

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE



**“MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE MUESTREOS
PASIVOS Y ACTIVOS EN LA CIUDAD DE TARIJA”**

Por: HEBERT ANGEL ALFARO JURADO

Trabajo dirigido presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO como requisito para optar el grado académico en licenciatura en Ingeniería En Medio Ambiente.

Gestión 2019

ENTRE RÍOS - BOLIVIA

VºBº

.....
(M.Sc. Ing. Herlan Baldiviezo B.)

DOCENTE GUÍA

.....
(M.Sc. Ing. Henry Esnor Valdez Huanca)

DECANO

**FACULTAD DE CIENCIAS
AGRÍCOLAS Y FORESTALES**

.....
(M.Sc. Ing. Juan Oscar Hiza Zúñiga)

VICEDECANO

**FACULTAD DE CIENCIAS
AGRÍCOLAS Y FORESTALES**

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

.....
(M.Sc. Ing. Luis Rolando Lafuente Retamozo)

.....
(Ing. Gonzalo Condori Vasquez)

.....
(Ph.D. Ing. Marco Antonio Guerrero Hiza)

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del (la) autor (a).

DEDICATORIA

Con el mayor agradecimiento y cariño por el sacrificio y apoyo incondicional a mis queridos padres Walter Alfaro y Adela Jurado que fueron mi refugio en todo momento y mi inspiración de vida, mi abuelita Juana Jurado que es mi ángel desde el cielo.

A mis tíos Francisco y Amado, tías Janeth y Nancy, que fueron un apoyo grande en mi vida y toda mi familia.

A mis amigos que supieron darme su apoyo de forma incondicional y ser la fuente de inspiración para conseguir mis metas.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a DIOS, por iluminarme, darme el privilegio y la bendición de seguir adelante.

El presente trabajo no hubiera llegado a su conclusión sin la colaboración de las personas e instituciones que me brindaron su apoyo; a quienes expreso todo mi agradecimiento.

Agradezco a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, a la Carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, Docentes y Compañeros, por haberme dado la oportunidad de concluir mi carrera satisfactoriamente.

A mi docente Guía Herlan Baldiviezo por su grande apoyo y demostrarme que nunca hay que rendirse.

Agradezco a la Unidad de Medio Ambiente del Gobierno Autónomo Municipal de Tarija por su apoyo mediante los profesionales; Dr. Yosimark P., Ing. Anavaleska J. e Ing. Daniel E. por su asesoría, predisposición y enseñanza.

NUNCA DESISTAS DE
UN SUEÑO. SOLO TRATA
DE VER LAS SEÑALES
QUE TE LLEVEN A ÉL.

PAULO COELHO

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	4
2.1. La importancia de medir la calidad del aire.....	4
2.2. Antecedentes de la creación del Red Mónica.....	5
2.3. Otros informes nacionales realizados.....	6
3. PRESENTACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DIRIGIDO.....	7
3.1. Presentación del Trabajo Dirigido.....	7
3.2. Justificación Del Trabajo Dirigido.....	7
4. CARACTERÍSTICAS Y OBJETIVOS DE LA INSTITUCIÓN DONDE SE REALIZÓ EL TRABAJO.....	9
4.1. Visión.....	9
4.2. Misión.....	10
4.3. Objetivo de la institución.....	10
4.4. Plan de la gente.....	10
5. OBJETIVOS DEL TRABAJO DIRIGIDO.....	12
5.1. Objetivo general.....	12
5.2. Objetivos específicos.....	12
CAPÍTULO I.....	13
REVISIÓN TEÓRICA.....	13
1.1. Marco Teórico.....	13
1.1.1. Contaminación atmosférica urbana.....	13
1.1.2. Contaminación producida por el tráfico.....	13
1.1.3. Fuentes de emisión de contaminantes.....	14

1.1.4. Red de Monitoreo de Calidad del Aire	14
1.1.5. Monitoreo de Calidad del Aire	14
1.1.6. Tipos de Redes de Monitoreo de Calidad del Aire	15
1.1.7. Estaciones meteorológicas	15
1.1.8. Contaminantes atmosféricos	16
1.2. Marco Legal.....	19
1.2.1 La ley de 1333.....	19
1.2.2. Reglamento En Materia De Contaminación Atmosférica	19
1.2.3. Normas bolivianas en cuanto a Calidad Del Aire.....	20
1.3 Marco Conceptual.....	21
1.3.1. Definiciones	21
CAPÍTULO II.....	25
MATERIALES Y MÉTODOS	25
2.1. Tipo de investigación.....	25
2.1.1. Analítica.....	25
2.1.2. Descriptiva	25
2.1.3. Propositiva	26
2.2. Técnicas de recolección de información.....	26
2.2.1. Análisis documental.....	26
2.2.2. Observación in situ científica.....	27
2.3. Descripción sistematizada del desarrollo del trabajo dirigido del monitoreo de los contaminantes (PM ₁₀ , NO ₂ y O ₃).....	28
2.3.1. Procedimiento metodológico	28
2.4. Materiales y equipos	33

2.5. Estructura metodológica.....	34
2.5.1. Fase De Gabinete	34
2.5.2. Fase de pre-campo	38
2.5.3. Fase de campo.....	43
2.5.4. Fase de Post-campo.....	48
CAPÍTULO III	60
RESULTADOS Y DISCUSIONES	60
3.1. Determinación de la concentración y el ICA del contaminante de PM ₁₀	60
3.1.1. Tabla de interpretación e Índice de calidad del aire	65
3.2. Comparación y análisis de los resultados con el Reglamento En Materia De Control y Contaminación Atmosférica y la NB 62011 de la gestión 2019.....	72
3.2.1. Interpretar la informacion sobre el riesgo por la exposicion de los contaminantes.	91
3.3. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y CONTROL (de acuerdo los resultados obtenidos para proponer a Red Mónica para implementar en el plan de calidad ambiental)	96
3.3.1. Identificacion de los cumplimientos de acuerdo al Manual Técnico para diseño de Redes de monitoreo de la calidad del aire.	96
3.3.2 Medidas de prevención	98
3.3.3. Medidas de control.....	103
CAPÍTULO IV	107
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	107
4.1. CONCLUSIONES.....	107
4.2. RECOMENDACIONES	109

BIBLIOGRAFÍA.....	110
-------------------	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Detalle de puntos de monitoreo de la calidad del aire, Tarija.....	29
Figura 2: Ubicación de sitios de monitoreo.....	30
Figura 3: Ubicación de los 6 puntos de monitoreo tomados en cuenta.....	32
Figura 4: Muestras de filtro en caja petri	40
Figura 5: Filtro previamente ambientado	42
Figura 6: Equipo instalado en el punto de monitoreo	44
Figura 7: Controles de funcionamiento del MiniVol TAS.....	45
Figura 8: Colocación de cabezal para exposición de muestra.....	47
Figura 9: Recolección de muestra	48
Figura 10: Interpretación de los valores que entrega el coeficiente de correlación de Pearson	58
Figura 11: Distribución del Índice de Contaminación Atmosférica (ICA) en relación al PM_{10} en las estaciones de monitoreo activo de Parque Bolívar (PB) y Plaza Sucre (PS) de la gestión 2013. El ICA se calcula con referencia al valor guía de la OMS.	67
Figura 12: Distribución del índice de contaminación atmosférica (ICA) en relación al PM_{10} en las estaciones de monitoreo activo de Parque Bolívar (PB) y Plaza Sucre (PS) de la gestión 2013. El ICA se calcula con referencia al límite establecido en la Ley N ^o 1333.	68
Figura 13: Distribución del Índice de Contaminación atmosférica (ICA) calculado y comparación en referencia al valor guía de la NB 62011 del contaminante PM_{10} en las dos estaciones de monitoreo activo - Parque Bolívar (PB) y Plaza Sucre (PS) en la Gestión 2019.	69
Figura 14: Distribución del Índice de Contaminación atmosférica (ICA) calculado en referencia al valor límite de la Ley 1333 del contaminante PM_{10} en las dos	

estaciones de monitoreo activo - Parque Bolívar (PB) y Plaza Sucre (PS) en la gestión 2019.	71
Figura 15: Resultados del Monitoreo del mes de Septiembre a Diciembre comparados con la Ley 1333 y NB 62011, en el punto de monitoreo del Parque Bolívar de la gestión 2019.....	74
Figura 16: Resultados del Monitoreo del mes de Septiembre a Diciembre comparados con la Ley 1333 y NB 62011, en el punto de monitoreo de la Plaza Sucre de la gestión 2019.....	76
Figura 17: Concentraciones de PM ₁₀ medidas en la estación de la Plaza Sucre y Parque Bolívar comparados con la Ley 1333 del anexo 1 y la NB 62011 en los meses de Septiembre a Diciembre del 2019	77
Figura 18: Gráfica de Dispersión del contaminante NO ₂ en función de los Meses de la gestión 2014 – Mercado Campesino	80
Figura 19: Gráfica de Dispersión del contaminante O ₃ en función de los Meses de la Gestión 2014 - Mercado Campesino.....	81
Figura 20: Gráfica de Dispersión del contaminante NO ₂ en función de los Meses de la Gestión 2014 – Daniel Campos.....	82
Figura 21: Gráfica de Dispersión del contaminante O ₃ en función de los Meses de la Gestión 2014 – Daniel Campos.....	83
Figura 22: Gráfica de Dispersión del contaminante NO ₂ en función de los Meses de la Gestión 2014 – Parque Bolivar.....	84
Figura 23: Gráfica de Dispersión del contaminante O ₃ en función de los Meses de la Gestión 2014 – Parque Bolivar	85
Figura 24: Gráfica de Dispersión del contaminante NO ₂ en función de los Meses de la Gestión 2014 – Ciudadela Universitaria.....	86
Figura 25: Gráfica de Dispersión del contaminante O ₃ en función de los Meses de la Gestión 2014 – Ciudadela Universitaria	87

Figura 26: Gráfica en columnas de la Correlación Lineal en cada punto de monitoreo de ambos contaminantes NO ₂ y O ₃	89
Figura 27: Gráfica de diferencias de la Correlación Lineal en cada punto de monitoreo de ambos contaminantes NO ₂ y O ₃	90
Figura 28: Sistema respiratorio y tamaños de material particulado	92
Figura 29: Ubicación de unidades industriales de clasificación “categoría 4” en la ciudad de Tarija.....	107
Figura 30: Ubicación de unidades industriales de clasificación “categoría 4” en la parte norte de la ciudad de Tarija.....	107
Figura 31: Ubicación de unidades industriales de clasificación “categoría 4” en la parte media de la ciudad de Tarija	108
Figura 32: Ubicación de unidades industriales de clasificación “categoría 4” en la partes distanciadas hacia el sur de la ciudad de Tarija.....	109
Figura 33: Ubicación de unidades industriales de clasificación “categoría 2 y 3” en la ciudad de Tarija.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de Filtros y Recomendaciones de Uso.	39
Tabla 2: Codificación de muestras.	41
Tabla 3: Límites Máximos de contaminantes atmosféricos (utilizados para la determinación del Índice de Contaminación Atmosférica).....	54
Tabla 4: Límites Permisibles de calidad del aire de la Ley 1333 de medio ambiente - Reglamento de control y contaminación atmosférica.	55
Tabla 5: Tabla Índice de contaminación atmosférica (ICA).	56
Tabla 6: Valores de índice de contaminación atmosférica ICA en referencia al valor guía de la OMS de la gestión 2019.	62
Tabla 7: Valores de Índice de Contaminación Atmosférica ICA en referencia al límite establecido en la Ley N°1333 de la gestión 2019.....	64
Tabla 8: Valores rango de ICA y sus acciones recomendadas.....	66
Tabla 9: Comparación en concentraciones de PM10 del monitoreo comprendido del mes de Septiembre a Diciembre de los dos puntos de monitoreo (PB) y (PS) gestión 2019.	73
Tabla 10: Comparación de correlación de Pearson de puntos de monitoreo en ambos contaminantes atmosféricos NO ₂ y O ₃	88
Tabla 11: Identificación de los cumplimientos de acuerdo al Manual Técnico para diseño de Redes de monitoreo de la calidad del aire referente a la ubicación e instalación de sitios de monitoreo.	96

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Elaboración de registro de datos con ejemplar de manual (TAS)	112
Anexo 2 : Elaboración de planillas de pesaje de filtros	113
Anexo 3: Listado de industrias que emiten contaminantes atmosféricos de gestiones 2017 sistematizadas según su categoría.	114
Anexo 4: Listado de industrias que emiten contaminantes atmosféricos de la gestión 2018 y 2019 sistematizadas según su categoría.....	118
Anexo 5: Guía rápida de procedimiento de muestreo con impactador – TAS.....	121
Anexo 6: Fórmula de Cálculo de Concentraciones	123
Anexo 7: Datos de las Planillas de Pesaje de Filtros de muestreo	125
Anexo 8 : Datos de las Planillas de Campo de Monitoreo – toma de datos equipo TAS	126
Anexo 9 : Datos de los parámetros del instrumento de medición de presión (manómetro).....	127
Anexo 10: Datos de los parámetros de los equipos TAS (Tactical air sampler)..	128
Anexo 11: datos meteorológicos obtenidos mediante el SENAMHI.....	130
Anexo 12: Planillas de Microsoft Excel-Concentraciones punto de muestreo “Parque Bolívar”	133
Anexo 13: Planillas de Microsoft Excel-Concentraciones punto de muestreo “Plaza Sucre”	134
Anexo 14: Tablas representadas por puntos de monitoreo de ambos contaminantes en frecuencia de los meses	135
Anexo 15: Tabla t de Student para sacar t “tabulada” para poder determinar el estadístico de prueba.	139
Anexo 16: Fotografías	140

Símbolos y Abreviaturas

PM₁₀: Material particulado menor a 10 micrómetros.

O₃: Ozono.

NO₂: Dióxido de nitrógeno.

EPA: Agencia de Protección Ambiental.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

RMCA: Reglamento en Materia de Control y Contaminación Atmosférica.

Red MoniCA: Red de Monitoreo de la Calidad del Aire.

IBNORCA: Instituto Boliviano de Normalización y Calidad.

TAS: Tactical air Sampler (Muestreador de aire táctico)

ICA: Índice de Calidad del aire (I_q)

VLP: Valor Limite Permisible.

Ctte.: Constante.

mmHg.: milímetros de mercurio.

hrs.: horas.