Tipo de muestra			Aire	Aire	
Observaciones de Ubicación			Laboratorio Bengoechea	CIGEO-UNAN	
Coordenadas			NR	NR	
Codificación PIENSA			LA-1712-0978	LA-1712-0977	NTON 05012-02*
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		
			MUESTRA 1	MUESTRA 2	
40 CFR 53 USEPA	Partículas menores de 10 micras (PM ₁₀)	µg/m ³	15.25	79.48	150.0
Sensores	Dioxido de Nitrogeno (NO ₂)	ppm	0.062	0.058	0.21
Sensores	Ozono (O ₃)	ppm	0.096	0.110	0.08/0.12

ND: No Detectable, NE= No especificado en la Norma, NS= No solicitado por el cliente, µg/m³= Microgramos por metro cúbico, ppm= Partes por millón
NR: No Reportado. Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, Environmental Protection Agency.
* Norma Técnica Obligatoria Nicaraguense 05012-02

Ph.D. Leandro Parro
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio asegura los derechos de confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000497

Dirección: (505) 2278-1462 • Área Académica: 2270-5613 y 8966-6702 (M) • Atención al Cliente: 8496-8568 (C) y 8152-7314 (M)
Coordinación de Laboratorios: 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

Resultados PM10, NO₂ y O₃ estación de monitoreo UNI, 13 diciembre 2017



Universidad Nacional de Ingeniería
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
Managua, Nicaragua



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-ACA-A-663

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN:		TELEFONO
Proyecto de Investigación OPS			NR		NR
ATENCIÓN			CARGO	EMAIL	CELULAR
Proyecto OPS, Calidad de aire en managua			Directora del PIENSA-UNI	larisa.korsak@piensa.uni.edu.ni	8866-6020
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	CADENA CUSTODIA		
14/12/2017	15/12/2017	20/12/2017	09/01/2018		3021
Fecha y Hora de Muestreo			13/12/17; 8:03 am		
Muestreado por			Lic. Bayardo Bojorege S.		
Supervisor de Muestreo en Campo			NR		
Fuente			N/A		
Tipo de muestra			Aire		
Observaciones de Ubicación			Universidad Nacional de Ingeniería		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1712-0978		
METODO	ENSAYO REALIZADO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		Rango o valor máximo permisible
SM // EPA	PARAMETRO		MUESTRA 1		
40 CFR 53 USEPA	Partículas menores de 10 micras (PM ₁₀)	µg/m ³	58.69		
Sensores	Dioxido de Nitrogeno (NO ₂)	ppm	0.065		
Sensores	Ozono (O ₃)	ppm	0.064		150.0
					0.21
					0.08/0.12

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

ND: No Detectable. NE: No especificado en la Norma. NS= No solicitado por el cliente, µg/m³= Microgramos por metro cúbico, ppm= Partes por millón

NR: No Reportado. Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, Environmental Protection Agency.

* Norma Técnica Obligatoria Nicaraguense 05012-02



Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio asegura los derechos de confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000498

Dirección: (505) 2278-1462 • Área Académica: 2270-5613 y 8866-6702 (M) • Atención al Cliente: 8496-8568 (C) y 8152-7314 (M)
Coordinación de Laboratorios: 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

Resultados PM10, NO₂ y O₃ estación de monitoreo Bengoechea y CIGEO, 17 enero 2018



Universidad Nacional de Ingeniería
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
Managua, Nicaragua



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-ACA-A-664

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCION:		TELEFONO	
Proyecto de Investigación OPS		NR		NR	
		CARGO:	EMAIL:	CELULAR	
Proyecto OPS, Calidad de aire en managua		Directora del PIENSA-UNI	larisa.korsak@piensa.uni.edu.ni	8956-6020	
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:			NUMERO DE MUESTRAS
22/01/2018	25/01/2018	09/02/2018	12/02/2018	3036	
Fecha y hora de Muestreo		17/01/18; 08:45 am	17/01/18; 08:00 am	Dos (2)	
Muestreado por		Lic. Jhony Cabrera V.	Lic. Jhony Cabrera V.	Rango o valor máximo permisible	
Supervisor de Muestreo en Campo		NR	NR		
Fuente		N/A	N/A		
Tipo de muestra		Aire	Aire		
Observaciones de Ubicación		Laboratorio Bengoechea	CIGEO-UNAN		
Coordenadas		NR	NR	NTON 05012-02*	
Codificación PIENSA		LA-1801-0021	LA-1801-0022		
		VALOR DE CONCENTRACION			
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	MUESTRA 1	MUESTRA 2	
40 CFR 53 USEPA	Partículas menores de 10 micras (PM ₁₀)	µg/m ³	24.32	90.00	150.0
Sensores	Dioxido de Nitrogeno (NO ₂)	ppm	0.060	0.068	0.21
Sensores	Ozono (O ₃)	ppm	0.122	0.040	0.08/0.12

ND: No Detectable, NE= No especificado en la Norma, NS= No solicitado por el cliente, µg/m³= Microgramos por metro cúbico, ppm= Partes por millón
NR: No Reporta. Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, Environmental Protection Agency.

* Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 05012-02


 Ph.D. Leonor Parame
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados es de uso exclusivo del cliente, el laboratorio asegura los derechos de confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000596

Dirección: (505) 2278-1462 • Área Académica: 2270-5613 y 8866-6702 (M) • Atención al Cliente: 8496-6568 (C) y 8152-7314 (M)
Coordinación de Laboratorios: 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

Resultados PM10, NO₂ y O₃ estación de monitoreo UNI, 18 enero 2018



Universidad Nacional de Ingeniería
 Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
 Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
 Managua, Nicaragua



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-ACA-A-665

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN:		TELEFONO	
Proyecto de Investigación OPS		NR		NR	
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL	CELULAR	
Proyecto OPS, Calidad de aire en managua		Directora del PIENSA-UNI	larisa.korsak@piensa.uni.edu.ni	8966-6020	
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
22/01/2018	25/01/2018	09/02/2018	12/02/2018	3036	Uno (1)
Fecha y Hora de Muestreo		18/01/18; 7:50 am			
Muestreado por		Lic. Bayardo Bojorege S.			
Supervisor de Muestreo en Campo		NR			
Fuente		N/A			
Tipo de muestra		Aire			
Observaciones de Ubicación		Universidad Nacional de Ingeniería			
Coordenadas		NR			
Codificación PIENSA		LA-1801-0023			
METODO SM / EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION MUESTRA 1		NTON 05012-02*
40 CFR 53 USEPA	Partículas menores de 10 micras (PM ₁₀)	µg/m ³	99.14		150.0
Sensores	Dioxido de Nitrogeno (NO ₂)	ppm	0.074		0.21
Sensores	Ozono (O ₃)	ppm	0.129		0.08/0.12

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.

ND: No Detectable. NE= No especificado en la Norma. NS= No solicitado por el cliente, µg/m³= Microgramos por metro cúbico, ppm= Partes por millón

NR: No Reporta. Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, Environmental Protection Agency.

* Norma Técnica Obligatoria Nicaraguense 05012-02


 Ph.D. Leandro Parfano
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambiente PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio asegura los derechos de confidencialidad e imparcialidad del informe.

000059

Dirección: (505) 2278-1462 • Área Académica: 2270-5613 y 8866-6702 (M) • Atención al Cliente: 8496-8568 (C) y 8152-7314 (M)
 Coordinación de Laboratorios: 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

Resultados PM10, NO₂ y O₃ estación de monitoreo UNI, 23 enero 2018



Universidad Nacional de Ingeniería
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
Managua, Nicaragua



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-ACA-A-667

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN:		TELEFONO
Proyecto de Investigación OPS		NR		NR
ATENCIÓN		CARGO	EMAIL	CELULAR
Proyecto OPS, Calidad de aire en managua		Directora del PIENSA-UNI	larisa.korsak@piensa.uni.edu.ni	8966-6020
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	CADENA CUSTODIA	
29/01/2018	30/01/2018	09/02/2018	12/02/2018	
Fecha y Hora de Muestreo		23/01/18; 8:45 am		Rango o valor máximo permisible
Muestreado por		Lic. Bayardo Bojorege S.		
Supervisor de Muestreo en Campo		NR		
Fuente		N/A		
Tipo de muestra		Aire		
Observaciones de Ubicación		Universidad Nacional de Ingeniería		
Coordenadas		NR		
Codificación PIENSA		LA-1801-0045		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION MUESTRA 1	
40 CFR 53 USEPA	Partículas menores de 10 micras (PM ₁₀)	µg/m ³	61.16	
Sensores	Dioxido de Nitrogeno (NO ₂)	ppm	0.071	
Sensores	Ozono (O ₃)	ppm	0.095	
				Numero de Muestras
				Uno (1)
				NTON 05012-02*

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva.
 ND: No Detectable, NE: No especificado en la Norma, NS: No solicitado por el cliente, µg/m³: Microgramos por metro cúbico, ppm: Partes por millón
 NR: No Reportado. Métodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, Environmental Protection Agency.
 * Norma Técnica Obligatoria Nicaraguense 05012-02

(Firma manuscrita)
 PH.D. Leandro Palomo
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio asegura los derechos de confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000502

Dirección: (505) 2278-1462 • Área Académica: 2270-5613 y 8866-6702 (M) • Atención al Cliente: 8496-8568 (C) y 8152-7314 (M)
 Coordinación de Laboratorios: 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni

Resultados PM10, NO₂ y O₃ estación de monitoreo Bengoechea y CIGEO, 26 enero 2018



Universidad Nacional de Ingeniería
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo
Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios del Ambiente
Managua, Nicaragua



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-ACA-A-666

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN:		TELEFONO	
Proyecto de Investigación OPS		NR		NR	
CARGO:		EMAIL:		CELULAR	
Proyecto OPS, Calidad de aire en managua		Directora del PIENSA, UNI		larisa.korsak@piensa.uni.edu.ni 8866-6020	
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO			FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS		CADENA CUSTODIA
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:			NUMERO DE MUESTRAS
29/01/2018	30/01/2018	08/02/2018	12/02/2018	3044	Dos (2)
Fecha y Hora de Muestreo		26/01/18; 09:38 am		26/01/18; 09:05 am	
Muestreado por		Lic. Jhony Cabrera V.		Lic. Jhony Cabrera V.	
Supervisor de Muestreo en Campo		NR		NR	
Fuente		N/A		N/A	
Tipo de muestra		Aire		Aire	
Observaciones de Ubicación		Laboratorio Bengoechea		CIGEO-UNAN	
Coordenadas		NR		NR	
Codificación PIENSA		LA-1801-0043		LA-1801-0044	
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		NTON 05012-02*
			MUESTRA 1	MUESTRA 2	
40 CFR 53 USEPA	Partículas menores de 10 micras (PM ₁₀)	µg/m ³	20.70	72.96	150.0
Sensores	Dioxido de Nitrogeno (NO ₂)	ppm	0.067	0.067	0.21
Sensores	Ozono (O ₃)	ppm	0.109	0.074	0.08/0.12

ND: No Detectable. NE=No especificado en la Norma, NS= No solicitado por el cliente, µg/m³= Microgramos por metro cúbico, ppm= Partes por millón
NR: No Reporta. Metodos, Normas y/o Decreto empleados: SM = Standard Methods, Environmental Protection Agency.

* Norma Técnica Obligatoria Nicaraguense 05012-02

Ph.D. Leonardo Paraino
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaro que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio asegura los derechos de confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000591

Dirección: (505) 2278-1462 • Área Académica: 2270-5613 y 8866-6702 (M) • Atención al Cliente: 8496-8568 (C) y 8152-7314 (M)
Coordinación de Laboratorios: 8100-0421 (M) • e-mail: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni