



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

DETECCIÓN DE MICROPLÁSTICOS Y METALES PESADOS (CD, CR, HG, PB)
PRESENTES EN LA LLUVIA DE LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE CUENCA

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero Ambiental

AUTORES: ANDRÉS MARTIN ARMIJOS ORELLANA
JORGE ALBERTO CASTILLO CASTRO

TUTOR: ING. PABLO WILSON ARÉVALO MOSCOSO, Ph.D.

Cuenca - Ecuador
2022

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Andrés Martín Armijos Orellana con documento de identificación N° 0105886584 y Jorge Alberto Castillo Castro con documento de identificación N° 0302655964; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 27 de julio del 2022

Atentamente,



Andrés Martín Armijos Orellana

0105886584



Jorge Alberto Castillo Castro

0302655964

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Andrés Martín Armijos Orellana con documento de identificación N° 0105886584 y Jorge Alberto Castillo Castro con documento de identificación N° 0302655964, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo Experimental: “Detección de microplásticos y metales pesados (Cd, Cr, Hg y Pb) presentes en la lluvia de la zona urbana de la ciudad de Cuenca”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 27 de julio del 2022

Atentamente,



Andrés Martín Armijos Orellana

0105886584



Jorge Alberto Castillo Castro

0302655964

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Pablo Wilson Arévalo Moscoso con documento de identificación N° 0102156957, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DETECCIÓN DE MICROPLÁSTICOS Y METALES PESADOS (CD, CR, HG, PB) PRESENTES EN LA LLUVIA DE LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE CUENCA, realizado por Andrés Martín Armijos Orellana con documento de identificación N° 0105886584 y por Jorge Alberto Castillo Castro con documento de identificación N° 03026655964, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 27 de julio del 2022

Atentamente,



Ing. Pablo Wilson Arévalo Moscoso, Ph.D.

0101813251

AGRADECIMIENTO

Una persona fundamental y digna de agradecer es Dios, a él le debo todos y cada uno de mis logros alcanzados y por alcanzar; su guía, protección, fortaleza y sabiduría, me han convertido en un excelente profesional y a pesar de todos los eslabones superpuestos, gracias a él, lo supere y me siento exitoso de ser la persona que soy, gracias Dios, por haberme puesto en este camino y por haberme llevado a la victoria, sin ti nada de esto hubiese sido posible.

Quiero agradecer a mis padres, Manrique y Sonia, que siempre estuvieron para un consejo y me apoyaron en cada una de mis experiencias, siempre recordare sus palabras “todo lo que te propongas puedes lograrlo con esfuerzo y dedicación”.

Quiero agradecer a cada una de las personas que colaboraron en la realización de este proyecto de grado, a los profesores de la carrera de Ingeniería Ambiental, al Ing. Marlon y a la Ing. Sandy, por su colaboración y paciencia en el laboratorio. A la Lcda. Nancy Chumbay, por la ayuda brindada en las renovaciones de mi beca y al departamento de bienestar estudiantil. Y a mi compañero y amigo de tesis, que siempre estuvo para apoyarme en todo el recorrido.

Finalmente, pero no menos importante, quiero agradecerme a mí mismo, porque a pesar de tantos momentos de decepción, tristeza y miedo, jamás me rendí y hoy por hoy soy lo soy. Gracias Andrés.

Andrés Martin Armijos Orellana

DEDICATORIA

Este proyecto de grado, va dirigida para todas aquellas personas que me brindaron su ayuda y apoyo en el transcurso de toda la carrera universitaria, especialmente a los profesores de la carrera de Ingeniería

Ambiental, ya que sin sus exigencias no hubiese sido posible alcanzar este logro.

A mis papas; Manrique y Sonia, a mi hermana Elisa y a mi pequeño sobrino Mateo, que me acompañaron en este camino lleno de risas y alegrías.

Andrés Martin Armijos Orellana

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: Alberto y María, por todo su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, pero sobre todo gracias infinitas por confiar, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

No tengo palabras para agradecerles las incontables veces que me brindaron su apoyo en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida, unas buenas, otras malas. Gracias a sus esfuerzos y dedicación he logrado culminar mi carrera universitaria. Ya que, me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.

Así mismo, agradezco infinitamente a mis hermanos Efraín, Rolando, Patricia y Roberto por creer en mí, por estar siempre presentes y por sus palabras que me hacían sentir orgulloso de lo que soy. Pero sobre todo gracias, por el apoyo moral y económico que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A mi gran amigo de la Universidad y compañero de tesis, a quien estimo tanto, gracias por la paciencia, apoyo emocional y por brindarme tu amistad.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Marlon Loayza y a la Ing. Sandy Gavilanes que de una u otra manera me brindaron su colaboración y se involucraron en este proyecto, de manera especial, al Dr. Pablo Arévalo Moscoso asesor de tesis quien, con su dirección, conocimiento y enseñanza permitió el desarrollo de este trabajo.

Jorge Alberto Castillo Castro

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada principalmente a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres Alberto y María quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos Efraín, Rolando, Patricia y Roberto por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Jorge Alberto Castillo Castro

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO UNO	21
INTRODUCCIÓN.....	23
1.1. Delimitación de la Investigación	27
1.1.1. Delimitación Geográfica o Espacial de la Investigación	27
1.1.2. Delimitación Temporal de la Investigación.....	27
1.1.3. Delimitación Sectorial e Institucional	27
1.2. Explicación del Problema	30
1.2.1. Pregunta de Investigación.....	30
1.3. Objetivos.....	30
1.3.1. Objetivo General	30
1.3.2. Objetivos Específicos.....	30
1.4. Hipótesis de Investigación	31
CAPÍTULO DOS	31
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	32
2.1. La Atmósfera Terrestre	32
2.1.1. Troposfera.....	32
2.2. Aspectos Generales de la Contaminación Atmosférica	33
2.2.1. Definición de Contaminación Atmosférica	33
2.2.2. Origen de los Contaminantes Atmosféricos	33
2.2.3. El Comportamiento y Destino de los Contaminantes Atmosféricos.....	35
2.3. El Ciclo Hidrológico.....	38
2.3.1. Precipitación.....	38
2.4. Lluvia.....	38

2.5. Precipitaciones Atmosféricas.....	39
2.6. Características químicas de las precipitaciones atmosféricas	39
2.7. Metales Pesados	40
2.7.1. Generalidades de los Metales Pesados	41
2.7.2. Características Fisicoquímicas de los Metales y Metaloides	41
2.7.3. Clasificación de los Metales	42
2.7.4. Origen de Emisión de los Metales Pesados	44
2.7.5. Contaminación de los Metales Pesados	46
2.7.6. Plomo.....	48
2.7.7. Mercurio.....	50
2.7.8. Cadmio.....	51
2.7.9. Cromo.....	53
2.8. Plástico.....	54
2.9. Macroplásticos.....	55
2.10. Microplásticos.....	55
2.10.1. Efectos de los Microplásticos en el Medio Ambiente.....	56
2.10.2. Efectos del Microplástico en la Salud	57
2.10.3. Métodos de Extracción para Microplásticos.....	58
2.11. Preparación de Analitos para un Análisis Químico	59
2.11.1. Microfiltración	60
2.11.2. Características del Medio Filtrante Empleado en la Experimentación.....	62
2.12. Técnicas Analíticas para Detección e Identificación de Microplásticos y Metales Pesados.....	63
2.12.1. Métodos de Detección de Microplásticos	63
2.12.2. Métodos de Detección de Metales Pesados.....	64

2.13. Marco Conceptual.....	68
2.13.1. Polución.....	68
2.13.2. Partículas Suspensas Totales.....	68
2.13.3. Trazas.....	69
2.13.4. Métodos Analíticos	69
2.13.5. Separación de Fases.....	69
2.13.6. Filtración.....	69
2.13.7. Celulosa.....	69
2.13.8. Polímeros.....	70
2.13.9. Fluorescencia.....	70
2.13.10. Luz de Malla	70
2.13.11. Disolución.....	70
2.13.12. Concentración	70
2.13.13. Evaporación.....	70
2.13.14. Curva de Calibración	71
2.13.15. Estándar.....	71
2.13.16. Solución Patrón	71
2.14. Estado del Arte.....	71
CAPÍTULO TRES.....	77
MÉTODOS Y MATERIALES	77
3.1. Metodología de Investigación.....	77
3.1.1. Nivel de investigación	77
3.1.2. Diseño de Investigación	78
3.1.3. Población y Muestra	78

3.1.4. Operacionalización de Variables.....	79
3.1.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	80
3.1.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.....	80
3.2. Metodología de Ubicación de Puntos de Muestreo	81
3.2.1. Colocación de los Puntos de Muestreo	81
3.2.2. Criterios para la Localización de los Puntos de Muestreo	86
3.2.3. Procesamiento de Información de la Distribución de Partículas Suspensas Totales.....	94
3.2.4. Uso del Suelo en los Puntos de Muestreo	96
3.2.5. Muestreo.....	96
3.3. Procedimiento de Análisis de Microplásticos	99
3.3.1. Materiales.....	99
3.3.2. Preparación de la Muestra.....	100
3.3.3. Digestión.....	100
3.3.4. Microfiltración al Vacío	101
3.3.5. Observación, Cuantificación y Medición en el Microscopio Invertido	101
3.3.6. Caracterización del Microplástico Mediante Espectroscopia por Transformada de Fourier	101
3.4. Procedimiento de Análisis de Metales Pesados	101
3.4.1. Materiales.....	101
3.4.2. Preparación de la Muestra.....	102
3.4.3. Preparación de las Curvas de Calibración	103
3.4.4. Modelamiento del Método de Análisis de Metales Pesados en el Software Qtegra	104
3.4.5. Análisis de Metales Pesados Cd, Cr, Hg y Pb.....	105
CAPÍTULO CUATRO	106
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	106

4.1. Puntos Temporales para Toma de Muestras	106
4.2. Análisis y Resultados de pH.....	110
4.3. Análisis y Discusión de Resultados de Microplásticos	111
4.3.1. Cuantificación de Partículas de Microplástico	111
4.3.2. Determinación del Tamaño de Partículas de Microplástico	122
4.3.3. Caracterización del Tipo de Polímeros en Microplásticos	129
4.4. Parámetros de Contaminación de Microplásticos para la Zona Urbana de la Ciudad de Cuenca.....	132
4.5. Análisis y Discusión de Resultados de Metales Pesados Cd, Cr, Hg y Pb	133
4.5.1. Análisis Estadístico de las Concentraciones de Cr, Cd, Hg y Pb	143
4.6. Parámetros de Contaminación de Metales Pesados Cd, Cr, Hg y Pb.....	149
CAPÍTULO CINCO	151
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	151
5.1. Conclusiones Microplástico	151
5.2. Conclusiones Metales Pesados	152
5.3. Recomendaciones Microplástico	153
5.4. Recomendaciones Metales Pesados.....	153
BIBLIOGRAFÍA.....	155
ANEXOS.....	170

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Metales pesados más comunes en la contaminación del aire.....	41
Tabla 2 Volumen de la muestra a filtrar en función del diámetro	60
Tabla 3 Características de los filtros de nitrato de celulosa	62
Tabla 4 Matriz de operacionalización de variables.....	79

Tabla 5 Volumen de vehículos en el centro histórico de Cuenca	84
Tabla 6 Tráfico promedio diario anual 2015.....	84
Tabla 7 Caracterización del viento promedio tomados a 10 metros en el periodo 2015 – 2018	85
Tabla 8 Concentración media anual de Ps, PM ₁₀ y PM _{2,5}	88
Tabla 9 Uso del suelo en los puntos de muestreo	96
Tabla 10 Descripción de los materiales, reactivos y equipos utilizados en el análisis de microplásticos ..	99
Tabla 11 Descripción de los materiales, reactivos y equipo empleados en el procedimiento de detección de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb.....	102
Tabla 12 Rango de concentraciones de metales pesados para el diseño de la curva de calibración	103
Tabla 13 Ubicación de los puntos de muestreo en la zona urbana de la ciudad de Cuenca.....	107
Tabla 14 Mediciones de pH de las precipitaciones pluviales en la zona urbana de la ciudad de Cuenca	110
Tabla 15 Cuantificación de partículas plásticas en la zona urbana de la ciudad de Cuenca	114
Tabla 16 Cuantificación de partículas de microplástico mediante el software “ImageJ Fiji”	115
Tabla 17 Análisis de varianza de la cuantificación de microplásticos en los puntos de muestreo	118
Tabla 18 Comportamiento estadístico de los valores de cuantificación de microplástico por punto de monitoreo mediante el método de Tukey.....	119
Tabla 19 Distribución de tamaño de microplásticos; fibras y fragmentos, en 500 ml de muestra de precipitación pluvial.....	125
Tabla 20 Caracterización de polímeros encontrados en las muestras de precipitación pluvial.....	131
Tabla 21 Parámetros de contaminación de microplásticos para las precipitaciones pluviales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca.....	133
Tabla 22 Límites de detección de Cd, Cr, Hg y Pb del equipo ICP OES	133
Tabla 23 Valores de concentración de metales pesados, en alícuotas concentradas	134

Tabla 24 Concentración promedio de Cd, Cr, Hg y Pb en muestras en la precipitación pluvial de la zona urbana de la ciudad de Cuenca.....	135
Tabla 25 Análisis de varianza de la concentración de metales pesados Cr, Cd, Hg y Pb.....	144
Tabla 26 Parámetros de concentración de metales pesados en las precipitaciones pluviales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca.....	149
Tabla 27 Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 1 MAE.....	178
Tabla 28 Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 2 IPI	179
Tabla 29 Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 3 IAC.....	179
Tabla 30 Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 4 AAC	180
Tabla 31 Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 5 CSC	181
Tabla 32 Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 6 UCCY	181
Tabla 33 Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 7 ELC	182
Tabla 34 Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 8 PDL.....	182
Tabla 35 Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 9 DTC.....	183
Tabla 36 Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 10 BRY.....	183
Tabla 37 Comportamiento estadístico de los valores de concentración de metales pesados Cr, Cd, Hg y Pb por punto de monitoreo mediante el método de Tukey.....	252

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Delimitación geográfica del área de estudio, Zona Urbana de la ciudad de Cuenca – Ecuador. .	29
Figura 2 Deposición húmeda de contaminantes	37
Figura 3 Categorización de los componentes químicos de la tabla periódica según: a) los orbitales ocupados por los electrones más externos (Bloques s, d, p, f); b) su dureza (Tipos A, B y Frontera)	43
Figura 4 Distribución espacial de partículas sedimentables Ps	91

Figura 5 Distribución espacial de material particulado PM ₁₀	92
Figura 6 Distribución espacial de material particulado PM _{2,5}	93
Figura 7 Distribución espacial de contaminantes Ps, PM ₁₀ y PM _{2,5} , media anual	95
Figura 8 Ubicación de los puntos de muestreo en la zona urbana de ciudad de Cuenca	109
Figura 9 Concentración promedio de partículas de microplástico.....	113
Figura 10 Diagrama de cajas y bigotes de la distribución de partículas microplásticas.....	122
Figura 11 Fibra microplástico, observado mediante microscopia de fluorescencia, con enfoque de 10x aumentos	123
Figura 12 Fragmento microplástico, observado mediante microscopia de fluorescencia, con enfoque de 10x aumentos.....	124
Figura 13 Distribución espacial de la concentración promedio de cromo total Cr (ppb).....	138
Figura 14 Distribución espacial de la concentración promedio de cadmio Cd (ppb)	140
Figura 15 Distribución espacial de la concentración de plomo Pb (ppb)	142
Figura 16 Distribución de la concentración promedio de Pb por punto de muestreo (ppb)	146
Figura 17 Distribución de la concentración promedio de Cr por punto de muestreo (ppb).....	147
Figura 18 Concentraciones promedio de metales pesados Cr, Cd, Hg y Pb en precipitaciones pluviales en la zona urbana de la ciudad de Cuenca	148
Figura 19 Colocación de los muestreadores, punto de muestreo AAC.....	170
Figura 20 Medición in situ de pH, punto de muestreo DTC	171
Figura 21 Calibración del equipo PH METRO PORTATIL PT70 BOECO, pH buffer US (4,01, 7,00, 10,01) .	171
Figura 22 Etiquetado y almacenamiento de muestras para detección de microplásticos.....	172
Figura 23 Preparación de muestras, prefiltración por gravedad, filtro de 500 μm	172
Figura 24 Digestión oxidativa con peróxido de hidrógeno al 30%	173
Figura 25 Uso de la cámara de extracción para la digestión oxidativa.....	173

Figura 26 Microfiltración al vacío de muestras digestadas	174
Figura 27 Secado de los filtros a temperatura ambiente	174
Figura 28 Concentración de muestras a 100 °C durante 8h.....	175
Figura 29 Preparación de las curvas de calibración a través de la adición de estándares externos	176
Figura 30 Análisis de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb por espectroscopia de emisión atómica ICP OES177	
Figura 31 Corridas de las muestras para el análisis de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb por espectroscopia de emisión atómica ICP OES	178
Figura 32 Software “ImageJ Fiji”	184
Figura 33 Software “ImageJ Fiji”	185
Figura 34 Software “ImageJ Fiji”	186
Figura 35 Software “ImageJ Fiji”	187
Figura 36 Software “ImageJ Fiji”	187
Figura 37 Software “ImageJ Fiji”	188
Figura 38 Software “ImageJ Fiji”	189
Figura 39 Software “ImageJ Fiji”	190
Figura 40 Software “ImageJ Fiji”	190
Figura 41 Software “ImageJ Fiji”	192
Figura 42 Software “ImageJ Fiji”	193
Figura 43 Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 10 BRY.....	194
Figura 44 Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 9 DTC	195
Figura 45 Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 8 PDL.....	196
Figura 46 Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 7 ELC	197
Figura 47 Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 6 UCCY	198
Figura 48 Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 5 CSC.....	199

Figura 49 Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 4 AAC	200
Figura 50 Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 3 IAC	201
Figura 51 Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 2 IPI	202
Figura 52 Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 1 MAE	203
Figura 53 Espectro IR FTIR MAE	204
Figura 54 Espectro IR FTIR MAE	205
Figura 55 Espectro IR FTIR MAE	206
Figura 56 Espectro IR FTIR MAE	207
Figura 57 Espectro IR FTIR MAE	208
Figura 58 Espectro IR FTIR IAC	209
Figura 59 Espectro IR FTIR IAC	210
Figura 60 Espectro IR FTIR IAC	211
Figura 61 Espectro IR FTIR IAC	212
Figura 62 Espectro IR FTIR IAC	213
Figura 63 Espectro IR FTIR IAC	214
Figura 64 Espectro IR FTIR AAC	215
Figura 65 Espectro IR FTIR AAC	216
Figura 66 Espectro IR FTIR AAC	217
Figura 67 Espectro IR FTIR AAC	218
Figura 68 Espectro IR FTIR CSC	219
Figura 69 Espectro IR FTIR CSC	220
Figura 70 Espectro IR FTIR CSC	221
Figura 71 Espectro IR FTIR CSC	222
Figura 72 Espectro IR FTIR CSC	223

Figura 73 Espectro IR FTIR CSC	224
Figura 74 Espectro IR FTIR CSC	225
Figura 75 Espectro IR FTIR UCCY.....	226
Figura 76 Espectro IR FTIR UCCY.....	227
Figura 77 Espectro IR FTIR UCCY.....	228
Figura 78 Espectro IR FTIR UCCY.....	229
Figura 79 Espectro IR FTIR ELC.....	230
Figura 80 Espectro IR FTIR PDL	231
Figura 81 Espectro IR FTIR PDL	232
Figura 82 Espectro IR FTIR PDL	233
Figura 83 Espectro IR FTIR PDL	234
Figura 84 Espectro IR FTIR DTC.....	235
Figura 85 Espectro IR FTIR DTC.....	236
Figura 86 Espectro IR FTIR DTC.....	237
Figura 87 Espectro IR FTIR DTC.....	238
Figura 88 Espectro IR FTIR DTC.....	239
Figura 89 Espectro IR FTIR DTC.....	240
Figura 90 Espectro IR FTIR DTC.....	241
Figura 91 Espectro IR FTIR DTC.....	242
Figura 92 Espectro IR FTIR DTC.....	243
Figura 93 Espectro IR FTIR DTC.....	244
Figura 94 Espectro IR FTIR DTC.....	245
Figura 95 Espectro IR FTIR DTC.....	246
Figura 96 Espectro IR FTIR DTC.....	247

Figura 97 Espectro IR FTIR BRY	248
Figura 98 Espectro IR FTRI BRY	249
Figura 99 Espectro IR FTIR BRY	250
Figura 100 Espectro IR FTIR BRY	251
Figura 101 Espectro IR FTIR BRY	252
Figura 102 Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, punto de monitoreo MAE ...	259
Figura 103 Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y P, punto de monitoreo IPI	259
Figura 104 Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, punto de monitoreo IAC.....	260
Figura 105 Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, punto de monitoreo AAC	260
Figura 106 Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, punto de monitoreo CSC.....	261
Figura 107 Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, punto de monitoreo UCCY ..	262
Figura 108 Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, punto de monitoreo ELC	263
Figura 109 Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, punto de monitoreo PDL.....	264
Figura 110 Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, punto de monitoreo DTC	265
Figura 111 Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, punto de monitoreo BRY.....	266

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Preparación de disoluciones químicas	104
Ecuación 2 Distribución de tamaño de fibras microplásticas	125
Ecuación 3 Distribución de tamaño de fragmentos según Feret.....	125

RESUMEN

Los contaminantes emergentes se presentan como posibles factores de modificación y alteración del equilibrio de las matrices ambientales. El desarrollo del proyecto se fundamentó en la detección de microplástico y metales pesados como el Cd, Cr, Hg y Pb, a través, de técnicas analíticas de laboratorio; microscopia con fluorescencia, espectroscopia infrarroja y espectroscopia de emisión atómica, presentes en la lluvia dentro de la zona urbana y periurbana de la ciudad de Cuenca.

Se establecieron puntos temporales de muestreo, a través, del geoprocesamiento de datos de partículas totales suspendidas (PST), a partir del informe de calidad de aire Cuenca 2020, con el fin de ampliar la visión sobre los sitios de mayor concentración de contaminantes. Se desarrolló el muestreo durante 8 semanas, las muestras se analizaron en el laboratorio empleando metodologías basadas en el objeto de estudio. Las cuales facilita en gran medida la obtención de resultados confiables, evitando errores sistemáticos.

Los resultados nos demuestran que las precipitaciones pluviales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca, si existen contaminantes emergentes como el microplástico y metales pesados; el microplástico se encuentran con una concentración promedio de 86,3 partículas en 500 ml de muestra, sin embargo, la zona norte de ciudad de Cuenca presenta un promedio de 186 partículas en 500 ml de muestra, lo cual es congruente con las actividades de producción de la zona, por otra parte, la concentración de metales pesados como el Cd y el Hg no se detectaron, debido a que, sus concentraciones se encuentran fuera del rango de detección del equipo y técnica empleada, sin embargo, el Cr y Pb se encuentran en concentraciones de 0,38 ppb y 0,47 ppb respectivamente, a pesar de ello, sus concentraciones están muy por debajo de los límites de calidad en lluvia regidos por la OMS y USEPA. Esta investigación supone una visión de la composición química de la lluvia en la zona urbana de la ciudad de Cuenca, el aprovechamiento está sujeto a discusión, debido a que, aún se desarrollan investigaciones sobre los efectos del consumo de agua lluvia ligado a los contaminantes emergentes.

PALABRAS CLAVES: Microplástico, metales pesados, espectroscopia, fluorescencia.

ABSTRACT

Emerging contaminants are presented as possible factors for modifying and altering the balance of environmental matrices. The development of the project was based on the detection of microplastics and heavy metals such as Cd, Cr, Hg and Pb, through laboratory analytical techniques; fluorescence microscopy, infrared spectroscopy and atomic emission spectroscopy, present in the rain within the urban and peri-urban area of the city of Cuenca. Temporary sampling points were established through the geoprocessing of total suspended particle (PST) data, based on the Cuenca 2020 air quality report, in order to broaden the vision of the sites with the highest concentration of pollutants. Sampling was developed for 8 weeks, the samples were analyzed in the laboratory using methodologies based on the object of study. Which greatly facilitates obtaining reliable results, avoiding systematic errors. The results show us that the rainfall in the urban area of the city of Cuenca, if there are emerging contaminants such as microplastics and heavy metals; microplastics are found with an average concentration of 86.3 particles in 500 ml of sample, however, the northern area of the city of Cuenca has an average of 186 particles in 500 ml of sample, which is consistent with production activities of the area, on the other hand, the concentration of heavy metals such as Cd and Hg were not detected, because their concentrations are outside the detection range of the equipment and technique used, however, Cr and Pb were found in concentrations of 0.38 ppb and 0.47 ppb, respectively, despite this, their concentrations are well below the quality limits for rainfall governed by the WHO and USEPA. This research assumes a vision of the chemical composition of rain in the urban area of the city of Cuenca, the use is subject to discussion, because research is still being carried out on the effects of rainwater consumption linked to emerging pollutants.

KEYWORDS: Microplastics, heavy metals, spectroscopy, fluorescence

CAPÍTULO UNO

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la contaminación se ha desarrollado en una problemática difícil de combatir, ya que va incrementándose a un ritmo preocupante, debido a la liberación de contaminantes a la atmósfera terrestre, lo que ha ocasionado un grave problema de contaminación ambiental (Beltrán & Gómez, 2015). Por consiguiente, para garantizar el bienestar de la población, es importante conocer los valores de concentración de contaminantes del aire en la ciudad, la lluvia cumple la función de limpiar la atmósfera, ya que mediante esta manera elimina cualquier compuesto por medio de reacciones químicas, que haya sido liberado a la atmósfera por las emisiones de fuentes antrópicas y naturales (Flores & Bonilla, 2010; Velázquez Ocampo, 2018).

Existen varios lugares que desconoce las circunstancias en las que se encuentra el agua de lluvia, debido a que no han sido estudiadas a profundidad (Ramírez Arcila & Ospina Zúñiga, 2014). El agua de lluvia es un factor en la distribución de contaminantes, debido a que, estamos rodeados de contaminación, las fuentes de agua, el aire ambiente, el suelo donde cultivamos, la contaminación es inminente (Espinoza Molina & Palacios Espinoza, 2014). La lluvia actúa como un reservorio de componentes en forma de gases y partículas, incluidos metales y microplásticos en la atmósfera. La presencia de estas sustancias genera serias preocupaciones debido a sus propiedades toxicológicas y cancerígenas y su excelente capacidad de permanencia y persistencia en el medio ambiente (Velázquez Ocampo, 2018).

En el Ecuador, la minería ilegal y artesanal ha provocado un gran aumento de los desechos, los cuales representan una principio condicional de contaminación por metales pesados, las mismas que contribuyen a la contaminación de las diferentes matrices ambientales; suelo aire y agua, por ejemplo, en los cantones de Zaruma y Portovelo de la provincia de el Oro, representan graves consecuencias para la salud de sus habitantes (Oviedo Anchundia et al., 2017).

Otro ejemplo claro tenemos la presencia de metales pesados en el agua lluvia, según Torres et al. (2011), así lo demuestra en su estudio, donde evaluaron la calidad del agua de lluvia para uso y extracción en las zonas periurbanas de Bogotá, los resultados obtenidos muestran que, a pesar que en la actualidad el agua de lluvia de escorrentía sobre los tejados es aprovechado en una serie de usos domésticos en las zonas periurbanas de Bogotá, no es apto para ninguno de ellos, principalmente por el alto valor de turbidez, la concentración de sólidos suspendido totales (SST) y metales de alto peso. Estudios posteriores sobre la misma temática de Duarte Castrillon (2014), sus resultados mostraron que, no se detectaron concentraciones significativas de Cd, Hg, Ni, Pb, sin embargo, según Doria Argumedo (2017), en su estudio realizado en la Universidad Nacional de Colombia, sus resultados confirman una alta concentración de Cd debido a diversas actividades antrópicas; quema de combustibles fósiles, crudo de petróleo, gas oil y diésel, el tráfico vehicular contribuye a la presencia de estos contaminantes en la atmósfera.

Mientras con el plástico, según un estudio realizado por Brahney et al. (2020), establece que las micropartículas de plástico son tan pequeñas que se resuspenden con el vapor de agua, las mismas que alcanzan a llegar hasta la atmósfera, por movimiento de las masas de aire, para formar nubes, incorporándose así al ciclo hidrológico. Finalmente, las nubes precipitarán la lluvia, durante el evento, las gotas de lluvia generan un arrastre de las partículas de plástico, se depositarán y caerán en cada gota de lluvia.

En efecto, los microplásticos han creado muchas afecciones y se distribuye por todo nuestro ecosistema y especialmente en los medios acuáticos, entrando en la cadena trófica a través de la ingesta directa, algunos de ellos se detallan.

En Laguna de Catemaco, Veracruz, se demostró la presencia de microplásticos en el sedimento, agua y tracto digestivo de tilapia. En el primer análisis, se observaron 122 microplásticos en los sedimentos, 247 microplásticos en el agua y se cuantifico un total de 39 partículas en el tracto gastrointestinal de 6 especímenes. Mientras que en la segunda muestra se observaron 132 partículas en

el sedimento, 30 partículas en el agua, sin embargo, en el tracto gastrointestinal no hubo presencia de microplásticos (Ruiz, 2021).

En Ecuador se investigó la presencia de microplásticos en cervezas artesanales e industriales de diferentes localidades. De estos, se encontró que la cerveza elaborada en el Parque Industrial Cuenca tuvo el conteo de partículas más alto con 365 y mientras que la cerveza elaborada en Quito con el ranking más bajo con 35 partículas. Esto permite concluir que se debe a la densidad de población y plantas de procesamiento cercanas a las zonas más contaminadas, lo que genera la presencia de concentraciones más elevadas de microplásticos (Poma Ambuludi, 2019).

Estos son los casos más preocupantes entre una amplia gama de contaminación generados por metales y microplásticos en todo el mundo. En general, los metales pesados son considerados un impacto económico a nivel mundial, debido a su toxicidad tanto en el agua como en el suelo, son potencialmente dañinos para los sistemas ecológicos y el medio ambiente. Generado serios problemas económicos, debido al aumento de costos en el tratamiento de su salud y la reducción en la producción agrícola de las personas de la región (Pabón et al., 2020).

Por otro lado, tanto los macroplásticos, así como también los microplásticos tienen impactos económicos en diferentes sectores, de los cuales los más afectados son la pesca, la acuicultura y las materias primas para la agricultura; y actividades turísticas. Según un equipo multidisciplinario de científicos, han presentado investigaciones sobre los efectos del plástico en la ecología oceánica, revelando que la contaminación plástica en el mar, le cuesta a la comunidad beneficiaria de este recurso miles de millones de dólares al año, los recursos se dañan y se pierden, con consecuencias para nuestra salud y bienestar. Se estima que la pérdida anual en los beneficios derivados de los servicios de los ecosistemas marinos, a nivel mundial son valores alrededor de \$ 500 a \$ 2,5 billones (Desiré, 2019).

La ciudad de Cuenca está ubicada en un valle panandino en la Sierra Austral, Ecuador. En este sitio se presentan actividades contaminantes como el tránsito de automóviles, industrias, consumo de

combustibles y crecimiento poblacional, que degradan la calidad del aire (MAATE, 2021). Según EMOV EP (2020) en su informe de calidad de aire, el promedio de PM_{10} en la ciudad de Cuenca supera el valor guía de la OMS en 3 puntos de la ciudad. Espinoza Molina & Palacios Espinoza (2014) afirma que la exposición a PM_{10} en Cuenca aumentó significativamente el riesgo de muerte por cáncer de pulmón y enfermedades cardiopulmonares entre un 3 % y un 9 %.

Según datos del INEC en el año 2018, se estima que cada año se vierten 531.61 toneladas de plástico en el Ecuador, siendo la región Sierra la mayor productora de plástico de un solo uso, principalmente las provincias de Imbabura, Azuay, Cotopaxi y Pichincha (Morán, 2020). Cuenca no es la excepción con el uso masivo de estos residuos plásticos y su mal manejo ha tenido como consecuencia no solo afectar los valores recreativos y estéticos del ecosistema, sino también causar un problema persistente de contaminación en los cuerpos de agua (Correa, 2020). No solo se encuentran restos plásticos de gran tamaño, sino también pequeñas piezas de tamaño milimétrico, conocidos como microplásticos (Pabón et al., 2020), con tamaños menores a 5 mm, algunos autores incluyen partículas mayores a 1 nm (Gastañadú, 2017).

De hecho, en este cantón existe un problema con el ingreso de metales pesados y microplásticos a las masas de agua, las tierras agrícolas, el aire y posiblemente a las personas, en parte debido al crecimiento de la población y la ubicación cercana a la zona industrial. Representando un peligro para de salud pública.

Una vez expuesta y abordada la problemática, tanto los metales pesados como los microplásticos son considerados uno de los contaminantes más mortíferos de la atmósfera y su estrecha relación con las precipitaciones pluviales los vuelve aún más perjudiciales para el ser humano y el medio ambiente. Por esta razón, nace la propuesta de realizar estudios que determinen la presencia de las variables anteriormente mencionadas, en la zona urbana de la ciudad de Cuenca, ya que, actualmente no cuenta con aportes a la literatura sobre la química básica del agua de lluvia, la cual permita conocer las fuentes

locales que contaminan a la atmósfera y a la hidrología local. Además, el presente proyecto de investigación beneficiara de forma directa a los habitantes del área urbana del cantón Cuenca. También se brindará información para que las autoridades generen a través de políticas conservacionistas medidas necesarias de atribución ambiental y de salud pública.

1.1. Delimitación de la Investigación

La comprensión del estudio abarca varios aspectos; distribución espacial, distribución temporal y sectorial, se define una delimitación para cada aspecto a considerar en la delimitación de la investigación.

1.1.1. Delimitación Geográfica o Espacial de la Investigación

Para conocer y exponer claramente el límite fijado con respecto al objeto de investigación, para tal efecto, la investigación se desarrolla en el casco urbano de la ciudad de Cuenca en una extensión de 2600 hectáreas, la figura 1, muestra la delimitación geográfica del área de estudio; Av. de las Américas, desde el Control Sur (intersección de la autopista Cuenca Azogues – Av. de las Américas) hasta el Hospital del Río (intersección del Autopista Cuenca – Azogues y la Av. de las Américas), de tal manera, estas dos vías marcan el límite del estudio, enmarcando los centros más poblados de la ciudad de Cuenca.

1.1.2. Delimitación Temporal de la Investigación

El tiempo estimado para el desarrollo de la investigación experimental, depende de ciertas variables intervinientes, entre ellas; precipitación, temperatura, nubosidad, viento, presión atmosférica y humedad, además de variables extrañas; manipulación externa de los muestreadores, ingreso de materiales extraños externos a los muestreadores e ingreso de animales (insectos voladores). Por lo tanto, el tiempo delimitado para la investigación en campo es de 2 meses, dependientemente de la intervención de las variables de investigación.

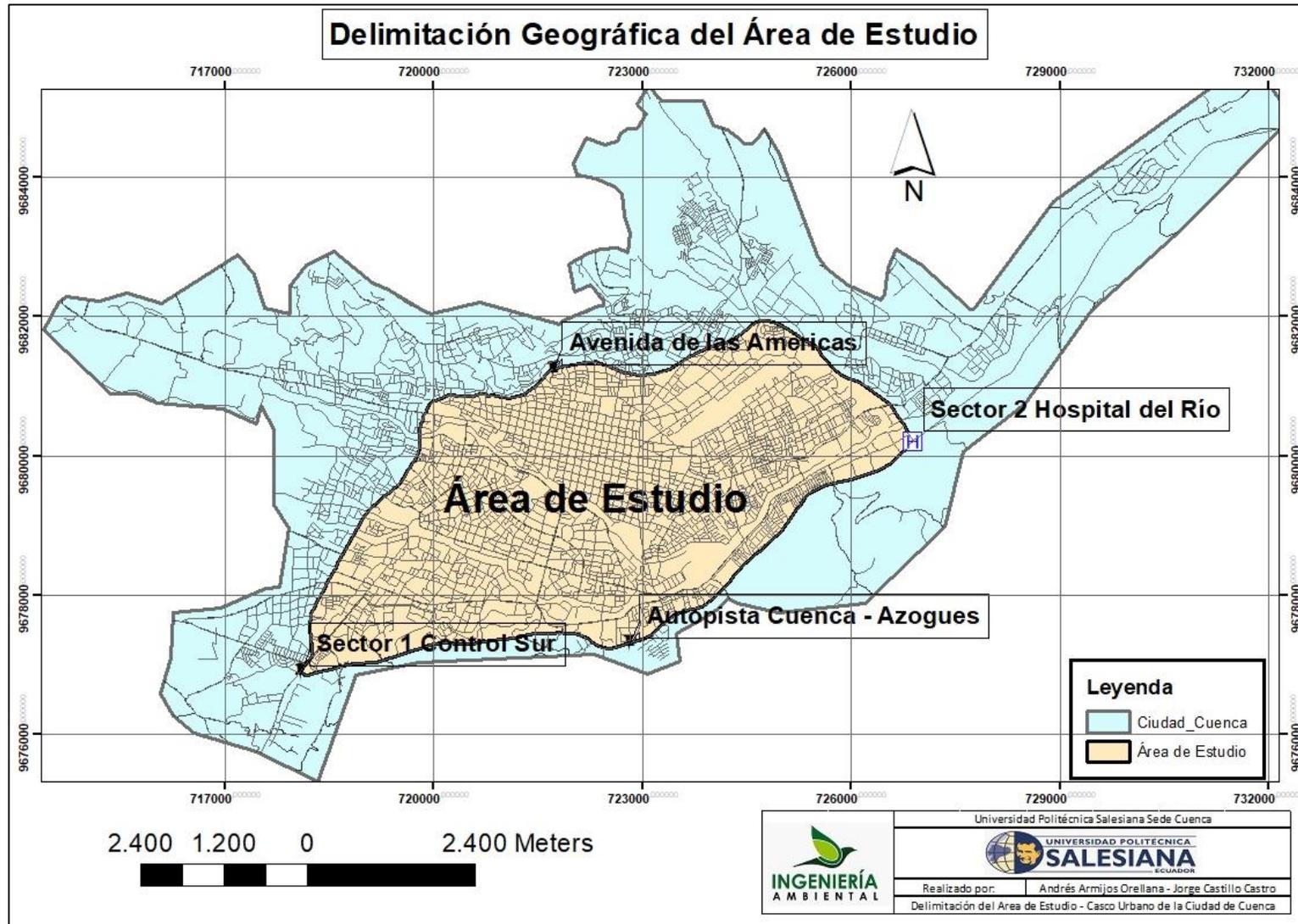
1.1.3. Delimitación Sectorial e Institucional

La delimitación sectorial se establece de acuerdo a la distribución de los puntos de muestreo, se definen 9 sectores dentro del área de estudio, y un punto blanco o de referencia fuera del casco urbano

de la ciudad de Cuenca, los 9 sectores definidos son: sector 1 aeropuerto Mariscal Lamar en la avenida España y la calle Núñez de Bonilla, sector 2 bomba del sindicato de choferes en la avenida de Las Américas y la calle General Córdova, sector 3 Los Eucaliptos en la avenida Gonzales Suarez y la calle Manuel Paredes, sector 4 barrio Atapsa en la calle Nicolás de Rocha y la calle del Retorno, sector 5 parque El Recreo en la avenida Primero de Mayo y la calle Gaspar de Villarroel, sector 6 Universidad de Cuenca Campus Yanuncay en la avenida 12 de Octubre y la calle Diego de Tapia, sector 7 centro de la ciudad de Cuenca en la calle Honorato Vásquez y Tomas Ordoñez, sector 8 parque de La Libertad en la avenida Héroes de Verdeloma y la calle Nicanor Merchán, sector 9 Plaza del Herrero en la calle Las Herrerías y Jorge Merchán Aguilar, el punto blanco se ubica en el sector 10 en el Biocorredor del rio Yanuncay en el Barrio La Inmaculada en la vía Soldado – Chaucha.

Figura 1

Delimitación geográfica del área de estudio, Zona Urbana de la ciudad de Cuenca – Ecuador.



1.2. Explicación del Problema

De acuerdo a las premisas mencionadas acerca de la problemática ambiental que se atribuye al microplástico y metales pesados y sus efectos en las matrices ambientales, suelo, aire y agua, se expone explícitamente el fundamento para el desarrollo de la investigación, encaminada a estimar si la contaminación ambiental que existe en la ciudad de Cuenca, consecuencia del incremento de las actividades antrópicas colindantes al desarrollo; ante la falta de evidencia científica, es necesario conocer sobre la presencia de estos contaminantes.

1.2.1. Pregunta de Investigación

¿Existirán contaminantes atmosféricos, microplástico y metales pesados, en las precipitaciones pluviales en la zona urbana de la ciudad de Cuenca?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Determinar la presencia de contaminantes atmosféricos en la lluvia (metales pesados y microplástico) mediante métodos analíticos, estableciendo parámetros para la zona urbana de la ciudad de Cuenca.

1.3.2. Objetivos Específicos

Establecer los sitios de toma de muestras temporales en la zona urbana de la ciudad de Cuenca, estableciendo puntos de muestreo, mediante un análisis de datos.

Determinar la presencia de microplástico y metales pesados (Cd, Cr, Hg, Pb) presentes en las muestras de lluvia, a través de técnicas analíticas de laboratorio, corroborando la contaminación atmosférica en la zona urbana de la ciudad de Cuenca.

Analizar los resultados obtenidos, en relación al microplástico y metales pesados (Cd, Cr, Hg, Pb) presentes en la lluvia, estableciendo parámetros de contaminación atmosférica en la zona urbana de la ciudad de Cuenca.

1.4. Hipótesis de Investigación

En el desarrollo de la investigación, se pretende dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación: ¿Existirán contaminantes atmosféricos, microplástico y metales pesados, en las precipitaciones pluviales en la zona urbana de la ciudad de Cuenca?, la cual me genera la siguiente hipótesis.

H: Existe microplástico en la lluvia de la zona urbana de la ciudad de Cuenca.

H: Existe metales pesados (Cd, Cr, Hg, y Pb), en la lluvia de la zona urbana de la ciudad de Cuenca.

CAPÍTULO DOS

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En los últimos años, se ha desarrollado un interés común por conocer la composición química de las precipitaciones atmosféricas debido a la marcada relación que existe entre el desarrollo del parque automotor, crecimiento urbano e industrial y el aumento de la polución a nivel de urbe; sin embargo, no queda absuelto el impacto y deterioro de la calidad del aire ambiente (Romero & López, 2015).

2.1. La Atmósfera Terrestre

La atmósfera es un globo de vapor que rodea la tierra de un espesor de unos 2000 Km. Está dividida en regiones, clasificada de acuerdo a su temperatura: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera y exosfera; cada una de ellas posee características únicas, entre ellas: temperatura, tipo de actividad química, energía de la radiación solar incidente, entre otros. La troposfera es la capa más próxima con la superficie terrestre y en la cual ocurren varios procesos de reacción e interacción con elementos provenientes del interior y exterior del planeta (Orozco Barrenetxea et al., 2003).

2.1.1. Troposfera

Es la capa gaseosa en contacto con la superficie terrestre. Tiene un espesor en promedio de 12 Km, con variantes en los Polos y en el Ecuador. Presenta una elevada densidad, de hecho, se estima que contiene aproximadamente el 75 % de la masa total de la atmósfera, en otras palabras, los gases más abundantes; el vapor de agua y los aerosoles están contenidos en esta capa. La densidad y temperatura disminuyen con la altura de manera progresiva. La mayoría de los fenómenos meteorológicos, se producen en la troposfera, existen movimientos verticales y horizontales de las masas de aire, lo que favorece propiciamente un medio de circulación de materiales y dispersión y movimiento de contaminantes (Orozco Barrenetxea et al., 2003).

2.2. Aspectos Generales de la Contaminación Atmosférica

Es indiscutible que la naturaleza actúa como un sistema autosuficiente en condiciones normales, en ella todo es interdependiente, existiendo infinitas relaciones entre las principales matrices ambientales y las fuentes de alteración del equilibrio ecosistémicos. Suelo, aire y agua, constituyen el hábitat donde se desarrolla normalmente la vida. Estamos conscientes que, la vida sin oxígeno no podría existir. En la atmósfera existe alrededor del 21 % de este gas, en contraste, la vida se logra desarrollar semanas sin comer, algunos días sin agua, sin embargo, solo podemos sobrevivir unos minutos sin oxígeno. Se considera un recurso limitado, indispensable; por lo tanto, debe estar limitado a normas que disminuyan el deterioro de su calidad, de tal modo que su pureza se preserve. La contaminación atmosférica hace referencia a sustancias que generan impactos negativos sobre los animales, plantas y personas; por lo tanto, todos deberíamos contribuir para lograr un mundo limpio y habitable para las generaciones futuras (Tellez Flores, 2016).

2.2.1. Definición de Contaminación Atmosférica

Según Orozco Barrenetxea et al. (2003), en su Libro “Contaminación Ambiental” una visión desde la química, define la contaminación ambiental como “la impurificación de la atmósfera por inyección y permanencia temporal en ella de materias gaseosas, líquidas o sólidas o radiaciones ajenas a su composición natural o en proporción superior a aquella”.

Cabe resaltar, dentro de esta definición de contaminación ambiental se consideran agentes contaminantes no solo las sustancias materiales, independientemente de su estado de agregación, sino también las radiaciones incidentes ajenas a las naturales (Orozco Barrenetxea et al., 2003).

2.2.2. Origen de los Contaminantes Atmosféricos

Los contaminantes atmosféricos son sustancias gaseosas, líquidas o sólidas que poseen una concentración mayor que la natural, por lo general como efectos de las actividades antropogénicas. Contaminantes de origen natural se originan en erupciones volcánicas, descargas eléctricas e incendios

forestales; de los océanos se emiten sales y de los suelos partículas que arrastran los vientos en cantidades anormales cuando ocurren temporales. El cambio realmente significativo en la concentración de contaminantes a nivel atmosférico se produce como consecuencia de la emisión de contaminantes en procesos industriales, calefacción de viviendas, transporte de personas y bienes y de varias actividades antrópicas que demandan energía (Vega de Kuyper, 2007).

La generación de impactos negativos de la composición del aire pueden tener un doble origen (Orozco Barrenetxea et al., 2003):

Natural: las fuentes de contaminación natural, representan valores significativos de polución, sin embargo, provienen netamente de los diversos ecosistemas, entre ellas destacan las erupciones volcánicas, meteoritos y fuegos.

- Compuestos orgánicos: aproximadamente el 85 % de los hidrocarburos totales en la atmósfera son de origen natural. El Metano (CH_4) es el principal responsable de ello, producida principalmente por la descomposición anaerobia de materia orgánica.
- Compuestos inorgánicos: las erupciones volcánicas, fallas geológicas, movimientos de las placas y fenómenos de erosión son la causa principal de especies inorgánicas en la atmósfera, ya que, emiten principalmente compuestos azufrados, cloruros y fluoruros de hidrogeno (SO_2 , H_2S_2 , COS , HCl y HF).
- Partículas: llegan a la atmósfera a través de los fenómenos naturales descritos anteriormente, erupciones volcánicas e incendios forestales, erosión de suelos y rocas, ruptura de olas en el mar, generan partículas, en el cual sus composiciones químicas generalmente contienen Al, Fe, Ca, Si, K.

Artificial o antropogénica: generada a partir de las múltiples actividades humanas, destaca; el transporte, crecimiento urbano, las combustiones de hidrocarburos y los procesos industriales.

- Fuentes móviles: incluyen una gran variedad de vehículos de transporte liviano, pesado, marítimos y aéreos.
- Fuentes fijas: fuentes focales, se localizan en un punto específico.

2.2.3. El Comportamiento y Destino de los Contaminantes Atmosféricos

La mayoría de los contaminantes emitidos hacia la atmósfera, por fuentes naturales o antropogénicas, forman parte de la circulación atmosférica, su movimiento está influenciado por movimientos de las masas de aire; en la capa conocida como troposfera, donde están sujetos a diversas reacciones químicas con otras especies presentes y a la acción física de los fenómenos meteorológicos. La atmósfera actúa como una especie de cámara de reacción dinámico, en el que los contaminantes emitidos por las diversas fuentes, reaccionan favorecidos por movimientos convectivos y adventivos de las masas de aire (Tellez Flores, 2016).

Luego de permanecer los contaminantes en suspensión en la atmósfera durante periodos de tiempo largos o cortos, independientemente de los factores y variables del clima, conocido como tiempo de residencia, los mismos tienden a desaparecer parcial o total de la atmósfera mediante 4 mecanismos (Puigcerver & Carrascal, 2008):

1. La transformación de sustancias en otras mediante reacciones de carácter químico y fotoquímico con gases atmosféricos o con otros contaminantes, las cuales se encuentran en la atmósfera;
2. La deposición sólida o también conocida como deposición seca de compuestos insolubles, consiste en la eliminación de contaminantes en forma de material particulado.
3. La deposición húmeda por la lluvia, nubes o nieve, disuelven algunos de los compuestos gaseosos, líquidos o sólidos y los depositan en el suelo:
4. La dispersión o difusión de los contaminantes en la atmósfera, que los difumina, consecuentemente, el volumen del aire afectado por ellos disminuye, en efecto, el grado de concentración de los contaminantes es bajo, pero no al límite de ser nulo.

Los mecanismos 2 y 3 depuran los contaminantes de la atmósfera depositándolos en el suelo, en las estructuras, o los seres vivos en general; por otra parte, la difusión no es una verdadera eliminación, sino una dilución, ya que por efectos turbulentos de los movimientos de las masas de aire. La transformación de unas sustancias en otras mediante reacciones químicas o fotoquímicas no siempre produce efectos beneficiosos, ya que por lo general el agente contaminante resultante se deposita fácilmente en diferentes matrices, la nueva sustancia puede conservarse en la atmósfera, o podría ser más perjudicial que sus reactivos (Puigcerver & Carrascal, 2008).

El comportamiento en el medio atmosférico de los contaminantes emitidos por fuentes naturales y antropogénicas, condicionan las propiedades del medio ambiente, incrementando los niveles de concentración e incidiendo en el cambio climático, consecuencia de los gases de efecto invernadero y la radiación solar incidente. En otras palabras, si no existiese una eliminación parcial o total de los contaminantes, el planeta sería inhabitable.

2.2.3.1. Deposición Seca

Uno de los procesos de eliminación de los contaminantes es la deposición seca en forma de partículas. Las partículas que se precipitan cerca de la fuente son aquellas de diámetro superior a $100 \mu m$, por otra parte, el problema se incrementa conforme el diámetro de las partículas disminuye. Las partículas de diámetro inferior a $10 \mu m$ quedan en suspensión ya que su pequeña velocidad de caída es afectada por movimientos de las masas de aire. Sin embargo, estas partículas pueden depositarse en la corteza, cuando alcanzan un tamaño suficiente ya sea por reacciones químicas entre ellas o soldadura con otras o cuando actúan como núcleos de condensación sobre los que forman gotículas de niebla o nube, que llegan a precipitarse en las diferentes formas de precipitación (Puigcerver & Carrascal, 2008).

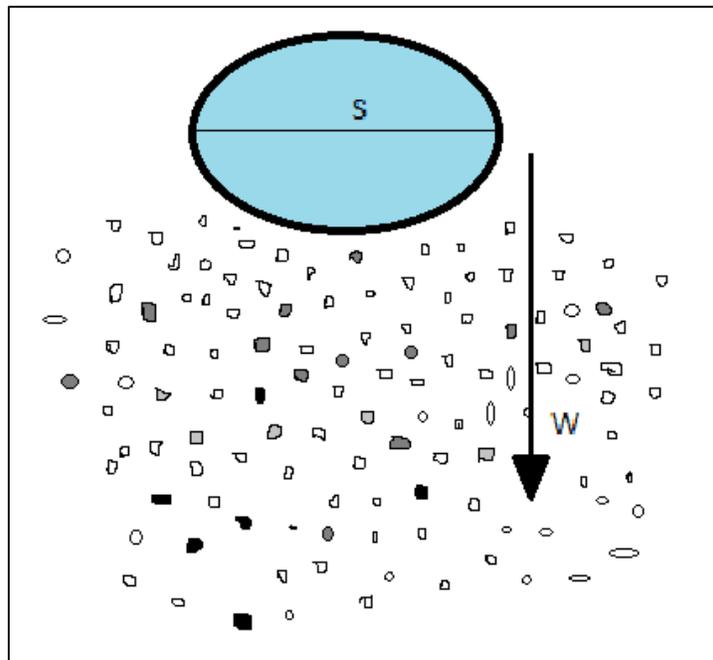
2.2.3.2. Lavado por Precipitación

El lavado de los contaminantes atmosféricos, por las diferentes formas de precipitación pluvial; lluvia, granizo o nieve, se considera el medio más eficaz para la eliminación de contaminantes de la

atmósfera. Al precipitarse una gota o un copo, barre un cierto volumen de aire. Por lo tanto, las precipitaciones líquidas arrastran las partículas en suspensión en la atmósfera y las precipitan. Se produce una especie de lavado de partículas en el camino de descenso de una gota de lluvia. Observe la figura 2, si S es el área de la sección recta que atraviesa la gota o copo y su W es su velocidad de caída, el volumen de aire barrido por unidad de tiempo vale WS y si la concentración del contaminante considerando es X , la gota barre una masa XWS . En otras palabras, las partículas de lluvia o nieve, en el transcurso del proceso de precipitación arrastran partículas de contaminantes que se encuentran en suspensión en el medio atmosférico. Sin embargo, no todas las partículas o moléculas contaminantes llegan a colisionar con la gota dentro del volumen considerado, la propia caída de esta produce una perturbación en el aire, en efecto, algunas de ellas no llegan a colisionar, encontrándose fuera del volumen (Puigcerver & Carrascal, 2008).

Figura 2

Deposición húmeda de contaminantes



Nota 1 Adaptado de *El medio atmosférico: meteorológico y contaminación* (p. 173), por (Puigcerver & Carrascal, 2008).

2.3. El Ciclo Hidrológico

Es un fenómeno global de circulación cerrada del agua entre la corteza de la tierra y la atmósfera, generado por la energía solar asociada a la gravedad y la rotación terrestre, en otras palabras, es el recorrido del agua en sus tres estados de la materia; solido, líquido y gaseoso (Vásconez et al., 2019).

2.3.1. Precipitación

La precipitación es un fenómeno físico que explica el proceso de la transferencia del recurso agua en sus diferentes estados de materia y sus diferentes formas, líquida (llovizna, lluvias, chubascos) o en forma sólida (nieve o granizo) de la atmósfera hacia la corteza terrestre (Gutiérrez Caiza, 2014). El movimiento de las masas de aire es el mecanismo más importante que resulta en la precipitación, la temperatura desciende hasta cerca de su punto de rocío. Las precipitaciones pueden clasificarse dependientemente de las condiciones que producen movimiento vertical de las masas de aire (Vásconez et al., 2019):

- Convectiva o de verano: ocurren en días calurosos y su principal característica es su alta intensidad y corta duración. Se concentran en áreas reducidas;
- Orográfica: se relaciona con la presencia de una barrera topográfica (cadenas montañosas). Son intensas, localizadas e intermitentes;
- Convergencia o frontal: este tipo de lluvia son las resultantes de los frentes. Poseen intensidad moderada, larga duración y abarcan grandes áreas.

2.4. Lluvia

Es un tipo de precipitación, las gotas tienen un diámetro de más de medio milímetro y se precipitan a una velocidad superior a 3 m/s, la cantidad de agua es muy variable y principalmente procede de 2 tipos de nubes conocidos como nimbostratos y altostratos (Ledesma Jimeno, 2011).

El clima en nuestro planeta, es el resultado de un equilibrio constantemente reajustado entre los procesos geoquímicos, ciclo hidrológico, y transiciones de energía el agua, la atmósfera, la energía solar y

la energía terrestre. El ciclo del agua es fundamental en el desarrollo de este equilibrio representa el transporte más grande de una sustancia química en la superficie de la Tierra (Arroyo Martínez, 2007).

La composición química del agua presente en la atmósfera es el resultado de una compleja interacción entre la dinámica de las nubes y los procesos microfísicos. “Juega un papel importante en la remoción de componentes solubles de la atmósfera, por lo que su composición ayuda a entender la contribución de los contaminantes emitidos por las fuentes naturales y antropogénicas a la atmósfera” (Vasquez Morena et al., 2012).

2.5. Precipitaciones Atmosféricas

Como se demostró en puntos anteriores, existen 2 tipos de precipitación atmosférica; húmedas y secas. Como su nombre lo indica, la precipitación o deposición en la corteza terrestre es su destino final, en efecto, su contenido químico altera la composición de suelo, ríos, lagos y acuíferos (Romero & López, 2015). Varios estudios, en relación a las precipitaciones atmosféricas, por ejemplo, el realizado por Herrera Murillo & Rodríguez Román (2009), afirman que las precipitaciones húmedas constituyen el principal mecanismo de remoción o eliminación de contaminantes gaseosos y partículas presentes en la atmósfera.

2.6. Características químicas de las precipitaciones atmosféricas

La composición química de las precipitaciones húmedas varía de acuerdo a la ubicación, en otras palabras, varía a escala regional en zonas costeras y continentales. “Las precipitaciones próximas a la cota tienen altos contenidos de cloruros, sodio y potasio por influencia de la evaporación de cuerpos de agua salina (mares y océanos)”. Hacia el interior de los continentes la composición varía y está dominada por iones bicarbonato, sulfato y calcio (Romero & López, 2015).

También existen alteraciones en su composición del tipo local, intervenidas principalmente por la actividad del hombre, entre ellas destacan, el desarrollo urbano, industrial y las actividades agrícolas ganaderas, y las características geológicas locales. Los suelos y las rocas aportan partículas finas, provenientes de la erosión, que por movimientos convectivos y adventivos del viento son trasladadas y

suspendidas en la atmósfera. Estas partículas de polvo atmosférico son luego removidas y disueltas por acción del agua. La interacción polvo – precipitación juega un papel muy relevante en la depuración de partículas e incorporación de iones de sodio a las lluvias (Romero & López, 2015).

En el interior de las nubes, gotas de agua, gases y partículas o núcleos de condensación realizan continuamente un conjunto de reacciones químicas. La parte soluble de las partículas entra en las gotas y forma parte de sus reacciones. La composición de los núcleos de condensación dependientemente de su origen; natural (proveniente de sitios desérticos, erupciones volcánicas, mares, océanos, organismos vivos) y antrópico (ciudades, fabricas, cultivos). Las partículas menos solubles, como polvo y polen, pueden quedarse en suspensión en la atmósfera sin reaccionar hasta que son arrastradas por las precipitaciones o transportadas a otros sitios, modificando y alterando la composición química de la lluvia (Arroyo Martínez, 2007).

Por lo tanto, para caracterizar la composición química de las precipitaciones atmosféricas, es local, debido a que, varían de un área a otra por efecto de múltiples procesos antrópicos y naturales propios de cada lugar. El estudio de la composición química de las diversas formas de precipitaciones atmosféricas, representa, una importante herramienta para determinar y estimar el grado de contaminación existente en un sitio o zona sujeta a estudios de carácter ambiental.

2.7. Metales Pesados

Los metales son elementos con concentraciones altas (superior a 5 g/cm³), la masa atómica sobre los 20, y se encuentran entre los contaminantes más tóxicos, con concentraciones bajas, provocando problemas ambientales y afectando nuestra salud. Los metales no se biodegradan, pueden almacenarse, así como de biomagnificarse en la cadena alimentaria de los seres vivos. Son considerados contaminantes ambientales extremadamente peligrosos (Londoño Franco et al., 2016; Orozco Barrenetxea et al., 2011).

2.7.1. Generalidades de los Metales Pesados

La gran mayoría de los metales presentes en la atmósfera provienen de actividades humanas (Seoáñez Calvo, 2002). Concentraciones que varían en todas las regiones geográficas, de forma aislada o con otros productos, como la formación de polvo o aerosol, y entre otras mezclas de compuestos (Seoáñez Calvo, 2002; Velázquez Ocampo, 2018). La química atmosférica y ambiental influye en su destino, así como en los receptores ecológicos y humanos (Velázquez Ocampo, 2018).

La peligrosidad de los metales para los seres vivos radica en que pueden estar presentes en muy bajas concentraciones al inicio de la cadena trófica, puesto que, al final tendrán grandes concentraciones del metal y, además, dependen de la naturaleza del elemento, la composición de los compuestos, la concentración de los mismos, la medida de exposición y la capacidad del cuerpo para acumularla (Seoáñez Calvo, 2002; Velázquez Ocampo, 2018).

Tabla 1

Metales pesados más comunes en la contaminación del aire

Pb	Cd	Be
Zn	Th	V
Hg	Ni	Cr

Nota 2 Adaptado de *Tratado de contaminación atmosférica (p. 115)*, por (Seoáñez Calvo, 2002).

Estos metales comunes pueden adherirse a las partículas finas de las zonas urbanas. Es decir, partes muy pequeñas de metales (plomo, mercurio, cadmio, vanadio y cromo) se unen a las partículas (Adame Romero, 2010).

2.7.2. Características Físicoquímicas de los Metales y Metaloides

Los metales se caracterizan por su capacidad de transportar el calor y la electricidad, además de ser compuestos inorgánicos no biodegradables. Para clasificar bien los metales, es importante considerar sus propiedades químicas, peso atómico y toxicidad. Aunque que el factor que mayor intervención tiene

es la densidad del elemento. Los metales se agrupan a la izquierda y en el centro de la tabla periódica de los elementos según sus electrones de valencia (1 a 3 electrones), sus átomos son ligeramente electronegativos con bajas energías de ionización, esto les permite ceder electrones con mayor facilidad y es más difícil que los ganen. Los metales tienen ciertas propiedades físicas: tienen un alto punto de fusión, son duros, forman enlaces iónicos, pueden ser brillantes u opacos, son maleables, dúctiles y densos. La mayoría de los metales que forman el componente catiónico de las sales, contienen aniones que transportan oxígeno, como el NO_3^- y el SO_4^{2-} . Mientras que los metaloides, también conocidos como semimetales, tienen la forma y las propiedades físicas de un metal. Sin embargo, los metálicos y los semimetálicos se distinguen por sus acciones. Ya que, debido a su opacidad y brillo se puede fácilmente cambiar su forma. En general, los semimetálicos conducen el calor y la electricidad, pero los metálicos lo conducen de una mejor manera. No existe una forma clara de distinguir los metaloides del metal real, pero es común distinguir que los semimetales son semiconductores en lugar de un conductor. Los siguientes metaloides o semimetales: boro (B), silicio (Si), germanio (Ge), arsénico (As), antimonio (Sb), telurio (Te) y polonio (Po), son elementos que generalmente suelen tener cuatro electrones en sus orbitales finales (Velázquez Ocampo, 2018).

2.7.3. Clasificación de los Metales

2.7.3.1. Basada en la Tabla Periódica

La tabla periódica se divide en periodos y grupos. Los 7 periodos de la tabla se localizan de una forma vertical (de arriba hacia abajo). Mientras que los grupos contienen elementos con propiedades similares (Cabanne & Fernandez, 2014; Ortega Miranda, 2015).

Hay dos formas de especificar grupos: una de ellas los numera del 1 al 18, y recorren todo el tablero, de izquierda a derecha. El otro usa los números romanos del I al VIII, dividiendo en dos tipos en grupo A y B. Se dice que el grupo A es representativo, y la letra B denota a los elementos de transición. Así mismo, hay otro grupo de elementos llamados factores de transición internos. Se colocan por separado

por conveniencia, pero corresponden a los períodos 6 y 7 de la tabla. Denominados o llamados lantánidos y actínidos (Cabanne & Fernandez, 2014).

Los grupos de la tabla periódica poseen nombres específicos: grupo 1 o IA, alcalino (Litio, Sodio, Potasio, entre otros.); elementos del grupo 17 o VIIA, halógenos (Flúor, Cloro, Bromo, yodo, Ástato) y elementos del grupo 18 o VIII gases inertes, llamados así por su débil reactividad química (Helio, Neón, Argón, Kriptón, Zinc, Radón) (Cabanne & Fernandez, 2014).

2.7.3.2. Basada en su Comportamiento Ácido

Basándose en la tabla periódica, se pueden dividir los elementos metálicos en cuatro categorías: bloque s, bloque p, bloque d (transición) y bloque f (lantánidos y actínidos). Según los iones metálicos se han clasificado en tres categorías: Clase A, Clase B y Frontera (Duffus, 2002).

Figura 3

Categorización de los componentes químicos de la tabla periódica según: a) los orbitales ocupados por los electrones más externos (Bloques s, d, p, f); b) su dureza (Tipos A, B y Frontera)

Período	Bloque-s		Bloque-d										Bloque-p						
	Metales Ligeros		Metales Pesados de Transición										No Metales						
	Alcalinos I-A	Alcalinos Térreos II-A											Boroides III-A	Carbonoides IV-A	Nitrogenoides V-A	Anfígenos VI-A	Halógenos VII-A	Gases Nobles VIII-A	
1	H	He																He	
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne	
3	Na	Mg	Frágiles					Dúctiles					Al	Si	P	S	Cl	Ar	
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	
7	Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds									
			Bloque-f																
			57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71		
Lantánidos			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu		
Actínidos			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

Nota 3 Adaptado de "Heavy metals a meaningless term" (p. 801), por (Duffus, 2002).

Los metales de clase A o no polares son muy móviles y preferentemente forman enlaces iónicos con ligandos duros formadores de oxígeno. Los metales iónicos de clase B muestran una gran afinidad por los ligandos blandos polares, como los sulfuros o los donantes de azufre, forman enlaces covalentes, son inmóviles en el ambiente y tienden a bioacumularse en los organismos, lo que representa un peligro tóxico. Los iones metálicos fronterizos son mucho más complicados de evaluar, a menudo forman complejos relativamente estables con ligandos donantes duros y blandos, pero no se determina fácilmente el orden de estabilidad. Cabe señalar que esta clasificación se refiere a un ion específico, por lo que en los casos en que un metal puede existir en más de un estado de oxidación, cada ion debe ser tratado por separado (Velázquez Ocampo, 2018).

2.7.4. Origen de Emisión de los Metales Pesados

Las concentraciones de los metales naturales generalmente no son dañinas para varias formas de vida. Sin embargo, con la interferencia de las actividades industriales y la combustión, las concentraciones se han vuelto anormales. Por lo tanto, estas fuentes son muy importantes en la emisión de metales, que al ser liberados, son arrastrados por las corrientes de aire, ríos y corrientes oceánicas (Londoño Franco et al., 2016; Seoáñez Calvo, 2002; Velázquez Ocampo, 2018).

2.7.4.1. Natural

Existe también la emisión de contaminantes debida a causas naturales de la geosfera, la biosfera, la atmósfera y la hidrosfera. La contaminación atmosférica en función de su origen natural puede ser (Calvo et al., 2012).

- Erupciones volcánicas: La polución que provoca la erupción volcánica, aportan a la atmósfera dióxido de azufre (SO₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S) y un gran número de partículas dispersas bajo la influencia del viento.
- Incendios forestales: los incendios forestales que ocurren naturalmente, emiten concentraciones altas de dióxido de carbono (CO₂), óxido de nitrógeno (COx), humo, polvo y cenizas.

- Actividades de los seres vivos: algunas actividades emiten contaminación al aire como la respiración, que aumenta la cantidad de dióxido de nitrógeno (CO_2); el proceso reproductivo y de floración de las plantas anemófilas (plantas polinizadas por el aire), que al concentrarse en el aire producen polen y esporas, afectan a más del 20% de la población urbana con alergias respiratorias denominada polinosis; y por último la descomposición anaeróbica de materia orgánica para producir metano (CH_4).
- Descargas eléctricas: al generarse las descargas, este fenómeno produce la formación de óxidos de nitrógeno (NO_x), al momento de oxidar el nitrógeno en la atmósfera.
- El mar: difunden material particulado de sal al aire.
- Los vientos fuertes o los vendavales: son los encargados de trasladar partículas de regiones áridas a otras zonas.

Sin embargo, la contaminación de origen natural no es tan grave, precisamente porque su daño, especialmente después de un tiempo considerable, es muy pequeño. Por otra parte, lo que provoca el hombre afecta cada día más la calidad ambiental de nuestro planeta (Bustos & Hartley, 2007; Domínguez, 2018).

2.7.4.2. Antropogénicos

Los metales pesados (Pb, Cd, Cr, Zn, Hg, entre otros), son liberados al ecosistema por varias actividades antrópicas y representan amenazas para las plantas, animales e incluso la salud humana debido a sus propiedades persistentes, bioacumulativas y no biodegradables y su toxicidad incluso a bajas concentraciones. La presencia de metales en diferentes ecosistemas es preocupante, pues dependen del buen equilibrio de los organismos vivos en su alimentación o hábitat, la forma en que se encuentra este metal en diferentes ecosistemas variará dependiendo del tipo de actividad humana (Pabón et al., 2020).

Las principales fuentes artificiales son las operaciones de minería, fundición y refinación, que implica la extracción de metales de sus minerales en minas subterráneas y luego su fundición y refinado

hasta que se recolectan y convierten en bienes consumibles que se descartan después de su uso. Se emiten metales al aire durante estas actividades; La combustión incompleta del combustible fósil, después de un largo período de tiempo, este se depositará en la superficie terrestre. Y por último la incineración también produce grandes cantidades de metales tóxicos con consecuencia medio ambiental. A continuación se muestran las principales fuentes de varios metales (Orozco Barrenetxea et al., 2011; Rodríguez, 2017).

- Erosión y lixiviado de rocas y suelos: Al, Ba, Mn, V;
- Minería: Ag, Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb;
- Industria tratamiento de superficies: Ag, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn;
- Otros vertidos industriales: Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn;
- Aguas residuales urbanas: Al, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn.

2.7.5. Contaminación de los Metales Pesados

Los elementos metálicos son un peligro para el medio ambiente porque tienden a almacenarse, conduciendo a la desaparición de la flora, fauna, ríos, arroyos e incluso daños directos a las personas. Las actividades industriales y mineras liberan al ambiente metales tóxicos como plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As) y cromo (Cr), los cuales son perjudiciales para la salud de los seres vivos. Además, la combustión de la gasolina, llega a la atmósfera como una suspensión. Las aguas residuales sin tratar de las minas y fábricas se descargarán en los ríos, y los residuos provocan la contaminación de las aguas subterráneas. Al no descomponerse química ni biológicamente los metales son considerados peligrosos. Al ser liberado al medio ambiente, pueden persistir durante cientos de años. Además, al ser ingeridos por otros, la concentración aumenta en el organismo vivo, por lo que podría presentar síntomas de intoxicación (Torres Calderon, 2009).

2.7.5.1. Toxicidad de los Metales Pesados

Como se indicó anteriormente, la presencia de metales en el ambiente se produce a través de vías tanto naturales como antropogénicas. Se mueven a través de las matrices ambientales (agua, suelo y aire)

(Reyes et al., 2016). Los metales pasan por ciclos biogeoquímicos, no se destruyen sino que cambian de forma, lo que puede generar efectos adversos en el ambiente y en la salud humana debido a su toxicidad y bioacumulación en diferentes comportamientos ambientales (Velázquez Ocampo, 2018). Los elementos metálicos no se pueden crear, ni descomponer por procesos biológicos o químicos. Además, sus concentraciones en el organismo vivo aumentan cuando son devorados por otros. Ya que, al ingerir plantas o animales contaminados podrían estimular síntomas de envenenamiento (Reyes et al., 2016).

Los efectos de la toxicidad del metal dependerán no solo del tipo de organismo diana (con el que provoca efectos), sino también de las condiciones de uso, disponibilidad, concentración y modo de absorción. Los guiones de clase B se consideran más tóxicos que los iones de transición y de clase A. Las sustancias tóxicas generalmente se administran por inhalación, ingestión, inyección o absorción percutánea, por lo tanto, los defectos pueden estar directamente relacionados con la dosis, formando la base de los defectos de dosis y relaciones dosis-respuesta. Los valores de referencia de toxicidad de metales se basan en el efecto toxicológico significativo conocido más sensible, teniendo en cuenta las variaciones en el consumo, la estacionalidad y las diferencias geográficas o culturales; relación entre fuentes, tiempo de exposición y efectos en los receptores humanos y ecológicos; puede ser complejo a menudo específico para un sitio en particular (Velázquez Ocampo, 2018). A pesar de la abrumadora evidencia, la exposición a estos elementos metálicos continúa y podría aumentar sin políticas consistentes y específicas (Londoño Franco et al., 2016).

2.7.5.2. Efectos al Medio Ambiente por la Contaminación de Metales Pesados

La presencia de metales en la matriz ambiental es bastante grave porque modifican la alcalinidad del suelo. También afectan el agua y los sembríos (Reyes et al., 2016; Romero Ledezma, 2009). Al ingresar al ecosistema, con el proceso biogeoquímico se transformarán y se distribuirán en una serie de especies con características físico químicas diferentes, así en forma de partículas ($>0,45 \mu\text{m}$), coloidales ($1 \text{ nm}-0,45 \mu\text{m}$) y solubles ($=1 \text{ nm}$) (Reyes et al., 2016).

El plomo es la sustancia que afecta demasiado a las plantas ya que, pueden sufrir ciertos cambios, también degradar el suelo, reducir la productividad del suelo, si hay demasiada contaminación puede conducir a la desertificación (Romero Ledezma, 2009). El problema de la contaminación ambiental por metales pesados es que sus efectos son silenciosos, no los vemos y cuando nos damos cuenta del daño que causan es demasiado tarde porque los metales se transportan de manera cíclica entre las matrices de agua, suelo y aire. Generando alteraciones en el ambiente y sobre todo, son peligrosos para nuestra salud (Reyes et al., 2016; Romero Ledezma, 2009).

2.7.5.3. Efectos a la Salud por la Contaminación de Metales Pesados

Los metales pesados son contaminantes con un mecanismo de acción única y además se acumulan en un sitio específico. Las causas principales de la contaminación son; inhalar e ingerir de alimentos. Algunos autores que han evaluado sobre estudios de la contaminación de alimentos han identificado metales como el cadmio, el mercurio, el plomo y el arsénico, siendo elementos con efectos importantes en la salud. Sin embargo, la toxicidad va dependerá del tipo de metal, la concentración y, a veces la edad del individuo (Reyes et al., 2016; Romero Ledezma, 2009). La sustancia más conocida es el plomo, que afecta a muchos sistemas del cuerpo humano. El cadmio, es un metal que afecta a los riñones, y otro que no es precisamente un metal sino un contaminante, es el arsénico que afecta directamente a las mitocondrias. El daño en sí varía mucho según el metal, pero en general se puede decir que hay daño celular. Los metales pesados eventualmente causan daño renal que puede provocar insuficiencia renal (Romero Ledezma, 2009).

2.7.6. Plomo

El plomo se encuentra en pequeñas cantidades (0.002 %) y de forma natural en la corteza terrestre. Generalmente se obtiene a partir de la galena (PbS), la anglesita ($PbSO_4$) y la cerusita ($PbCO_3$). Durante muchos años se ha utilizado este metal debido a la corrosión, ductibilidad, maleabilidad, a su

resistencia y facilidad de aleación. Además, se presenta en dos estados de oxidación Pb^2 y Pb^4 (Calva & Torres, 2003; Covarrubias & Peña Cabriales, 2017; Reyes et al., 2016).

2.7.6.1. Efectos del Plomo en el Ambiente

El plomo es el químico más persistente y dañino en el ambiente. En la tierra existe a una concentración promedio de 1,6 g de plomo por 100 kg de suelo, y la producción total de plomo es de aproximadamente 43 millones de toneladas/año. Al liberarse el plomo en el aire, puede transportarse una gran distancia y luego caer al suelo y depositarse allí, donde luego, en condiciones pluviales, llegan a ser arrastrados hacia las aguas superficiales, acumulándose entre los residuos o absorbidos por las plantas y entra en la cadena alimenticia. El plomo es insoluble en agua, sus formas orgánicas hacen que el plomo de la minería y residual de las calles, tuberías y suelos contaminen los suministros de agua que luego se usan para beber o para el riego de la tierra (Siavichay Lalangui, 2013).

2.7.6.2. Efectos del Plomo en la Salud

El plomo es adsorbido por tres vías; inhalación, ingestión y cutánea. La cual se distribuye por distintos órganos, donde se acumulan con el tiempo. Alrededor del 10% de plomo es absorbido por los adultos, mientras que en niños alcanza a un 50% (Londoño Franco et al., 2016; Reyes et al., 2016).

La exposición a altas dosis de este elemento puede conducir a graves riesgos para la salud, incluidos daños cerebrales graves y la muerte por envenenamiento (Londoño Franco et al., 2016; Reyes et al., 2016). La alta exposición provoca “la síntesis de hemoglobina, la función renal, el tracto gastrointestinal, las articulaciones y el sistema nervioso” (Rodríguez, 2017). Además, la exposición al plomo puede causar abortos espontáneos en mujeres embarazadas y alteración del espermatogénesis en hombres. La EPA considera que el plomo es un carcinógeno humano probable (Londoño Franco et al., 2016; Reyes et al., 2016; Siavichay Lalangui, 2013).

2.7.7. Mercurio

El mercurio (Hg) es un metal líquido plateado que es inodoro a temperatura ambiente. En comparación con otros metales, el mercurio (Hg) no es un buen conductor del calor, aunque ocurre lo contrario con la electricidad. La aleación con otros metales ocurre fácilmente, formando amalgamas (Lara, 2008). Además, se puede encontrar derivados como inorgánicos y orgánicos (Reyes et al., 2016). El mercurio (Hg) es un metal elemental poco soluble y su toxicidad es muy baja cuando se ingiere, sin embargo, al aumentar la temperatura se producirán vapores tóxicos y corrosivos, más densos que el aire, provocando intoxicaciones agudas y crónicas por su inhalación (Londoño Franco et al., 2016; Reyes et al., 2016). El mercurio líquido tiene una tensión superficial de 484 dinas/cm, que es seis veces la tensión del agua cuando se expone al aire (Londoño Franco et al., 2016).

2.7.7.1. Efectos del Mercurio al Medio Ambiente

Las actividades humanas han causado una exposición generalizada y las actividades pasadas han dejado rastro de contaminación por mercurio en vertederos, suelos y desechos mineros e industriales contaminados. Incluso hasta la región Ártico, ha sido víctima debido al transporte transcontinental y global de mercurio (Andrade Chunga & Ponce Garcia, 2016).

El mercurio está presente en el ambiente a través de diversos procesos naturales; los incendios forestales, las emisiones de la corteza terrestre, las emisiones oceánicas, la actividad volcánica y los depósitos minerales. Aunque, el mayor aporte son producidas por las actividades humanas, principalmente la minería y las quemaduras industriales (Covarrubias & Peña Cabriales, 2017). Al liberar el mercurio, se mantendrá en el ambiente, recorriendo el suelo, el agua, el aire, los sedimentos, y las comunidades biológicas en varias formas. Las emisiones existentes se acumulan a los niveles contaminantes de todo el mundo, las cuales continúan moviéndose, depositándose en la tierra y en el agua para luego mobilizarse nuevamente (Andrade Chunga & Ponce Garcia, 2016). El mercurio existe en

la atmósfera en estado gaseoso, a diferencia de otros metales, lo que facilita su movilidad en la biosfera (Covarrubias & Peña Cabriales, 2017).

2.7.7.2. Efectos del Mercurio en la Salud

La intoxicación del mercurio depende en gran medida de la forma química; “la cantidad, la vía de exposición y la vulnerabilidad de la persona expuesta” (Andrade Chunga & Ponce Garcia, 2016). Daña activamente el sistema cardiovascular y puede causar cáncer (Reyes et al., 2016). El metilmercurio $[\text{CH}_3\text{Hg}]^+$, es la más tóxica ya que se absorbe en un 90 % en comparación con el cloruro mercúrico (HgCl_2), del cual solo se absorbe el 2 %. Estos compuestos de mercurio se integran con facilidad en la cadena trófica y se almacenan en los organismos vivos. Algunos de los efectos sobre la salud incluyen daños a varios órganos, principalmente “el cerebro, los riñones y causar trastornos al sistema nervioso”. Además, puede provocar daño cerebral a los bebés que estén por nacer (Covarrubias & Peña Cabriales, 2017).

Mientras que, en los animales, el mercurio inorgánico provoca coagulación de la mucosa gastrointestinal y gastroenteritis, al sobrevivir los animales tendrán lesiones en los riñones, el colon y la boca. También alteran la función renal, la frecuencia cardíaca, ritmo digestivo y la presión arterial. Además, tienen una afección la fertilidad, aumenta las tasas de aborto y provoca cambios en el feto y el recién nacido (Londoño Franco et al., 2016).

2.7.8. Cadmio

El cadmio es un metal blando de color blanco azulado que es relativamente barato. Tiene una densidad de 8,642 g/cm³, y su vapor es de 3,88 veces más pesado que el aire. Tiene una alta presión de vapor, por lo que cambia fácilmente al estado de vapor, oxidándose rápidamente y luego formando óxido de Cadmio, que se encuentra en el aire. El cadmio es un subproducto de la transformación de otros metales, como el zinc y el cobre (Barrio Vega, 2008; Siavichay Lalangui, 2013).

2.7.8.1. Efectos del Cadmio al Medio Ambiente

En la naturaleza el “cadmio se encuentra en forma de óxidos complejos, sulfuros y carbonatos en el cinc, plomo y menas de cobre”. Provocando una contaminación insignificante, al no hallarse como un metal puro en el ambiente (Marrugo Negrete, 2011).

El Cadmio se encuentra presente en la atmósfera como resultado de la contaminación natural, generadas por las plantas ya que tienen la capacidad de concentrar el Cadmio de origen geoquímico y, al descomponerse, se dispersa en el ambiente. La contaminación también se genera de la extracción, la refinación del metal, y los múltiples usos industriales. La lluvia ácida y su potencial para aumentar la biodisponibilidad de cadmio en el suelo y, por lo tanto, en los productos agrícolas también es motivo de grave preocupación (Siavichay Lalangui, 2013).

2.7.8.2. Efectos del Cadmio en la Salud

Dado que la presencia de cadmio en el aire ambiente es frecuente, una de las principales vías de toxicidad es la contaminación atmosférica (Orozco Barrenetxea et al., 2011). El cadmio también se encuentra en algunos alimentos y en el agua, pequeñas cantidades partículas de cadmio se absorben a través del sistema respiratorio, especialmente en las personas que trabajan en la industria del cadmio y en las personas expuestas al humo del cigarrillo (Londoño Franco et al., 2016).

Los efectos del cadmio provocan “daño renal y enfisema” (Siavichay Lalangui, 2013). Los síntomas por envenenamiento es la “hipertensión y arterioesclerosis, ya que el cadmio se deposita principalmente en las arterias y en los riñones”; por otro lado, la enfermedad renal grave ocurre cuando los niveles de cadmio son 10 veces más altos de lo normal y, eventualmente, puede desarrollarse hiperactividad psicomotora en niños. Los síntomas de un cambio de sobrecarga en el cuerpo antes de la intoxicación son: “aumento de la tasa de sedimentación de eritrocitos, disminución del recuento de anticuerpos, anemia debido a problemas con la absorción de hierro (con disminución de la concentración de hemoglobina)”,

cambios Partes dañadas de los dientes y cavidad bucal incapacitada. lactancia y diversas artralgiás (Orozco Barrenetxea et al., 2011).

2.7.9. Cromo

El cromo es un metal que no está suelto en la naturaleza, “es un metal de transición duro, gris acerado, brillante y resistente a la corrosión. Puede existir en diferentes formas, dependiendo de su estado de oxidación se lo encuentra en estado líquido, sólido o gaseoso”. Las formas químicas más comunes son Cr (0), Cr (III) y Cr (VI), siendo la más tóxica el cromo VI (Covarrubias & Peña Cabriales, 2017). Las principales actividades humanas son la producción de tintes y pigmentos, la minería, la dispersión de lodos y las aguas residuales. El cromo (Cr) es esencial para para el ser humano, su deficiencia puede causar problemas de salud (Barrio Vega, 2008).

2.7.9.1. Efectos del Cromo en el Medio Ambiente

El cromo se encuentra en el ambiente, en elementos de cromo (III) y cromo (VI) a través de proceso naturales y antrópicos. Las principales actividades humanas que aumentan las concentraciones son emitidas por las industrias que utilizan cromo, como las involucradas en la galvanoplastia, el curtido, la fabricación de textiles, el electro revestimiento, y la fabricación de productos de cromo y otras aplicaciones industriales de cromo (VI). El cromo también se puede liberar al medio ambiente a través de la combustión de “gas natural, petróleo o carbón” (ATSDR, 2012).

En general, el cromo se deposita en el suelo y el agua, por lo tanto, no existe en la atmósfera. Desacuerdo a las condiciones el cromo cambiara a otras formas en el agua y el suelo (ATSDR, 2012).

El Cr (VII) se encuentra en forma soluble en los ecosistemas acuáticos, lo suficientemente estable para el transporte por agua. Aunque, eventualmente se convierte en Cr(III) al reducir sustancias como compuestos orgánicos, sulfuro de hidrógeno, azufre, sulfuro de hierro, nitrito y amonio (Chávez Porras, 2010). Cuando el cromo (III) entra en contacto con el suelo agrícola, aumenta la cantidad de cromo en el suelo, lo que puede aumentar las concentraciones en los cultivos porque contienen un sistema de

administración de cromo. En general, las plantas solo absorben cromo (III) este cromo es probablemente esencial, cuando su valor real excede la concentración, pueden ocurrir efectos negativos (ATSDR, 2012; Chávez Porras, 2010).

2.7.9.2. Efectos del Cromo en la Salud

Al estar expuesto a cantidades muy bajas de cromo cuando respira aire que lo contiene. En general el aire rural o suburbano contiene más bajas concentraciones de cromo en el aire. Al respirar aire con cromo, parte de él ingresa a su cuerpo a través de los pulmones. Las cuales pueden permanecer durante años en los pulmones. Al ingerir un cierto porcentaje de cromo, este entrará al cuerpo a través del tracto gastrointestinal. Al estar el cromo en contacto con la piel, una pequeña cantidad de cromo ingresa al cuerpo (ATSDR, 2012).

El cromo (Cr) es básico para el ser humano, su deficiencia puede ocasionar daños en la salud, pero la ingestión a largo plazo provocando intoxicaciones (Barrio Vega, 2008). “Los riesgos para la salud asociados con la exposición al cromo dependen de su estado de oxidación”. Los compuestos metálicos de cromo y Cr(III) no se consideran peligrosos. Sin embargo, el Cr(VI) provoca intoxicación en las personas y animales que inhala o ingiere por vía oral. (Lara, 2008). El Cr(VII), un carcinógeno conocido, puede alterar el material genético, provocando manifestaciones agudas y crónicas en exposición directa (Chávez Porras, 2010). La mayoría de los compuestos de cromo (VI) “irritan los ojos, la piel y las membranas mucosas” (Lara, 2008).

2.8. Plástico

Los plásticos son aquellos materiales compuestos por resinas, proteínas y otras sustancias, obtenidos por polimerización del carbono, su composición lo vuelve materiales livianos, durables y moldeables. Estas propiedades lo hacen ideal para emplearlo en muchos productos industriales y artículos cotidianos (BöIII Stiftung, 2019).

2.9. Macroplásticos

Los macroplásticos en su mayoría son residuos producto de las actividades antropogénicas, son abandonados en la naturaleza y a menudo encontrados en el mar o en las costas, flotando en la superficie o sumergidos (Criollo Guallasamín, 2019). Los macroplásticos son generados por las actividades de las personas, se encuentra presente en las matrices ambientales con un diámetro superior a los 25 mm. Contamina los ecosistemas de una manera acelerada (Flores Calle & Orozco Gualoto, 2022).

2.10. Microplásticos

Son pequeños trozos de plástico o cualquier partícula sintética o matriz polimérica derivada del petróleo o de base biológica, su tamaño es irregular, oscila entre 1 μm y 5 mm de longitud, provienen de dos tipos de fuentes, primarias y secundarias, los microplásticos son insolubles en agua (Flores Calle & Orozco Gualoto, 2022).

Los microplásticos se dividen en dos tipos: primarios y secundarios. Los microplásticos primarios son aquellos que ingresan al medio ambiente de manera directa, a través, del uso de productos de cuidado personal que se emiten en los sistemas de aguas residuales domésticos, pequeños corpúsculos en forma de perlas que se encuentran en productos de higiene y cuidado personal, pellets de plástico empleados en procesos industriales y fibras de plástico utilizadas en textiles sintéticos, estos llegan a liberarse por abrasión durante el proceso de lavado (Harris, 2021).

Los microplásticos secundarios se generan a partir de la descomposición de plásticos de mayor tamaño. Por lo general ocurre cuando plásticos de mayor tamaño se someten a cambios a la intemperie, por ejemplo: acción de las olas, abrasión del viento, oxidación y radiación ultravioleta. Estos contaminantes persisten en todos los mares del mundo y pueden causar daño a las especies y comunidades que habitan esos ecosistemas (Harris, 2021).

2.10.1. Efectos de los Microplásticos en el Medio Ambiente

Según Correa (2020), menciona, que “los posibles efectos de los microplásticos sobre la biota marina es que existe un amplio espectro de organismos marinos, incluidos, corales, invertebrados como moluscos y crustáceos, peces, aves, tortugas e incluso cetáceos, llegan a ingerir microplástico o incorporarlos a su dieta mediante la ingesta de presas”. En varias especies marinas se ha podido identificar la ingesta de microplástico, incluidas 26 especies de cetáceos y el 44 % de aves marinas, ingieren partículas de microplástico de tamaño variado (Meng et al., 2020). La mayoría de estudios sobre microplásticos se centra en el estudio de su impacto en el medio marino, sin embargo, la amenaza potencial de contaminación en el medio ambiente de agua dulce puede ser mayor que la del medio marino debido a la proximidad que existe con respecto a las actividades antropogénicas. “La presencia de microplásticos llega afectar a los seres vivos de diversas formas, principalmente: ser ingeridos, transferirse a lo largo de la cadena trófica, interaccionar en la incorporación de otros contaminantes y proporcionar un nuevo hábitat en el medio marino” (Correa, 2020).

El microplástico es ingerido por varias especies de invertebrados marinos, ya que las partículas están en el rango de tamaño menor a 5 milímetros, ciertas especies marinas llegan a confundirlos con plancton, por otra parte, estas micropartículas microplásticas también pueden acumularse en los sedimentos, lo que ocasiona que estos estarían a disposición como alimento para muchas especies bentónicas (Meng et al., 2020). Es así como la ingesta de microplástico por organismos de los eslabones primarios de la cadena trófica como el fitoplancton y zooplancton, pueden actuar como vectores o una ruta de entrada para niveles superiores de la cadena trófica, a través del consumo de presas previamente contaminadas por estos elementos. “Luego de la ingestión, la mayoría de las partículas microplásticas son excretadas mediante pellets fecales y dejan el organismo sin sufrir ningún cambio en su estructura, sin embargo, una pequeña fracción permanecerá en el cuerpo, lo que incrementa el riesgo de infectar tejidos y órganos, produciendo efectos tóxicos a nivel celular y molecular” (Correa, 2020).

2.10.2. Efectos del Microplástico en la Salud

Una vez que los microplásticos llegan a las diferentes matrices ambientales, estos contaminantes se acumulan en las cadenas tróficas mediante cadenas alimenticias terrestres y acuáticas, suministros de agua potable, de esta manera, pueden liberar aditivos tóxicos, además, de concentrar toxinas que ya están en el ambiente, incrementando el riesgo de exposición humana de forma directa e indirecta. El cuerpo humano está expuesto diariamente a los microplásticos por tres rutas de exposición: inhalación, ingestión y exposición dérmica (Correa, 2020).

La exposición de microplásticos por inhalación “es una de las principales vías de entrada directa de microplásticos al cuerpo humano, ya que debido a las actividades antropogénicas existe la presencia de estas partículas en el medio atmosférico”. La principal causa de las emisiones de microplásticos al medio ambiente, proviene de numerosas fuentes, se pueden identificar: textiles sintéticos, abrasión de materiales, resuspensión de microplásticos por acción del viento. De esta manera, la exposición a estas micropartículas de plástico en la circulación atmosférica pueden generar una variedad de afecciones a la salud humana entre ellas; “inflamación, estrés oxidativo, apoptosis y necrosis, las cuales están estrechamente vinculadas a problemas como accidentes cerebrovasculares, trastornos del sistema inmune y enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas” (Correa, 2020; Li et al., 2018).

“El contacto dérmico con microplásticos se considera una ruta de exposición menos significativa, por lo general, esta ruta se asocia con la exposición a monómeros y aditivos de plástico, como los disruptores endocrinos, bisfenol A y ftalatos del uso diario de múltiples aparatos comunes. Por otra parte, mediante contacto dérmico las células epiteliales humanas pueden sufrir estrés oxidativo debido a la exposición a micro y nanoplasticos” (Prata et al., 2020). Por lo tanto, los posibles efectos adversos de los nanoplasticos y la exposición dérmica generalizada a partículas de plástico, es decir polvo, fibras sintéticas y microperlas en productos de belleza cosméticos respaldan la necesidad de indagar en esta área (Prata et al., 2020).

La ingestión se considera la ruta más importante de exposición humana a partículas microplásticas. “Estas partículas pueden llegar al sistema gastrointestinal a través de alimentos contaminados o a través del aclaramiento mucociliar después de la inhalación, en efecto, conduce a una respuesta inflamatoria, una mayor permeabilidad y cambios en la composición y el metabolismo de la microbiota intestinal” (Correa, 2020). Por otra parte, afecta el sistema cardiovascular, renal neurológico y reproductivo (Correa, 2020; Prata et al., 2020).

Sin embargo, hasta la actualidad se desconoce con exactitud el riesgo de ingerir microplástico, ya que las investigaciones realizadas hasta el momento se centran en los ecosistemas y con limitantes en la salud humana y sus posibles efectos.

2.10.3. Métodos de Extracción para Microplásticos

En la mayoría de casos, es necesario realizar un proceso previo de digestión para poder extraer las micropartículas plástica de la matriz de la muestra, en especial cuando el contenido que deseamos analizar se encuentra en el estómago de peces, sistemas gastrointestinales de animales marinos y muestras con alto contenido de materia orgánica. Entre los principales métodos de digestión, se encuentran procesos que involucran reacciones acidas, básicas, enzimáticas (Acevedo & Hernández, 2020; Flores Calle & Orozco Gualoto, 2022; Martinez, 2019; S. Torres, 2017).

2.10.3.1. Digestión Oxidativa

La digestión con agentes oxidantes, son los mayormente empleados para la digestión de muestras de tejidos de animales marinos; sin embargo, presentan el problema en la estabilidad de sus disoluciones (Martinez, 2019). Es empleado a diferentes concentraciones, 35 %, 30 %, 15 % y 10 %, dependiendo del material a digerir (Flores Calle & Orozco Gualoto, 2022). Según Acevedo & Hernández (2020), menciona que la digestión oxidativa es una metodología con una buena tasa de recuperación de microplásticos, llegando a no afectar la estructura de Polietileno (PE), Polipropileno (PP) y Poliestireno (PS), además de, permitir el uso de espectrofotométrica por transformada de Fourier FTIR para identificación de los polímeros.

Los agentes oxidantes más comunes aplicados en digestiones oxidativas para muestras biológicas son el peróxido de sodio al 30 % (H_2O_2) (Acevedo & Hernández, 2020; Criollo Guallasamín, 2019; Flores Calle & Orozco Gualoto, 2022; Martínez, 2019; Tituchina Quillupangui, 2019; S. Torres, 2017).

2.10.3.2. Digestión Ácida

Varios estudios emplean métodos de digestión ácida, para lograr un aislamiento de fibras, pellets, y fragmentos de varios organismos. Sin embargo, encuentran que esta mezcla resulta muy agresiva para ciertos polímeros como poliamidas (PA), Poliuretano (PU), elastómeros procedentes a la acción de desgaste de neumáticos, ABS (Acrilonitrilo, Butadieno, Estireno), polimetil metacrilato y Cloruro de Polivinilo (PVC) (Flores Calle & Orozco Gualoto, 2022; Martínez, 2019).

El ácido nítrico HNO_3 al 65 % es el agente más usado en la digestión ácida, ya que sus propiedades facilitan disolver el material orgánico, con eficiencias superiores al 98 % (Martínez, 2019).

2.10.3.3. Digestión Enzimática

El uso de metodologías de digestión enzimática, se ha incorporado a través del tiempo, estas resultan en una eficiente y veloz digestión muy específica al hidrolizar proteínas y descomponer tejidos blandos (Acevedo & Hernández, 2020).

La digestión enzimática no ataca a los microplásticos; por otra parte, su aplicación es costosa lo que limita la incorporación de esta técnica. Agregando, en el procedimiento de digestión se deberá agregar una solución homogeneizante, como el tapón Tris-HCl 400 ml, lo que incrementa el costo (Flores Calle & Orozco Gualoto, 2022; Martínez, 2019).

Las digestiones enzimáticas, su fundamento es el uso de proteasas, por ejemplo, la proteinasa – K, tripsina, papaína, colagenasa y lipasas principalmente (Acevedo & Hernández, 2020).

2.11. Preparación de Analitos para un Análisis Químico

La preparación de las muestras, para efectuar un análisis químico de metales pesados en soluciones líquidas, de acuerdo a diversos estudios como el de Argota Pérez et al. (2014), Cedeño Ochoa

(2006), Miranda Quintero (2015), Velázquez Ocampo (2018), se realiza un pre filtrado de la muestra, seguido de una filtración con un poro de $0,45 \mu\text{m}$ de poro y 47 mm de diámetro, los filtros pasan por pretratamiento con agua destilada, finalmente se realiza una acidificación de la alícuota de 60 ml con ácido nítrico HNO_3 y peróxido de hidrogeno H_2O_2 a un pH de 2.

2.11.1. Microfiltración

Es una operación unitaria, proceso en el cual consiste en filtrar un volumen de un fluido, líquido o gas, a través de una membrana o filtro de tamaño de poro menor a $10 \mu\text{m}$, como resultado se obtiene una separación de partículas de tamaño inferior a $10 \mu\text{m}$ (Criollo Guallasamín, 2019; Flores Calle & Orozco Gualoto, 2022; Pallarés Sabater et al., 1992; Tituchina Quillupangui, 2019). Las aplicaciones de la microfiltración pueden ser muy diversas, industrias farmacéuticas, industrias de limpieza y depuración, industria química, separación de bacterias en agua, purificación de bebidas alcohólicas, tratamiento del agua para ultrafiltración, clarificación de líquidos, osmosis inversa, aplicaciones varias de agua de alta pureza (Flores Calle & Orozco Gualoto, 2022).

2.11.1.1. Volumen de la Muestra a Filtrar

Un parámetro clave a tener en consideración es el volumen de la muestra a filtrar, ya que, si se excede el volumen a filtrar, el filtro puede sobre utilizarse lo que ocasiona un filtrado ambiguo. Según Criollo Guallasamín (2019), y Tituchina Quillupangui (2019), mencionan el criterio aproximado para definir el diámetro del uso del filtro en función del volumen de la muestra a filtrar, como se indica en la tabla 2.

Tabla 2

Volumen de la muestra a filtrar en función del diámetro

Volumen de la muestra	Diámetro	
	Membrana	Jeringa
ml	mm	mm
< 1	-	4
< 5	13	15

< 100	25	25
< 1000	47	-

Nota 4 Adaptado de “Microfiltración” (p. 5), por (Pallarés Sabater et al., 1992).

2.11.1.2. Clasificación de Filtros

De acuerdo a diversas aplicaciones de la filtración, los medios filtrantes se pueden clasificar en filtros de superficie y filtros de profundidad, según Sánchez (2016).

2.11.1.3. Medios Filtrantes De Superficie

Su fundamento personal es la intercepción directa, los contaminantes de diámetro menor que el tamaño del poro pasaran a través del filtro, existe un efecto en el filtrado por la intercepción disfuncional, entre los principales medios filtrantes de superficie tenemos (Sánchez, 2016):

- Acetato de celulosa;
- Polivinildifluoruro (PVDF);
- Nylon;
- Polisulfona;
- Polietersulfona;
- Politetrafluoroetileno (PTFE).

2.11.1.4. Medios Filtrantes de Profundidad

En la superficie y en el espesor del medio filtrante, quedan retenidas las partículas. Por lo tanto, la eficiencia de retención de contaminantes se incrementa.

- Polipropileno;
- Fibra de vidrio

2.11.2. Características del Medio Filtrante Empleado en la Experimentación

El material empleado para fabricar medios filtrantes de membrana de nitrato o acetato de celulosa, es la nitrocelulosa, son de naturaleza hidrofóbicas, es decir, sus grupos polares interactúan fácilmente con el soluto (Galeano Rojas, 2007).

Los filtros de membrana de nitrocelulosa, tiene una estructura porosa y equilibrada, lo que brinda una satisfactoria retención en muestras de agua, bebidas y fármacos. Además, su uso es ideal en el crecimiento de especies de carácter microbiológico, en esta aplicación pueden ser empleados membranas con características favorables para mencionado carácter, así, aplicando técnicas de contraste, se puede mejorar la observación y conteo de colonias (Pallarés Sabater et al., 1992).

2.11.2.1. Aplicaciones de los Filtros de Nitrato de Celulosa

- Filtración de aguas;
- Determinación de proteínas;
- Prefiltración de muestras;
- Filtración de muestras;
- Análisis microbiológico;
- Análisis cualitativos de partículas;
- Esterilización de muestras;
- Identificación de ácidos nucleicos.

2.11.2.2. Especificaciones Técnicas de los Filtros de Membrana de Nitrato de Celulosa

Según Galeano Rojas (2007), los filtros de nitrato de celulosa presentan una elevada adsorción y en combinación con técnicas de transferencia, se puede llegar a determinar proteínas y componentes de ácidos nucleicos.

Tabla 3

Características de los filtros de nitrato de celulosa

Poros	Presión	Vel. de Flujo	Compatibilidad	Temp.	Esterilización		
	Burbuja			Máx			
μm	KPa	cm^2 a 100 KPa	pH	$^{\circ}C$	Autoclave	Radiación	Oxido
					121 $^{\circ}C$	25 kGy	Efileno
0,45	250	69ml/min	4 – 8	130	Si	Si	Si

Nota 5 Adaptado de “Microfiltración” (p. 7), por (Pallarés Sabater et al., 1992).

2.12. Técnicas Analíticas para Detección e Identificación de Microplásticos y Metales Pesados

Los principios físicos y fisicoquímicos se fundamentan dentro de las técnicas instrumentales, necesitan un aparato complejo para ser aplicadas y desarrolladas. Estas técnicas instrumentales se emplean de una manera general, para facilitar las separaciones y determinaciones cuantitativas y cualitativas (Burriel et al., 2008; Harris, 2007; Skoog et al., 2015).

2.12.1. Métodos de Detección de Microplásticos

La microscopia, es el conjunto de metodologías y técnicas especializados en hacer visible cuyos objetos que a simple vista no pueden ser observados o aquellos que están fuera del rango de resolución del ojo humano. El microscopio es el equipo fundamental de la microscopia, su uso se requiere para producir imágenes a partir de un cúmulo de técnicas y métodos afines a su uso (Bodega, 2015; Camacho Garrido, 2014).

2.12.1.1. Microscopia Óptica

La microscopia Óptica, es una técnica empleada para conocer las estructuras de diferentes tipos de muestras, mediante el aumento de una lente con un haz de luz visible. El microscopio óptico emplea lente de vidrio y un haz de luz, a través de fotones en su funcionamiento, como resultado se genera una imagen del objeto de mayor tamaño mediante un sistema de lentes amplificadores (Bodega, 2015; Flores Calle & Orozco Gualoto, 2022).

2.12.1.2. Microscopia Electrónica

El fundamento del microscopio electrónico es el uso de electrones para hacer visibles los objetos sujetos a observación. A diferencia del microscopio óptico, este posee mayor rango de resolución, esto se debe principalmente a la longitud de onda que emplean estos instrumentos en su funcionamiento (Bodega, 2015). En la microscopia electrónica λ oscila entre 0.001 y 0.01 nm, mientras que λ en la microscopia óptica oscila entre 380 y 780 nm, lo que marca la diferencia al momento de observar los objetos dentro de la matriz muestra (Skoog et al., 2015).

2.12.1.3. Microscopia de Barrido por Sonda

Esta metodología permite estudiar las muestras por el rastreo o barrido de su superficie con una sonda. En la transición del equipo la sonda sufre alteraciones en su proceso de rastreo lo que permite obtener información sobre la materia subyacente. Los resultados dependerán de la interacción de la sonda y la materia analizada (Bodega, 2015).

2.12.1.4. Microscopia de Fluorescencia

El microscopio de fluorescencia es aquel en que los objetos son iluminados por rayos de una determinada longitud de onda. Es un proceso que permite estudiar materiales fluorescentes de manera natural o tratados con sustancias autofluorescentes. El resultado se obtiene a través de la radiación electromagnética emitida por las moléculas que han absorbido la excitación primaria y remitido una luz con mayor longitud de onda. La colocación de filtros adecuados es de gran importancia, debido a que, de ellos depende el paso de la emisión secundaria deseada o luz emitida (Flores Calle & Orozco Gualoto, 2022).

2.12.2. Métodos de Detección de Metales Pesados

2.12.2.1. Espectrofotometría

La espectrofotometría es un cumulo de metodologías y técnicas, que basan su fundamento en la utilización del factor externo luz para medir las concentraciones químicas, en otras palabras, es una técnica

analítica empleada para cuantificar la cantidad luz que absorbe una sustancia midiendo la intensidad de la luz resultante, es decir, cuando un haz luminoso pasa a través de la solución muestra, con base en la Ley de Beer – Lambert (Harris, 2007).

2.12.2.1.1. Métodos Espectrofotométricos de Análisis

Espectrofotometría de absorción molecular UV – Visible

Este método espectrofotométrico, el equipo empleado para realizar mediciones se denomina Espectrofotómetro UV – Visible, mide la absorbancia de la solución; por lo tanto, cuando se desea medir la absorbancia de un analito por este método es necesario que el analito posea una propiedad específica de absorber radiación electromagnética, es decir, luz en la región del UV – Visible. En otras palabras, cuando el haz de luz incide sobre el analito, el mismo absorbe energía la que utiliza para pasar de su estado basal de energía, el más bajo, a un estado excitado de mayor energía (Skoog et al., 2015).

Espectrofotometría de emisión atómica fotometría de llama

Las técnicas de espectrofotometría de emisión atómica, según Daniel Harris (2007), mencionó que está basado en la medición de la luz emitida por átomos o iones de un elemento que se desea analizar y que se encuentran en estado de vapor. Todos los átomos a temperatura ambiente, se encuentran en el estado de menor energía posible, se conoce también como su estado fundamental. La excitación de los átomos en estado de vapor puede realizarse de varias maneras, en la técnica fotometría de llama, la excitación de los átomos se logra mediante la adición de energía térmica en forma de calor por medio de una llama (Harris, 2007; Skoog et al., 2001).

El tiempo de excitación de los átomos es corto, y rápidamente regresa a su estado fundamental emitiendo luz de una longitud de onda característica conocida como fotón. La señal de emisión que se mide en el fotómetro de llama es directamente proporcional a la concentración del átomo que emite, por lo tanto, se puede estimar las concentraciones de los diferentes analitos (Skoog et al., 2015).

2.12.2.2. Espectroscopia

La espectroscopia es el conocimiento que estudia las interacciones que se acontecen entre la materia y la radiación. “Los métodos de análisis espectroscópicos se basan en la medición de la cantidad de radiación producida o absorbida por las especies atómicas o moleculares que se analizan” (Skoog et al., 2001).

2.12.2.2.1. Métodos Espectroscópicos de Análisis

Espectroscopia de emisión atómica

La espectrometría de emisión atómica comúnmente es la más empleada en el análisis elemental. Actualmente el acoplamiento de plasma inductivo (ICP) por sus siglas en inglés, es la técnica espectroscópica de mayor aplicación; sin embargo, la Espectrometría de plasma de corriente continua (DCP) por sus siglas en inglés, y flamas aún son aplicables en algunos casos y circunstancias especiales (Skoog et al., 2015).

La espectroscopia de emisión atómica se emplea para determinar diferentes elementos, de distintos tipos de matrices ambientales. Para dicho uso, existen dos tipos de instrumentos disponibles. El espectrómetro de secuencia; emplea un monocromador y escanea diferentes líneas de emisiones dentro de una secuencia establecida. Normalmente el usuario determina las longitudes de onda para emplear el equipo, a través de un programa informático. El monocromador modifica las longitudes de onda. Por otra parte, el espectrómetro de lectura directa; emplea un policromador con 64 detectores ubicados en cada salida del plano focal del equipo (Harris, 2007)

Una de las múltiples aplicaciones es el ICP, es el equipo más empleado para la espectroscopía de emisión. Su éxito se explica debido a su alta estabilidad, bajo ruido, bajo fondo y libertad de muchas interferencias. El plasma de acoplamiento inductivo se utiliza ampliamente en la detección de metales traza es muestras ambientales, por ejemplo, agua potable, agua residual, agua subterránea, y agua de

escorrentía. El DCP ha encontrado un porcentaje significativo en la determinación de metales traza en el suelo y muestras geológicas (Harris, 2007; Skoog et al., 2015).

Espectroscopia de absorción atómica

Hoy en día la espectrometría de absorción atómica es el método atómico más relevante y empleado de todos, debido a su simplicidad de aplicación, su alta eficiencia y bajo costo. Su fundamento se basa en la radiación de una línea que es enfocada sobre el vapor atómico de una flama o atomizador electrotermico. La fuente de radiación atenuada ingresa a través de un monocromador que aísla el componente de interés por medio de la línea, consecuente el poder radiante de la fuente es atenuado por medio de absorción y a través del tubo fotomultiplicador es transformado en una señal eléctrica. Finalmente, la señal es procesada y dirigida hacia un sistema computacional para su salida (Skoog et al., 2015).

Una de sus aplicaciones se torna en el equipo que emplea una absorción atómica de flama, pues ofrece un medio sensible para la determinación alrededor de 70 elementos. Sin embargo, una de las desventajas de la absorción atómica de flama, es que se puede analizar solamente un elemento a la vez, lo que limita y extiende el uso del equipo (Harris, 2007; Skoog et al., 2015).

Espectroscopia de fluorescencia atómica

La espectrometría de fluorescencia atómica (ASF) por sus siglas en inglés, es una aplicación de metodología óptica dentro de la espectroscopia atómica óptica. Su funcionamiento es similar a la absorción atómica, puesto que emplea un instrumento para lograr la excitación del elemento de interés. La diferencia radica que, en lugar de medir la atenuación de la fuente, se mide la radiación emitida como resultado de la absorción, generalmente en ángulos rectos con el objetivo de evitar medir la radiación de la fuente (Skoog et al., 2015).

Sin embargo, la aplicación de la fluorescencia atómica para la mayoría de los elementos no presenta ventajas sobre la absorción atómica basada en láser, debido a que, los costos son muy elevados

y muy escasamente se adquiere láseres de alta energía. Por otra parte, la fluorescencia atómica presenta la desventaja de ser una técnica aplicable para un solo elemento, sin embargo, esta desventaja puede pasar desapercibida empleando láseres con longitudes de onda que se puedan sintonizar, lo que conlleva una mayor complejidad en el método (Harris, 2007; Skoog et al., 2015).

Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier

Es una técnica espectrométrica que comúnmente se emplea para estimar la concentración o la cantidad de especies sujetas a determinación, el instrumento que realiza las mediciones es un espectrómetro o un espectrógrafo (Harris, 2007).

La espectroscopia (FTIR por sus siglas en inglés), su fundamento se basa en la radiación infrarroja que pasa a través de una muestra, una parte de ella es absorbida y la otra parte la atraviesa. Las muestras sujetas a determinaciones, requieren una mínima preparación, su uso es variado, analiza sustancias orgánicas e inorgánicas (Flores Calle & Orozco Gualoto, 2022).

2.13. Marco Conceptual

2.13.1. Polución

La polución se define como la contaminación del medio ambiente, especialmente de las matrices ambientales, agua, aire y suelo, producido por procesos naturales y actividades antrópicas, el ingreso de estas sustancias químicas o energía en los ecosistemas, provoca que el medio se torne inseguro y no apto para el desarrollo de los ciclos de vida (Estrada et al., 2016).

2.13.2. Partículas Suspendidas Totales

Se entiende como partículas a cualquier sustancia excepto agua pura. Las partículas suspendidas totales pueden estar presentes en la atmósfera en estado líquido y sólido, su tamaño es variable. Este contaminante es el resultado de la emisión directa de partículas y una serie de reacciones químicas con otros elementos, radiación solar, radicales, entre otros, contaminantes que se condensan y dan como resultado las partículas. Su clasificación general es de acuerdo al diámetro de la partícula; partículas

suspendidas totales (PST), diámetro mayor a $100 \mu m$, partículas respirables o inhalables (PM_{10}), diámetro menor a $10 \mu m$, partículas finas con un diámetro menor a $2.5 \mu m$ ($PM_{2.5}$), y ultrafinas con un diámetro menor a $1 \mu m$ (Pérez et al., 2010).

2.13.3. Trazas

Es el termino habitual para describir un elemento químico cuya concentración en el medio es mínima, su concentración promedio es menor a 1000 ppm. Existen metales pesados cuyas concentraciones en diversos matices ambientales es mínima, los mismos se denominan metales trazas (Chacón Chumacero et al., 2016).

2.13.4. Métodos Analíticos

Es un tipo de método de investigación, el cual se encarga de separar, identificar y determinar la composición relativa de cualquier muestra de materia, a través de un análisis mediante observación directa de un suceso en particular (Gary, 2017).

2.13.5. Separación de Fases

Es una rama de las operaciones unitaria, es un proceso físico por el cual se pueden separar las mezclas entre sustancias en diferente estado de materia (Chang & Goldsby, 2013).

2.13.6. Filtración

Es un proceso unitario de separación de fases entre un sólido y un líquido a través de un medio filtrante, comúnmente conocido como tamiz, criba o cedazo, entre otros, de naturaleza sintética o natural (Chang & Goldsby, 2013).

2.13.7. Celulosa

“Es un biopolímero compuesto exclusivamente de moléculas de β glucosa, es una molécula orgánica más abundante en el mundo, debido a que, forma parte de la biomasa terrestre. Sus aplicaciones son varias en todos los ámbitos, productivos, químicos, salud, entre otros” (Criollo Guallasamín, 2019).

2.13.8. Polímeros

Es una sustancia, que se compone por macro moléculas, comúnmente de origen orgánico, se forman a través de la unión por medio de enlaces covalentes de una o varias unidades simples llamadas monómeros, debido a su gran distribución y variedades, los polímeros sintéticos representan un impacto positivo y negativo (Böhl Stiftung, 2019).

2.13.9. Fluorescencia

Es un tipo particular de fotoluminiscencia, el cual describe la emisión de fotones de un material después de someterse a iluminación con luz. La luz emitida presenta una longitud de onda más larga que la luz excitante. La fluorescencia es ampliamente utilizada en microscopia como herramienta de observación de elementos específicos (Bodega, 2015; Flores Calle & Orozco Gualoto, 2022).

2.13.10. Luz de Malla

Es la longitud medida en μm de la distancia de lado de cada cuadrado libre que conforma el tejido del filtro de configuración cuadrada o circular (Criollo Guallasamín, 2019).

2.13.11. Disolución

La dilución consiste en mezclar sustancias de manera homogénea. Donde la concentración de soluto disminuye al aumentar la dilución (Heras, 2001).

2.13.12. Concentración

“Es la presencia de un soluto en una determinada cantidad de disolvente. En otras palabras, cuanto menor es la densidad del soluto en el solvente, menos concentrada está la solución, y cuanto mayor es la densidad, más concentrada es la solución” (Fuentes, 2020).

2.13.13. Evaporación

Es la transición continua de una sustancia, pasando del estado líquido al estado gaseoso o vapor. Este fenómeno ocurre en la superficie del líquido, a cualquier temperatura hasta que el espacio que rodea inmediatamente al líquido se satura de vapor (Manzur & Cardoso, 2015).

2.13.14. Curva de Calibración

Las curvas de calibración se utilizan para encontrar las concentraciones de una disolución de muestras desconocidas. Además, se construyen a partir de al menos 5 puntos de concentración conocidos para obtener o determinar un rango lineal, comúnmente a través de la adición de estándares externos (Perdomo, 2017).

2.13.15. Estándar

El estándar es un patrón que asegura el control y la calidad en el manejo de datos (UNAM, 2018).

2.13.16. Solución Patrón

El patrón primario sirve como guía porque es una solución de concentración conocida, preparada pensando directamente en el estándar principal del reactivo, disuelta en un solvente adecuado y llevada a un volumen exacto conocido (González Aguña, 2012; Granda Vaca, 2019).

2.14. Estado del Arte

En los microplásticos, al tener escasos estudios científicos acerca de la contaminación en la lluvia, establece un tema peculiar y de mucho interés. Por lo cual, se tomaron como antecedentes de estudios relacionados con fuentes hídricas. A continuación, se mencionan algunos de ellos.

En una investigación publicada por la revista Ciencia y Tecnología titulada "Efectos de los microplásticos en el medioambiente: un macroproblema emergente", cada año se producen unos 300 millones de toneladas de plástico que provocan daños irreparables en los ecosistemas, ya que 13 millones se vierten en ríos y océanos. En 2015, de 8300 millones de toneladas de plástico, 6300 toneladas se convirtieron en residuos y solo el 9 % se recicló. Los efectos que pueden causar los plásticos aún no se consideran un problema de salud humana. Sin embargo, algunos estudios muestran efectos negativos del plástico y sus residuos. (Giraldez Alvarez et al., 2020).

El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) presentó un reporte en 2019 llamado "Está lloviendo microplásticos". El estudio involucró en analizar 300 muestras de agua de lluvia recolectadas de

seis sitios urbanos cerca de la ciudad de Denver y dos ubicaciones remotas en las Montañas Rocosas del Parque Nacional Rocky, de las muestras analizadas, el 90% contenía microplásticos. Hasta ahora, los científicos han demostrado que los plásticos pueden evaporarse con el agua, permanecer en la atmósfera y luego condensarse. Además, en una investigación, científicos alemanes y suizos descubrieron que los plásticos contaminan las nevadas en regiones tan alejadas del planeta como el Ártico (Collazos, 2019).

Mediante un estudio realizado por Heather Leslie, Martin van Velzen, Sicco Brandsma, Dick Vethaak, Juan Garcia Vallejo y Marja Lamoree, titulado como “Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood” realizaron estudios con muestras de sangre de 22 personas sanas, con un método analítico existente: cromatografía de gases y espectrometría de masas para detectar y analizar a nivel de trazas de micro y nanopartículas de plásticos en la sangre. Investigadores de Países Bajos encontraron pequeños pedazos de plástico en el 80% de las personas. Como resultado, el tereftalato de polietileno también conocido como PET, fue el más común en las muestras, seguido del poliestireno y el polietileno. Se ha abarcando una concentración promedio de 1,6 microgramos por mililitro de partículas plásticas en la sangre de los donantes, siendo la primera concentración de polímeros plásticos medida en sangre humana (Leslie et al., 2022).

En el estudio realizado por Purca y Henostroza en el año 2017 titulado “Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú”, donde el 80% de las muestras tomadas en cuatro playas han presentado grandes partículas de plástico, de tamaño mayor a 1 milímetro. La playa Costa Azul por metro cuadrado suma 522 partículas de microplásticos. La playa de la Albúfera de Medio Mundo tiene la menor cantidad y peso de microplásticos. Durante el análisis de una muestra aleatoria de la playa costa azul, se descubrieron por espectroscopia FTIR cinco fragmentos con poliuretano (PE), dos fragmentos con polipropileno (PP) y un fragmento con estireno (EPS) (Purca & Henostroza, 2017).

Jessica Ruiz realizó un estudio en 2021 llamado “Evidenciación de la presencia de microplásticos en agua, sedimento y tracto digestivo de tilapia (*Oreochromis aureus*) proveniente de la laguna de

Catemaco, Veracruz”, dan a conocer el análisis de las muestras mediante el método de separación de sedimento. Se detectaron 122 partículas de plástico en el 75% de las muestras de sedimentos, 247 partículas de plástico en el 100% de las muestras de agua y 39 partículas en el tracto digestivo de los 6 especímenes. En el segundo muestreo del 75% de las muestras de sedimentos se encontraron 132 partículas, 30 partículas en dos muestras de agua y en el tracto digestivo no tenía presencia de microplásticos. De los tres factores, el agua tiene el mayor porcentaje de microplásticos, seguido del sedimento y finalmente el tracto digestivo de la tilapia. Sin embargo, los tres son fundamentales para la salud de los seres vivos y el equilibrio de la cadena alimenticia (Ruiz, 2021).

En el estudio realizado en el año 2019 por Katherine Poma “Determinación de la presencia de microplásticos en cerveza artesanal e industrial” se analizaron 14 muestras de cerveza artesanal e industrial procesada en diferentes lugares de Ecuador mediante observación directa en el microscopio invertido AmScope. Detectaron microplásticos en mayor cantidad en el Parque Industrial en Cuenca con 376 partículas. Mientras que en Quito en la parroquia Guamaní el número de partículas fue de 35. Donde concluyen que el método utilizado es el más efectivo en la retención de microplásticos, principalmente para fragmentos, ya que se encuentran dentro del alcance de la metodología establecida (0,8 μm – 250 μm) (Poma Ambuludi, 2019).

Mediante un estudio realizado por Jhennifer Flores y Karen Orozco titulada como “Evaluación de la presencia de microplásticos en agua embotellada en la regional 6”, analizaron 72 muestras de 4 marcas de agua embotellada mediante microscopía óptica de fluorescencia y espectroscopia FTIR. Donde se encontraron fibras y fragmentos plásticos, con un rango de 4.4 μm – 248.29 μm de fragmentos y de 102.64 μm – 840.20 μm de fibras. Concluyeron que la mayor cantidad de partículas encontradas son de polietileno (Flores Calle & Orozco Gualoto, 2022).

Anteriormente se mencionaron estudios bibliográficos especializados en microplásticos, que además de ser un tema nuevo, son los problemas más relevantes que enfrenta el mundo, razón por la

cual, los estudios se preocupan fundamentalmente por la presencia y efectos de los microplásticos en las playas, agua embotellada, cerveza, sedimentos y el tubo digestivo de tilapia, a través de métodos analíticos en laboratorios como; observación directa en microscopía invertido AmScope, cromatografía líquida (HPLC), separación por deposición, espectroscopía FTIR, entre otros. Gracias a estos estudios, la técnica utilizada quedó claramente definida. Lo más recomendable es a través de dos técnicas de laboratorio, que detectarán la presencia de microplásticos en el agua, siendo estas técnicas; Microscopía óptica y espectroscopía FTIR.

A diferencia de los microplásticos, los metales pesados han tenido fuertes impactos en los ecosistemas acuáticos, marítimos, terrestre, aéreos e incluso en la salud humana. Debido a que, no se eliminan del ecosistema por procesos naturales, no son biodegradables. A continuación, se describen algunos estudios sobre la presencia de metales pesados en fuentes hídricas.

AlQutob y colaboradores (2016), en su estudio “Analysis of Different Rare Metals, and Rare Earth Metals in Harvested Rain Water in Gaza Strip Palestine by ICP MS Data and Health Aspects” determinaron la calidad de agua de lluvia recolectadas para el consumo humano y para el riego de sus sembríos en Gaza Palestina. De las 43 muestras recogidas, se analizaron: rubidio (Rb), circonio (Zr), titanio (Ti), talio (Tl), antimonio (Sb), escandio (Sc), itrio (Y), lantano (La) y celió (Ce). Las concentraciones de los metales analizados varían de una muestra a otra, desde un mínimo de 0,02 ppb para Tl, hasta un valor máximo de 1537,5 ppb para Ti, lo que representa un posible riesgo para la salud de quienes consumen directamente de las precipitaciones, ya que no existe límite permisible ni toxicidad de estos metales.

En este artículo científico elaborado por Dimitris Vlastos y sus colaboradores, titulado “Assessment of the toxic potential of rainwater precipitation: First evidence from a case study in three Greek cities” publicado en el año 2019, presentan un análisis de muestras de agua de lluvia de las ciudades de Corfú, Agrinion y Patras. Los resultados resaltan valores de pH que oscila entre 5,37 y 7,17. Por otra parte, en las muestras analizadas se detectaron metales como Al, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sb, Cd. El cobalto (Co)

presento la concentración más baja de 0.16 µg/l, por otra parte, el hierro (Fe) presento la concentración más alta de 86.6 µg/l (Vlastos et al., 2019).

En la publicación de la revista *Materials and Environmental Science*, acerca de metales pesados, titulado "Determination of trace heavy metals in harvested rainwater used for drinking in Hebron (south West Bank, Palestine) by ICP MS" en el año del 2014 por Qutob y sus colaboradores, analizaron 43 muestras de agua de lluvia, ocho días después de un bombardeo en noviembre de 2012. Las muestras de agua mostraron valores de pH dentro de los límites de la "Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA)". Sin embargo, se detectaron metales en todas las muestras tomadas, con valores superiores a los niveles permitidos por la OMS en agua potable. Los metales con concentraciones máximas son cromo 165,5 µg/l, manganeso 552,3 µg/l, cobre 925,5 µg/l, el zinc 302,98 µg/l, el plomo 485.6 µg/l y plata 149,7 µg/l. Concluyeron que el agua de lluvia que recolectan para beber y regar las plantas está contaminada con metales, en efecto, pueden afectar la salud humana (Qutob et al., 2016).

En la investigación "Health and exposure risk assessment of heavy metals in rainwater samples from selected locations in Rivers State, Nigeria" dan a conocer que se utilizó un espectrómetro de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente para analizar muestras de agua de lluvia. Se demostró que los metales como el arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), hierro (Fe), mercurio (Hg), plomo (Pb) y zinc (Zn), se encuentran con valores por muy debajo de los límites establecidos por la OMS y FAO. Indicando que la población de Nigeria no tiene riesgo con metales en el consumo del agua de lluvia (Omokpariola & Omokpariola, 2021).

En el artículo científico realizado en 2017 por Carlos Doria Argumedo "Heavy metals (Cd, Cu, V, Pb) in rainwater from the most added area of La Guajira carbón mine, Colombia", analizaron metales pesados Cu, Cd, V y Pb en 21 muestras de agua de lluvia, mediante espectroscopía de absorción atómica. Detectando metales en promedio de: Cu $23,47 \pm 13,97$ µg/l, Cd $4,72 \pm 3,29$ µg/l y V $11,25 \pm 6,75$ µg/l. Mientras que el plomo (Pb) no se presenta en la atmósfera como contaminante (Doria Argumedo, 2017).

En la publicación “Determinación de metales pesados mediante fluorescencia de rayos X en sedimentos del agua en la microcuenca del río Huancaray, Apurímac - Perú, para periodos de estiaje y lluvia” analizaron muestras de sedimentos tomadas en cinco sitios profundos de 10 a 20 cm de profundidad. Detectando diferentes concentraciones de metales como: K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb y Ba. Concluyendo que las aguas de la microcuenca del río Huancaray se encuentra parcialmente contaminada con respecto a la parte superior la microcuenca, mientras que, la parte inferior se encuentra totalmente contaminada por metales pesados (Olivera et al., 2020).

En la investigación “Determinación de metales pesados en los cuerpos de agua del Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla, Región Callao, Perú” analizaron metales pesados en muestras de agua de 17 estaciones de muestreo durante tres etapas, mediante el método de plasma acoplado inductivamente (ICP). Se han encontrado varios metales en los sedimentos. Por lo que, las propiedades fisicoquímicas encontradas de las muestras se compararon con los límites establecidos en la legislación peruana de 2008 y 2015. Los valores detectados de metales pesados como plomo, arsénico y mercurio fueron superiores (Fajardo Vidal et al., 2017).

Mediante un estudio realizado por Delia Pacco Choquepata titulado “Determinación de metales pesados en leche y pelo de vacas de la cuenca del río Llallimayo Melgar – Puno” realizaron estudios para determinar las concentraciones de los metales pesados como: mercurio, cadmio y plomo, en la leche y pelaje de vacas criadas en pastos regados con agua del río Llallimayo. Mediante la técnica de absorción atómica con horno de grafito se analizaron un total de 12 muestras de leche y 12 muestras de pelos. Obteniendo concentraciones promedias de metales pesados en leche: plomo 0.0256 mg/kg; mercurio 0.0022 mg/kg y cadmio 0.0012 mg/kg de leche, mientras que la concentración de metales pesados en el pelaje fue: 0.0138mg/kg mercurio, cadmio 0.0098 mg/kg de pelo respectivamente. Concluyendo que esta contaminación es debido a que el río Llallimayo supero el límite máximo permisible de metales pesados (Pacco Choquepata, 2018).

En el artículo científico “Presencia de metales pesados Cadmio y Plomo en el estuario del río Chone Manabí, Ecuador” publicado en septiembre de 2017, se recolectaron 66 muestras, incluidas 6 muestras de agua y 5 muestras de suelo en 6 localidades. El análisis se realizó de acuerdo con el protocolo de cadmio de MerckMillipore y el kit de plomo. Los resultados de la comparación con la legislación ecuatoriana muestran altas concentraciones de cadmio en los ecosistemas estuarinos. Concluyendo que la presencia de este metal puede afectar la salud de los organismos que viven a nivel de la columna de agua, así como la salud de los organismos acuáticos, actividades recreativas de los nadadores locales, de los cantones Sucre y San Vicente (Pozo Miranda, 2017).

La presente investigación de artículos científicos se ha dedicado al estudio de la determinación de metales. Son estudios que nos aportan información suficiente para poder establecer la técnica más óptima para la detección de metales pesados, es decir, la espectroscopia de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP). Por lo tanto, se utilizará en la metodología para aplicarlo en la determinación de metales pesados en las precipitaciones pluviales en la ciudad de Cuenca.

CAPÍTULO TRES

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1. Metodología de Investigación

3.1.1. Nivel de investigación

El grado de profundidad con el que se investiga la presencia de microplásticos y metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg) y Plomo (Pb), en las precipitaciones pluviales sobre el casco urbano de la ciudad de Cuenca, definen la investigación como descriptiva, debido a que es un tema medianamente estudiado. Sin embargo, los resultados de esta investigación constituyen un nivel intermedio en cuanto a la profundidad de conocimientos se refiere. Por otra parte, el desarrollo de esta investigación permite obtener datos y variables que justifican e impulsan el desarrollo de nuevos conocimientos; propiamente respondiendo nuestra pregunta de investigación.

3.1.2. Diseño de Investigación

La estrategia adoptada para desarrollar la investigación se define por la obtención de los datos a partir de la variable independiente y la no manipulación de las condiciones de las variables dependientes. Por lo tanto, el diseño de la investigación se divide en documental y de campo.

Diseño documental se emplea en la búsqueda, análisis e interpretación de fuentes y datos secundarios, es decir, aquella bibliografía obtenida y registrada por otros investigadores provenientes de diversas fuentes documentales. Diseño de campo, consiste en la obtención de datos directamente de las variables sujetas a investigación, sin manipulación o control de las condiciones externas, es decir obtenemos la información sin alterar, modificar o influir en la variable independiente.

3.1.3. Población y Muestra

3.1.3.1. Población

El desarrollo de la investigación se centra en conocer la composición de la lluvia referente a contaminantes (microplásticos y metales pesados), es decir, la investigación se trabajó con una población accesible o muestreada a la cual se extrae una muestra representativa. Por lo tanto, la población muestreada son los eventos de precipitaciones atmosféricas (lluvia, rocío, granizo) delimitados dentro de la zona urbana de la ciudad de Cuenca, como se observa en la figura 1, comprendido en el apartado delimitación geográfica de la investigación.

4.1.3.1. Muestra

Por razones ajenas a la ejecución del proyecto, resulta impracticable abarcar la totalidad de los elementos de la población accesible, se recurrió a seleccionar una muestra representativa, de tal manera que, por su tamaño y características comunes y similares a las del conjunto, nos permite hacer deducciones de los resultados con un margen de error conocido. Por lo tanto, se empleó un muestreo al azar simple, en el cual todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados, en efecto, se definieron sitios específicos de muestreo.

Los sitios de muestreo son: sector 1 Unidad Educativa Juan Montalvo ubicado en la Calle J. Lavalle y Calle A. Ricaurte, sector 2 Unidad Educativa Luis Cordero ubicado en la calle Honorato Vásquez y Vargas Machuca, sector 3 barrio Atapsa ubicado en la calle Nicolás de Rocha y Joaquín Crespo Toral, sector 4 parque del Recreo ubicado en la Av. Primero de Mayo y Gaspar de Villarroel, sector 5 Universidad de Cuenca campus Yanuncay ubicado en la Av. Doce de Octubre y Diego de Tapia, sector 6 Colegio Técnico Daniel Córdova Toral ubicado en la Av. Diez de Agosto y David Díaz, sector 7 parque de la libertad ubicado en la calle Nicanor Merchán y Pedro León, sector 8 Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica (antiguo SENAGUA) ubicado en la calle Núñez de Bonilla y Av. Hurtado de Mendoza, sector 9 Instituto American Collage ubicado en la Av. Gonzales Suarez, sector 10 Biocorredor del rio Yanuncay ubicado en la vía a Soldados.

3.1.4. Operacionalización de Variables

En el desarrollo del trabajo de investigación se ha definido la variable independiente como todos aquellos eventos de precipitación atmosférica (lluvia, llovizna, granizo, rocío) ocurridos dentro de la delimitación de la zona de estudio, como se puede identificar en la de la figura 1, comprendido en el apartado de delimitación geográfica de la investigación. Por otra parte, las variables dependientes corresponden a la cantidad de microplástico, tamaño de partículas de microplástico, tipo de plástico y concentración de metales pesados, se detallan en la tabla 4.

Tabla 4

Matriz de operacionalización de variables

Variable	Indicador
Eventos de precipitaciones (muestras de lluvia)	Urbano
Cuantificación de Microplásticos	Partículas totales de microplásticos (números)

Tamaño de partículas	Unidades de medida (micrómetros μm)
Metales Pesados	Presencia/Ausencia
Concentración de Metales Pesados	Unidades de concentración (<i>ppm o ppb</i>)

3.1.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Las técnicas que se emplearon para la recolección de datos dentro del diseño de investigación documental son; análisis documental y análisis de contenido, mediante la búsqueda de documentación, por medio de palabras clave, a través de plataformas virtuales como Google Scholar, Scielo, Latindex, eLibro, ProQuest, ebrary y Scopus; recabando datos e información, empleando gestores bibliográficos como instrumentos de recolección de datos; Mendeley Desktop y Zotero, para su posterior análisis de contenido.

Por otra parte, dentro del diseño de investigación de campo, la técnica que se empleó, es la observación directa y levantamiento de datos, los instrumentos empleados en la observación directa son; del tipo estructurada, empleando equipos analíticos de laboratorio; y no estructurada ya que se emplearon como instrumentos; diario de campo y libreta de apuntes.

3.1.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

La investigación se basa en un estudio del tipo descriptivo, las técnicas de procesamiento de datos se sometieron a una clasificación y registro, mediante el software Excel y ImageJ Fiji; empleando tablas, gráficos y diagramas para la presentación de la información; por otra parte, el análisis de datos implicó técnicas estadísticas del tipo descriptivo, se realizó un análisis de comparación de los resultados en los diferentes puntos de muestreo, a través de un análisis de varianza ANOVA, prueba de Tukey y diagramas de cajas y bigotes.

3.2. Metodología de Ubicación de Puntos de Muestreo

3.2.1. Colocación de los Puntos de Muestreo

Para establecer la ubicación de los puntos de muestreo se han establecido ciertos lineamientos que validen la obtención de las alícuotas en los puntos de muestreo en el marco del desarrollo de la investigación.

3.2.1.1. Descripción de los Factores Físicos del Territorio a Monitorear

Cuenca, está ubicada en la región centro sur del Ecuador, a una altitud de 2538 metros sobre el nivel del mar, una superficie de 70,59 Km² y un clima varía entre 14 °C y 18 °C. El cantón Cuenca está situado en el sistema montañoso y campos de terrazas. Además, está rodeada por cuatro ríos principales, Tomebamba, Yanuncay, Machángara y Tarqui, los mismos atraviesan la ciudad de oeste a este (GADCuenca, 2015).

El cantón también es conocido como Atenas del Ecuador por su arquitectura colonial española, su diversidad cultural, los hombres que contribuyeron al desarrollo de la ciudad con la ciencia y el arte y por ser también el lugar de producción que generó muchas figuras ilustres de la sociedad ecuatoriana. En 1999, la identidad de la ciudad ha quedado marcada desde que el Centro Histórico de Cuenca fue declarado “Patrimonio Cultural por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura (UNESCO)”. Entre ellos se encuentran iglesias, sitios históricos, plazas, parques y casas tradicionales. Por otra parte, el parque Nacional El Cajas, ha sido designado patrimonio natural de la humanidad por la UNESCO, por brindar un servicio excepcional a la ciudad, es considerada la fuente de agua más pura de América Latina (GADCuenca, 2015).

3.2.1.2. Factores Influyentes en la Contaminación del Aire del Cantón Cuenca

Los problemas de la calidad del aire no se limitan a las zonas urbanas. Están influenciados por la industria, los automóviles, el transporte motorizado y la urbanización. Esto podría en el futuro significar una calidad de vida deteriorada. Los desechos industriales son una preocupación creciente en esta ciudad

en crecimiento. El rápido desarrollo de la ciudad debido al crecimiento de la población provoca la contaminación con desechos domésticos y otros desechos. La contaminación del aire está aumentando debido al incremento del parque automotor. Los contaminantes presentes son (Campaña, 1992; Gutiérrez, 2015):

- Dióxido de azufre (SO₂);
- Monóxido de carbono (CO);
- Óxido de nitrógeno (NO_x);
- Compuesto orgánico volátil (COV'S);
- Ozono (O₃);
- Partículas suspendidas totales (Ps, PM₁₀ y PM_{2,5})

3.2.1.2.1.Densidad Poblacional

El Cantón Cuenca tiene una población de alrededor de 603.269, según el “Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC)”. Esto da como resultado una densidad poblacional de 4674 hab/km². La mayor parte de la población se concentra en el casco urbano (INEC, 2017).

Cuenca, durante la segunda mitad del siglo XX, experimentó el crecimiento en la densidad poblacional de la ciudad. La población de Cuenca está creciendo demasiado rápido, enfrentando serios problemas con la disposición diaria de desechos domésticos e industriales (Campaña, 1992; Gutiérrez, 2015; Hermida et al., 2015). Sin embargo, la EMAC EP se vio obligada a buscar mecanismos para mantener o ampliar la prestación de servicios (EMAC EP, 2019).

La generación de residuos sólidos en las zonas urbana va en aumento con los años, lo cual es una fuente de contaminación del aire. La unidad de acopio EMAC EP recolecta diariamente un promedio de 33 toneladas de residuos sólidos. Se estima que en la zona urbana de Cuenca cada habitante genera 0,519 kilogramos de residuos sólidos al día, o 313,097 toneladas de residuos cada 24 horas (EMAC EP, 2019).

3.2.1.2.2. Tráfico Vehicular

Los vehículos pueden producir emisiones debido a la combustión incompleta del combustible o de partes del mismo, como neumáticos desgastados, entre otros. Pero el principal contaminante es emitido por los escapes de los automóviles. Sin embargo, los vehículos equipados con motores diésel producen más emisiones y contaminantes, debido a que, su combustión es incompleta; por otra parte, la gasolina, el gas natural y la electricidad, emiten en proporción menos contaminantes (Barrios, 2019).

Entre los diferentes tipos de contaminantes, el material particulado (PM) es el contaminante más producido y liberado por los vehículos que funcionan con diésel, ya que las camionetas, autobuses, y los volquetes a menudo carecen de sistemas de control de emisiones (Barrios, 2019). Cuando alcanza la atmósfera, el material particulado reacciona químicamente con otros elementos contaminantes y la radiación modificando su estructura y composición (EMOV EP, 2020).

Las partículas sedimentarias (Ps) no permanecen mucho tiempo en la atmósfera, tienden a depositarse en áreas cercanas a la fuente de emisión. Las partículas grandes (PM_{10}) son más pequeñas que las Ps, pueden viajar largas distancias. Por otra parte, las partículas finas ($PM_{2,5}$) se generan por automotores a diésel y debido a su tamaño (promedio de $0,75 \mu m$), solo pueden detectarse a través de microscopios especializados (EMOV EP, 2020).

El crecimiento del parque automotor en Cuenca ha causado el deterioro de la calidad del aire. Y los números evidencian esta realidad. Según los datos de la Dirección Municipal de Tránsito (DMT), en el año 2006 había 52.674 vehículos en Cuenca, en el 2015 esa cifra creció a 105.178 autos y actualmente se estima que hay 145.000 y tiene un crecimiento del 15% al año (Clavijo Campos, 2021). Se enfatizó que los vehículos motorizados causan una gran cantidad de emisiones e incluso más en el tráfico vehicular (Barrios, 2019). Además, en Cuenca la mayoría de vehículos son a base de gasolina y en porcentajes más bajos se encuentran los motores a diésel. Según el estudio realizado por Flores Guillén (2016), por las calles

del centro histórico como: Av. España, Huayna Cápac y Sangurima son las más transitadas diariamente.

Dichos datos del estudio se detallan en la tabla 5.

Tabla 5

Volumen de vehículos en el centro histórico de Cuenca

Tráfico vehicular diario			
Calles	Livianos	Pesados	Total
Av. España	6616	403	7019
Huayna Cápac	19219	794	20013
Sangurima	2321	503	2824
Total	28156	1700	29856

Nota 6 Adaptado de *Modelo de caracterización de la movilidad vehicular en el Centro Histórico de Cuenca* (p. 37), por (Flores Guillén, 2016).

Los datos de la tabla 6 se encuentran proyectados para el año 2015, con un resultado final anual de 33.618 vehículos que circulan por las calles del centro histórico de Cuenca.

Tabla 6 *Tráfico promedio diario anual 2015*

Tráfico promedio diario anual			
Calles	Livianos	Pesados	Total
Av. España	7449	453	7903
Huayna Cápac	21641	893	22534
Sangurima	2613	556	3180
Total	31703	1902	36618

Nota 7 Adaptado de *Modelo de caracterización de la movilidad vehicular en el Centro Histórico de Cuenca* (p. 37), por (Flores Guillén, 2016).

3.2.1.2.3. Industria

Está claro que la actividad industrial, como la mayoría de las actividades humanas, tiene un impacto negativo en el medio ambiente circundante. El impacto a la atmósfera causado por las industrias cuencanas ha contribuido al aumento de las emisiones, las mismas que son provocadas por el crecimiento industrial. En Cuenca, la principal causa de contaminación industrial son las relacionadas con los combustibles y la producción (Moscoso Vanegas et al., 2018).

El parque industrial está ubicado al norte de la ciudad de Cuenca. Se establecieron un total de 125 empresas, 75% de producción industrial, 6% de empresas comerciales y 19% de servicios; en la que destacan las siguientes industrias: alimentaria, cerámica, metalúrgica, neumática, textil, plástica, entre otros. Y la parte suroeste de la ciudad se encuentran 20 empresas que elaboran pan, pasta, ron y licores (Moscoso Vanegas et al., 2018; Villavicencio Mejía, 2014).

3.2.1.2.4. Viento

El viento, la turbulencia del aire y la elevación de la pluma tiene una gran influencia en la dispersión de los contaminantes en la atmósfera. Los cambios en la dirección del viento afectan significativamente la dispersión, debido a que, si la dirección del viento es constante, un área en particular tendrá una alta contaminación, mientras que, si la dirección del viento cambia, el nivel de contaminación será menor por cubrir una mayor área. Por otra parte, la velocidad del viento también juega un papel importante, ya que, a velocidades más altas, las grandes masas de aire circulan (Venegas & Mazzeo, 2012).

Según Bustamante Campoverde (2021), tras una recopilación de información, a través de la estación EMOV – EP CUENCA código (M5103), demuestra que las orientaciones del viento son en sentido norte – sur como en este – oeste, analizando los datos de monitoreo del viento de los últimos 4 años.

Tabla 7

Caracterización del viento promedio tomados a 10 metros en el periodo 2015 – 2018

Mes	Viento
-----	--------

	Velocidad de Viento m/s	Dirección Predominante
Enero	1,88	E, N
Febrero	1,90	E, S, N
Marzo	1,75	E, S, N
Abril	1,70	E, N
Mayo	1,64	E, N
Junio	1,89	N
Julio	1,98	N
Agosto	1,97	N
Septiembre	1,92	E, N
Octubre	1,93	S, N
Noviembre	2,06	S, N
Diciembre	1,96	N

Nota 8 Adaptado de *Caracterización del viento y temperatura aparente en los cañones urbanos del centro histórico de Cuenca, Ecuador* (p. 94), por (Bustamante Campoverde, 2021).

Como se demuestra en la tabla 7, la velocidad del viento no varía. El mes de noviembre es el único que presenta una intensidad alta. Por lo tanto, Bustamante Campoverde (2021), afirma que durante el mes de noviembre en el periodo 2015 – 2018, los vientos llegaron al centro Histórico de Cuenca de tres direcciones; sur y norte. Sin embargo, tomando en consideración nuestro estudio de investigación los meses de diciembre, enero y febrero, la velocidad del viento se encuentra en un rango de 1,90 m/s y 2 m/s, con direcciones predominantes; norte, este y sur. Por lo tanto, la velocidad y dirección del viento no condiciona movimiento de partículas suspendidas totales, es despreciable.

3.2.2. Criterios para la Localización de los Puntos de Muestreo

Los criterios para ubicar los puntos de muestreo se basaron en estudios realizados sobre la calidad del aire dentro de la zona urbana de la ciudad de Cuenca. A pesar de ello, se tomaron en cuenta algunos

criterios de análisis para favorecer positivamente la obtención de resultados contribuyentes al objeto de estudio.

El aumento de la frontera urbana y el consumismo es un problema que acarrea repercusiones en el medio ambiente, una de ellas es la calidad del aire, dentro de los principales contaminantes encontramos partículas en suspensión superior a 30 micras, partículas inhalables PM_{10} y partículas de diámetro inferior a 2,5 micras $PM_{2,5}$, las cuales contienen contaminantes como hidrocarburos y metales pesados, se ha demostrado en estudios de la Dirección de Investigación de la Universidad de Cuenca (DIUC), realizado por Zegarra Peña y colaboradores (2020), además de, un estudio realizado por Trujillo y colaboradores (2021), en el Municipio de San José de Cúcuta por la Universidad de Pamplona, en el cual se determinan las concentraciones de metales pesados presentes en el material particulado PM_{10} , en base a una estrecha revisión del estado del arte, se induce que las partículas totales suspendidas contienen metales pesados.

Las partículas totales suspendidas se generan en la industria del cemento, metalurgia, desintegración mecánica de materiales y se produce en las urbes como producto de combustión en los tubos de escape de los automóviles. Debido a ello, el criterio establecido para la ubicación de los puntos de muestreo es el análisis de las partículas en suspensión dentro de la zona de delimitación de la investigación.

Los puntos de muestreo se localizaron en base al análisis de los datos de la red de monitoreo de calidad de aire de la ciudad de Cuenca en el marco de la zona de estudio. A través de una revisión del informe de calidad de aire Cuenca 2020, proporcionado por la empresa EMOV EP, encargada de vigilar permanentemente la calidad del aire en relación al cumplimiento de la NCAA y de las guías de la OMS (EMOV EP, 2020). La elección de los sitios de muestreo, basándonos en el informe de calidad de aire Cuenca 2020, son sectores en donde la presencia de contaminantes atmosféricos se encuentra en una

concentración superior en referencia a otros sectores dentro del casco urbano de la ciudad de Cuenca. A continuación, en la tabla 8 se presenta la concentración de Ps, PM₁₀ y PM_{2,5}.

Tabla 8

Concentración media anual de Ps, PM₁₀ y PM_{2,5}

Concentración de contaminantes partículas suspendidas totales (Ps, PM₁₀, PM_{2,5})					
Código	Nombre	Escala	PS	PM10	PM2,5
MAN	Machángara	Vecinal	0,09 mg/cm ³		
EIA	Escuela Ignacio Andrade	Vecinal	0,11 mg/cm ³		
EHS	Escuela Héctor Sempértugi	Vecinal	0,35 mg/cm ³		
CHT	Colegio Herlinda Toral	Vecinal	0,21 mg/cm ³		
TET	Terminal Terrestre	Vecinal	0,17 mg/cm ³		
ECC	Escuela Carlos Crespi II	Vecinal	0,16 mg/cm ³		
ODO	Facultad de Odontología - Universidad de Cuenca	Vecinal	0,13 mg/cm ³		
EVI	Escuela Velasco Ibarra	Vecinal	0,08 mg/cm ³		
MEA	Mercado El Arenal	Vecinal	0,13 mg/cm ³		
BAL	Balzay CEA - Universidad de Cuenca	Vecinal	0,13 mg/cm ³		
CRB	Colegio Rafael Borja	Vecinal	0,11 mg/cm ³		
CCA	Colegio Carlos Arízaga Vega	Urbana, vecinal	0,32 mg/cm ³	29,8 ug/m ³	10 ug/m ³

MUN	Municipio	Urbana, vecinal	0,11 mg/cm ³	22,5 ug/m ³	8,5 ug/m ³
EIE	Escuela Ignacio Escandón	Urbana, vecinal	0,12 mg/cm ³	29,6 ug/m ³	5,4 ug/m ³
BCB	Estación de Bomberos	Microescala	0,27 mg/cm ³		
CEB	Cebollar	Vecinal	0,15 mg/cm ³		
MIS	Misicata	Vecinal	0,14 mg/cm ³		

Nota 9 Adaptado del “Informe de calidad de aire Cuenca 2020” (p. 75), por (EMOV EP, 2020).

3.2.2.1. Modelamiento Teórico de la Contaminación por Partículas Suspendidas Totales Ps, PM₁₀ Y PM_{2,5}

Los resultados presentados en la tabla 8, acerca de la concentración de contaminantes partículas suspendidas totales Ps, PM₁₀ y PM_{2,5}, obtenidos del informe de calidad de aire de la ciudad de Cuenca en el año 2020 emitido por la EMOV EP, han sido procesados con el fin de obtener mapas para la ubicación de los puntos de muestreo.

La metodología para el establecimiento de los puntos de muestreo se realizó con base al estudio titulado “Determinación de las concentraciones de iones presentes en el agua lluvia de la zona urbana de la ciudad de Cuenca causantes de la lluvia acida” realizado por Ayala Morales (2014), el cual especifica que el criterio principal tomado en consideración para establecer sus puntos de monitoreo se basaron en los resultados de las emisiones de NO₂ y SO₂, tomados y modificados del informe de Calidad de Aire 2012, los cuales fueron geoprocesados con la finalidad de obtener mapas de distribución de contaminantes para la colocación de los puntos de monitoreo. El método aplicado fue el Inverso de la Distancia Ponderada (IDW), se empleó el software ARCGIS 9.3. En base al mismo criterio, del estudio de Ayala Morales (2014), la ubicación de los puntos de muestreo se definieron por los resultados de emisiones de Ps, PM_{2,5} y PM₁₀ tomados y modificados del informe de Calidad del Aire Cuenca 2020, mediante el procesamiento de

información a través de la metodología Inverso a la Distancia Ponderada (IDW), a través del software de manejo de Sistemas de Información Geográfica ARCGIS 10.6.

3.2.2.1.1.Método del Inverso a la Distancia Ponderada (IDW)

La metodología IDW Inverse Distance Weighting, es un método matemático de interpolación, el cual emplea una función inversa a la distancia, su fundamento se basa en que las cosas que están más próximas son más parecidas, por lo tanto, tiene mayor peso e influencia sobre el punto y parámetro a estimar. En otras palabras, la variable o parámetro que se desea representar gráficamente disminuye su influencia con respecto a la distancia (Ayala Morales, 2014; Murillo et al., 2012).

3.2.2.1.2.Concentraciones de Partículas Suspendidas Totales Utilizando la Metodología Inverso a la Distancia Ponderada (IDW)

La aplicación de la metodología IDW, nos permitió generar mapas de distribución espacial de contaminación geoprocesados, como se observa en las figuras 4, 5 y 6, los cuales tienen como objetivo esclarecer los sitios de elección de los puntos de muestreo a partir de datos analizados del informe de calidad de aire 2020 de la ciudad de Cuenca, como se puede inferir en la tabla 8 concentración de contaminantes partículas suspendidas totales Ps, PM₁₀ y PM_{2,5}.

Figura 4

Distribución espacial de partículas sedimentables Ps

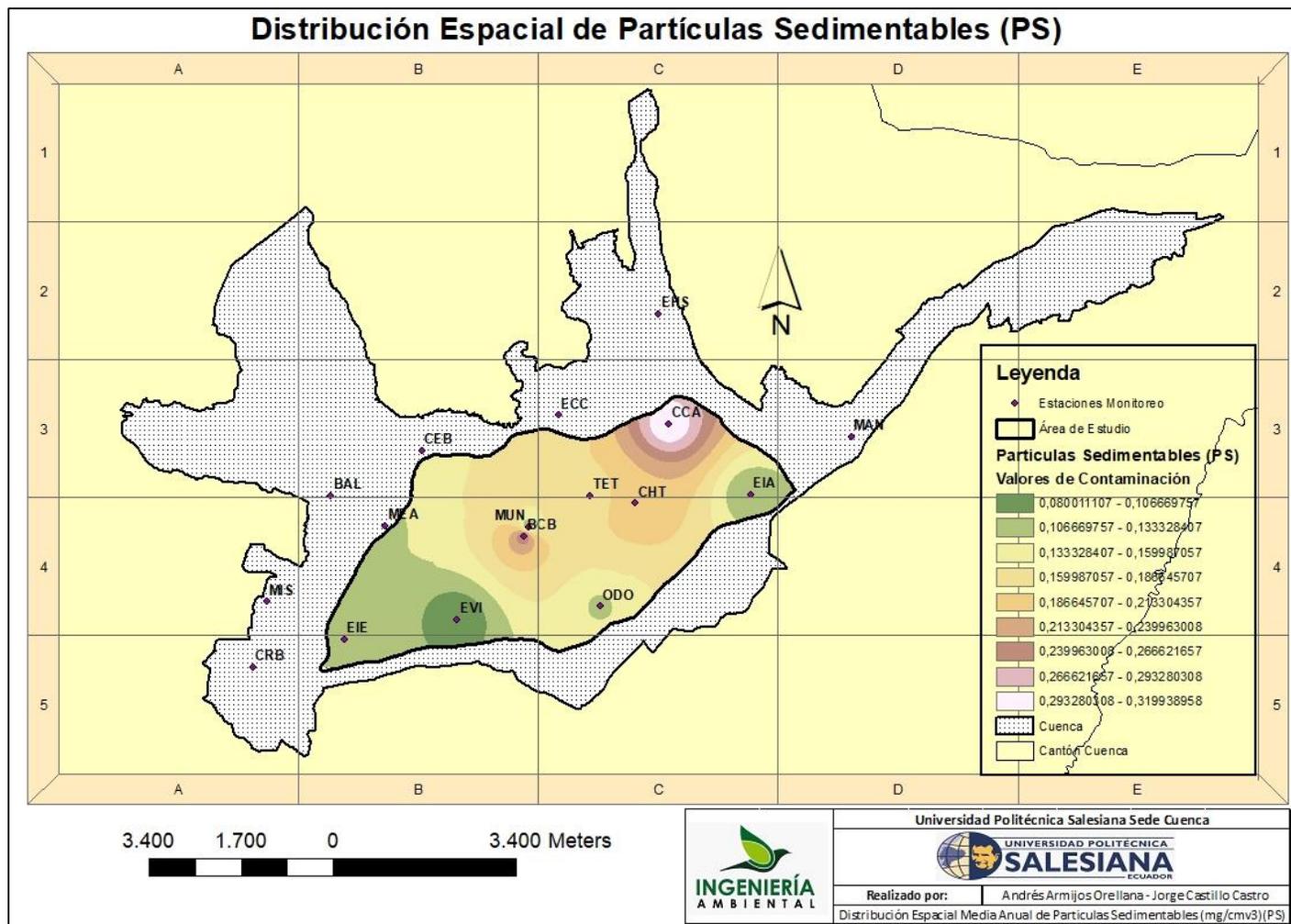


Figura 5

Distribución espacial de material particulado PM₁₀

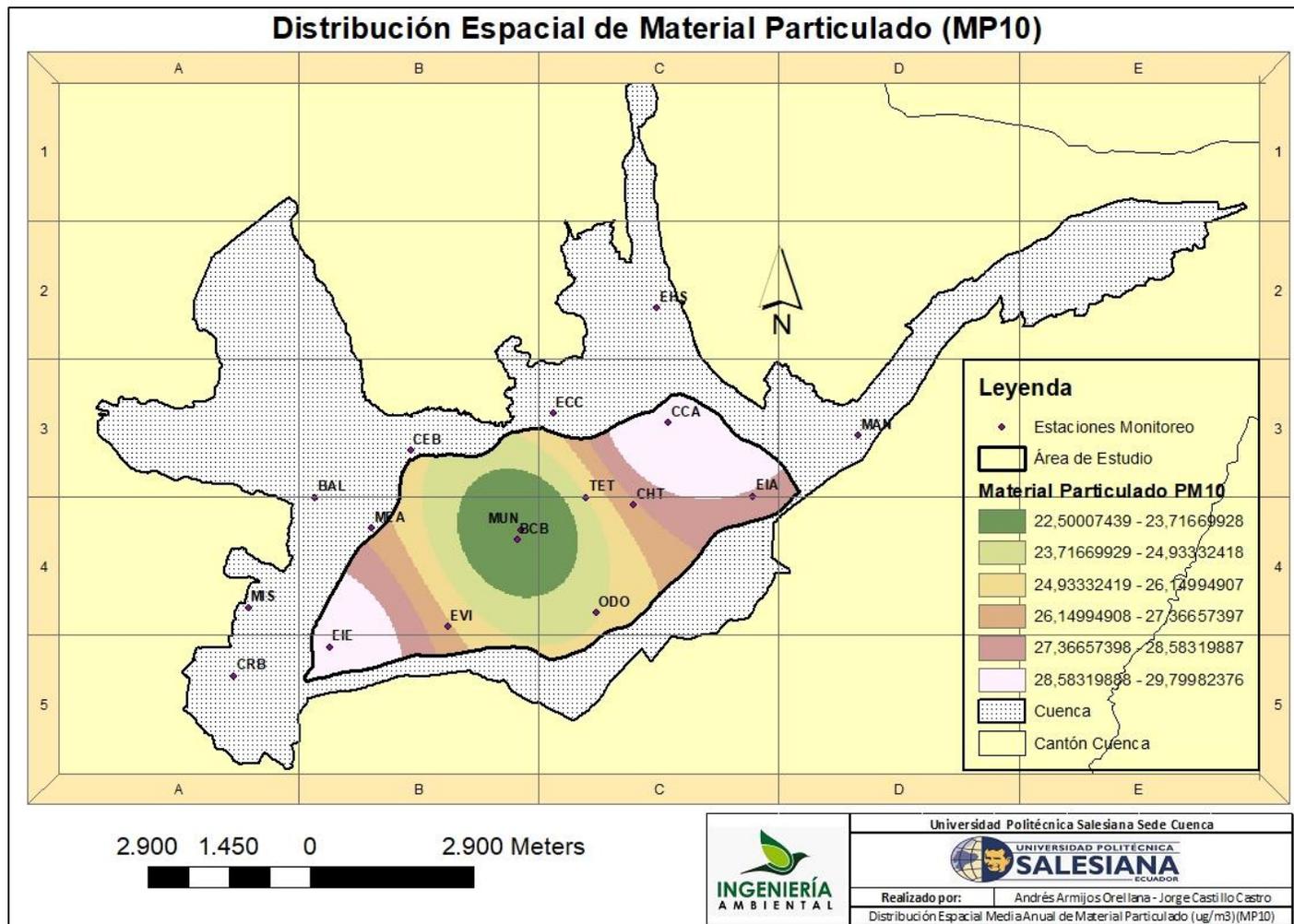
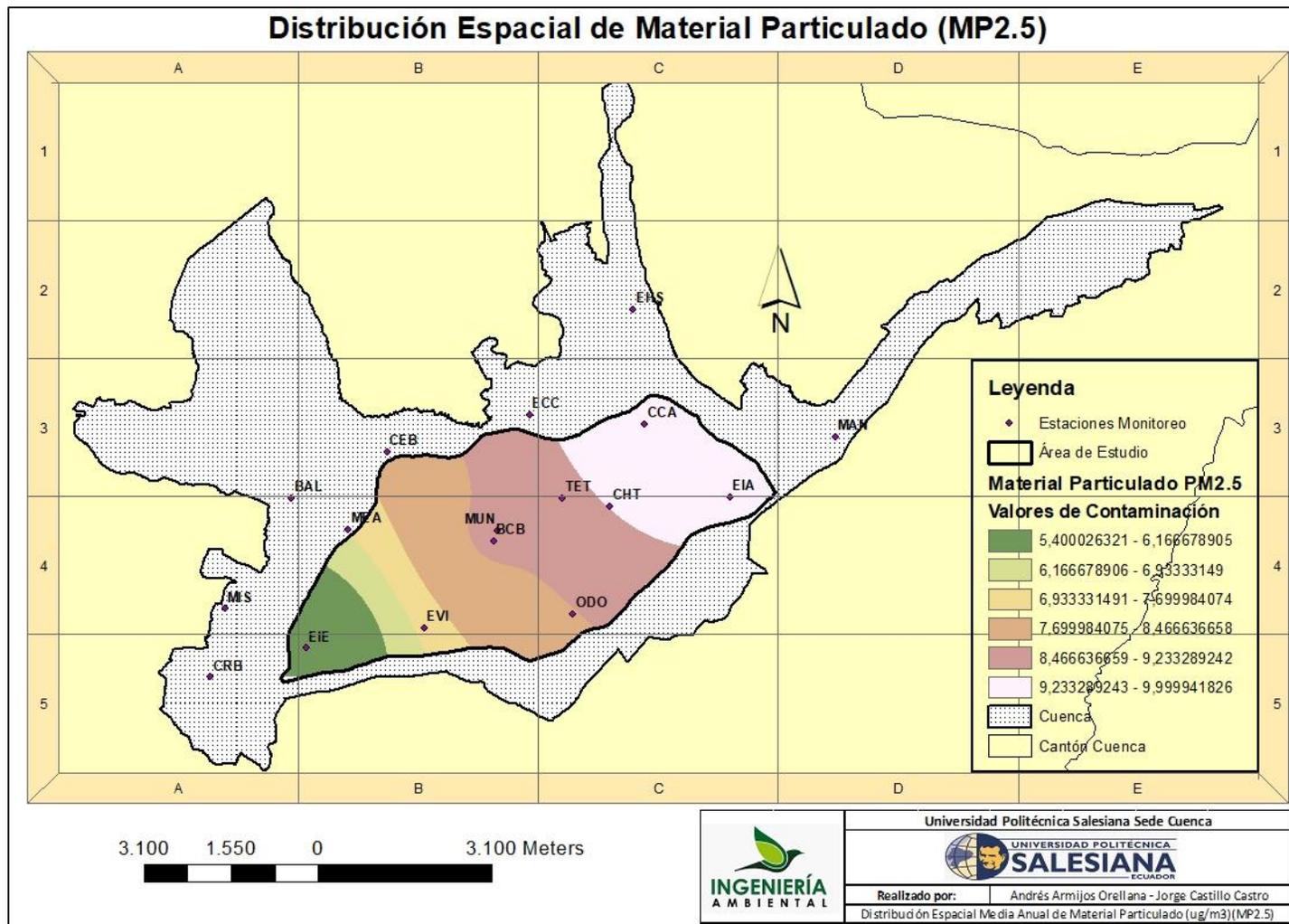


Figura 6

Distribución espacial de material particulado $PM_{2.5}$

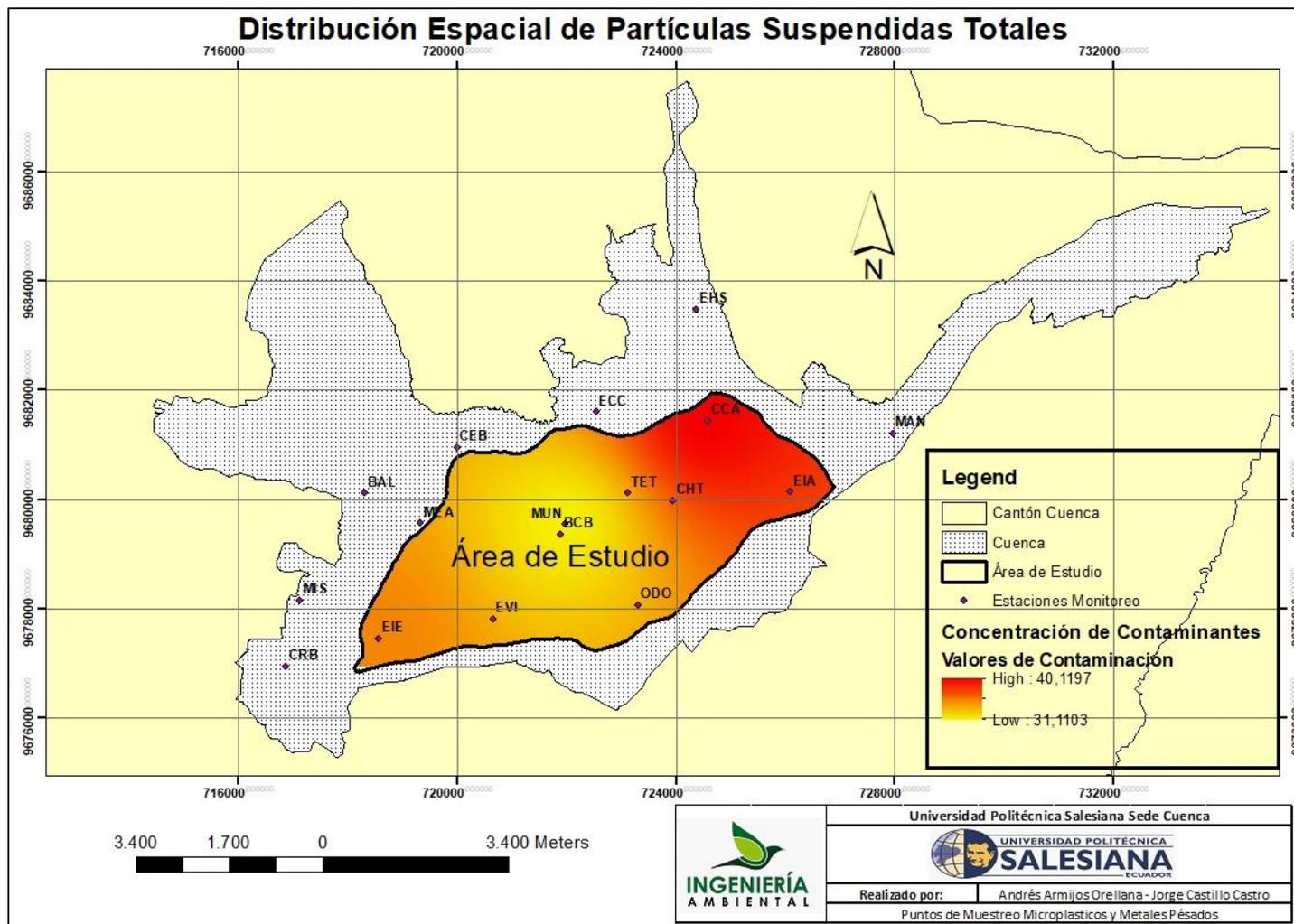


3.2.3. Procesamiento de Información de la Distribución de Partículas Suspendidas Totales

Los mapas de distribución espacial de partículas suspendidas totales, fueron geoprocesados en el software ARCGIS 10.3, mediante una interpolación con los datos de Ps, PM₁₀ y PM_{2,5}, a través de la herramienta IDW se obtuvo tres mapas de tipo raster. Finalmente, los mapas fueron sumados con la herramienta "Raster Calculator", obteniendo un mapa resultante, el cual representa la distribución de la concentración media anual de las partículas suspendidas totales en la zona de estudio, como se puede observar en la figura 7. A su vez, nos permitió ubicar los puntos de muestreo, donde la concentración de contaminación es mayor, se aprecian en la tabla 13, sección resultados.

Figura 7

Distribución espacial de contaminantes Ps, PM₁₀ y PM_{2,5}, media anual



3.2.4. Uso del Suelo en los Puntos de Muestreo

La determinación del uso del suelo en los puntos de muestreo se analizó a través, del estudio “Elaboración del mapa de ruido de las calles de la ciudad de Cuenca, a partir de las características viales y la densidad del tráfico” realizado por Ortega et al. (2017), y de la clasificación del uso del suelo de acuerdo al Texto Unificado de Legislación Ambiental (TULAS).

Tabla 9

Uso del suelo en los puntos de muestreo

Código	Descripción	Clasificación según el TULAS
MAE	Ministerio Del Ambiente Agua y Transición Ecológica	Comercial Mixta
IPI	Bomba de Choferes	Industrial
IAC	Instituto Superior American Collage	Residencial Mixta
AAC	Barrio Atapsa Parroquia Yanuncay	Residencial Mixta
CSC	GYM Cuenca Sport Center	Residencial Mixta
UCCY	Universidad de Cuenca Facultad de Ciencias Agropecuarias	Residencial
ELC	Unidad Educativa Luis Cordero Palacios	Comercial Mixta
PDL	Parque de la Libertad	Residencial Mixta
DTC	Unidad Educativa Técnica Daniel Córdova Toral	Hospitalaria
BRY	Biocorredor del Rio Yanuncay	Residencial

3.2.5. Muestreo

El desarrollo del muestreo se realizó de acuerdo a ciertos lineamientos, se tomaron 2 alícuotas por punto de muestreo, una de ellas destinada al análisis de microplástico y la otra para metales pesados,

mediciones de pH y la elaboración de un cronograma de descontaminación de los muestreadores y envases de almacenamiento.

3.2.5.1. Colocación de Muestreadores

3.2.5.1.1.Preparación de Muestreadores

Los muestreadores se elaboraron de distintos materiales, por una parte, el soporte construido a base de madera y el deposito netamente de vidrio, el cual disminuye posibles errores sistemáticos, en el caso de emplear muestreadores de material plástico. Durante las 8 semanas de monitoreo, la metodología aplicada en el proceso de denomina precipitación total.

Se desarrolló un cronograma de descontaminación de los muestreadores independiente del número de episodios de precipitación, consiste en un lavado con agua desionizada de los muestreadores, cada 2 días durante los dos meses de muestreo, para evitar modificaciones y alteraciones negativas en las muestras.

3.2.5.1.2.Colocación de los Muestreadores

El envase donde se almacena la lluvia después de un evento de precipitación es de vidrio, a fin de evitar posibles contaminaciones de las alícuotas a recolectar.

La colocación de los envases, se realizó de acuerdo a la normativa técnica NTE INEN 2226 titulado “Agua. Calidad de agua. Muestreo. Diseño de los programa de muestreo” (Instituto Ecuatoriano de Normalización 2226, 2013), la normativa sugiere que para el muestreo de agua lluvia, se deberá considerar, en el marco del protocolo de recolección de muestras de precipitaciones pluviales para análisis, considerar la selección del sitio de muestreo, con el fin de evitar la contaminación de las alícuotas con materia extraña, por ejemplo, polvo, fertilizantes, insecticidas, entre otros, dependientemente del objeto de análisis. Los equipos de muestreo deben estar ubicados preferiblemente en un campo abierto y acceso favorable. Los muestreadores se colocarán a una altura mínima de 2 metros, ubicados en sitios libres de vandalismo, figura 13, anexo A.

3.2.5.1.3.Periodo de Muestreo

El periodo o tiempo de muestreo, estará definido por las variables intervinientes y variables extrañas, debido a que, dependientemente de la existencia de precipitación, el periodo de muestreo se puede alargar más de lo establecido, es decir, se planteó recolectar las muestras de agua durante 8 semanas; sin embargo, si las condiciones climáticas son desfavorables se puede alargar el tiempo de muestreo.

Las muestras se recolectarán, en un recipiente de vidrio de capacidad de 1250 ml de configuración cónica. Es prudente mencionar, que el número de alícuotas por punto de muestreo se realizó por duplicado, obteniendo un total de 160 alícuotas de 500 ml cada una, en el periodo de 2 meses de muestreo, perteneciente a los meses de diciembre del 2021 y enero y febrero del presente año.

3.2.5.1.4.Recolección de Muestras

La recolección de las muestras se realizó a pocas horas transcurrido el evento de precipitación. Previo al almacenamiento, se procedió a realizar un análisis in situ, medición del potencial de hidrogeno, con el equipo "PH METRO PORTATIL PT70 BOECO" con especificaciones de exactitud de $\pm 0,02$ pH. Previo a la medición del pH, se realizó una calibración del equipo con pH Buffer reconocimiento US (pH 4.01, 7,00, 10,01), figuras 14 y 15, anexo A.

De acuerdo a la normativa técnica NTE INEN 2226, se establecen instrucciones para la recolección de las muestras (Instituto Ecuatoriano de Normalización 2226, 2013):

- "Acercarse al recolector y trabajar desde el lado de viento abajo, con el objetivo de minimizar el arrastre de contaminantes portados por la persona, que puedan caer a la muestra";
- "Colocar la tapa del recipiente y asegurarla provisionalmente, mediante la utilización de cinta de enmascarar, con el propósito de evitar pérdidas de muestra";

- “Durante este procedimiento se debe evitar el contacto con los lados internos del recipiente o los de la tapa, ya que una simple huella dactilar o una gota de transpiración humana puede invalidar completamente una muestra por alteración de las concentraciones”;
- “Remover el recipiente del recolector, indicando, con una etiqueta el lado del cual fue removido he introducido dentro de una bolsa plástica para luego ser llevada al laboratorio”;
- “Llenar el formato u hoja de campo y colocar el formato de campo”(Instituto Ecuatoriano de Normalización 2226, 2013).

3.2.5.1.5. Transporte, Etiquetado y Almacenamiento de Muestras

El traslado y el almacenamiento de las 160 muestras de lluvia, se realizó en botellas ámbar de capacidad de 500 ml, empleando un corcho no sintético como tapa. Las alícuotas etiquetadas para detección de microplásticos se almacenaron a temperatura ambiente, por otra parte, las alícuotas etiquetadas para la detección de metales pesados se almacenaron a una temperatura inferior a los 10 °C, procurando evitar el acceso directo de radiación solar a las muestras, figura 16, anexo A.

3.3. Procedimiento de Análisis de Microplásticos

3.3.1. Materiales

Para el análisis de las muestras para microplásticos, mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), se utilizaron los siguientes materiales, reactivos y equipos presentados en la tabla 10.

Tabla 10

Descripción de los materiales, reactivos y equipos utilizados en el análisis de microplásticos

Materiales	Reactivos	Equipos
Embudo de vidrio	Peróxido de Hidrogeno al 30%	Cámara de flujo laminar
Vasos de precipitación de 250 y 600 ml	Agua Destilada	Bomba de vacío

Matraz volumétrico de 100 ml	Etanol al 70%	Microscopio invertido de fluorescencia
Probetas de 100 ml	Rojo de Nilo	FTIR
Pipeta		
Matraz de 1000 ml		
Portaobjetos		
Pinzas		
Escobillones		
Soporte universal		
Brew rite (papel filtro)		
Filtro de membrana de nitrato de celulosa 0,45 μ m		
Caja Petri		
Papel Aluminio		
Piseta		
Propipeta		

3.3.2. Preparación de la Muestra

Las muestras previamente clasificadas, se sometieron a una prefiltración, con el objetivo de eliminar sólidos y materia orgánica de tamaño apreciable, el proceso se realizó mediante filtración por gravedad, a través de un filtro de papel de poliamida de 500 μ m, su estructura básica contiene fibras de poliamida elaboradas con amida, figura 17, anexo B.

3.3.3. Digestión

La digestión oxidativa es una metodología con una buena tasa de recuperación de microplásticos, llegando a no afectar la estructura de la mayoría de polímeros. De las 80 muestras pre filtradas, se colocaron 250 ml en vasos de precipitación y se agregó 25 ml de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 30 % v/v, posteriormente se dejó reposar por 72 horas, el proceso se realizó en la cámara de extracción, figuras 18 y 19, anexo B.

3.3.4. Microfiltración al Vacío

Después de haber transcurrido las 72 horas, de la digestión oxidativa, se filtró a través de una membrana de nitrato de celulosa de 47 mm de diámetro con un tamaño de poro de 0,45 μm , figura 20 y 21, anexo B. Posteriormente se dejó secar a temperatura ambiente durante 24 horas.

3.3.5. Observación, Cuantificación y Medición en el Microscopio Invertido

Previamente a la observación, es necesario realizar una tinción. Los filtros se rociaron con rojo nilo para mejorar el contraste de las estructuras de los polímeros vista al microscopio. Posteriormente, se realizó un secado de los filtros a 60 °C en la estufa.

Los filtros se colocaron individualmente en el portaobjetos y se procedió a la observación de las partículas microplásticas empleando varias funciones mecánicas y técnicas de observación en el microscopio invertido, se utilizó campo claro, objetivos 4x, 10x, 20x, 40x, 60x y fluorescencia.

A través del software NIS Elements, se procedió a generar una base de datos referente a longitudes de fibras y fragmentos. Realizando un conteo manual visual.

3.3.6. Caracterización del Microplástico Mediante Espectroscopia por Transformada de Fourier

Finalmente, después de realizar la identificación de los microplásticos en los filtros de nitrato de celulosa, se procedió a identificar el tipo de polímero utilizando el equipo FTIR, a través del analizador de reflectancia total atenuada ATR, mediante el programa OMNIC Spectra.

3.4. Procedimiento de Análisis de Metales Pesados

3.4.1. Materiales

Para el análisis de las muestras para metales pesados, Cd, Cr, Hg y Pb, mediante Espectroscopia por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP), se utilizaron los siguientes materiales, reactivos y equipos presentados en la tabla 11.

Tabla 11

Descripción de los materiales, reactivos y equipo empleados en el procedimiento de detección de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb

Materiales	Reactivos	Equipos
Probeta de 10 ml	Agua desionizada	ICP-OES
Vasos de precipitación de 250, 100 y 50 ml	Ácido Nítrico (HNO ₃) AL 63%	Cámara de flujo laminar
Matraz aforado de 100 y 50 ml	Solución patrón de 1000 mg/l de cadmio, cromo, plomo y mercurio.	Estufa
Embudo de vidrio		
Pipeta aforada clase A, de 2, 5, y 10 ml		
Piseta		
Micropipeta		
Puntas para micropipetas		
Propipeta		
Pinza		
Filtros de membrana de nitrato celulosa 0,45 um		

3.4.2. Preparación de la Muestra

De igual manera que para microplásticos, las muestras previamente clasificadas, se sometieron a una prefiltración, el proceso se realizó mediante filtración por gravedad, a través de un filtro de papel de Poliamida de 500 μm , su estructura básica contiene fibras de poliamida elaboradas de amida, lo que favorece la disminución de errores aleatorios, figura 20, anexo C.

3.4.2.1. Concentración de Muestras

En el procedimiento de análisis de la concentración de metales pesados, se generó varios inconvenientes en los resultados previos, sin embargo, se optó por realizar, una nueva preparación de las muestras, con el fin de generar resultados de la variable analizar. Debido a que, las concentraciones de Cd, Cr, Hg y Pb, se reportaron por debajo de los límites de detección del equipo ICP OES, sin embargo, se propuso generar una metodología de concentración de la muestra, la cual consiste en la evaporación de una fracción de las alícuotas, pretendiendo concentrar los analitos sujetos análisis, de las alícuotas de 500 ml, se extrajo fracciones de 50 ml, posterior las muestras se sometieron a evaporación en la mufla, a una temperatura de 90 °C, durante 8h, figura 22, anexo C.

3.4.3. Preparación de las Curvas de Calibración

Las curvas de calibración en el análisis de metales pesados, representan la confiabilidad de los resultados, el primer paso es elaborar las curvas de calibración (Absorbancia vs Concentración) de los metales sujetos al análisis, asegurar la linealidad del método, se espera un R^2 superior a 0,90, se procuró un análisis por duplicado, de esta manera se obtiene un alto nivel de confiabilidad en el proceso de análisis. La metodología de calibración que se desarrolló, es mediante la adición de estándares externos, el cual consiste en preparar disoluciones en el rango de concentración de las muestras, como se indica en la tabla 12.

Tabla 12

Rango de concentraciones de metales pesados para el diseño de la curva de calibración

Concentración de Metales Pesados Cd, Cr, Hg, Pb					
Stock		Cd (1000 ppm)	Cr (1000 ppm)	Hg (1000 ppm)	Pb (1000 ppm)
Solución	Patrón	10 ppm	10 ppm	10 ppm	10 ppm
(1)					
Solución	Patrón	1 ppm	1 ppm	1 ppm	1 ppm
(2)					

5	10 ppb	10 ppb	10 ppb	10 ppb
4	7,75 ppb	7,75 ppb	7,75 ppb	7,75 ppb
3	5,5 ppb	5,5 ppb	5,5 ppb	5,5 ppb
2	3,25 ppb	3,25 ppb	3,25 ppb	3,25 ppb
1	1 ppb	1 ppb	1 ppb	1 ppb

Los valores de volumen para las disoluciones se obtuvieron aplicando la ecuación 1 (Granda Vaca, 2019), considerando una metodología de preparación en serie a partir de las soluciones stock, siendo el estándar 5 el de mayor concentración, sucesivamente, hasta llegar al de menor concentración, figura 23, anexo C.

Ecuación 1

Preparación de disoluciones químicas

$$C1 \times V1 = C2 \times V2$$

En dónde;

C1: Concentración inicial;

V1: Volumen Inicial;

C2: Concentración final;

V2: Volumen final.

3.4.4. Modelamiento del Método de Análisis de Metales Pesados en el Software Qtegra

Para efectuar las corridas de las muestras, se realizó una configuración de parámetros en el software Qtegra, el cual permite modelar el análisis. Se codificó cada estándar y muestra analizar, se estableció una visión axial y se escogió una longitud de onda específica para cada metal pesado (Cd, Cr, Hg, Pb).

Debido a que los analitos son concentraciones a nivel de trazas, se consideró un modelamiento axial en el equipo, ya que el equipo permite determinar elementos en rangos de concentración menores a 1 *ppb*.

3.4.5. Análisis de Metales Pesados Cd, Cr, Hg y Pb

Finalmente, al correr las muestras de lluvia, se realizó de acuerdo al modelamiento que se configuro en el software Qtegra, el cual se encarga de notificar la muestra a correr, previamente se realiza un lavado y adición de un blanco en el proceso, figuras 24 y 25, anexo C.

CAPÍTULO CUATRO

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Puntos Temporales para Toma de Muestras

El procesamiento de información de la distribución de partículas suspendidas totales (Ps, PM₁₀ y PM_{2,5}), a través del software ARCGIS 10.3, nos generó coordenadas de ubicación de los puntos de muestreo, distribuidos en la zona urbana de la ciudad de Cuenca, mediante la herramienta IDW; Inverso a la Distancia Ponderada, se procuró modelar la distribución de estos contaminantes. El criterio de ubicación, se fundamenta en que la deposición húmeda y seca de los contaminantes (PST), se precipitan cerca de las zonas de su emisión, por lo tanto, la ubicación de los puntos de muestreo, se encuentran aledaños a las zonas de mayor emisión y en efecto concentración de contaminantes. Por lo tanto, se generó una ventaja en la obtención de resultados positivos en el desarrollo de la investigación, procurando responder al objetivo; de localización de puntos de muestreo temporales, se indica en la tabla 13 y la figura 8. Se obtuvieron 9 puntos de muestreo distribuidos en la urbe de la ciudad; por otra parte, se ubicó un punto blanco en las afueras de la ciudad, en el Biocorredor del río Yanuncay, a 14 km de la zona del parque industrial, resaltando los resultados de contaminación de las precipitaciones pluviales entre una zona urbana y rural.

Los métodos de interpolación, basados en geoprocesamiento de datos, son modelos matemáticos, los cuales parten del supuesto, que los elementos se encuentran más próximos al lugar de emisión, son más parecidos; es decir, aquellos valores, independientemente de su naturaleza son más representativos en relación a la distancia de su origen. El método IDW, empleado en la experimentación, brinda mayor confiabilidad al momento de geoprocesar datos de variables ambientales. El estudio realizado por Ayala Morales (2014), "Determinación de las concentraciones de iones presentes en el agua lluvia de la zona urbana de la ciudad de Cuenca causantes de la lluvia acida", su metodología de monitoreo se generó empleando geoprocesamiento de datos, obteniendo un total de 10 puntos de monitoreo distribuidos en

la zona urbana de la ciudad de Cuenca. A pesar de que la metodología de muestreo aplicada en el estudio de Ayala Morales (2014), es completamente similar a la misma aplicada en nuestro estudio, obtuvimos 9 puntos de muestreo distribuidos en la ciudad, esto se debe a que la dispersión de datos de contaminación de material particulado PM_{10} y $PM_{2,5}$ en contraste con los datos de dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2) precursores de la lluvia acida, es en menor proporción, debido a que, la red de monitoreo de estos contaminantes en la ciudad de Cuenca varia de estación a estación.

Algunos estudios de datos de contaminantes atmosféricos, en entornos urbanos, realizado por Murillo y colaboradores en (2012) y Zegarra Peña y colaboradores (2020), en el marco de su metodología señalan la importancia de emplear métodos de interpolación geoprocesados para la estimación y análisis espacial de la distribución de las variables ambientales sujetas análisis.

Tabla 13

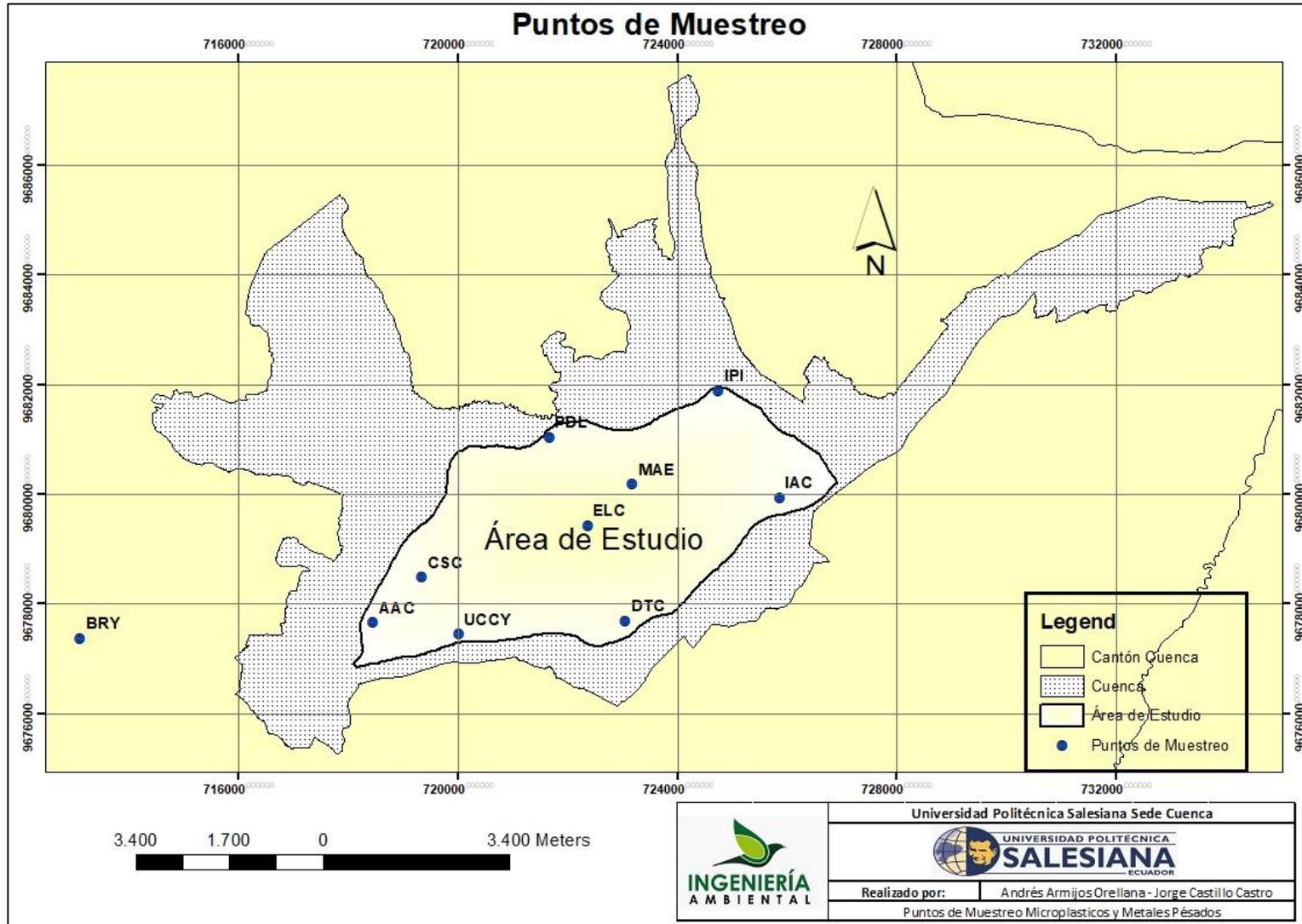
Ubicación de los puntos de muestreo en la zona urbana de la ciudad de Cuenca

Puntos de muestreo					
Código	Descripción	Ubicación	Coordenadas		
			X	Y	Z
MAE	Ministerio Del Ambiente Agua y Transición Ecológica	Avenida Hurtado de Mendoza (Oficinas de la Secretaria del Agua)	723121	9679754	2572
IPI	Bomba de Choferes	J Lavalle y A. Ricaurte (Unidad Educativa Juan Montalvo)	724574	9681442	2569
IAC	Instituto Superior American Collage	Avenida Gonzales Suarez y Manuel Paredes	725845	9679952	2489

AAC	Barrio Atapsa Parroquia Yanuncay	Calle Nicolás de Rocha y Alonso de Zamora	718447	9677678	2578
CSC	GYM Cuenca Sport Center	Avenida Primero de Mayo y Gaspar de Villaruel	718941	9678300	2589
UCCY	Universidad de Cuenca Facultad de Ciencias Agropecuarias	Avenida 12 De Octubre y Diego de Tapia	719600	9676994	2593
ELC	Unidad Educativa Luis Cordero Palacios	Calle Honorato Vásquez y Tomas Ordoñez	722389	9678938	2538
PDL	Parque de la Libertad	Avenida Héroes de Verdeloma y Nicanor Merchán	721448	9680697	2575
DTC	Unidad Educativa Técnica Daniel Córdova Toral	Avenida Diez de Agosto y Las Herrerías	723043	9677704	2533
BRY	Biocorredor del Rio Yanuncay	Camino a Soldados Chaucha	713096	9677394	2706

Figura 8

Ubicación de los puntos de muestreo en la zona urbana de ciudad de Cuenca



4.2. Análisis y Resultados de pH

Las mediciones de pH de las precipitaciones pluviales en la zona de estudio, se realizó horas después de ocurrir los eventos de precipitación, debido a que, el pH de las muestras puede alterarse al transcurrir un tiempo considerable antes de realizar su medición, varios autores como Ayala Morales (2014), Doria Argumedo (2017), Miranda Quintero (2015), y Velázquez Ocampo (2018), recomiendan realizar las mediciones de pH una vez trascurrido el evento de precipitación.

Por otra parte, los valores de pH, muestran variaciones considerables, presentando valores promedios de 4,45 a 5,91, tanto valores ácidos como valores alcalinos. En el desarrollo de la investigación, la media de pH fue de 4,84, superando el valor de pH 5,6, de la guía, según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, 2021), considerándose como una lluvia ligeramente ácida, correspondiente a los meses de muestreo; diciembre, enero y febrero. Este resultado se utilizó como una visión objetiva de un valor referente para conocer el tipo de lluvia en la ciudad, ya que su valor dependerá del contenido de iones nitrato y sulfato principalmente. El pH de la lluvia durante el tiempo de muestreo se indica en la tabla 14.

Tabla 14

Mediciones de pH de las precipitaciones pluviales en la zona urbana de la ciudad de Cuenca

	pH									
Muestreo	BRY	DTC	PDL	ELC	UCCY	CSC	AAC	IAC	IPI	MAE
Semana 1	6,19	4,73	5,23	4,70	5,63	4,31	4,92	5,09	6,11	4,51
Semana 2	5,70	4,80	5,56	5,06	3,55	4,99	5,58	5,40	5,50	4,42
Semana 3	6,99	5,58	5,80	6,21	5,52	5,57	5,60	6,86	4,47	5,58
Semana 4	5,57	5,30	3,76	4,56	4,17	4,60	3,88	3,98	7,16	3,23
Semana 5	6,01	6,64	4,47	5,44	4,67	5,02	4,45	6,50	4,85	6,34
Semana 6	6,04	5,00	3,05	4,98	3,98	5,56	5,02	4,21	4,50	5,06
Semana 7	5,91	3,05	5,53	2,82	3,42	2,91	3,01	3,40	2,56	2,55
Semana 8	4,86	4,75	3,48	5,81	4,62	4,40	4,76	3,70	3,68	3,90

Promedio	5,91	4,98	4,61	4,95	4,45	4,67	4,65	4,89	4,85	4,45
-----------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Se ha registrado una situación estrechamente similar, un estudio publicado por la Universidad Politécnica Salesiana, realizado por Ayala Morales (2014), titulado “Determinación de las concentraciones de iones presentes en el agua de lluvia de la zona urbana de la ciudad de Cuenca causantes de la lluvia acida” presentó lluvias con un pH de 5,68, atribuido a la influencia del tráfico vehicular y emisiones de contaminantes, a menor escala, referente al año actual. De la misma manera, en Cuzco, un estudio realizado en la subcuenca del río Huatanay, realizado por Rado Cuchills y colaboradores (2021), ha reportado valores de pH superiores a 6, considerando una lluvia alcalina neutra. Marcando la estrecha diferencia entre las precipitaciones pluviales de una zona urbana con respecto a una zona rural.

El incremento del parque automotor, frontera agrícola, disminución de espacios verdes y el incremento de industrias, en la ciudad de Cuenca, demuestran sus efectos. Los valores de pH, medidos durante el proceso experimental de la investigación, ocasionan lluvias ligeramente acidas con valores de 4,45 en zonas aledañas a la zona industrial de la ciudad de Cuenca.

4.3. Análisis y Discusión de Resultados de Microplásticos

4.3.1. Cuantificación de Partículas de Microplástico

Al determinar la presencia de microplásticos en las muestras de precipitación recolectadas en la zona urbana de la ciudad de Cuenca, se expone que si existe la presencia de microplástico en todos los puntos de monitoreo, las cuantificaciones totales de partículas se indican en las tablas 27 a 36, anexo D.

La cuantificación de microplásticos se realizó por observación directa, empleando técnicas de microscopía óptica con fluorescencia, lo cual facilita en gran medida el conteo de partículas.

La cantidad de microplásticos; fibras y fragmentos, varía en todos los puntos de muestreo, se indica en la tabla 15. Las alícuotas recolectadas en las ubicaciones de la zona norte de la ciudad de Cuenca, presentan una mayor cantidad de partículas, en relación a la zona central y sur de la ciudad, como se puede

observar en la figura 9, correspondiente a la concentración promedio de partículas microplásticas en un volumen de muestras de 500 ml.

El punto de muestreo IAC, se obtuvo un conteo promedio total de 247 partículas, ubicado al ENE de la ciudad de Cuenca, resultando el punto de mayor concentración; seguido del IPI, en el cual se obtuvo un conteo total de 153 partículas, ubicado al NNO de la ciudad; finalmente el punto MAE, se obtuvo un conteo promedio total de partículas de 131, ubicado al NO de la ciudad. Asumiendo que la cuantificación, está ligeramente ligado a los sitios de mayor influencia de contaminación en la urbe de la ciudad. El punto que presento la menor concentración de partículas microplásticas, es el punto denominado blanco, el mismo que hace referencia al muestreo ubicado en una zona en donde la influencia de contaminación es en menor escala. Sin embargo, no queda absuelto la presencia de microplástico. El punto BRY está ubicado a 14 km de la zona de mayor influencia de contaminación, en la parroquia San Joaquín, ubicado al SO de la ciudad de Cuenca, próximo al macizo del parque nacional El Cajas, perteneciente al Biocorredor del río Yanuncay, se obtuvo un conteo promedio total de 13 partículas, resaltando que las zonas rurales no están absueltas de este particular contaminante.

La zona norte de la ciudad de Cuenca, presenta la mayor concentración de microplástico, pertenecen a zonas uso de comercial, residencial e industrial, están ubicados en zonas en donde la concentración de partículas suspendidas totales es mayor, en comparación a la zona central y sur de la ciudad. Sin embargo, la emisión de estos contaminantes, no resulta congruente en la cuantificación de microplástico. Por otra parte, un factor de influencia en la cuantificación de microplástico es la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba, puesto que es una zona en donde la presencia de este contaminante, resulta en una fuente primaria de emisión. En efecto, la zona norte de la ciudad de Cuenca se encuentra directamente influenciada por este factor, lo que es congruente con los resultados expuestos en la tabla 15.

Figura 9

Concentración promedio de partículas de microplástico

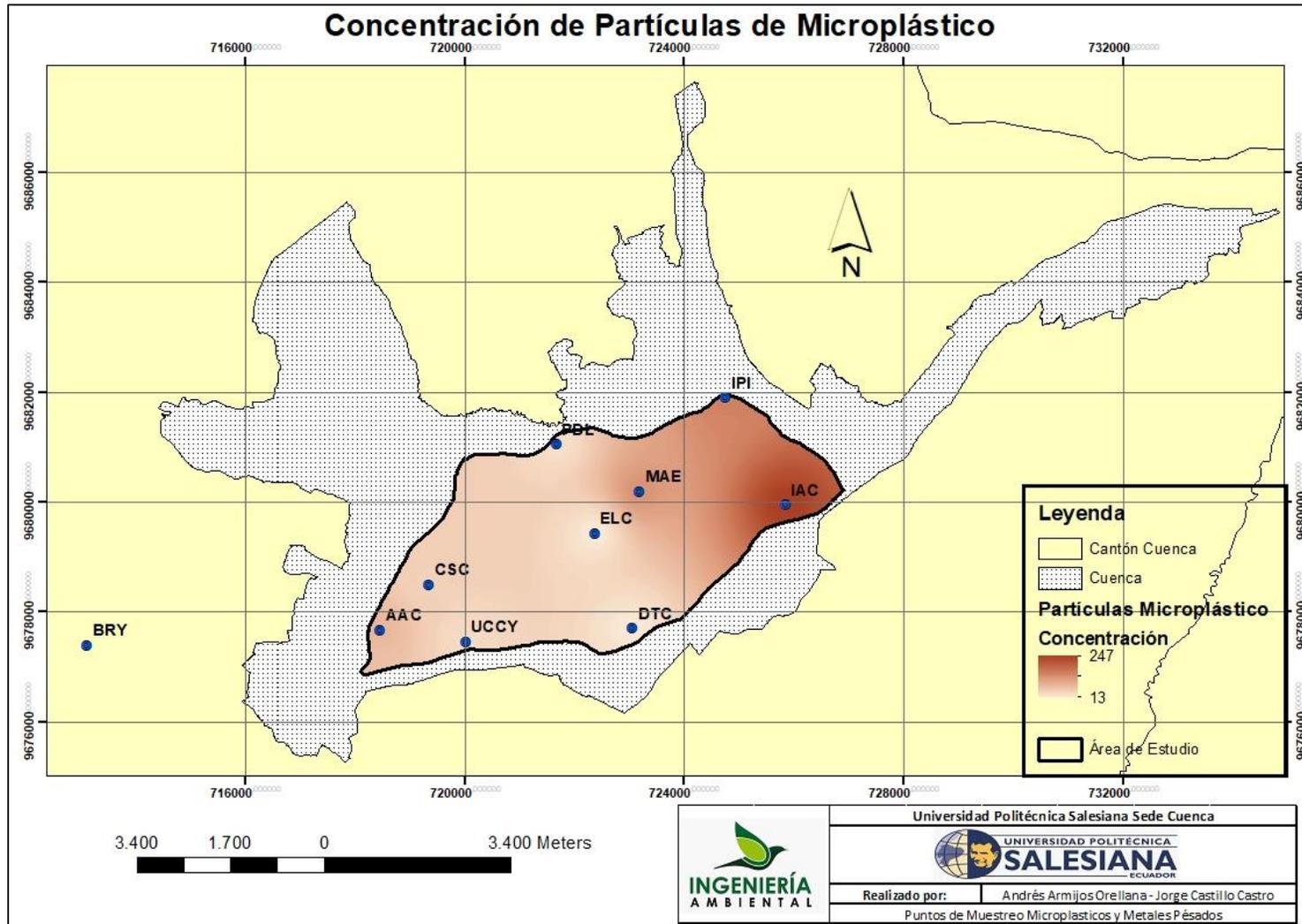


Tabla 15*Cuantificación de partículas plásticas en la zona urbana de la ciudad de Cuenca*

Puntos de Monitoreo	Código	Ubicación	Uso del suelo (TULAS)	Presencia / Ausencia	Cuantificación promedio de partículas / 500 ml de muestra
1	MAE	Avenida Hurtado de Mendoza (Oficinas de la Secretaria del Agua)	Comercial Mixta	Presencia	131
2	IPI	Avenida De Las Américas y General Torres (Unidad Educativa Juan Montalvo)	Industrial	Presencia	153
3	IAC	Avenida Gonzales Suarez y Manuel Paredes	Residencial Mixta	Presencia	247
4	AAC	Calle Nicolás de Rocha y Alonso de Zamora	Residencial Mixta	Presencia	87
5	CSC	Avenida Primero de Mayo y Gaspar de Villarroel	Residencial Mixta	Presencia	56
6	UCCY	Avenida 12 De Octubre y Diego de Tapia	Residencial	Presencia	46
7	ELC	Calle Honorato Vásquez y Tomas Ordoñez	Comercial Mixta	Presencia	30

8	PDL	Avenida Héroes de Verdeloma y Nicanor Merchán	Residencial Mixta	Presencia	42
9	DTC	Avenida Diez de Agosto y Las Herrerías	Hospitalaria	Presencia	31
10	BRY	Camino a Soldado Chaucha	Residencial	Presencia	13

4.3.1.1. Validación del Método de Cuantificación Manual de Partículas de Microplástico Mediante el Software “ImageJ Fiji”

La cuantificación de partículas se realizó manualmente utilizando técnicas de microscopía óptica con fluorescencia. Sin embargo, al ser un método propenso a sesgos, sus valores resultantes se validaron a través del software “ImageJ Fiji”. Este es un método para determinar con exactitud el número de partículas de microplástico mediante el análisis de imágenes.

Para determinar el número de partículas se eligió una muestra al azar. La muestra escogida fue del punto de muestreo 1, código MAE. Usando el software “ImageJ Fiji”, se procesaron las imágenes de cada cuadrante establecido en el filtro.

La metodología de conteo se realizó por cuadrantes, de la misma manera que, en el conteo manual. Se generó una base de datos de cuantificación de las partículas de microplástico.

Tabla 16

Cuantificación de partículas de microplástico mediante el software “ImageJ Fiji”

Cuantificación de partículas de microplástico		
Cuadrante	Fragmento	Fibra
C1	45	----
C2	30	----
C3	44	2

C4	29	----
Total	148	2

La diferencia que existe entre el conteo manual y el conteo a través del software “ImageJ Fiji”, es mínimo. Ya que, mediante un conteo manual a través del microscopio invertido con fluorescencia, el número total de partículas obtenidas fue de 144; por otra parte, mediante el software “ImageJ Fiji” la cuantificación fue un total de 150 partículas entre fibras y fragmentos. El método de conteo manual tiene una diferencia de 6 partículas con respecto a la metodología empleando el software, representando un error menor al 5 %, por lo tanto, el margen de error sistemático es relativamente mínimo.

Lachmanovich y sus colaboradores (2003), señalan que el método de cuantificación a través del software “ImageJ Fiji” no es el más aplicable, a menos que la imagen favorezca una representación más completa de las posiciones de las partículas observadas. Sin embargo, al ingresar la imagen por efectos del procesamiento de la imagen, provoca una pérdida de visibilidad cuando las partículas cercanas se fusionan para formar una partícula o mancha en la imagen.

Por otro lado, Shivanandan y colaboradores (2013), afirman que el programa “ImageJ Fiji”, realiza un análisis completo, ya que identifica los objetos puntuales en la imagen. Donde, tiene una interacción potencial, lo que lo convierte en un programa más confiable para interpretar al patrón observado, además, brinda datos estadísticos para determinar si la interacción es significativa con respecto a la cantidad de objetos detectados en la imagen.

En los estudios “La caracterización de los síntomas de la mancha anular de la caña de azúcar” y “Influencia del tamaño mínimo de partícula en el estudio de parámetros de forma mediante análisis digital de imagen” determinaron que el software “ImageJ Fiji” es un procesador de imágenes que ha demostrado ser una útil herramienta de caracterización y cuantificación. Es un programa que influye en el análisis y establece el tamaño de partícula óptimo, generando resultados confiables (Aday et al., 2017; Berrezueta et al., 2020).

El procedimiento de cuantificación de microplásticos mediante el software de análisis de imágenes “ImageJ Fiji”, se explica su desarrollo en el anexo D.

4.3.1.2. Análisis Estadístico de la Cuantificación de Partículas de Microplástico

Se estableció la aplicación de estadística descriptiva, mediante un análisis estadístico de varianza ANOVA y Tukey, presentando el comportamiento de los datos, el cual nos permite la aceptación o el rechazo de la hipótesis de investigación. Por otra parte, mediante un diagrama de caja y bigotes, nos permite identificar diferentes valores y comparar el comportamiento de distribución de la cuantificación de microplásticos en los diferentes puntos de muestreo.

Previamente a la aplicación de estadística descriptiva para el análisis de la base de datos de cuantificación de las partículas de microplástico, se procedió a diseñar un método de eliminación de valores atípicos, mediante un análisis de caja y bigotes, se obtuvieron un total de 7 valores atípicos en 6 puntos de monitoreo, los cuales no se consideraron en el análisis estadístico, debido a la dispersión de sus datos de la tendencia central del conjunto de valores.

4.3.1.2.1. Análisis de Varianza ANOVA y Tukey

Para el procesamiento de datos de cuantificación de microplásticos, se realizó, a través de un análisis de varianza ANOVA, el cual explica la variación de la cuantificación de microplásticos y el valor de significancia, entre los diferentes puntos de muestreo. Por otra parte, a través de este análisis, se responde la hipótesis de investigación, los resultados se aprecian en la tabla 17.

La hipótesis de investigación planteada; “existen contaminantes atmosféricos; microplásticos, en las precipitaciones pluviales en la zona urbana de la ciudad de Cuenca”. Por lo tanto, las hipótesis para el análisis de varianza ANOVA se formularon de la siguiente manera:

H_0 : (Todas las medias son iguales). No existe un comportamiento diferente en las medias del contaminante atmosférico; microplástico, en las precipitaciones pluviales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca.

H₁: (No todas las medias son iguales). Si existe un comportamiento diferente en las medias del contaminante atmosférico; microplástico, en las precipitaciones pluviales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca.

Nivel de significancia: 0,05

Tabla 17

Análisis de varianza de la cuantificación de microplásticos en los puntos de muestreo

Origen	SC	G.L.	MC	Valor F	Valor P	F crítico
Entre grupos	638737,95	9	70970,88	27,52	1,1925E-19	2,016
Dentro de los grupos	180541,25	70	2579,16			
Total	819279,2	79	10370,62			

El valor P de la tabla 17 es menor al nivel de significancia, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, demostrando que la presencia de microplástico como contaminante atmosférico existe en las precipitaciones pluviales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca, además, todas las medias de los puntos de muestreo presentan un comportamiento significativamente diferente.

Los datos de cuantificación de microplásticos se comportan estadísticamente diferentes. Por lo tanto, se realizó un análisis estadístico aplicando el método de Tukey, el cual nos permite inducir, si el conteo de microplásticos en los puntos de monitoreo distribuidos en la urbe de la ciudad, se comportan de manera similar o aleatoria, es decir, si formarían agrupaciones.

Cuando el valor de la probabilidad P es mayor que el nivel de significación 0,05, el comportamiento de los datos en los puntos de monitoreo son diferentes, es decir, no son iguales, consecuentemente no formarían agrupaciones; por otra parte, al ser menor, no son diferentes, es decir, son iguales, en efecto, formarían agrupaciones, como se indica en la tabla 18.

Tabla 18

Comportamiento estadístico de los valores de cuantificación de microplástico por punto de monitoreo mediante el método de Tukey

Muestras	N	Valor P	Agrupación		
BRY	8	0,999375002			
BRY	8	0,975706571			
BRY	8	0,99965092			
BRY	8	0,466302919			
BRY	8	0,258844612			
BRY	8	0,003633547	ACC		
BRY	8	6,99441E-15		IAC	
BRY	8	3,44032E-08			IPI
BRY	8	2,83584E-06			MAE
DTC	8	0,999985163			
DTC	8	1			
DTC	8	0,891013457			
DTC	8	0,704023866			
DTC	8	0,032367066	ACC		
DTC	8	9,4369E-15		IAC	
DTC	8	6,5493E-07			IPI
DTC	8	4,69376E-05			MAE
PDL	8	0,999964157			
PDL	8	0,988678087			
PDL	8	0,925354385			
PDL	8	0,105417128			
PDL	8	2,30926E-14		IAC	
PDL	8	4,13582E-06			IPI
PDL	8	0,000260299			MAE
ELC	8	0,870738936			
ELC	8	0,672123507			

ELC	8	0,02814938	ACC	
ELC	8	8,99281E-15		IAC
ELC	8	5,34877E-07		IPI
ELC	8	3,87987E-05		MAE
UCCY	8	0,999998231		
UCCY	8	0,646022119		
UCCY	8	1,22913E-12		IAC
UCCY	8	0,000233329		IPI
UCCY	8	0,009293909		MAE
CSC	8	0,853051338		
CSC	8	5,42244E-12		IAC
CSC	8	0,000845831		IPI
CSC	8	0,026984024		MAE
ACC	8	4,32755E-09		IAC
ACC	8	0,104186183		
ACC	8	0,662387939		IPI
IAC	8	0,000661371		MAE
IAC	8	1,14994E-05		
IPI	8	0,986231361		

Los valores de probabilidad que no comparten un punto de muestreo son significativamente diferentes, como se observa en la tabla 18.

4.3.1.2.2. Diagrama de Cajas y Bigotes

La existencia de microplástico se ha demostrado, sin embargo, las partículas de microplástico entre fibras y fragmentos, presentaron valores ampliamente dispersos en todos los puntos de muestreo. Por lo tanto, para analizar y comprender mejor su distribución, se generó diagramas de cajas y bigotes.

En la figura 9 se observa que los puntos de monitoreo; IAC, IPI y MAE, presentaron la mayor concentración de partículas en 500 ml de muestra, con medianas de 249, 169 y 139, respectivamente. Los mismos que superan a los muestreos de la zona central y sur de la ciudad, lo que es congruente con los

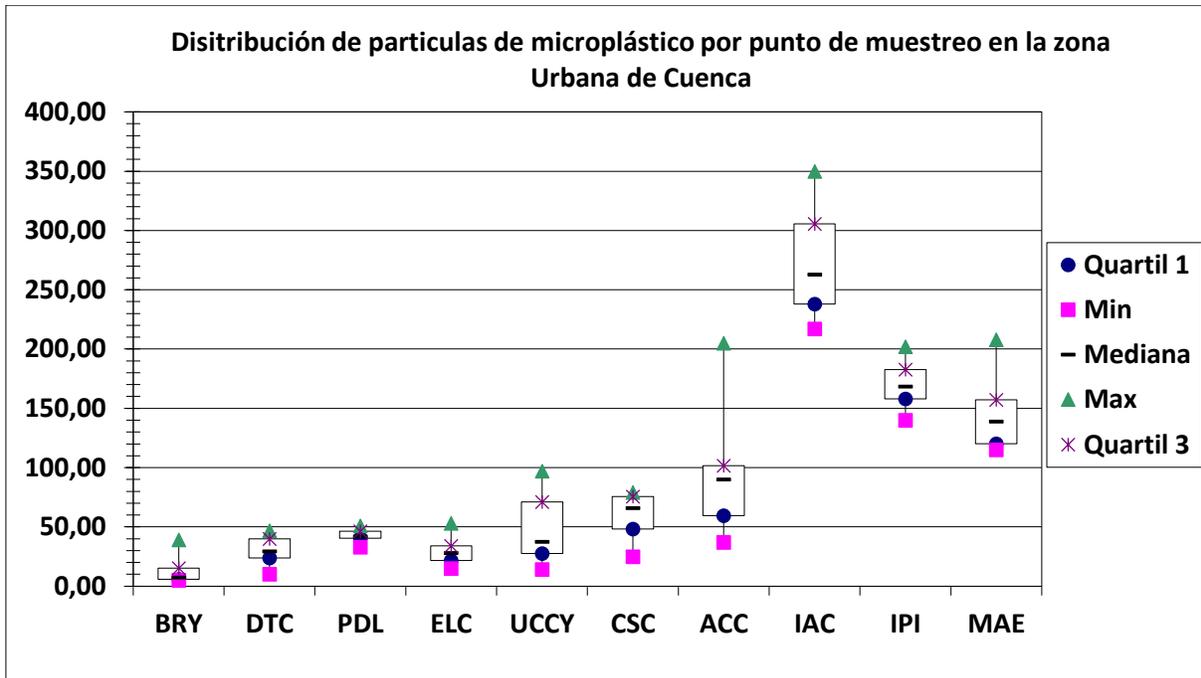
resultados obtenidos en los apartados anteriores, por otra parte, sus medias se encuentran en el rango de 7 a 90 partículas. Los datos por cada punto de muestreo demuestran que existe mayoritariamente una menor concentración de microplástico, esto se induce, a través, del desplazamiento de las cajas hacia el límite inferior, sin embargo, no queda absuelto que algunos valores de concentración de microplásticos, desplazan las cajas hacia el límite superior, de tal manera, que la distribución de la concentración de microplásticos en las precipitaciones pluviales en la zona urbana de la ciudad de Cuenca, se encuentra en un promedio de 100 partículas por 500 ml de muestra. Los diagramas de cajas y bigotes de los 10 puntos de muestreo se explican en el apartado del anexo F.

Durante el análisis de microplásticos, se determinó la presencia de partículas en todos los puntos de monitoreo, con un rango de mediana de 7 a 249 partículas microplásticas en 500 ml de muestra.

Según Janice Brahney y sus colaboradores (2020), al analizar muestras de deposición húmeda y seca, encontraron al día un promedio de 132 microplásticos por metro cuadrado, lo que llega a ser más de 1000 toneladas métricas de microplástico al año, en las áreas protegidas al oeste de EE.UU. Por otro lado, Flores Calle & Orozco Gualoto (2022), en su evaluación de microplásticos en agua embotellada, afirmaron que en todas sus muestras se encontraron micropartículas de plástico, teniendo un promedio de 12,2 partículas por litro de agua. Aunque, en el estudio de Masson y sus colaboradores en el 2018, encontraron un promedio de 10,4 partículas por litro de agua las mismas que se hicieron presentes en el 93 % de las botellas de agua.

Figura 10

Diagrama de cajas y bigotes de la distribución de partículas microplásticas



4.3.2. Determinación del Tamaño de Partículas de Microplástico

La determinación del tamaño de las partículas de microplástico, se realizó empleando técnicas de microscopía óptica, a través, del microscopio invertido AmScope, se realizó, con varios enfoques de aumento; 4x a 60x, se observó la presencia de fragmentos y fibras, mediante el software de procesamiento de imágenes NIS Elements Basic Research, empleando la herramienta Annotations and Measurements, se obtuvo las dimensiones, clasificando entre fibras y fragmentos.

La morfología de las partículas de microplástico es muy variable, puede existir fragmentos y fibras de una variedad de tamaños, sin embargo, el rango de tamaño se puede inferir, el proceso de prefiltración o preparación de muestras, para un análisis de microplásticos es importante a la hora de definir el rango de medidas, especialmente en fragmentos. Estudios sobre determinaciones de microplásticos en leche descremada, realizado por, Criollo Guallasamín (2019), en bebidas refrescantes, realizado por, Tituchina Quillupangui (2019) y en agua embotellada, realizado por, Flores Calle & Orozco Gualoto (2022),

mencionan que el rango de obtención del tamaño de fragmentos está directamente relacionado por la etapa de prefiltración, dependerá de la luz de malla del filtro.

La prefiltración de las muestras de lluvia, para el análisis de microplásticos se llevó a cabo empleando un filtro de papel de poliamida de 500 μm de luz de malla y 200 mm de diámetro, por lo tanto, el rango de distribución del tamaño de fragmentos, fue menor a 500 μm . Por otra parte, la estructura morfológica de las fibras de microplástico, se presenta como una desventaja, ya que, al ser estrechas y largas, llegan a travesar el filtro.

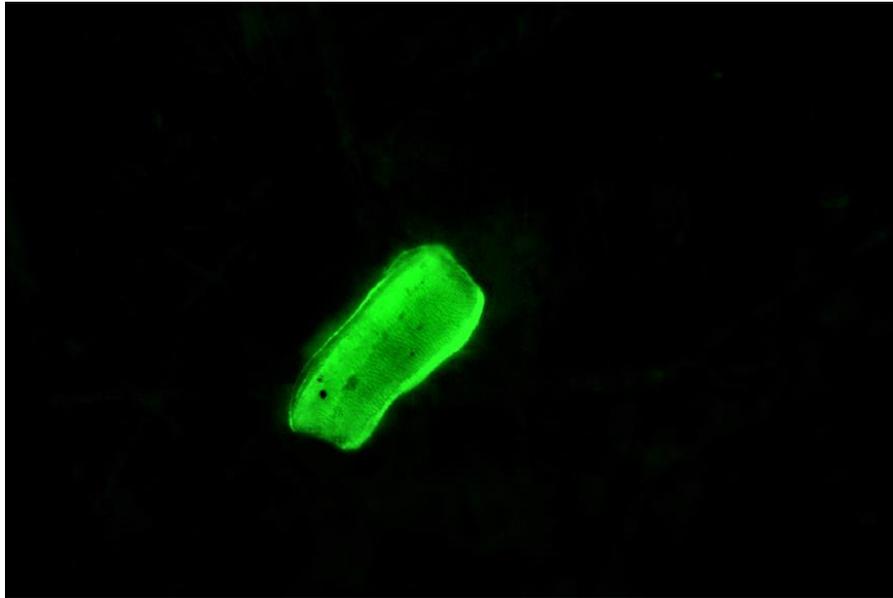
Figura 11

Fibra microplástica, observado mediante microscopia de fluorescencia, con enfoque de 10x aumentos



Figura 12

Fragmento microplástico, observado mediante microscopia de fluorescencia, con enfoque de 10x aumentos



Las dimensiones se procesaron a través de las herramientas del software de procesamiento de imágenes NIS Elements, se generó una base de datos. La distribución de tamaño de partículas es muy variable, sin embargo, se realizó un cálculo de rango, de tal manera, que se pueda estimar los tamaños de las partículas entre valores máximos y mínimos. La ecuación 1 y 2, expone la distribución de tamaño de fibras y fragmentos.

Previamente, se desarrolló una clasificación por cada punto de monitoreo, los valores de tamaño de partículas; fibras y fragmentos, se clasificaron y se obtuvo valores de distribución de tamaño, posteriormente, se escogió los valores máximos y mínimos de mencionado análisis para expresar en términos de rango de tamaño, se indica los valores en la tabla 19.

Ecuación 2

Distribución de tamaño de fibras microplásticas

$$\text{Distribución de tamaño fibras} = \frac{(\text{largo} + \text{ancho})}{2}$$

Los fragmentos, al ser partículas amorfas, su distribución de tamaño, se realizó induciendo la ecuación 1, referente al diámetro de Feret, el cual nos da una aproximación más específica del tamaño.

Ecuación 3

Distribución de tamaño de fragmentos según Feret

$$\text{Distribución de tamaño fragmentos (Feret)} = \frac{(\text{max Feret} + \text{min Feret})}{2}$$

Mediante la ecuación 1 y 2 se obtuvo la distribución de tamaño de partículas plásticas para cada punto de monitoreo, la unidad de medida se expresa en micras (μm).

Tabla 19

Distribución de tamaño de microplásticos; fibras y fragmentos, en 500 ml de muestra de precipitación pluvial

Rango de distribución de tamaño de partículas de microplástico (μm)					
Muestras		Fibras		Fragmentos	
BRY	M1	298,76	342,45	54,21	266,44
	M2	306,22	1138,43	33,12	276,24
	M3	53,90	1356,92	12,67	146,14
	M4	463,66	1814,25	128,71	271,68
	M5	414,55	1235,85	201,20	290,36
	M6	467,73	1582,37	104,69	104,69
	M7	393,91	1015,55	-----	-----
	M8	706,27	1309,70	-----	-----
DTC	M1	144,38	1186,63	11,91	257,98
	M2	158,60	2622,26	16,10	275,10

	M3	44,56	1630,71	7,80	266,62
	M4	329,03	1958,66	8,70	293,26
	M5	154,53	1422,45	6,66	50,05
	M6	277,79	277,79	7,60	300,68
	M7	99,61	1017,52	11,12	227,98
	M8	157,00	1486,03	21,30	300,36
PDL	M1	96,45	1853,30	25,74	291,30
	M2	131,98	1491,55	8,86	274,02
	M3	68,28	2922,31	40,13	280,22
	M4	11,49	1900,55	46,33	299,47
	M5	6,05	1338,53	20,37	287,74
	M6	124,57	828,68	7,72	212,71
	M7	82,06	3049,03	16,42	296,73
	M8	5,82	1314,40	20,76	115,62
ELC	M1	132,05	1454,81	11,11	237,18
	M2	330,54	1099,35	30,30	173,06
	M3	228,52	1479,29	7,68	67,80
	M4	219,58	1578,11	8,20	279,66
	M5	85,75	1495,31	9,88	277,02
	M6	203,11	624,28	16,39	247,30
	M7	118,93	1669,39	21,31	204,47
	M8	134,93	1410,28	6,36	133,61
UCCY	M1	85,54	624,23	2,47	108,80
	M2	8,29	1828,92	2,91	251,79
	M3	32,12	2239,71	2,96	232,39
	M4	36,61	1777,29	7,22	266,16
	M5	10,42	393,82	9,18	87,89
	M6	19,12	2444,16	3,28	296,47
	M7	151,72	802,75	23,39	294,98
	M8	83,27	927,95	2,87	277,00
CSC	M1	129,95	1664,17	1,51	289,22

	M2	89,00	1571,40	1,34	269,29
	M3	50,12	1160,34	2,11	275,73
	M4	170,59	898,56	2,00	78,86
	M5	46,40	986,58	2,14	290,10
	M6	83,48	1482,46	1,95	128,61
	M7	100,10	730,90	1,07	298,74
	M8	107,75	1186,00	1,31	295,08
AAC	M1	52,66	1620,93	1,29	291,97
	M2	62,69	1183,25	4,49	289,64
	M3	120,35	1617,66	5,83	298,95
	M4	108,15	1501,18	8,62	282,63
	M5	77,79	500,43	9,14	308,61
	M6	170,19	750,86	19,59	291,41
	M7	106,58	961,45	8,00	234,04
	M8	50,38	791,08	5,67	310,57
IAC	M1	90,23	1622,04	4,34	247,97
	M2	144,81	1130,22	4,28	246,35
	M3	213,81	1081,03	14,24	186,99
	M4	112,05	1371,05	7,05	265,15
	M5	109,89	1152,62	4,34	294,92
	M6	105,53	961,66	4,28	264,38
	M7	229,35	229,35	15,07	308,61
	M8	233,41	2033,58	4,28	301,36
IPI	M1	44,88	865,14	6,58	280,48
	M2	73,82	1180,61	6,00	276,15
	M3	52,95	1604,22	5,72	285,91
	M4	68,11	771,03	7,40	246,76
	M5	73,92	1140,61	4,28	190,94
	M6	57,75	1568,98	4,28	150,18
	M7	85,16	1271,34	6,46	282,67
	M8	51,49	1149,91	5,36	241,82

MAE	M1	64,21	1419,95	5,39	130,91
	M2	58,44	795,51	7,13	183,57
	M3	83,21	1597,48	4,28	288,74
	M4	138,40	1377,94	5,21	272,21
	M5	-----	-----	10,69	250,88
	M6	-----	364,49	5,21	174,97
	M7	253,23	1851,65	4,92	263,60
	M8	45,16	2199,76	7,86	286,62
	Rango Total	5,82 – 3049,03		1,07 - 310,57	

En la tabla 19, se expone los puntos de muestreo; 9 de ellos distribuidos en la zona urbana de la ciudad de Cuenca, ratificando que se ubicaron en sitios donde la concentración de contaminantes es mayor referente a sitios de rurales de menor polución.

El rango de tamaño de las partículas de microplástico es variable en todos los puntos de muestreo, su distribución en la atmósfera está ligada a la interferencia de variables climáticas, con respecto a la polución de la zona urbana de ciudad de Cuenca.

La variación del rango de tamaño de fragmentos, como se aprecia en la tabla 19 es de (1,07 μm – 310,57 μm), lo cual es mayor al rango de tamaño de partículas encontradas, por otra parte, el rango de distribución de fibras microplásticas, estas al ser alargadas, estrechas, en forma de espiral, su distribución de tamaño varía, se obtuvieron valores entre (5,82 μm – 3049,03 μm), en los estudios publicados por Criollo Guallasamín (2019) y Tituchina Quillupangui (2019), en el cual evaluaron la presencia de microplástico en la leche descremada y bebidas refrescantes, obtuvieron un rango de distribución menor o igual a 250 μm . Sin embargo, al ser matrices sujetas a muestreo completamente diferentes es evidente que la distribución de tamaño sea de igual manera. Por otra parte, estudios sobre el análisis de microplásticos en las precipitaciones pluviales en zonas urbanas, están tomando renombre en los últimos

años, lo que ejemplifica la razón de desconocer la distribución aceptada por la comunidad sobre el tamaño de microplástico.

El análisis de microplástico en diferentes matrices ambientales y de salud pública, mencionan que el rango de distribución de tamaño aceptado para las partículas de microplástico es de ($1 \mu m - 5 mm$), por lo tanto, los resultados obtenidos se encuentran en mencionado rango (Giraldez Alvarez et al., 2020; Lemos Donoso, 2018; Martinez, 2019; Poma Ambuludi, 2019).

4.3.3. Caracterización del Tipo de Polímeros en Microplásticos

La determinación del tipo de polímero en los filtros, se realizó posterior a la observación, cuantificación y medición de las partículas de microplástico, se identificó partículas de microplástico de tamaño considerable, mayor a $250 \mu m$, debido a que, es más favorable que se encuentren dentro del rango de detección del analizador de reflectancia total atenuado ART. Seguidamente, se realizó una corrección de las curvas de IR y una resta espectral. Finalmente, los espectros obtenidos de cada filtro por punto de muestreo, se compararon con la biblioteca del software OMNIC Spectra, identificando el tipo de polímero, generando un reporte de resultados, además, se generó una biblioteca de espectros correspondientes a cada punto de muestreo, se indican en las figuras 53 a 100, anexo G, se caracterizó varios polímeros, se indican en la tabla 20.

Se resalta que el polímero de mayor distribución, en las precipitaciones pluviales dentro del casco urbano de la ciudad de Cuenca es el Nylon, Poliamida y Polietileno, por otra parte, el Tereftalato de Polietileno (PET), es el polímero que se encuentra en mayor proporción, representando el 38 % del total de polímeros caracterizados en las muestras, por el contrario, el polímero de menor distribución con un valor menor al 2 % es el celofán, por lo tanto, es congruente, debido a que en la provincia del Azuay, lidera el consumismo de plásticos de un solo uso, por ejemplo, el PET es el polímero plástico de mayor uso y consumismo, se infiere que el uso del PET en la ciudad de Cuenca es a gran escala, en referencia al resto de polímeros. Sin embargo, se demuestra que el desarrollo de la industria del plástico y las políticas de

reciclaje y conservación del medio ambiente, no absuelven los problemas del mismo en las diversas matrices ambientales.

Tabla 20*Caracterización de polímeros encontrados en las muestras de precipitación pluvial*

Puntos de Monitoreo	Código	Tipos de Polímeros								
		Nylon	Poliamida	Polietileno	Polivinilpirrolidona	Tereftalato de Polietileno	Celofán	Poliacrilamida	Otros	Zein
1	MAE	71,43%	14,29%	----	----	----	----	----	14,29%	----
2	IPI	60,00%	26,67%	6,67%	6,67%	----	----	----	----	----
3	IAC	25,00%	33,33%	25,00%	16,67%	----	----	----	----	----
4	AAC	27,50%	22,50%	----	7,50%	30,00%	2,50%	5,00%	----	5,00%
5	CSC	9,68%	6,45%	3,23%	3,23%	74,19%	3,23%	----	----	----
6	UCCY	40,00%	----	13,33%	----	46,67%	----	----	----	----
7	ELC	----	----	----	----	100,00%	----	----	----	----
8	PDL	16,67%	22,22%	5,56%	11,11%	44,44%	----	----	----	----
9	DTC	16,07%	14,29%	3,57%	14,29%	41,07%	3,57%	1,79%	1,79%	3,57%
10	BRY	23,53%	29,41%	----	23,53%	23,53%	----	----	----	----

Según Sailema Jiménez (2021), al analizar las muestras de lluvia mediante técnicas de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier FTIR, se observó en sus resultados la presencia de dos polímeros, el polipropileno y polietileno de alta densidad. Por otra parte, Brahney y colaboradores (2020), lograron identificar cinco clases de aditivos poliméricos: microfibra sintética, entre ellos; el poliéster y la poliamida; y otros polímeros; polietileno, polipropileno, acetato de polivinilo y copolímero acrílico de etileno, en su estudio desarrollado sobre la determinación de microplásticos en las precipitaciones pluviales en áreas protegidas de Estados Unidos, publicado por la revista Science, titulado, “Plastic rain in protected areas of the United States”. Por otro lado, una investigación desarrollada por Materic y colaboradores (2020), demostraron que se identificó varios tipos de polímeros de microplástico en nieve de pozo y superficie en los nevados de los Alpes Austriacos, enfatizaron que el polímero más común en sus muestras fue el PET, esto de acuerdo a varias publicaciones sobre la temática, coloca en evidencia que la predominancia de partículas microplásticas en la circulación atmosférica es el tereftalato de polietileno.

En nuestro estudio, durante el análisis por espectroscopia infrarroja FTIR, se identificaron nueve polímeros: nylon, poliamida, polietileno, tereftalato de polietileno, polivinilpirrolidona, celofán, poliacrilamida, otros y zein. El polímero de tereftalato de polietileno, presenta una concentración más elevada en las muestras por punto monitoreo, seguido por el nylon y la poliamida, sin embargo, están presentes en el 80 % y 90 % de los puntos de monitoreo. Posteriormente, el polietileno y la polivinilpirrolidona estuvieron presentes en el 70% y finalmente el celofán, la poliacrilamida y zein, en bajas concentraciones y presentes del 20 al 30 %.

4.4. Parámetros de Contaminación de Microplásticos para la Zona Urbana de la Ciudad de Cuenca

Se utilizó un diagrama de cajas y bigotes para establecer los parámetros de contaminación referente al microplástico, para ello se tomaron los valores promedios de cada punto de monitoreo a partir del Quartil 1 y 3. En la tabla 21, se indica, el parámetro mínimo y máximo de concentración promedio de partículas por 1 mm de precipitación pluvial.

Tabla 21

Parámetros de contaminación de microplásticos para las precipitaciones pluviales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca

Parámetro		Concentración en agua de lluvia (Partículas Totales/l)
Microplástico	Mínimo	67,5
	Máximo	319,12

4.5. Análisis y Discusión de Resultados de Metales Pesados Cd, Cr, Hg y Pb

Al analizar los analitos Cd, Cr, Hg y Pb, en las precipitaciones pluviales en la urbe de la ciudad de Cuenca, se determinó que las concentraciones obtenidas, a través de técnicas de espectroscopia de emisión atómica, empleando el equipo ICP OES, los valores no superan a la guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS), acerca de los límites máximos permisibles de metales traza en precipitaciones pluviales (OMS, 2011).

Las concentraciones de Cd, Cr, Hg y Pb, presentaron un comportamiento estadístico variable, sin embargo, la obtención de mencionados resultados, sugirió el uso de técnicas de manipulación para el análisis de muestras. Se realizó una concentración de la muestra de 500 ml, mediante metodologías de concentración de muestras, de tal manera, favorece que las concentraciones de dichos analitos se incrementen en las muestras, por lo tanto, la determinación de Cd, Cr, Hg y Pb, se encuentre dentro del rango de detección del equipo ICP OES. Los límites de detección del equipo se indica en la tabla 22.

Tabla 22

Límites de detección de Cd, Cr, Hg y Pb del equipo ICP OES

Límites de detección de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb del equipo ICP OES (Vista Axial) ($\mu\text{g/l}$)			
Cd	Cr	Hg	Pb
0,07	0,21	0,14	1,06

Se analizó un total de 80 alícuotas, los datos de concentración de Cd, Cr, Hg y Pb, tras la concentración de las muestras se indica en la tabla 23.

Tabla 23

Valores de concentración de metales pesados, en alícuotas concentradas

Concentración de metales pesados en muestras concentradas (ppb)					
Puntos de monitoreo	Código	Cr	Cd	Hg	Pb
1	MAE	2,93	0,10	-1,34	4,98
2	IPI	2,99	0,08	-0,59	3,95
3	IAC	3,09	0,07	-1,35	7,27
4	AAC	7,67	-0,04	-1,16	9,44
5	CSC	5,62	-0,07	-1,30	5,92
6	UCCY	3,39	-0,03	-1,38	4,43
7	ELC	2,62	-0,02	-1,75	7,86
8	PDL	3,27	-0,04	0	6,90
9	DTC	2,17	-0,08	-1,29	3,95
10	BRY	3,06	-0,08	-1,38	4,93

Sin embargo, los valores de concentración obtenidos tras la concentración de muestras, no es considerado un valor real de la concentración de los metales pesados a analizar. Por lo cual, se calculó la concentración promedio de los analitos sujetos análisis en el volumen inicial de muestra, se indica en la tabla 24.

Tabla 24

Concentración promedio de Cd, Cr, Hg y Pb en muestras en la precipitación pluvial de la zona urbana de la ciudad de Cuenca

Puntos de Monitoreo	Código	Ubicación	Uso del suelo (TULAS)	Concentración de metales pesados (ppb)			
				Cr	Cd	Hg	Pb
1	MAE	Avenida Hurtado de Mendoza (Oficinas de la Secretaria del Agua)	Comercial Mixta	0,099	0,012	No reportado	0,315
2	IPI	Avenida De Las Américas y General Torres (Unidad Educativa Juan Montalvo)	Industrial	0,150	0,004	No reportado	0,197
3	IAC	Avenida Gonzales Suarez y Manuel Paredes	Residencial Mixta	0,155	0,004	No reportado	0,364
4	AAC	Calle Nicolás de Rocha y Alonso de Zamora	Residencial Mixta	0,384	No reportado	No reportado	0,472
5	CSC	Avenida Primero de Mayo y Gaspar de Villarroel	Residencial Mixta	0,281	No reportado	No reportado	0,296
6	UCCY	Avenida 12 De Octubre y Diego de Tapia	Residencial	0,169	No reportado	No reportado	0,222
7	ELC	Calle Honorato Vásquez y Tomas Ordoñez	Comercial Mixta	0,131	No reportado	No reportado	0,393

8	PDL	Avenida Héroes de Verdeloma y Nicanor Merchán	Residencial Mixta	0,163	No reportado	No reportado	0,345
9	DTC	Avenida Diez de Agosto y Las Herrerías	Hospitalaria	0,109	No reportado	No reportado	0,198
10	BRY	Camino a Soldado Chaucha	Residencial	0,153	No reportado	No reportado	0,246

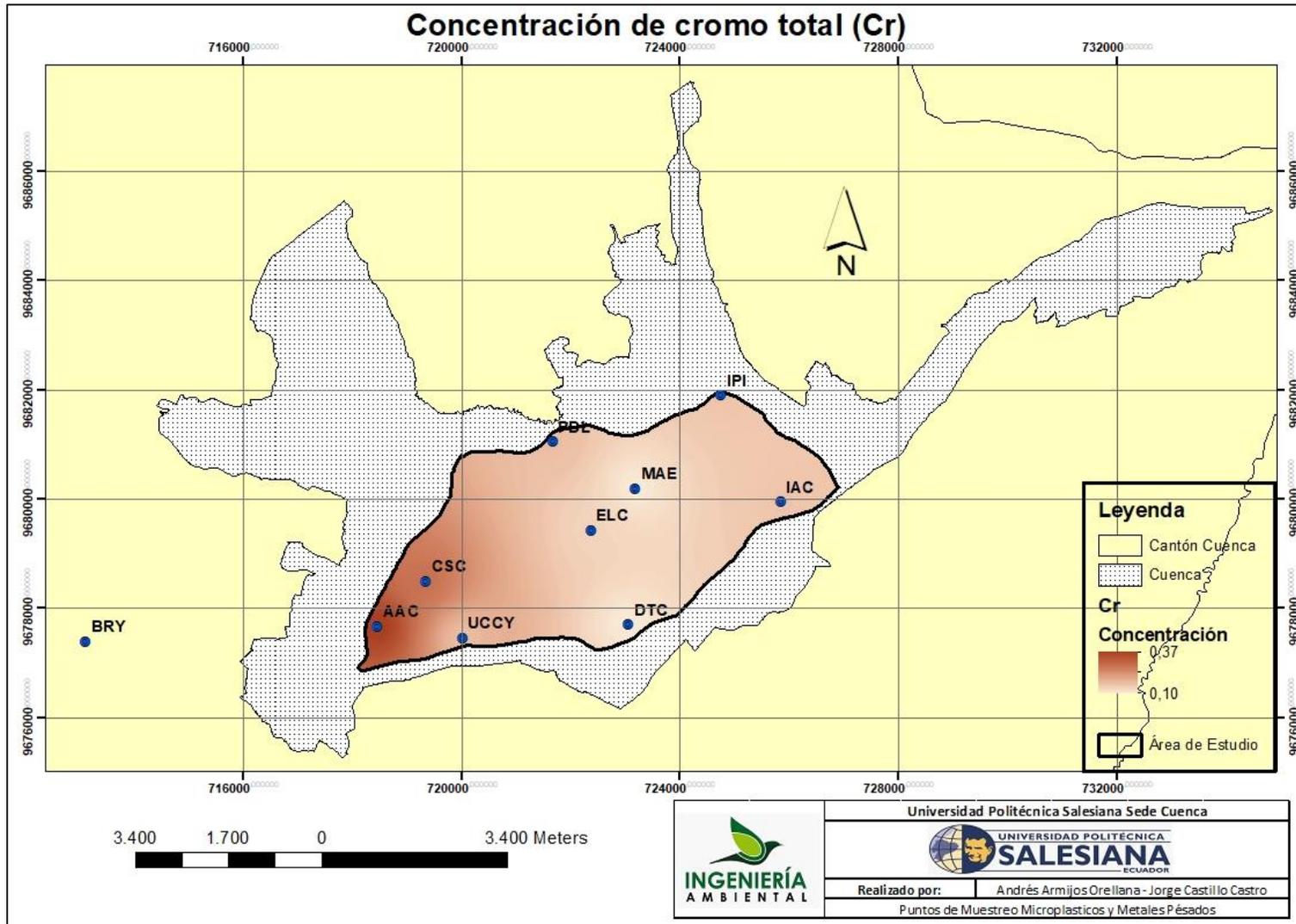
Los valores de concentración promedio de metales pesados Cd, Cr Hg y Pb, que se indican en la tabla 24, se expresan en partes por billón (ppb) o micro gramos por litro ($\mu\text{g}/\text{l}$), sin embargo, las concentraciones de Cd y Hg se encuentran por debajo de los límites de detección del equipo ICP OES, a pesar de que las muestras se analizaron a través de una vista axial, es decir, empleado el método utilizado comúnmente para el análisis de concentración de metales traza. A pesar de ello, la mayor parte de los valores de Cr y Pb no son detectados por la metodología y técnica planteada en el desarrollo del estudio, sin embargo, algunos valores de concentraciones de Cr y Pb, nos brindan una idea sobre la composición de elementos de carácter químico de la lluvia en la zona urbana de la ciudad de Cuenca.

El cromo, se encuentra en los ecosistemas como Cr III y Cromo VI, sin embargo, el Cr III, es un nutriente esencial. Por otra parte, el Cr VI, es cancerígeno por inhalación, se ha comprobado que concentraciones elevadas es cancerígeno por vía oral (OMS, 2011). En el desarrollo del trabajo experimental se analizó el Cr total, del total de muestras analizadas, el 17,5 % se reportó con concentraciones significativas, por otro lado, el 82,5 % de las muestras restantes se reportan fuera del límite de detección, la distribución espacial del Cr en la zona urbana de la ciudad de Cuenca se indica en la figura 13. El valor de la concentración máxima promedio de Cr total reportado es 0,384 ppb en el punto de monitoreo 4 AAC, corresponden a una zona residencial mixta, con valores promedio de PM_{10} que superan el valor guía de la OMS de $29,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que es congruente con los resultados expuestos. Sin

embargo, la concentración del Cr total, en la lluvia de la zona urbana de la ciudad de Cuenca, no se considera un problema hoy en día, debido a que “el valor de referencia correspondientes a sustancias de origen natural o antrópico, cuya presencia en el agua puede afectar a la salud es de 50 ppb” (OMS, 2011), por lo tanto, la exposición a este contaminante a través de las precipitaciones pluviales a la población cuencana es trivial.

Figura 13

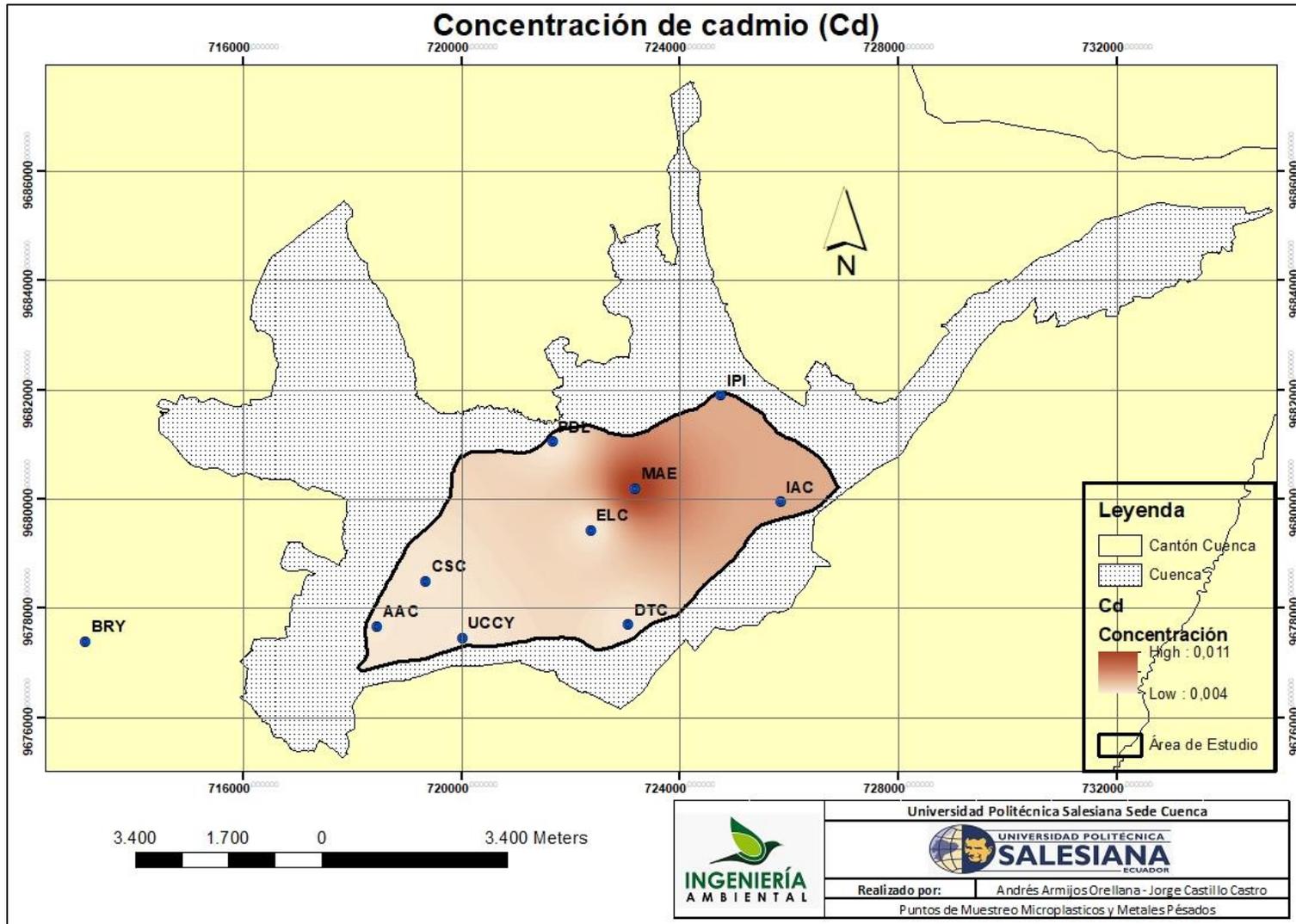
Distribución espacial de la concentración promedio de cromo total Cr (ppb)



“El cadmio, es un metal pesado con un amplio rango de usos, generalmente se utiliza en la industria del acero y de plásticos” (OMS, 2011). Se emplea como elemento en la fabricación de pilas y llega al ambiente por liberación en la purificación de aguas residuales y la contaminación aérea a nivel de urbe residen en una contaminación difusa (OMS, 2011). El Cd analizado en las muestras de lluvia de la zona urbana de la ciudad de Cuenca, la mayoría presentaron valores de concentración por debajo de los límites de detección del equipo ICP OES, por lo tanto, sus valores se reportaron como no detectables, sin embargo, se identifican sitios dentro de la zona urbana de la ciudad de Cuenca en donde la concentración de Cd es mayor, como se observa en la figura 14. Los valores presentados en la tabla 24 de concentración promedio de Cd son una idea ambigua de concentración del analito en las muestras, sin embargo, “el valor de referencia correspondientes a sustancias de origen industrial y núcleos habitados, cuya presencia en el agua puede afectar a la salud es de 3 ppb” (OMS, 2011).

Figura 14

Distribución espacial de la concentración promedio de cadmio Cd (ppb)

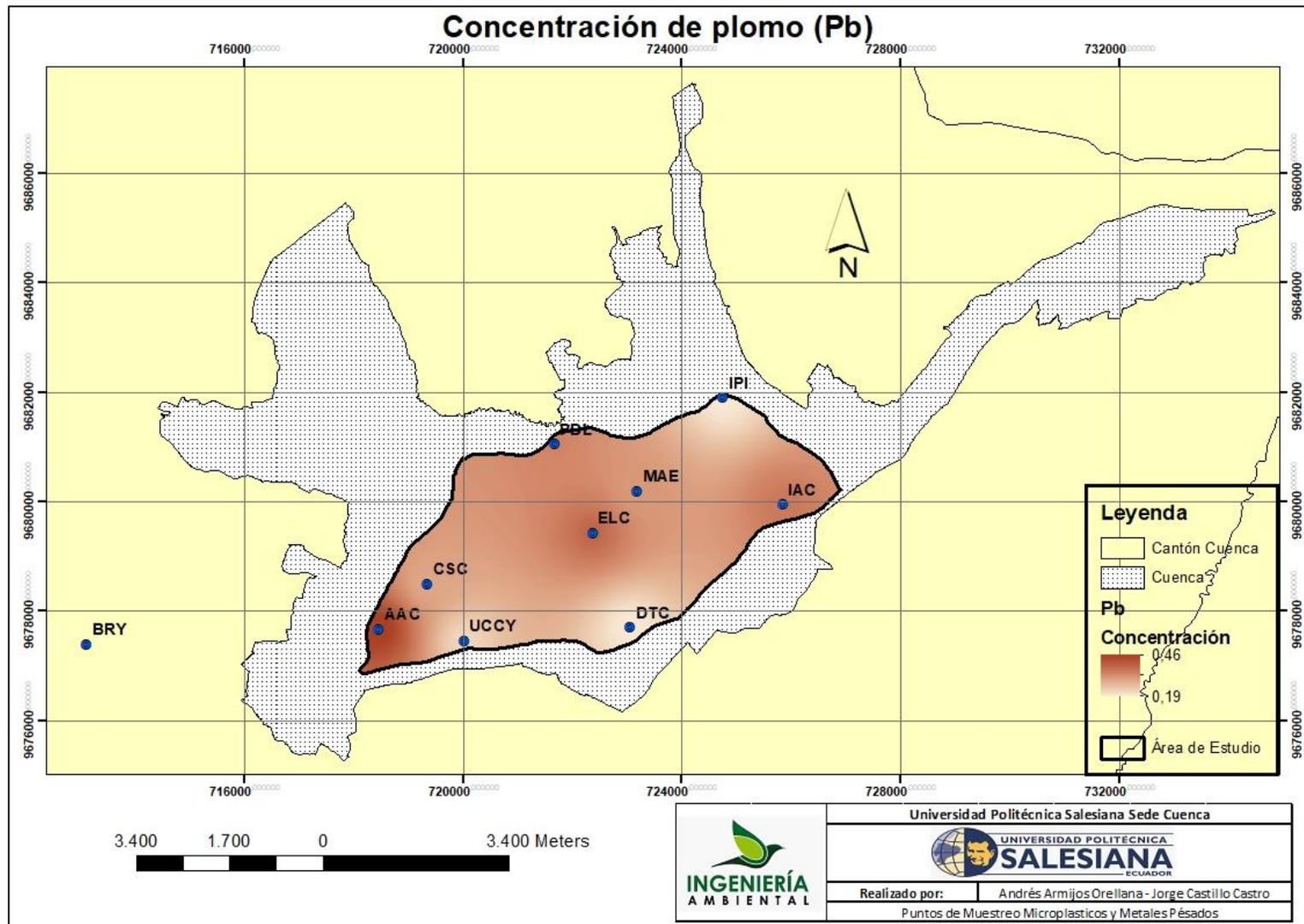


“El mercurio, se utiliza en los procesos de producción de electrolítica de cloro, en componentes de electrodomésticos, el mercurio proviene de fuentes naturales, a través de procesos geoquímicos, se metila en agua dulce y agua de mar” (OMS, 2011). El Hg analizado por espectroscopia de emisión atómica en las muestras de lluvia, el 100 % de sus valores se reportan como no detectables. Se sugiere la aplicación de espectroscopia de masas acoplado inductivamente, para el análisis de mercurio.

El plomo, es un metal pesado que se utiliza ampliamente en varios ámbitos de producción como la metalurgia, aleaciones, baterías y en la soldadura. Años atrás el tetraetilo y tetrametilo de plomo, se empleaba como sustancias antidetonantes, anticongelantes y lubricantes en la gasolina, sin embargo, con el pasar de los años, diversas políticas ambientales y campañas en protección de la calidad del aire, su uso ha disminuido en gran medida (OMS, 2011). En la ciudad de Cuenca, se implementó políticas ambientales para disminuir el uso de plomo en gasolinas y pinturas a partir del año 2008. Las muestras de lluvia analizadas, reportan que el 100 % de los valores de concentración de Pb se encuentran por debajo del límite de detección, a pesar de ello, se puede inducir a través de la figura 15 que el metal pesado plomo está ampliamente distribuido en la toda la zona urbana de la ciudad de Cuenca. Sin embargo, los valores de concentración promedio de Pb presentados en la tabla 24, nos da una idea muy vaga de la composición química de las precipitaciones pluviales en la zona urbana de la ciudad de Cuenca. De la misma manera, se sugiere realizar técnicas de espectroscopia de masas por plasma de acoplamiento inductivo, para conocer valores de concentración de plomo, que sugieran un análisis de la composición química de la lluvia.

Figura 15

Distribución espacial de la concentración de plomo Pb (ppb)



4.5.1. Análisis Estadístico de las Concentraciones de Cr, Cd, Hg y Pb

El análisis estadístico empleado para procesar y analizar los datos de las concentraciones de Cd, Cr, Hg y Pb, se realizó mediante un análisis de varianza ANOVA y prueba de Tukey, el cual nos permite la aceptación o el rechazo de la hipótesis de investigación, por otra parte, se generó diagramas de barras para identificar y comparar el comportamiento de distribución de la cuantificación de Cd, Cr, Hg y Pb, en las muestras de lluvia de la zona urbana de la ciudad de Cuenca.

De la misma manera, previamente a la aplicación de estadística descriptiva para el análisis de la base de datos de concentración de metales pesados, se procedió a diseñar un método de eliminación de valores atípicos, mediante un análisis de caja y bigotes, se obtuvieron un total de 2 valores atípicos en 2 puntos de monitoreo, los cuales no se consideraron en el análisis estadístico, debido a la dispersión de sus datos de la tendencia central del conjunto de valores.

4.5.1.1. Análisis de Varianza ANOVA y Tukey

Para el procesamiento de datos de concentración de analitos Cd, Cr, Hg y Pb, se realizó, a través de un análisis de varianza ANOVA, el cual explica la variación de las concentraciones de metales pesados y el valor de significancia, entre los diferentes puntos de muestreo. Por otra parte, a través de este análisis, se responde la hipótesis de investigación, los resultados se aprecian en la tabla 25.

La hipótesis de investigación planteada; “existen contaminantes atmosféricos; metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, en las precipitaciones pluviales en la zona urbana de la ciudad de Cuenca”. Por lo tanto, las hipótesis para el análisis de varianza ANOVA se formularon de la siguiente manera:

H_0 : (Todas las medias son iguales). No existe un comportamiento diferente en las medias de los contaminantes atmosféricos; metales pesados, en las precipitaciones pluviales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca.

H₁: (No todas las medias son iguales). Si existe un comportamiento diferente en las medias de los contaminantes atmosféricos; metales pesados, en las precipitaciones pluviales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca.

Nivel de significancia: 0,05

Tabla 25

Análisis de varianza de la concentración de metales pesados Cr, Cd, Hg y Pb

Origen	SC	G.L	MC	Valor F	Valor P	F crítico
Entre grupos	6,497	39	0,166	6,98	7,42136E-24	1,443
Dentro de los grupos	6,680	280	0,024			
Total	13,178	319	0,041			

De la misma forma, el valor P de la tabla 25 es menor al nivel de significancia, por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, demostrando que la presencia del Cd, Cr, Hg y Pb, como contaminante atmosférico si existe en las precipitaciones pluviales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca, además, todas las medias de los puntos de muestreo presentan un comportamiento significativamente diferente.

Los datos de concentración de los analitos, se comportan estadísticamente diferentes. Por lo tanto, se realizó un análisis estadístico aplicando la prueba de Tukey, el cual nos permite inducir, si la concentración de metales pesados en los puntos de monitoreo distribuidos en la urbe de la ciudad, se comportan de manera similar o aleatoria, es decir, si formaran agrupaciones.

Cuando el valor de la probabilidad P es mayor que el nivel de significación, el comportamiento de los datos en los puntos de monitoreo son diferentes, es decir, no formaran agrupaciones; por otra parte, al ser menor no son diferentes, es decir, son iguales, por lo tanto, formaran agrupaciones, los valores de probabilidad que no comparten un punto de muestreo son significativamente diferentes, como se indica en la tabla 37, en el anexo H.

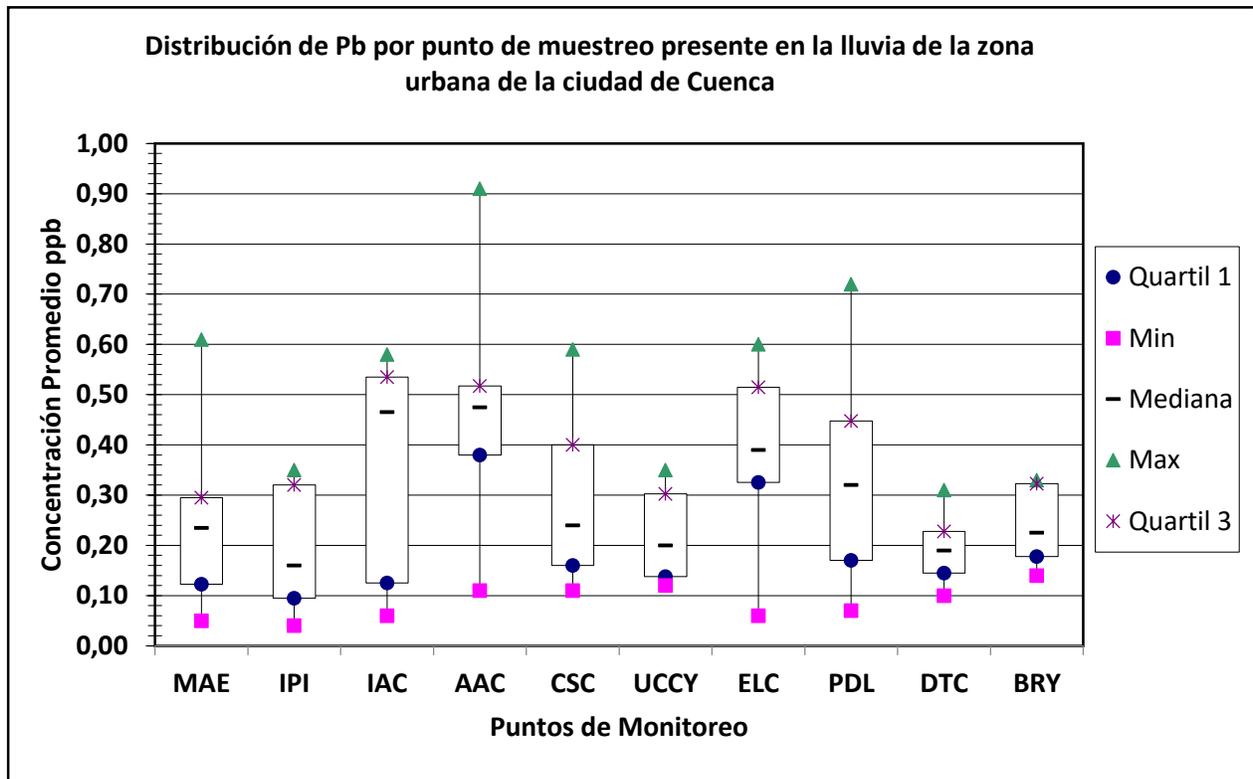
4.5.1.2. Diagrama de Cajas y Bigotes

La existencia de metales pesados en las muestras de precipitación pluvial si existe, sin embargo, las concentraciones no ofrecen una credibilidad alta, debido a que gran parte de los valores obtenidos se encuentran por debajo del límite de detección del equipo. Por lo tanto, para comprender y analizar sus datos de concentraciones promedio se realizaron diagramas de cajas y bigotes exceptuando el metal pesado Cd y Hg ya que sus valores de concentración presentaban una dispersión muy amplia con respecto a la tendencia central del conjunto de valores.

Los datos de concentración de Pb, demuestran que existe concentraciones mínimas de este analito en los diferentes puntos de muestreo, sin embargo, sus concentraciones se encuentran ampliamente distribuidos en toda la zona urbana de la ciudad de Cuenca, por efecto de las actividades antrópicas y usos de este metal en diferentes actividades de producción, por otra parte, se induce, a partir del desplazamiento de las cajas hacia el límite inferior, por otra parte, algunos valores de concentración del plomo, desplazan las cajas hacia el límite superior, por lo tanto, se determina que si existe un comportamiento estadístico diferente entre sus medias de las concentraciones de sus valores, a pesar de que ciertos valores de concentración presenten agrupaciones con un comportamiento común, aproximaciones en los puntos de muestreo de la zona norte y sur de la ciudad. Los valores de concentración promedio de plomo se indican en la figura 16.

Figura 16

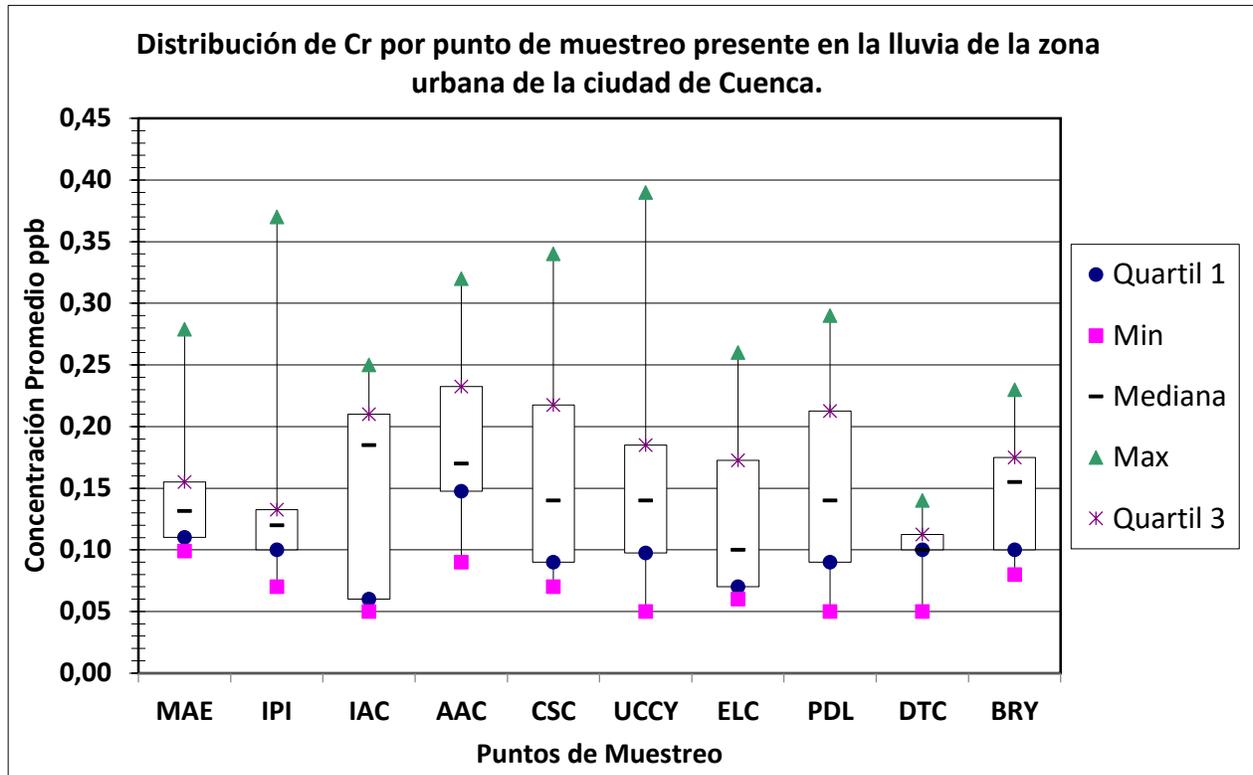
Distribución de la concentración promedio de Pb por punto de muestreo (ppb)



La concentración de Cr en las muestras de lluvia, se reportan distribuidas con valores elevados en la zona sur de la ciudad de Cuenca, por otra parte, se induce, a partir del desplazamiento de las cajas hacia el límite inferior, por otra parte, algunos valores de concentración del cromo, desplazan las cajas hacia el límite superior, por lo tanto, se determina que si existe un comportamiento estadístico diferente entre sus medias de las concentraciones de sus valores. Los valores de concentración promedio de cromo se indican en la figura 17.

Figura 17

Distribución de la concentración promedio de Cr por punto de muestreo (ppb)



4.5.1.3. Diagramas de Barras

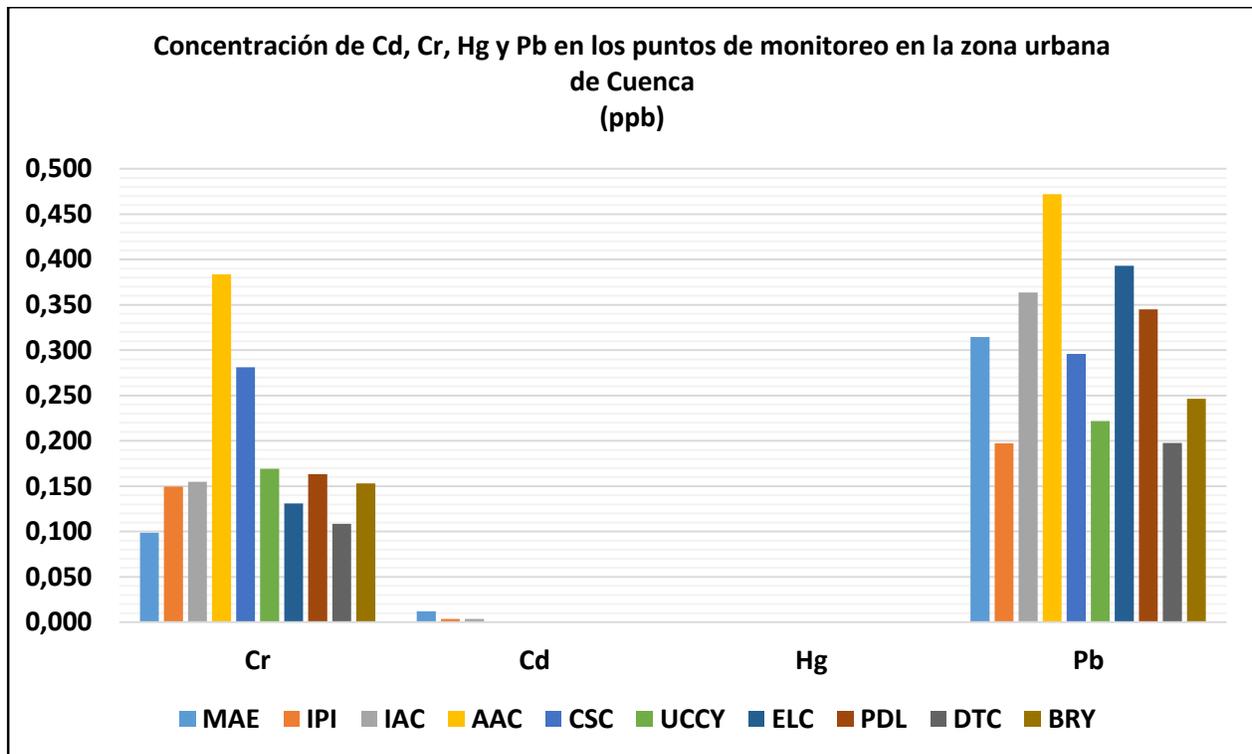
La existencia de Cr y Pb se ha demostrado, por otra parte, las concentraciones de Hg y Cd en las muestras analizadas no se reportaron. Sin embargo, los datos obtenidos de los analitos, se explican mediante diagramas de barras, para analizar y comprender los valores de concentración y distribución, se indican en las figuras 101 a 110, en el anexo I.

En la figura 12, se indican las concentraciones promedias para Cd, Cr, Hg y Pb, sin embargo, para los metales Cd y Pb, no se puede realizar inferencias sobre sus valores obtenidos, debido a que, sus concentraciones se encuentran por debajo de los límites de detección del equipo ICP OES, por otra parte, el Hg no se detectó en ninguna de las muestras analizadas. Los valores para el Cr, presentan concentraciones mínimas, a pesar de ello, sus valores nos permiten inferir acerca de la composición

química de la lluvia. Por otra parte, sus valores no sugieren mediadas de anticipación ante eventos de contaminación.

Figura 18

Concentraciones promedio de metales pesados Cr, Cd, Hg y Pb en precipitaciones pluviales sobre la zona urbana de la ciudad de Cuenca



El agua de lluvia no es tan cristalina como se observa, varios estudios demuestran que la composición química de la lluvia presenta sustancias nocivas para la salud humana (Abultaif, 2017). Como en muchas zonas del mundo, en donde no existe una red de agua potable o simplemente no cuentan con un abastecimiento, la población opta por la cosecha de la lluvia (Romero & López, 2015). Así lo demuestra, Vlastos y colaboradores (2019), en su estudio que evaluó el potencial tóxico de muestras de agua de lluvia.

En sus resultados detectaron la presencia del Cadmio (Cd) y otros metales, con concentraciones que van desde los 0,16 $\mu\text{g}/\text{l}$ hasta los 86,6 $\mu\text{g}/\text{l}$. Concluyendo que todas las muestras de agua de lluvia indujeron citotoxicidad. Por otra parte, un estudio desarrollado por Malassa y colaboradores (2014),

determinaron la concentración del plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el cromo (Cr). Los resultados mostraron que el plomo (Pb) supera los límites de la OMS en agua potable. Sin embargo, se resalta el estudio desarrollado por Omokpariola & Omokpariola (2021), en el cual analizaron cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg) y plomo (Pb), mostrando resultados con concentraciones que se encuentran por debajo del límite permisible de la OMS/FAO, por lo que no existe un riesgo significativo para la salud. De la misma manera, el desarrollo de nuestro estudio acerca de la detección de Cd, Cr, Hg y Pb en la lluvia de la zona urbana de la ciudad de Cuenca no sugiere preocupaciones de atribución ambiental.

4.6. Parámetros de Contaminación de Metales Pesados Cd, Cr, Hg y Pb

De la misma forma, para establecer los parámetros de concentración de Cr, Cd, Hg y Pb en las precipitaciones pluviales de la urbe de la ciudad de Cuenca, se tomaron los valores de concentración promedios de cada punto de muestreo, considerando el cuartil 1 y 3 respectivamente. En la tabla 26, se indican los parámetros establecidos para Cd, Cr, Hg y Pb.

Sin embargo, los parámetros de concentración de Pb, representan una idea ambigua, se recomienda desarrollar estudios de carácter ambiental, en la determinación de la composición química de la lluvia, mediante técnicas de espectroscopia de masas por plasma de acoplamiento inductivo.

Tabla 26

Parámetros de concentración de metales pesados en las precipitaciones pluviales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca

Parámetro	Concentración en agua de lluvia (ppb)	
Cromo (Cr)	Mínimo	0,23
	Máximo	0,31
Cadmio (Cd)	Mínimo	No detectado
	Máximo	No detectado
Mercurio (Hg)	Mínimo	No detectado
	Máximo	No detectado

Plomo (Pb)	Mínimo	0,21
	Máximo	0,35

CAPÍTULO CINCO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La ciudad de Cuenca, presenta una calidad de aire buena, según el último informe de calidad de aire emitido por la empresa EMOV EP. Sin embargo, existen varios puntos dentro de la ciudad de Cuenca, en el cual la presencia de PM_{10} superan los valores de guía de la OMS. En el marco de análisis de microplásticos y metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, en la lluvia de la zona urbana de la ciudad de Cuenca, el geoprocesamiento de datos de variables de contaminación ambiental, a través de la metodología IDW, utilizando el software ARCGIS, brinda una cobertura y una visión objetiva de la distribución espacial de contaminantes. En el desarrollo de la experimentación, se obtuvieron 10 puntos de monitoreo temporales para la recolección de muestras de lluvia, distribuidos en toda la zona urbana de la ciudad de Cuenca, ofreciendo una ubicación estratégica de sitios de concentración de contaminantes para el objetivo de estudio.

5.1. Conclusiones Microplástico

En las precipitaciones pluviales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca, si existe la presencia de partículas de microplástico, las 80 alícuotas recolectadas, en 10 puntos temporales de muestreo ubicados en sitios estratégicos y distribuidos en toda la zona urbana de la ciudad de Cuenca, en el 100 % de las muestras se identificó microplástico, entre fibras y fragmentos, a través de técnicas de microscopía óptica con fluorescencia, mediante observación directa, utilizando un microscopio invertido.

Las precipitaciones pluviales en la zona norte de la ciudad de Cuenca, presenta los valores máximos de concentración de microplásticos; el punto de muestreo 3 IAC, correspondiente a una zona de uso residencial mixta, presenta un valor promedio de 247 partículas en 500 ml de muestra, sin embargo, su ubicación cercana a fuentes primarias de emisión de estos contaminantes, conflictúan en los valores de cuantificación obtenidos. Por otra parte, el punto de muestreo 10 BRY, es el que presenta el menor valor de concentración registrado de microplástico, corresponde una zona residencial, con un valor promedio

de 13 partículas por 500 ml de muestra, ratificando que el mismo se encuentra en una ubicación estratégica, de tal manera, se infiere sobre la marcada relación que existe en el comportamiento del contaminante microplástico en una zona urbana en contraste a una rural.

Se observó micropartículas plásticas, su morfología se presenta como fibras y fragmentos, de diferentes tamaños, colores y formas. La morfología de las fibras microplásticas, se observaron alargadas y estrechas, enrolladas y en forma de espiral, por otra parte, la morfología de los fragmentos es completamente irregular y amorfas.

La distribución del tamaño de partículas de microplástico, se generó a través del software de procesamiento de imágenes NIS Elements Basic Research, se generó una base de datos, determinando que el rango de tamaño de las fibras es de $5,82 \mu m - 3049,03 \mu m$, de la mismo forma, el rango de distribución de fragmentos es de $1,07 \mu m - 310,57 \mu m$, lo cual nos permite inferir que el rango de tamaño de las fibras y fragmentos es menor a 5mm, por lo tanto, es considerado microplástico.

El tipo de polímero con mayor distribución que se identificó, mediante espectroscopia infrarroja por Transformada de Fourier, utilizando el equipo FTIR, en todos los puntos de monitoreo es el Nylon, por otra parte, el polímero más cuantificado es el tereftalato de polietileno PET, lo cual brinda una visión de la producción y consumismo de PET en la ciudad de Cuenca.

5.2. Conclusiones Metales Pesados

En promedio el pH de la lluvia de la zona urbana de la ciudad de Cuenca es ligeramente ácida con un valor promedio de 4,84, lo que indica la presencia de sustancias e iones de carácter ácido, en la composición química de la lluvia.

No se evidencia concentraciones de Cd y Hg, sin embargo, la concentración promedio de Cr es de 0,384 ppb y Pb es de 0,47 ppb, determinado a través de técnicas de espectroscopia de emisión atómica, se concluye que sus valores de concentración son relativamente mínimos en comparación con los valores de la guía de la OMS Y USEPA.

La composición química de las precipitaciones pluviales de la zona urbana y periurbana de la ciudad de Cuenca, presentan concentraciones exiguas, con respecto a los analitos analizados, lo que representaría un riesgo a largo plazo para la salud de quienes consumen directamente de las precipitaciones ya que no existen límites permisibles ni toxicidad de estos metales.

Sin embargo, tomando en consideración la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 108.2011 “Agua Potable Requisitos”, en la cual se basan para estimar los requisitos de calidad de agua potable, proveniente de diversas fuentes, la concentración de los analitos no supera los valores de afectación a la salud.

5.3. Recomendaciones Microplástico

Se recomienda seguir desarrollando temas de investigación de la matriz agua, con enfoques en la determinación de la composición química de la lluvia, referente a contaminantes de desconocimiento total o parcial y relacionando sus posibles efectos negativos a nivel de urbe, además, estudios adicionales que realicen análisis y verificación de las fuentes o vías de contaminación.

Análisis de los factores y variables climáticas, en el marco de desarrollo de investigaciones en muestreo temporales, generalmente se desprecia ciertas directrices que sugieren una variación y visión completamente diferente del objeto de análisis.

Desarrollar estudios, de los posibles efectos negativos del microplástico presente en las precipitaciones pluviales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca y su marcada relación en el desequilibrio de las matrices ambientales.

5.4. Recomendaciones Metales Pesados

El uso y aprovechamiento del agua de lluvia, en referencia a la concentración de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, es oportuno, por otra parte, es recomendable considerar la composición de otros contaminantes, las partículas totales de microplástico ratifican una contaminación del recurso, en efecto, su uso es cuestionable para diversas actividades antrópicas.

Se recomienda desarrollar la adaptación de normativas exteriores acerca de la calidad del agua lluvia, con el objeto de generar una normativa local de regulación de la composición química de las precipitaciones pluviales sus posibles usos y aprovechamientos.

Se recomienda el uso de técnicas de espectroscopia de masas con plasma de acoplamiento inductivo, para el análisis de metales pesados, en muestras de lluvia. Preferentemente en zonas en donde se desconoce en su totalidad la composición química de la lluvia.

BIBLIOGRAFÍA

- Abultaif, A. (2017, December). Lluvia de metales. *Pontificia Universidad Javeriana*, 1–1.
- Acevedo, S., & Hernández, A. (2020). *Metodologías de extracción de microplásticos en tractos gastrointestinales de Scylliorhinus canicula*. Universidad Católica de Valencia.
- Adame Romero, A. (2010). *Contaminacion ambiental y calentamiento global* (Trillas).
- Aday, O., González, R., Díaz, F., Reyes, C., Cruz, Y., Reyes, S., & Barroso, J. (2017). Aplicación del software ImageJ 1.43u en la caracterización de los síntomas de la mancha anular de la caña de azúcar. *Centro Agrícola*, 44(2), 83–88. <http://cagricola.uclv.edu.cu>
- Alarcón, B. (2017). Contar partículas en una imagen con ImageJ. Crear una macro para automatizar el conteo. *Instituto de Biomedicina de Valencia (CSIC)*, 1–8. [http://www.ibv.csic.es/es/SMicroscopia/Documentos/Contar partículas en una imagen con ImageJ.Crear una macro para automatizar el conteo.pdf](http://www.ibv.csic.es/es/SMicroscopia/Documentos/Contar%20particulas%20en%20una%20imagen%20con%20ImageJ.Crear%20una%20macro%20para%20automatizar%20el%20conteo.pdf)
- Andrade Chunga, E. M., & Ponce Garcia, W. D. (2016). Determinación De Los Niveles De Metales Pesados En La Microcuenca Del Río Carrizal Del Cantón Bolívar, Provincia De Manabí. In *Espammfl*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manurí Félix López.
- Argota Pérez, G., Argota Coello, H., & Fernández Heredia, A. (2014). Determinación de Cu, Zn, Pb y Cd por espectrometría de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado en aguas y sedimentos del ecosistema Pb and Cd by Atomic Emission Spectrometry with Inductively Coupled Plasma in Waters and Sediments from San Juan. *Revista Cubana de Química*, 2(26), 85–93. <http://www.redalyc.org/pdf/4435/443543738006.pdf>
- Arroyo Martínez, A. (2007). El agua en la atmósfera. *Ciencia*, 58, 36–39. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/58_3/PDF/06-546.pdf
- ATSDR. (2012). Resumen de Salud Pública. Cromo. In *Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades* (p. 8). https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.pdf

- Ayala Morales, E. L. (2014). *Determinación de las concentraciones de iones presentes en el agua de lluvia de la zona urbana de la Ciudad de Cuenca causantes de la lluvia ácida* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7013/1/UPS-CT003678.pdf>
- Barrio Vega, N. (2008). Metales pesados y sus efectos sobre la salud. In *Didáctica de la Química y Vida Cotidiana*. Universidad Complutense.
- Barrios, N. (2019). *Contaminación del aire y movilidad urbana* (pp. 1–1). Universidad de la Costa. <https://www.cuc.edu.co/noticias/67-generales/4402-contaminacion-del-aire-y-movilidad-urbana>
- Beltrán, M., & Gómez, A. (2015). Metales pesados (Cd, Cr y Hg): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación. *I3+*, *2*(2), 82–112. <https://doi.org/10.24267/23462329.113>
- Berrezueta, E., Cuervas Mons, J., Ordoñez Casado, B., & Rodríguez Rey, A. (2020). Influencia del tamaño mínimo de partícula en el estudio de parámetros de forma mediante análisis digital de imagen. *Geogaceta*, 31–34.
- Bodega, G. (2015). *Métodos en Biociencias* (Dextra Editorial S.L. (ed.); Primera).
- Böll Stiftung, H. (2019). El atlas del plástico. In A. Boit (Ed.), *Atlas*. <https://co.boell.org/sites/default/files/2021-02/Plastic Atlas 2019 cambio.pdf>
- Brahney, J., Hallerud, M., Heim, E., Hahnenberger, M., & Sukumaran, S. (2020). Plastic rain in protected areas of the United States. *Science*, *368*(6496), 1–13. <https://doi.org/10.1126/science.aaz5819>
- Burriel, M., Conde, L., Arribas, J., & Hernández, M. (2008). *Química analítica cualitativa* (Thomson (ed.); Decimoctav). Paraninfo.
- Bustamante Campoverde, A. S. (2021). Caracterización del viento y temperatura aparente en los cañones urbanos del centro histórico de Cuenca, Ecuador. *Conservar Patrimonio*, *36*(2020), 90–105.
- Bustos, E., & Hartley, R. (2007). Contaminación química ambiental y daño espermatogénico. In *Revista Internacional de Andrología* (Vol. 5, Issue 4, pp. 332–336). <https://doi.org/10.1016/S1698->

031X(07)74080-3

- Cabanne, D., & Fernandez, A. (2014). Clasificación periódica de los elementos. In *Facultad de Ciencias Forestales* (pp. 19–28). Universidad Nacional de Misiones.
<http://facfor.unam.edu.ar/modules/uploads/2017/10/CAPÍTULO-II.pdf>
- Calva, L., & Torres, M. (2003). Metales pesados y sus efectos en organismos. *Departamento Hidrológico*, 10. <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n51ne/metales.pdf>
- Calvo, D., Molina, T., & Salvachúa, J. (2012). Bloque IV, Cap. 10. In *Contaminación atmosférica* (pp. 233–262). <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448169816.pdf>
- Camacho Garrido, S. (2014). *Ensayos microbiológicos* (SÍNTESIS (ed.); Primera).
- Campaña, A. (1992). *Interrelaciones de los problemas del medio ambiente y de la dinamica poblacional*.
https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/32736/D-18191.00_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cedeño Ochoa, C. J. (2006). Metales en agua por plasma acoplado por induccion (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn). *IDEAM*, 1, 22.
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Metales+en+agua+por+Plasma+Acoplado+por+Inducción..pdf/d4946215-8e8f-4262-bab2-b236139cfcc8>
- Chacón Chumacero, K., Pinedo Álvarez, C., & Rentería Villalobos, M. (2016). Evaluación de elementos traza en agua de río y manantial del área minera de Ocampo, Chihuahua, México. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 32(4), 375–384. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.04.01>
- Chang, R., & Goldsby, K. (2013). *Química* (McGrawHill (ed.); Undécima).
- Chávez Porras, Á. (2010). Descripción de La nocividad del cromo proveniente de la industria curtiembre y de las posibles formas de removerlo. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 9(17), 41–49.
<http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=75017164003%5Cnhttp://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75017164003%5Cnhttp://www.redalyc.org/pdf/750/75017164003.pdf>

- Clavijo Campos, G. (2021). *Plan de movilidad sostenible* (pp. 1–1).
<https://elmercurio.com.ec/2020/01/26/plan-de-movilidad-sostenible/>
- Collazos, K. (2019). ¿Llueve microplástico? In *Servicio Geológico de Estados Unidos*.
<https://www.portalambiental.com.mx/residuos/20190817/en-eua-llueve-y-nieva-microplastico-revela-un-estudio>
- Correa, J. (2020). *Revisión de la problemática de la contaminación por microplásticos en el recurso hídrico* (p. 9).
- Covarrubias, S. A., & Peña Cabrales, J. J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 7–21. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
- Criollo Guallasamín, k. E. (2019). *Determinación de la presencia de microplásticos en leche descremada*. Universidad Central del Ecuador.
- Desiré, S. (2019). *El costo económico del plástico marino y su impacto en la humanidad*. Comunicarse.
<https://www.comunicarseweb.com/noticia/el-coste-economico-del-plastico-marino-y-su-impacto-en-la-humanidad>
- Domínguez, M. (2018). La contaminación ambiental, un tema con compromiso social. In *Universidad Lasallista* (pp. 2–2). <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v10n1/v10n1a01.pdf>
- Doria Argumedo, C. (2017). Heavy metals (Cd, Cu, V, Pb) in rainwater in the most influence area of the coal mine in La Guajira, Colombia. *Revista Colombiana de Química*, 46(2), 37–44.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/60533/60196>
- Duarte Castrillon, M. A. (2014). *Variabilidad espacio temporal de las concentraciones de metales pesados (Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) presentes en aguas lluvias de escorrentía sobre tejados de viviendas en una zona periurbana de Bogotá y su relación con la pluviosidad y los niveles de Urbani*. Pontificia Universidad Javeriana.

Duffus, J. H. (2002). "Heavy metals" a meaningless term. *Pure and Applied Chemistry*, 74(5), 15.

<https://doi.org/10.1351/pac200274050793>

EMAC EP. (2019). *Recolección*. Cuenca Alcaldia. <https://emac.gob.ec/servicios/recoleccion/>

EMOV EP. (2020). *Informe de calidad Aire Cuenca*.

Espinoza Molina, C., & Palacios Espinoza, E. (2014). Contaminación del aire exterior. Cuenca - Ecuador, 2009- 2013. Posibles efectos en la salud. *Ciencias Médicas de La Universidad de Cuenca*, 1(5), 1–12.

<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/medicina/article/view/883>

Estrada, A., Gallo, M., & Nuñez, E. (2016). Contaminación ambiental, su influencia en el ser humano, en especial: el el sistema reproductor femenino. *Universidad y Sociedad*, 8(3), 80–86.

<http://rus.ucf.edu.cu/>

Fajardo Vidal, N., Solís Acosta, H., & Gil Villacres, F. (2017). Determinación de metales pesados en los cuerpos de agua del Área de conservación regional humedales de ventanilla, región Callao, Perú.

Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas, 20, 10.

Flores Calle, J., & Orozco Gualoto, K. (2022). *Evaluación de la presencia de microplásticos en agua embotellada en la Regional 6*. Universidad Politécnica Salesiana.

Flores Guillén, J. (2016). *Modelo de caracterización de la movilidad vehicular en el Centro Histórico de Cuenca*. Universidad del Azuay.

Flores, R., & Bonilla, P. (2010). Perfil de la lluvia acida en la ciudad de Quito (Ecuador) durante los meses de diciembre-2008 y enero-2009. *Química Central*, 1(1), 27–34.

<https://doi.org/10.29166/quimica.v1i1.1192>

Fuentes, A. (2020, October). Química de concentración. *Politecnico San Luis-San Miguel*, 1–5.

GADCuenca. (2015). *Atlas PDOT Cantón 2015*.

https://issuu.com/emuce_e.p./docs/atlas_pdot_cuenca_reducido

- Galeano Rojas, N. (2007). *Validación de la retención microbiana en los filtros de acetato de celulosa empleados de la técnica de filtración por membrana para la prueba de esterilidad*. [Pontificia Universidad Javeriana]. <http://digilib.unila.ac.id/4949/15/BAB II.pdf>
- Gary, C. (2017). Química Analítica. In McGRAW (Ed.), *Universidad Nacional Autónoma de México Universidad Iberoamericana* (Sexta). http://www.vet.unicen.edu.ar/ActividadesCurriculares/AnalisisInstrumental/images/Quimica_Analitica.pdf
- Gastañadú, C. (2017). *Efecto de la contaminación de agua por microplásticos en la salud humana*. Universidad Privada del Norte.
- Giraldez Alvarez, L. D., Braz de Jesus, F., Lacerda Costa, A. P., Ferraz Bastos, L. E., Moura De Souza, D. A., & Gonçalves da Silva, D. (2020). Efectos de los microplásticos en el medio ambiente: Un macroproblema emergente. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 33, 100–107. <https://doi.org/10.36995/j.recyt.2020.33.013>
- González Aguña, A. (2012). Patrones en aprendizaje: Concepto, aplicación y diseño de un patrón. *Revista de Educación a Distancia*, 1–19. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=90007274&lang=es&site=ehost-live>
- Granda Vaca. (2019). Preparación de soluciones y normalización. In *Universidad Nacional de Rosario* (pp. 1–13). [https://www.fbioyf.unr.edu.ar/evirtual/pluginfile.php/169158/mod_folder/content/0/Soluciones-Normalizacion 2019.pdf?forcedownload=1#:~:text=Solución de KMnO4&text=agua destilada%2C se hierve durante,filtro \(es materia orgánica\).](https://www.fbioyf.unr.edu.ar/evirtual/pluginfile.php/169158/mod_folder/content/0/Soluciones-Normalizacion 2019.pdf?forcedownload=1#:~:text=Solución de KMnO4&text=agua destilada%2C se hierve durante,filtro (es materia orgánica).)
- Gutiérrez Caiza, C. (2014). *Hidrología básica aplicada* (Abya Yala (ed.); 1st ed.). Universidad Politécnica Salesiana.

- Gutiérrez, J. F. (2015). *Impacto ambiental del crecimiento demográfico*.
- Harris. (2007). *Análisis químico cuantitativo* (Reverte (ed.); Séptima).
- Harris, E. (2021). *Principios de ecotoxicología* (Edulep (ed.); 1st ed.). Universidad Nacional de la Plata.
- Heras, E. (2001). Disoluciones, diluciones y densidad. *McGraw Hill*, 2(261545), 10–20.
<https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448184491.pdf>
- Hermida, M. A., Hermida, C., Cabrera, N., & Calle, C. (2015). La densidad urbana como variable de análisis de la ciudad. *EURE*, 41(124), 25–44. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612015000400002>
- Herrera Murillo, J., & Rodríguez Román, S. (2009). Determinación de la concentración de aniones en muestras de precipitación total colectadas en San José, Costa Rica. Primera parte. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 25(2), 65–72.
- INEC. (2017). *Censo de población de vivienda – coordinación zonal 6 – Cuenca*.
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/conozcamos-cuenca-a-traves-de-sus-cifras/#:~:text=Cuenca%2C tambi3n conocida como la,este cant3n tenga 636.996 habitantes.>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización 2226, First Edit Instituto Ecuatoriano de Normalización 7 (2013).
- Lachmanovich, E., Shvartsman, D., Malka, Y., Botvin, C., Henis, Y., & Weiss, A. (2003). Colocalization analysis of complex formation among membrane proteins by computerized fluorescence microscopy: Application to immunofluorescence copatching studies. *Journal of Microscopy*, 212, 122–131. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2818.2003.01239.x>
- Lara, A. (2008). Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados [Universidad de Granada]. In *Universidad De Granada, Facultad De Ciencias, Departamento De Ingeniería* *Química*.
<https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/1906/17514629.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ledesma Jimeno, M. (2011). *Principios de meteorología y climatología* (Paraninfo (ed.); 1st ed.).
- Lemos Donoso, J. M. (2018). *Cuantificación de la presencia de microplásticos en la cuenca alta del río*

Guayllabamba. Universidad de las Americas.

Leslie, H. A., van Velzen, J. M., Brandsma, S. H., Vethaak, D., Garcia-Vallejo, J. J., & Lamoree, M. H. (2022).

Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, December 2021, 107199. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>

Li, J., Liu, H., & Paul Chen, J. (2018). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water Research*, 137, 362–374.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.12.056>

Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los riesgos de Los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2),

145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)

MAATE. (2021). *El tráfico vehicular en Cuenca*. Ministerio Del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.

Malassa, H., Al-Rimawi, F., Al-Khatib, M., & Al-Qutob, M. (2014). Determination of trace heavy metals in harvested rainwater used for drinking in Hebron (south West Bank, Palestine) by ICP-MS. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(10), 6985–6992. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3904-5>

Manzur, A., & Cardoso, J. (2015). Velocidad de evaporación del agua. *Revista Mexicana de Fisica*, 61(1), 31–34.

Marrugo Negrete, J. L. (2011). *Evaluación de la contaminación por metales pesados en la ciénaga la soledad y bahía de Cispatá, cuenca del bajo Sinú, departamento de Córdoba* [Universidad de Cordoba]. [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/1678/1/Determinación de cadmio y plomo en el tejido blando.... Siavichay%2C Bayron Rubén.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/1678/1/Determinación%20de%20cadmio%20y%20plomo%20en%20el%20tejido%20blando....%20Siavichay%20Bayron%20Rubén.pdf)

Martinez, A. (2019). *Revisión bibliográfica de los métodos de análisis de micro(nano)plásticos en el medio ambiente y en la biota marina*. Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Materic, D., Kasper Giebl, A., Kau, D., Anten, M., Greilinger, M., Ludewig, E., Seville, E., Röckmann, T., &

- Holzinger, R. (2020). Micro and Nanoplastics in Alpine Snow: A New Method for Chemical Identification and (Semi) Quantification in the Nanogram Range. *Environmental Science & Technology*, XXXX. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b07540>
- Meng, Y., Kelly, F., & Wright, S. (2020). Advances and challenges of microplastic pollution in freshwater ecosystems: A UK perspective. *Environmental Pollution*, 256, 113445. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113445>
- Miranda, J. (2008). *Cuantificación de los metales pesados tóxicos en la precipitación pluvial en la zona sur de la ciudad de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Morán, S. (2020). *Nada frena los plásticos de un solo uso: más de 260.000 toneladas al año en Ecuador*. <https://www.planv.com.ec/>
- Moscoso Vanegas, D., Astudillo Alemán, A., & Morales Pérez, M. C. (2018). Inventario de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas de combustión del parque industrial del cantón Cuenca-Ecuador. *Centro Azúcar*, 45(2), 33–45. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612018000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Murillo, D., Ortega, I., Carrillo, J., Pardo, A., & Rendon, J. (2012). Comparación de métodos de interpolación para la generación de mapas de ruido en entornos urbanos. *Ing. USBMed*, 3(1), 1–7.
- Olivera, D., Reynaga, M., Pastor, O., & Porras, J. (2020). Determinación de metales pesados mediante fluorescencia de rayos X en sedimentos del agua en la microcuenca del río Huancaray, Apurímac - Perú, para periodos de estiaje y lluvia. *Scielo*, 9, 504–523. http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v9n4/v9n4_a03.pdf
- Omokpariola, D., & Omokpariola, P. (2021). Health and exposure risk assessment of heavy metals in rainwater samples from selected locations in Rivers State, Nigeria. *Physical Sciences Reviews*, May, 1–15. <https://doi.org/10.1515/psr-2020-0090>
- OMS. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera*

- adenda. In *Organización Mundial de la Salud* (Vol. 4, p. 608). <https://bitly.co/7FYT>
- Orozco Barrenetxea, C., Perez Serrano, A., Gonzalez Delgado, N., Rodriguez Vidal, F., & Alfayate Blanco, J. (2011). *Contaminacion ambiental* (C. Lara Carmona (ed.)).
- Orozco Barrenetxea, C., Perez Serrano, A., Gonzalez Delgado, N., Rodríguez Vidal, F., & Alfayate Blanco, J. (2003). *Contaminación Ambiental* (Paraninfo (ed.); 1st ed.). Thomson.
- Ortega, C., Calderón, F., Gavilanes, J., Sellers, C., & Inga, O. (2017). Elaboración del mapa de ruido de las calles de la ciudad de Cuenca, a partir de las características viales y la densidad del tráfico. *Universidad Verdad*, 1(73), 263. <http://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/udaver/article/view/36>
- Ortega Miranda, G. (2015). *Clasificación de los elementos químicos*. ABC. <https://www.abc.com.py/edicion-impres/suplementos/escolar/clasificacion-de-los-elementos-quimicos-1352114.html>
- Oviedo Anchundia, R., Moina Quimí, E., Naranjo Morán, J., & Barcos Arias, M. (2017). Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera. *Revista Bionatura*, 2(4), 437–441. <https://doi.org/10.21931/RB/2017.02.04.5>
- Pabón, S., Benítez, R., Sarria, R., & Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. *Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9–18. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672020000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Pacco Choquepata, D. (2018). Determinación de metales pesados en leche y pelo de vacas de la cuenca del río Llallimayo Melgar – Puno [Universidad Nacional del Altiplano]. In *Universidad Nacional del Altiplano*. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/9269/Pacco_Choquepata_Delia.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pallarés Sabater, A., Faus Llácer, V., & Piqueras Vergara, F. (1992). Microfiltración. *Revista Europea de*

Odonto-Estomatología, 4(3), 141–144.

Perdomo, M. (2017). Análisis químico, medir es comparar. *AGQ Labs Chile S.A.*, 0(0), 1–6.

<https://agqlabs.cl/wp-content/uploads/Analisis-quimico-medir-es-comparar.pdf>

Pérez, H., Rocha, M., & Acosta, L. (2010). Análisis de partículas suspendidas totales (Pst) y partículas fracción respirable (Pm10), en Cunduacán, Tabasco. *Universidad y Ciencia*, 26(2), 151–162.

<https://doi.org/10.19136/era.a26n2.172>

Poma Ambuludi, K. Y. (2019). *Determinación de la presencia de microplásticos en cerveza artesanal e industrial* [Universidad central del Cuenca].

<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18433/1/T-UCE-0008-CQU-110.pdf>

Pozo Miranda, F. (2017). Presencia de metales pesados Cadmio y Plomo en el estuario del río Chone Manabí, Ecuador. *Ciencia Unemi*, 10(24), 123–130. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol10iss24.2017pp123-130p>

Prata, J., Costa, J., Lopes, I., Duarte, A., & Rocha Santos, T. (2020). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *Science of the Total Environment*, 702, 134455.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>

Puigcerver, M., & Carrascal, D. (2008). *El medio atmosférico: meteorológico y contaminación* (Universidad de Barcelona (ed.); 1st ed.). Universidad de Barcelona.

Purca, S., & Henostroza, A. (2017). Presencia de microplásticos en cuatro playas arenosas de Perú. *Revista Peruana de Biología*, 24(1), 101–106. <https://doi.org/10.15381/rpb.v24i1.12724>

Qutob, M. A., Shqair, H., Malassa, H., Davis, J. M., & Al Rimawi, F. (2016). Determination of trace metals in harvested rain water after the November 2012 bombing in Gaza by using ICP/MS. *Journal of Materials and Environmental Science*, 7(9), 13.

Rado Cuchills, M. S., Zúñiga Negrón, J. J., & Rado Vilca, B. J. (2021). Estudio del pH del agua de lluvia en la Subcuenca Huatanay 2019-2020, departamento de Cusco, Perú. *Gucamaya*, 6(July), 1–23.

<https://revistas.up.ac.pa/index.php/guacamaya/article/view/2419/2216>

Ramírez Arcila, H., & Ospina Zúñiga, O. (2014). Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en la ciudad de Ibagué, Tolima, Colombia. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), 125–137. <https://doi.org/10.16925/in.v9i17.812>

Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Diaz, M., & Gonzalez, E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(1), 12. <https://doi.org/10.1007/BF02796157>

Rodríguez, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *Medisan*, 21(12), 3372–3385. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200012

Romero Ledezma, K. P. (2009). Heavy Metal Contamination. *Revista Científica Ciencia Medica*, 12(1), 51–51. <https://doi.org/10.1201/b16566-4>

Romero, M., & López, E. (2015). Claro como el agua de lluvia. *Temas de Biología y Geología Del Noa*, 5(1), 13–25.

Ruiz, J. (2021). *Evidenciación de la presencia de microplásticos en agua, sedimento y tracto digestivo de tilapia (Oreochromis Aureus) proveniente de la laguna de Catemaco, Veracruz* [Instituto Tecnológico Superior de San Andres Tuxtla]. <https://rinacional.tecnm.mx/handle/TecNM/1210>

Sailema Jiménez, D. M. (2021). *Determinación de microplásticos en la precipitación pluvial urbana de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, periodo 2020-2021* [Universidad técnica de cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4501/1/PI-000727.pdf>

Sánchez, D. (2016). Conceptos básicos de filtración. In *Sartotius Stedim* (p. 92). Biotech. http://www.bdcint.com.do/wp-content/uploads/2017/06/Conceptos-basicos-de-filtracion_Pharm_vDS_Junio-2016.pdf

Seoáñez Calvo, M. (2002). *Tratado de contaminación atmosférica* (Mundi-Prensa (ed.); 1st ed.).

Shivanandan, A., Radenovic, A., & Sbalzarini, I. F. (2013). MosaicIA: an imagej/fiji plugin for spatial pattern

- and interaction analysis. *BMC Bioinformatics*, 14(1), 10. <https://doi.org/10.1186/1471-2105-14-349>
- Siavichay Lalangui, B. R. (2013). *Determinación de cadmio y plomo en el tejido blando, hepatopáncreas del cangrejo rojo (Ucides Occidentalis) y sedimento de la Reserva Ecológica Manglares Churute* [Universidad de Guayaquil]. [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/1678/1/Determinación de cadmio y plomo en el tejido blando.... Siavichay%2C Bayron Rubén.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/1678/1/Determinación%20de%20cadmio%20y%20plomo%20en%20el%20tejido%20blando....%20Siavichay%20Bayron%20Rubén.pdf)
- Skoog, D., West, D., Holler, J., & Crouch, S. (2001). *Química analítica* (McGraw-Hill (ed.); Séptima).
- Skoog, D., West, D., Holler, J., & Crouch, S. (2015). *Fundamentos de química analítica* (CENAGE Learning (ed.); Novena).
- Tellez Flores, A. T. (2016). Contaminación Hídrica. In Universidad Nacional Autonoma de Nicaragua (Ed.), *Química Ambiental* (1st ed.). Universidad Nacional Autonoma de Nicaragua. <http://www.grupoa.com.br/livros/quimica/quimica-ambiental/9788577808489#>
- Tituchina Quillupangui, L. M. (2019). *Determinación de la presencia de microplásticos en bebidas refrescantes*. [Univerdad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18452/1/T-UCE-0008-CQU-111.pdf>
- Torres, A., Mendez, S., López, L., Marín, V., Gonzalez, J., Suarez, C., Pinzón, D., & Ruiz, A. (2011). Evaluación preliminar de la calidad de la esorrentía pluvial sobre tejados para su posible aprovechamiento en zonas periurbanas de Bogotá. *Actualidad & Divulgación Científica*, 14(1), 127–135. <https://doi.org/10.31910/rudca.v14.n1.2011.765>
- Torres Calderon, J. (2009). *Fitorremediacion de aguas residuales por Hidroponia* [Instituto Politecnico Nacional]. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/11352/217.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Torres, S. (2017). Comparativa metodológica y propuesta de un protocolo para la extracción y detección mediante fluorescencia de microplásticos en muestras biológicas. *Revista Española de Cardiología*, 62(12), 1512–1524.

https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/148188/Torres_Susana.pdf?sequence=1

Trujillo, J. E., Caballero, J. E., & Ramón, J. D. (2021). Determinación de las concentraciones de metales pesados presentes en el material particulado Pm10 del municipio de San José de Cúcuta, norte de Santander. *Revista Ambiental Agua, Aire Y Suelo*, 10(1), 1–14. <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2019.402>

UNAM. (2018, October). Estándar de la UNAM de proyectos universitarios PAPIIT. *Universidad Nacional Autónoma de México, Versión 1*, 1–1. https://dgru.unam.mx/wp-content/uploads/2019/10/D.ST_.DGRU_CDI_008_2015_D_Proyectos_Universitarios_PAPIIT.pdf

USEPA. (2021). *Acid rain*. Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

Vásconez, M., Macheno, A., Álvarez, C., Prehn, C., Cevallos, C., & Ortiz, L. (2019). *Cuencas Hidrográficas* (Abya Yala (ed.); 1st ed.). Universidad Politécnica Salesiana.

Vasquez Morena, T., Afaro Solis, R., Sibaja Brenes, J., Esquivel Hernandez, G., & Valdes Gonzales, J. (2012). Chemical composition of rain and fog water collected in the monteverde biological. *Uniciencia, June*, 14. <https://www.redalyc.org/pdf/4759/475947764006.pdf>

Vega de Kuyper, J. C. (2007). *Química del medio ambiente* (Alfaomega (ed.); 2nd ed.). Universidad Católica de Chile.

Velázquez Ocampo, J. E. (2018). *Detección de metales y metaloides en agua de lluvia en el distrito minero de Taxaco, Guerrero* [Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2018/noviembre/0783048/0783048.pdf>

Venegas, L., & Mazzeo, N. (2012). La velocidad del viento y la dispersión de contaminantes en la atmósfera [Universidad Tecnológica Nacional]. In *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas*. <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/cliv2/public/actas congreso/15.Venegas.CLIV2.pdf>

Villavicencio Mejía, J. (2014). *Plan de negocio para la creación de una empresa de servicios de alimentación nutritiva para el sector empresarial del Parque Industrial de Cuenca* [La Universidad Católica de Loja].

https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/9380/1/Villavicencio_Mejia_Juan_Diego.pdf

Vlastos, D., Antonopoulou, M., Lavranou, A., Efthimiou, I., Dailianis, S., Hela, D., Lambropoulou, D., Paschalidou, A., & Kassomenos, P. (2019). Assessment of the toxic potential of rainwater precipitation: First evidence from a case study in three Greek cities. *Science of The Total Environment*, *648*, 1323–1332. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.166>

Zegarra Peña, R., Andrade Tenesaca, S., Parra Ullauri, M., Mejía Coronel, D., & Rodas Espinoza, C. (2020). Análisis espacial de PM10 en el aire y su composición de metales con relación a factores ambientales alrededor de centros de educación preescolar en Cuenca. *Maskana*, *11*(1), 57–68. <https://doi.org/10.18537/mskn.11.01.06>

ANEXOS

Anexo A

Muestreo de alícuotas para el análisis de microplásticos y metales pesados

Figura 19

Colocación de los muestreadores, punto de muestreo AAC



Figura 20

Medición in situ de pH, punto de muestreo DTC



Figura 21

Calibración del equipo PH METRO PORTATIL PT70 BOECO, pH buffer US (4,01, 7,00, 10,01)



Figura 22

Etiquetado y almacenamiento de muestras para detección de microplásticos



Anexo B

Procedimiento de Análisis de Microplásticos

Figura 23

Preparación de muestras, prefiltración por gravedad, filtro de 500 μm



Figura 24

Digestión oxidativa con peróxido de hidrógeno al 30%



Figura 25

Uso de la cámara de extracción para la digestión oxidativa



Figura 26

Microfiltración al vacío de muestras digestadas



Figura 27

Secado de los filtros a temperatura ambiente



Anexo C

Procedimiento de Análisis de Metales Pesados

Figura 28

Concentración de muestras a 100 °C durante 8h



Figura 29

Preparación de las curvas de calibración a través de la adición de estándares externos



Figura 30

Análisis de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb por espectroscopia de emisión atómica ICP OES



Figura 31

Corridas de las muestras para el análisis de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb por espectroscopia de emisión atómica ICP OES



Anexo D

Cuantificación de Partículas Plásticas en los Puntos de Muestreo

Tabla 27

Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 1 MAE

Muestras	Fibras				Total Fibras	Fragmentos				Total fragmentos	Cantidad Total de Partículas
	Cuadrantes					Cuadrantes					
	1	2	3	4		1	2	3	4		
MAE M1	6	2	5	4	17	35	38	14	30	117	134
MAE M2	18	13	7	10	48	47	39	48	26	160	208
MAE M3	9	13	13	8	43	23	22	49	30	124	167

MAE M4	3	9	9	5	26	10	35	22	22	89	115
MAE M5	0	0	0	0	0	31	116	19	122	288	288
MAE M6	0	0	2	0	2	44	29	41	28	142	144
MAE M7	0	0	1	1	2	37	50	20	45	152	154
MAE M8	14	11	6	16	47	30	24	4	17	75	122

Nota 10 MAE M5 se consideró un valor atípico, por lo tanto, no se consideró en el análisis estadístico

ANOVA, Tukey y diagramas de cajas y bigotes.

Tabla 28

Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 2 IPI

Muestras	Fibras				Total Fibras	Fragmentos				Total fragmentos	Cantidad Total de Partículas
	Cuadrantes					Cuadrantes					
	1	2	3	4		1	2	3	4		
IPI M1	12	14	7	15	48	68	111	46	55	280	328
IPI M2	6	2	5	12	25	28	30	32	53	143	168
IPI M3	34	13	13	15	75	50	37	15	23	125	200
IPI M4	3	12	8	4	27	35	46	25	31	137	164
IPI M5	2	2	0	2	6	42	60	19	42	163	169
IPI M6	10	5	8	6	29	42	18	25	26	111	140
IPI M7	6	6	4	4	20	38	71	44	29	182	202
IPI M8	4	5	7	11	27	40	30	51	29	150	177

Nota 11 IPI M1 se consideró un valor atípico, por lo tanto, no se consideró en el análisis estadístico ANOVA,

Tukey y diagramas de cajas y bigotes

Tabla 29

Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 3 IAC

Muestras	Fibras	Fragmentos
----------	--------	------------

	Cuadrantes				Total Fibras	Cuadrantes				Total fragmentos	Cantidad Total de Partículas
	1	2	3	4		1	2	3	4		
IAC M1	5	8	8	11	32	51	48	260	121	480	512
IAC M2	7	4	9	10	30	47	69	51	75	242	272
IAC M3	7	2	2	1	12	46	68	67	61	242	254
IAC M4	17	23	12	26	78	47	117	28	76	268	346
IAC M5	6	6	8	7	27	80	53	73	59	265	292
IAC M6	2	10	5	8	25	89	120	102	104	415	440
IAC M7	3	10	9	6	28	51	68	39	31	189	217
IAC M8	15	11	4	6	36	55	73	40	41	209	245

Nota 12 IAC M1 se consideró un valor atípico, por lo tanto, no se consideró en el análisis estadístico ANOVA, Tukey y diagramas de cajas y bigotes

Tabla 30

Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 4 AAC

Muestras	Fibras				Total Fibras	Fragmentos				Total fragmentos	Cantidad Total de Partículas
	Cuadrantes					Cuadrantes					
	1	2	3	4		1	2	3	4		
AAC M1	11	12	12	10	45	7	17	8	12	44	89
AAC M2	15	16	19	19	69	20	23	41	52	136	205
AAC M3	7	17	8	19	51	6	9	12	26	53	104
AAC M4	10	11	17	10	48	9	12	16	16	53	101
AAC M5	27	23	26	21	97	48	45	37	22	152	249
AAC M6	1	4	1	2	8	3	9	5	12	29	37
AAC M7	2	9	10	20	41	8	7	16	19	50	91
AAC M8	4	10	3	12	29	6	13	8	11	38	67

Nota 13 AAC M5 se consideró un valor atípico, por lo tanto, no se consideró en el análisis estadístico ANOVA, Tukey y diagramas de cajas y bigotes

Tabla 31

Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 5 CSC

Muestras	Fibras				Total Fibras	Fragmentos				Total fragmentos	Cantidad Total de Partículas
	Cuadrantes					Cuadrantes					
	1	2	3	4		1	2	3	4		
CSC M1	7	11	14	6	38	5	7	15	10	37	75
CSC M2	5	8	11	7	31	12	16	4	10	42	73
CSC M3	7	12	6	9	34	5	2	7	8	22	56
CSC M4	2	1	2	5	10	5	1	2	7	15	25
CSC M5	7	7	5	15	34	13	10	11	11	45	79
CSC M6	4	4	13	7	28	15	13	13	8	49	77
CSC M7	1	3	0	2	6	27	13	5	8	53	59
CSC M8	11	8	8	12	39	46	28	33	32	139	178

Nota 14 CSC M8 se consideró un valor atípico, por lo tanto, no se consideró en el análisis estadístico ANOVA, Tukey y diagramas de cajas y bigotes

Tabla 32

Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 6 UCCY

Muestras	Fibras				Total Fibras	Fragmentos				Total fragmentos	Cantidad Total de Partículas
	Cuadrantes					Cuadrantes					
	1	2	3	4		1	2	3	4		
UCCY M1	3	5	4	2	14	1	2	9	9	21	35
UCCY M2	23	15	11	7	56	9	10	2	9	30	86
UCCY M3	7	7	9	6	29	1	3	2	5	11	40
UCCY M4	11	3	9	7	30	17	2	5	12	36	66

UCCY M5	1	1	4	4	10	1	3	11	7	22	32
UCCY M6	13	36	26	21	96	17	26	24	17	84	180
UCCY M7	1	0	1	3	5	3	1	3	2	9	14
UCCY M8	14	12	12	20	58	7	8	14	10	39	97

Nota 15 UCCY M5 se consideró un valor atípico, por lo tanto, no se consideró en el análisis estadístico ANOVA, Tukey y diagramas de cajas y bigotes.

Tabla 33

Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 7 ELC

Muestras	Fibras				Total Fibras	Fragmentos				Total fragmentos	Cantidad Total de Partículas
	Cuadrantes					Cuadrantes					
	1	2	3	4		1	2	3	4		
ELC M1	4	3	2	4	13	0	4	3	2	9	22
ELC M2	1	4	4	1	10	1	1	2	1	5	15
ELC M3	0	2	1	5	8	2	6	2	3	13	21
ELC M4	4	5	3	8	20	3	1	3	6	13	33
ELC M5	2	1	1	1	5	1	4	3	10	18	23
ELC M6	5	7	2	6	20	4	4	5	0	13	33
ELC M7	5	16	10	9	40	2	5	4	2	13	53
ELC M8	13	4	1	4	22	1	3	6	5	15	37

Tabla 34

Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 8 PDL

Muestras	Fibras				Total Fibras	Fragmentos				Total fragmentos	Cantidad Total de Partículas
	Cuadrantes					Cuadrantes					
	1	2	3	4		1	2	3	4		
PDL M1	11	6	3	4	24	6	6	3	3	18	42
PDL M2	4	3	6	8	21	7	2	5	7	21	42
PDL M3	9	13	13	7	42	4	5	0	0	9	51

PDL M4	10	6	10	6	32	4	3	4	3	14	46
PDL M5	4	4	10	5	23	0	5	2	3	10	33
PDL M6	4	4	6	9	23	7	11	3	3	24	47
PDL M7	8	6	4	3	21	1	3	10	1	15	36
PDL M8	4	9	5	5	23	6	5	3	5	19	42

Tabla 35

Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 9 DTC

Muestras	Fibras				Total Fibras	Fragmentos				Total fragmentos	Cantidad Total de Partículas
	Cuadrantes					Cuadrantes					
	1	2	3	4		1	2	3	4		
DTC M1	5	1	5	4	15	1	2	6	0	9	24
DTC M2	4	5	2	3	14	2	5	1	6	14	28
DTC M3	8	13	4	4	29	3	1	3	2	9	38
DTC M4	4	4	5	5	18	1	3	6	3	13	31
DTC M5	7	2	3	5	17	2	2	1	1	6	23
DTC M6	0	0	0	1	1	3	0	1	5	9	10
DTC M7	6	4	6	6	22	8	3	10	3	24	46
DTC M8	8	6	17	2	33	3	3	6	2	14	47

Tabla 36

Cuantificación de partículas plásticas, punto de muestreo 10 BRY

Muestras	Fibras				Total Fibras	Fragmentos				Total fragmentos	Cantidad Total de Partículas
	Cuadrantes					Cuadrantes					
	1	2	3	4		1	2	3	4		
BRY M1	1	1	0	0	2	1	1	0	1	3	5
BRY M2	4	3	5	2	14	1	2	0	2	5	19
BRY M3	6	5	4	8	23	5	6	3	2	16	39
BRY M4	2	2	4	3	11	1	1	1	0	3	14

BRY M5	0	1	1	1	3	1	2	0	0	3	6
BRY M6	4	2	1	1	8	0	0	0	1	1	9
BRY M7	2	1	2	1	6	0	0	0	0	0	6
BRY M8	1	2	1	1	5	0	0	0	0	0	5

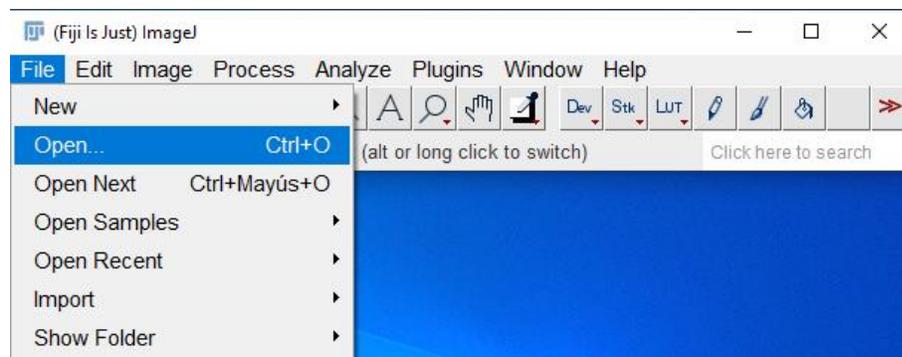
Anexo E

Desarrollo de la Metodología de Cuantificación de Microplásticos a Través del Software “ImageJ Fiji”

En la figura 26 se observa que para abrir la imagen en el programa “ImageJ Fiji” seleccionamos “File”, seguido por “Open”, la cual nos dirigirá a nuestros archivos.

Figura 32

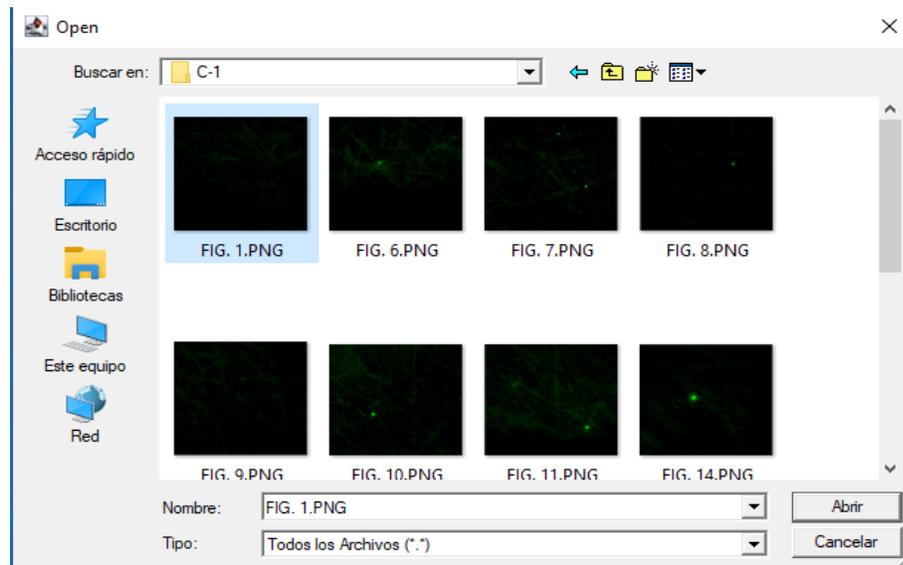
Software “ImageJ Fiji”



En la figura 27, buscamos el archivo con el contenido de la imagen a contar. Seleccionamos la imagen y damos click en “abrir”.

Figura 33

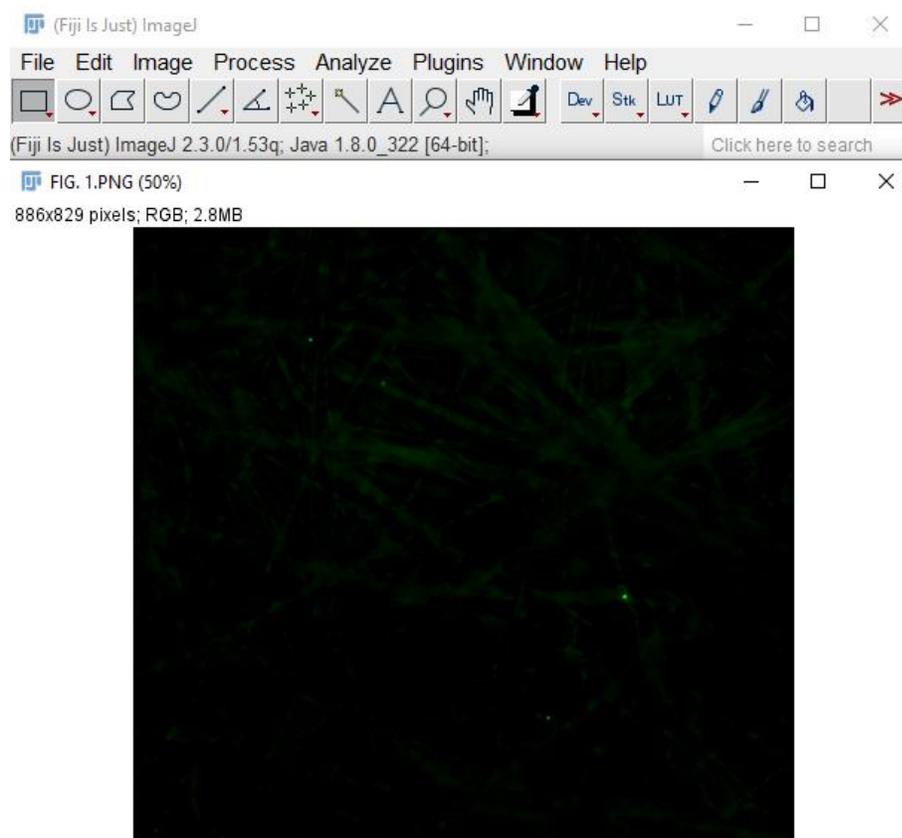
Software "ImageJ Fiji"



En la figura 28, se observa que, al abrir la imagen, esta se proyectará en el programa.

Figura 34

Software "ImageJ Fiji"



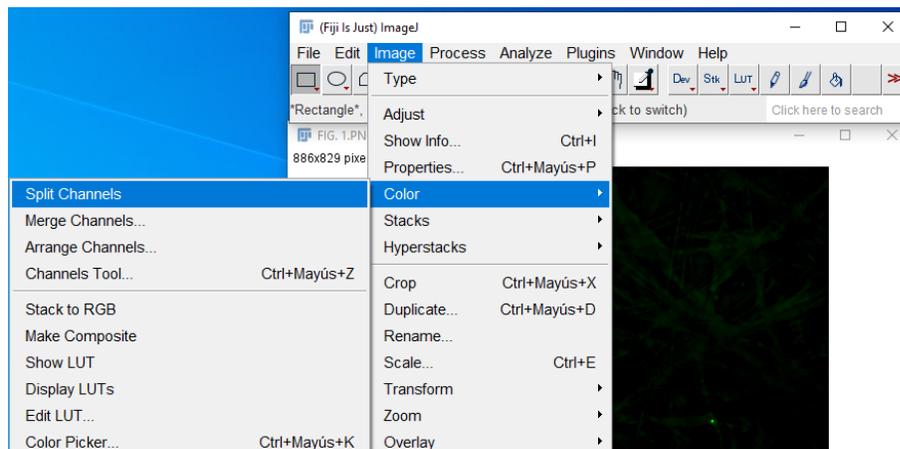
Para el conteo de las micro partículas, primero se tendrá que separar los canales. Véase en la figura

29.

Image ---> Color ---> Split channels

Figura 35

Software "ImageJ Fiji"



En la figura 30, se observa que de los tres imágenes o canales gereados se encuentran separados en color gris. Nos quedamos con el canal de 8-bit que presenta la mejor resolucíon. Los demas canales lo cerramos.

Figura 36

Software "ImageJ Fiji"

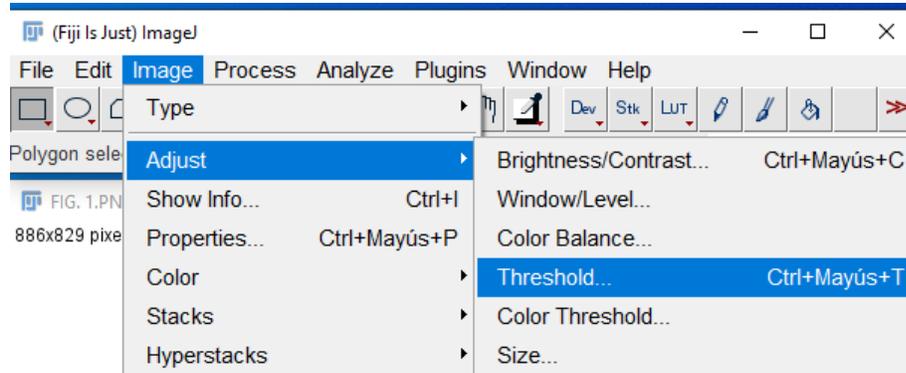


Luego seleccionamos las partículas que se pretende contar en el canal escogido. Para ello nos dirigimos al siguiente menú. véase en la **figura 6.**

Image ---> Adjust ---> Threshold

Figura 37

Software "ImageJ Fiji"

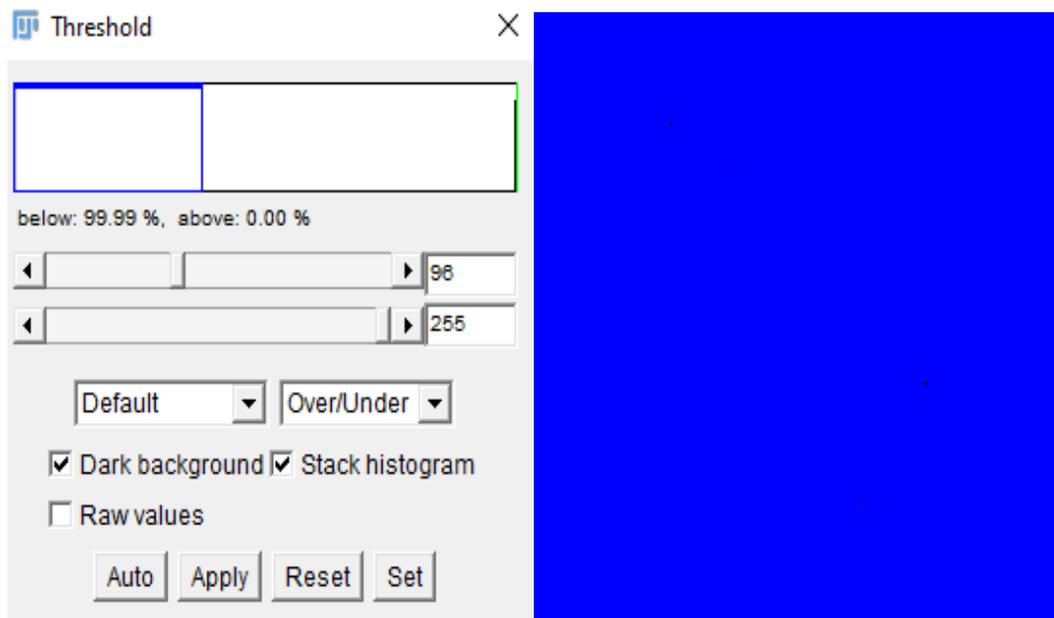


La ventana "threshold" permite seleccionar los pixeles que representan las micropartículas, según con el valor de intensidad. En la ventana elegimos "Over/Under", que nos mostrara en azul, los pixeles por debajo del intervalo establecido, y verde, si los pixeles están por encima de ese intervalo (Alarcón, 2017).

En este caso establecimos intensidades con valores comprendidos entre el 96 y 255. Las partículas se tornarán grises, como se indica en la figura 32.

Figura 38

Software "ImageJ Fiji"

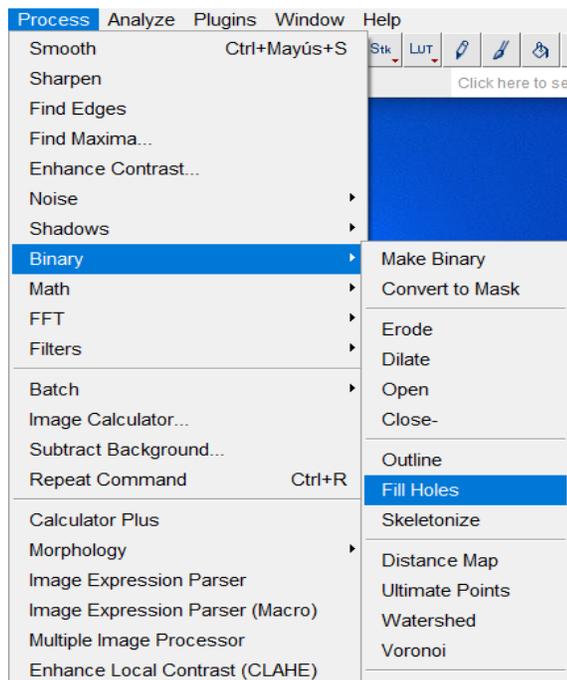


Antes de realizar el conteo de las partículas, es necesario realizar modificaciones con el menú Process/Binary. Véase en la figura 33.

- Para rellenar los posibles huecos, Process ---> Binary ---> Fill Holes.
- Para separar las partículas que se encuentran unidos, Process ---> Binary ---> Watershed.
- Para reducir el tamaño de las partículas, Process ---> Binary ---> Erode.

Figura 39

Software "ImageJ Fiji"

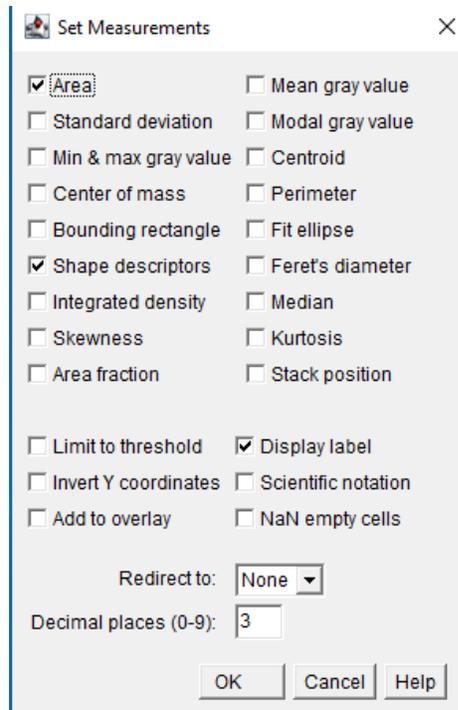


Antes del analisis de las particulas, se tiene que escoger los parametros a medir. Para ello seleccionamos "Area", "Shape descriptors" y "Display label". Vease en la **figura 9**.

Analyze ---> Set Measurements.

Figura 40

Software "ImageJ Fiji"



Para contar las partículas, abrimos lo siguiente:

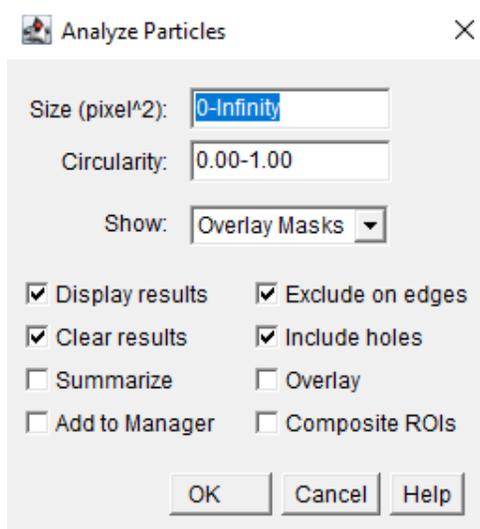
Analyze ---> Analyze Particles.

En la ventana establecemos los valores a contar del tamaño, la circularidad, mientras que en "Show" seleccionamos "Overlary Masks" y le damos click en "Ok" para obtener la tabla de resultados.

Vease en la figura 35.

Figura 41

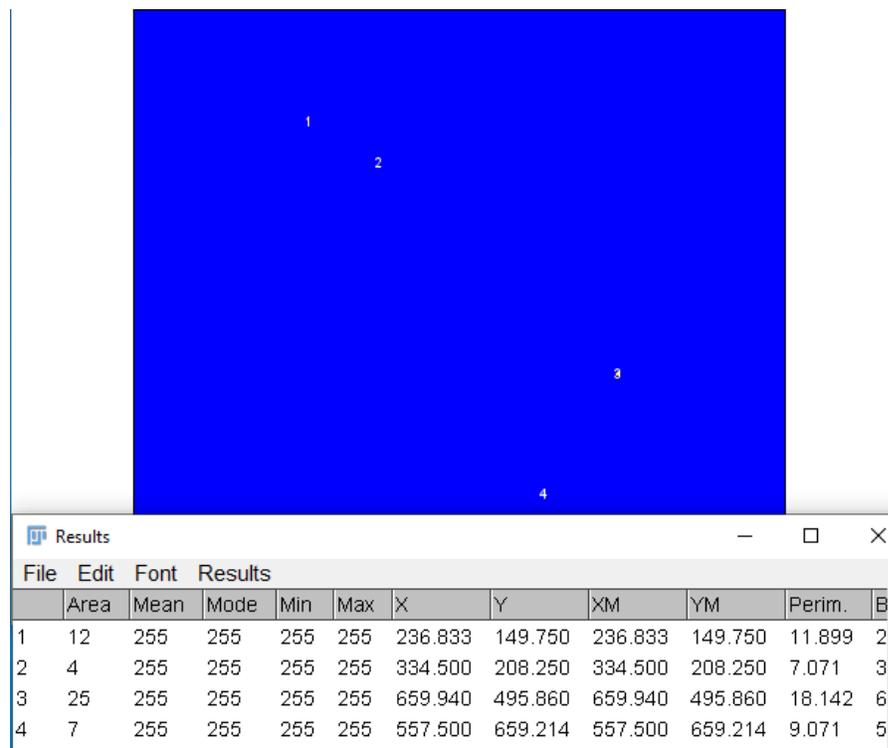
Software "ImageJ Fiji"



Se observa que en la figura 11, se obtuvieron 4 micro partículas de la primera imagen. En la tabla se observan los valores de los parámetros escogidos, asimismo constatando el total de partículas contadas.

Figura 42

Software "ImageJ Fiji"



Anexo F

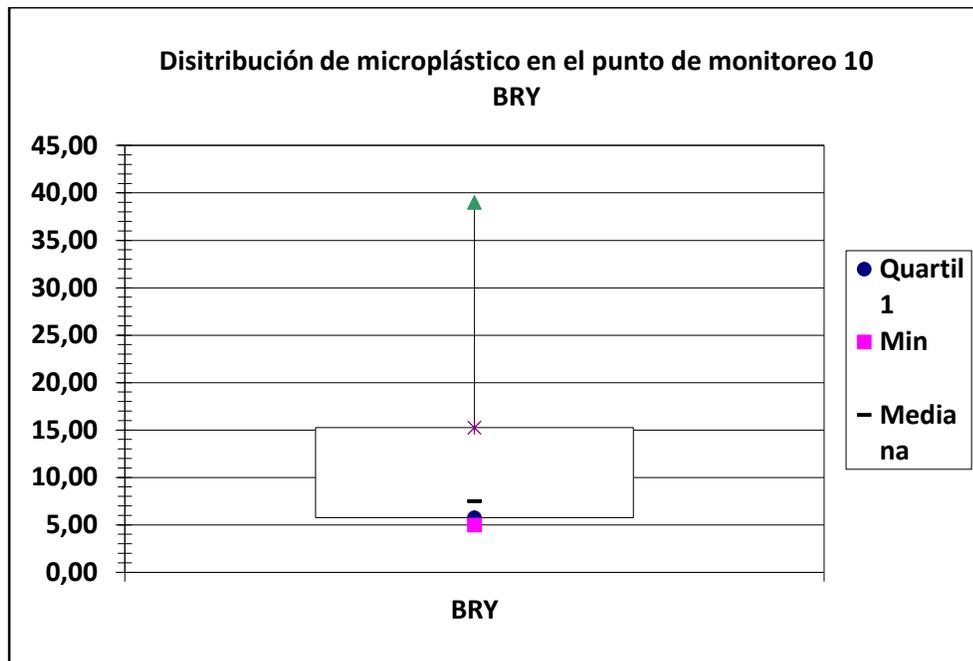
Diagramas de Cajas y Bigotes, Análisis del Comportamiento de Distribución de las Partículas de Microplástico

Punto de muestreo 10 BRY

Como se observa en la figura 37, el número mínimo de partículas que se encuentra en BRY es de 5, por otra parte, el número máximo es de hasta 39 partículas de plástico. En el cuartil uno, indica que el 25% de los datos son inferiores a 5,75, siendo un valor próximo al mínimo de las partículas; el segundo cuartil o llamada también mediana representa el 50% de los datos, indicando que la mitad de los datos está por debajo de la media en 7,50 y la otra mitad supera este valor; y finalmente el tercer cuartil se encuentra con 75% de los datos, siendo igual o menor a 15,25. Con un total identificado de 103 partículas en el punto de monitoreo de BRY, durante las 8 semanas de muestreo.

Figura 43

Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 10 BRY

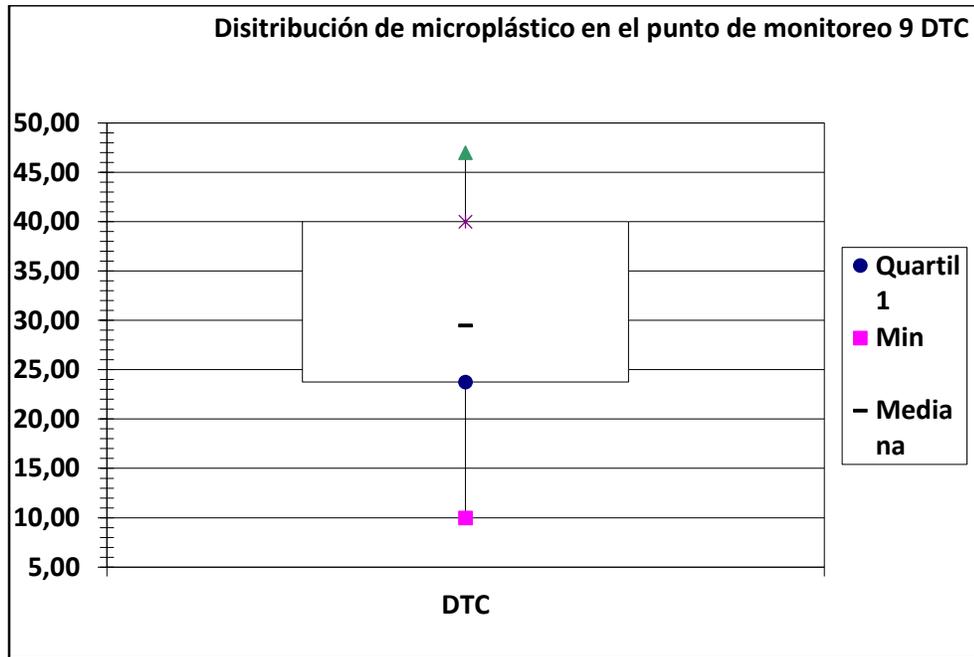


Punto de muestreo 9 DTC

En cuanto al punto de DTC, se puede observar en la figura 38, que el primer cuartil tiene un valor de 23,75, lo que indica que el 25% de los datos son iguales o menores al dicho valor; la media o cuartil dos presenta un valor de 29,50, indicando que el 50% de los datos están por encima y el 50% restantes por debajo de la media; y el cuartil tres con el valor de 40, siendo el 75% de los datos inferiores o iguales al valor mencionado. También se define el valor mínimo y máximo, 10 y 47 respectivamente, además, se contabilizó un total de partículas plásticas de 247, entre fibras y fragmentos.

Figura 44

Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 9 DTC

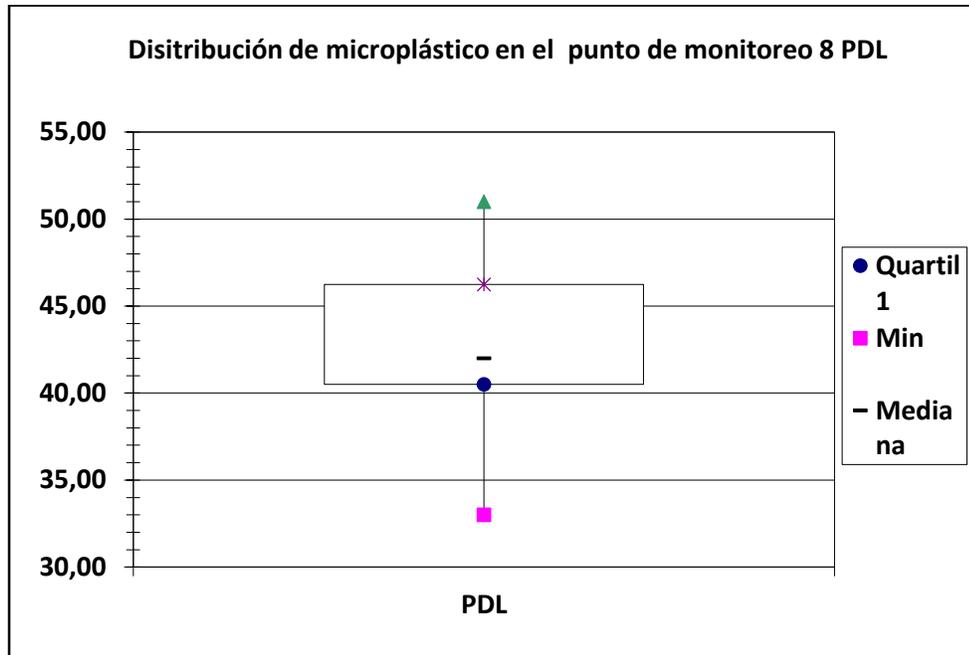


Punto de muestreo 8 PDL

En la figura 39, se analizaron los valores máximos, mínimos, medianas, cuartil uno y tres. En el cual, el tercer cuartil tiene un valor de 46,25; la media de 42 y el primer cuartil es 40,50, lo que indica el percentil de 75, 50 y 25 respectivamente. Pero también existen valores mínimos como 33 y valores máximos como 51. Se contabilizo un total de 339 partículas de plástico durante las 8 semanas de muestreo.

Figura 45

Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 8 PDL

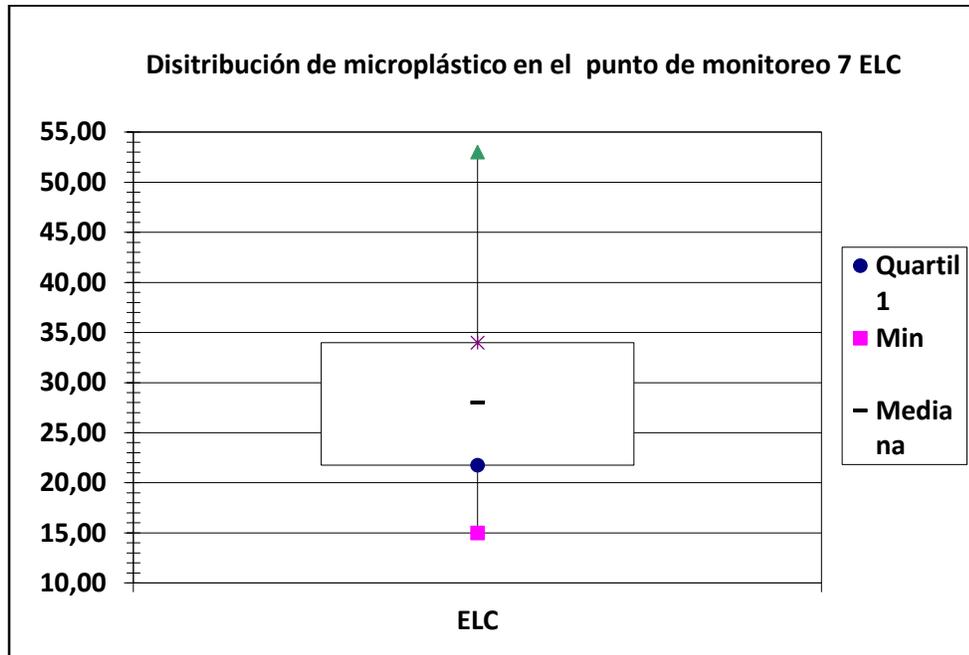


Punto de muestreo 7 ELC

De acuerdo al diagrama de caja y bigotes que se muestra en la figura 40, tiene una media de 28, lo que indica que el 50% de los datos están por debajo y la otra mitad por encima de la media; el primer cuartil con percentil de 25, indica que los datos son iguales o menores que 21,75; y el tercer cuartil con percentil de 75, indica datos iguales o menores a 34. Pero también hay una cantidad máxima de partículas 53 y una mínima de 15. Además, un conteo total de partículas de 237.

Figura 46

Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 7 ELC

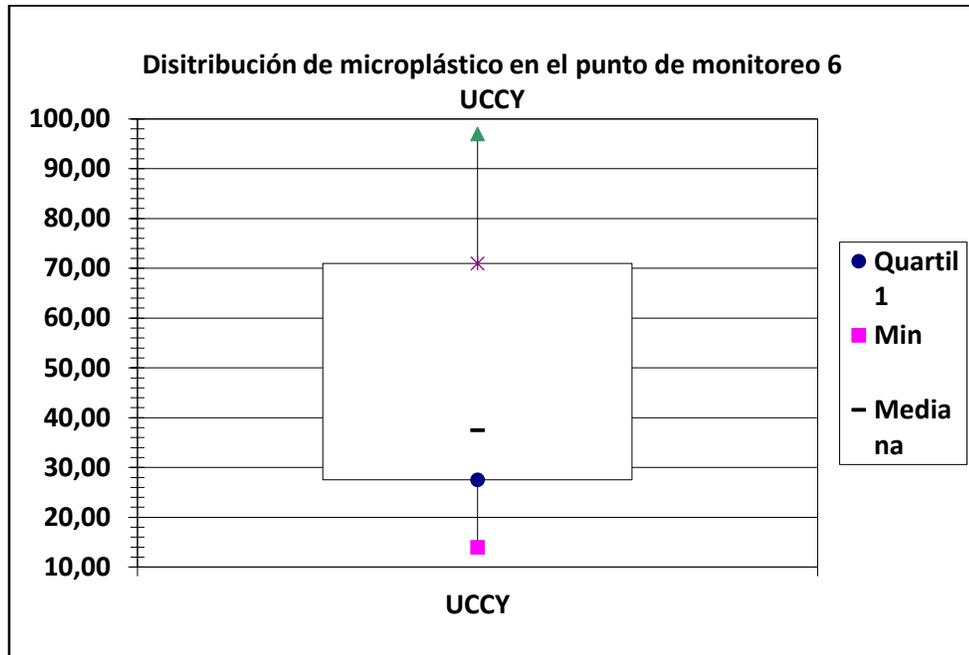


Punto de muestreo 6 UCCY

Mediante el uso del diagrama de cajas, se indica la figura 41, se han contabilizado un total de 550 partículas microplásticas, incluyendo fragmentos y fibras, durante las 8 semanas de muestreo. Con una mediana de 53 partículas; en el primer cuartil 27,50 y en el tercer cuartil fue de 71. Encontrándose una mayor concentración de datos hacia la parte superior de la media. El diagrama también define un máximo de 180 y un mínimo de 14.

Figura 47

Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 6 UCCY

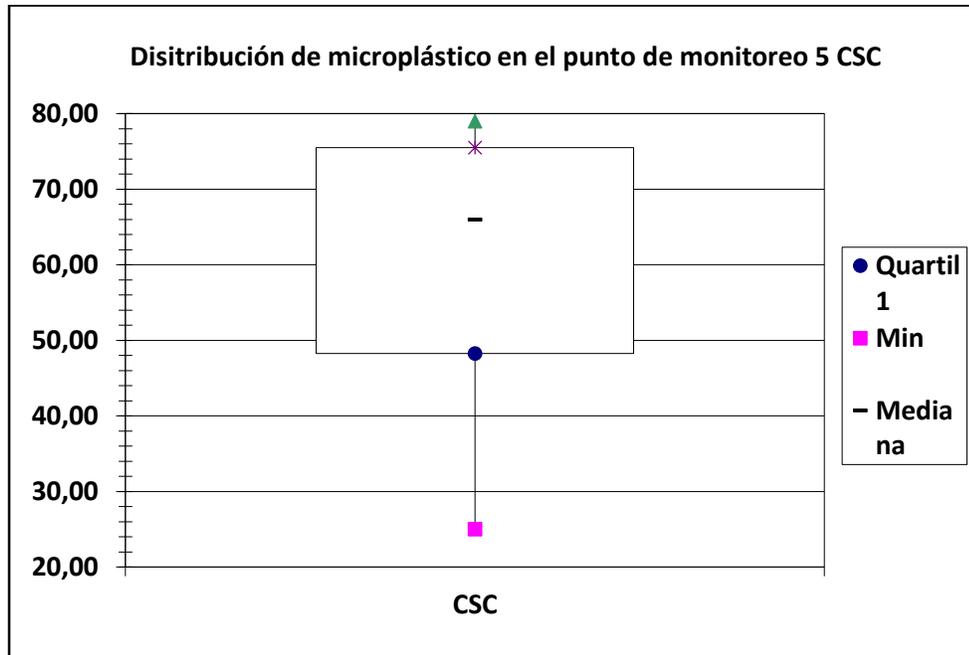


Punto de muestreo 5 CSC

En la figura 42, se ha obtenido una cantidad máxima de 79 partículas y una cantidad mínima de 25 partículas, durante las 8 semanas de muestreo; una mediana de 66, la cual indica que el 50% de los datos son inferiores y la otra parte son superiores al dicho valor; el cuartil uno como el cuartil tres representan valores de 48,25 y 75,50, respectivamente. El percentil de 25 perteneciente al primer cuartil y percentil de 75 perteneciente al tercer cuartil, indican los datos de igual o menor que los valores de los cuartiles. Mediante el diagrama de caja, se observa que existe una mayor concentración en la parte inferior de la mediana.

Figura 48

Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 5 CSC

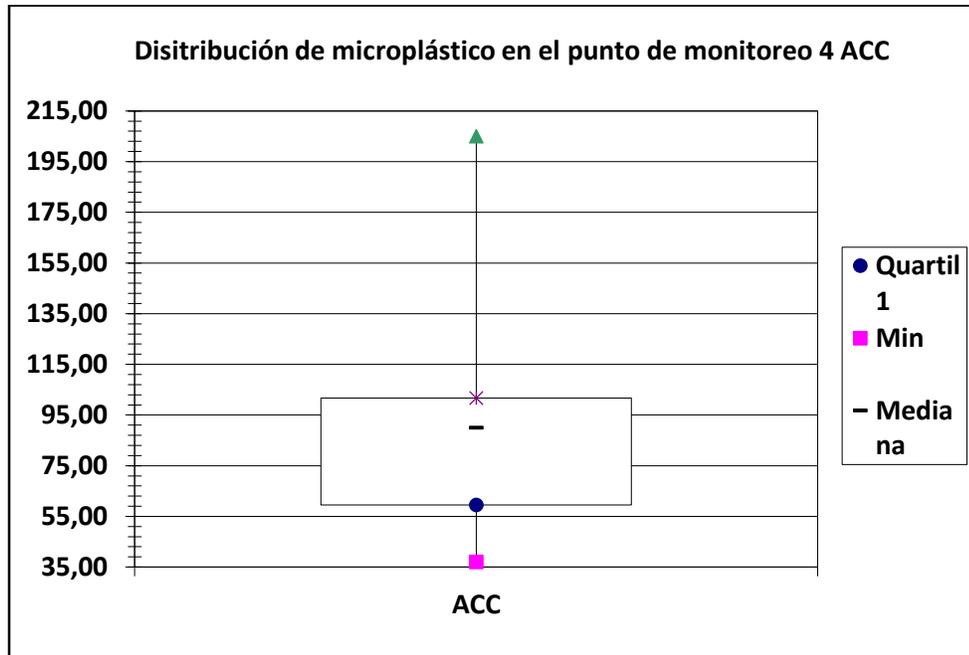


Punto de muestreo 4 AAC

La cantidad total de partículas encontradas en el punto de monitoreo de la ACC es de 694, durante las 8 semanas de recolección de las muestras. Como se puede observar en la figura 43, el primer cuartil indica el 25 % de los datos son menores o iguales al valor de 59,50; el tercer cuartil indica que 75 % de los datos son menores o iguales a 101,75. Y la mediana es de 90, representando el 50 %, lo que indica que la primera parte de los datos son inferiores y la otra parte es superior al valor de la mediana. Entre fibras y fragmentos se tiene una cantidad máxima de 205 y una mínima de 37. Existe una alta concentración de datos en la parte superior de la mediana.

Figura 49

Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 4 AAC

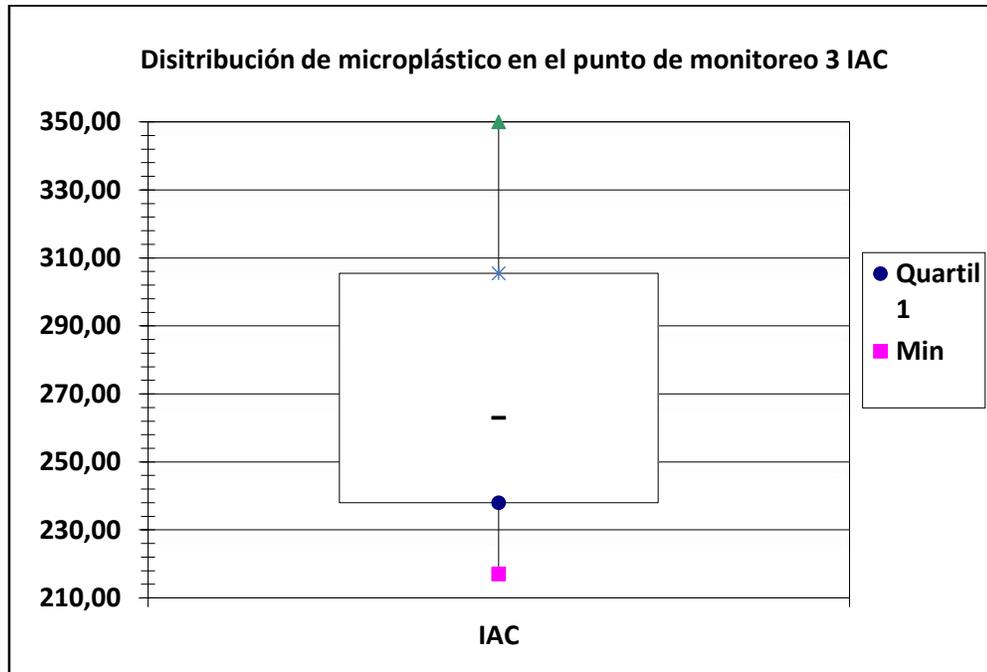


Punto de muestreo 3 IAC

Se tiene una mediana de 263; el cuartil uno de 238; el cuartil tres de 305,50; valores máximos de 350 y mínimos de 217. Se observa en la figura 44, que la mayor cantidad de concentración de datos se encuentra en la parte superior de la mediana. Además, la cuantificación total de micropartículas de plástico fue un total de 1976 durante las 8 semanas de muestreo. Se induce que es el punto de mayor concentración de microplástico.

Figura 50

Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 3 IAC

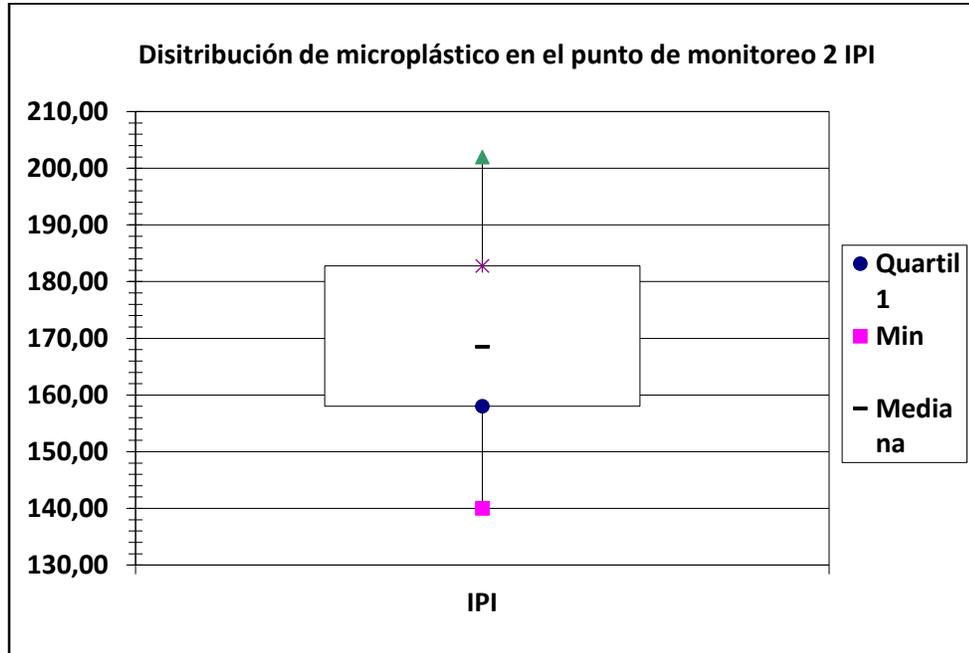


Punto de muestreo 2 IPI

El número de total de partículas encontradas en el punto de monitoreo del IPI es de 1220, durante el total del muestreo. Entre las muestras analizadas se tiene un máximo de 202 y un mínimo de 140 partículas; con una mediana de 168,50, lo que representa el 50%. Mientras que al cuartil uno y tres se representa con porcentajes de 25 y 75; dichos porcentajes tienen valores de 158 y 182,75 respectivamente. Se puede observar en la figura 45 que la concentración de partículas se encuentran en la parte superior de la mediana.

Figura 51

Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 2 IPI

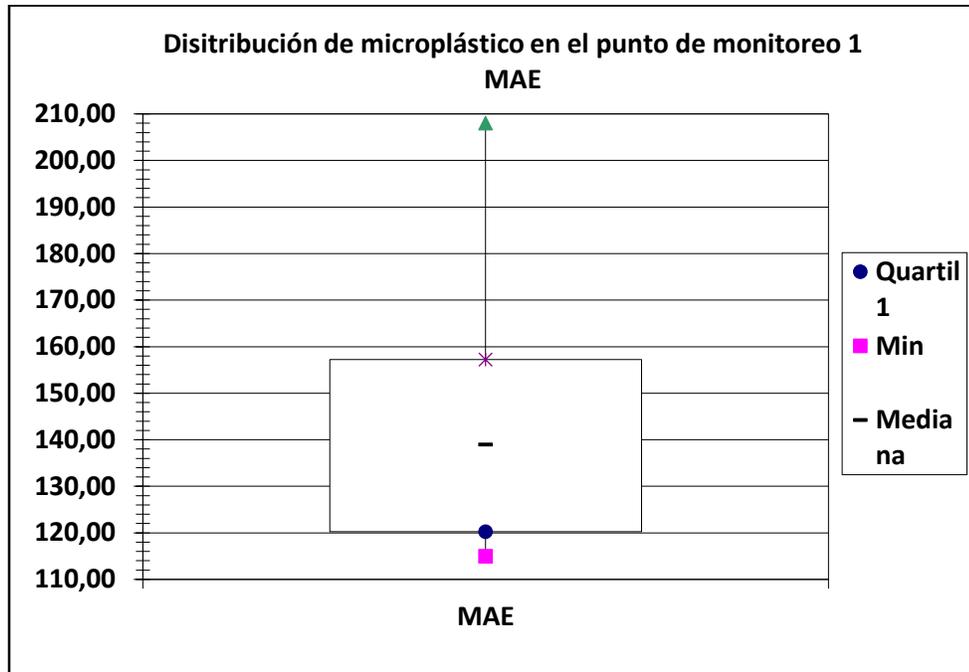


Punto de muestreo 1 MAE

Se presenta en la figura 46, el diagrama de cajas con sus respectivos factores de análisis. En el primer cuartil se tiene un valor de 120,25, lo cual indica que el 25% de los datos es igual o menor que dicho valor; el cuartil dos fue de 139, el mismo que corresponde a la mediana de la cantidad de fragmentos y fibras; el cuartil tres con un porcentaje del 75% indica que los datos son menores o iguales al valor de 157,25. Así mismo, se determinó la máxima cantidad de 288 y la mínima de 115 partículas. Además, el conteo total de partículas microplásticas entre fibras y fragmentos es de 1044.

Figura 52

Diagrama de cajas y bigotes para el punto de monitoreo 1 MAE



Anexo G

Espectros de Caracterización de Polímeros de Microplástico a través de Espectroscopia de

Infrarrojo por Transformada de Fourier FTIR

Punto de Monitoreo 1 MAE

Figura 53

Espectro IR FTIR MAE

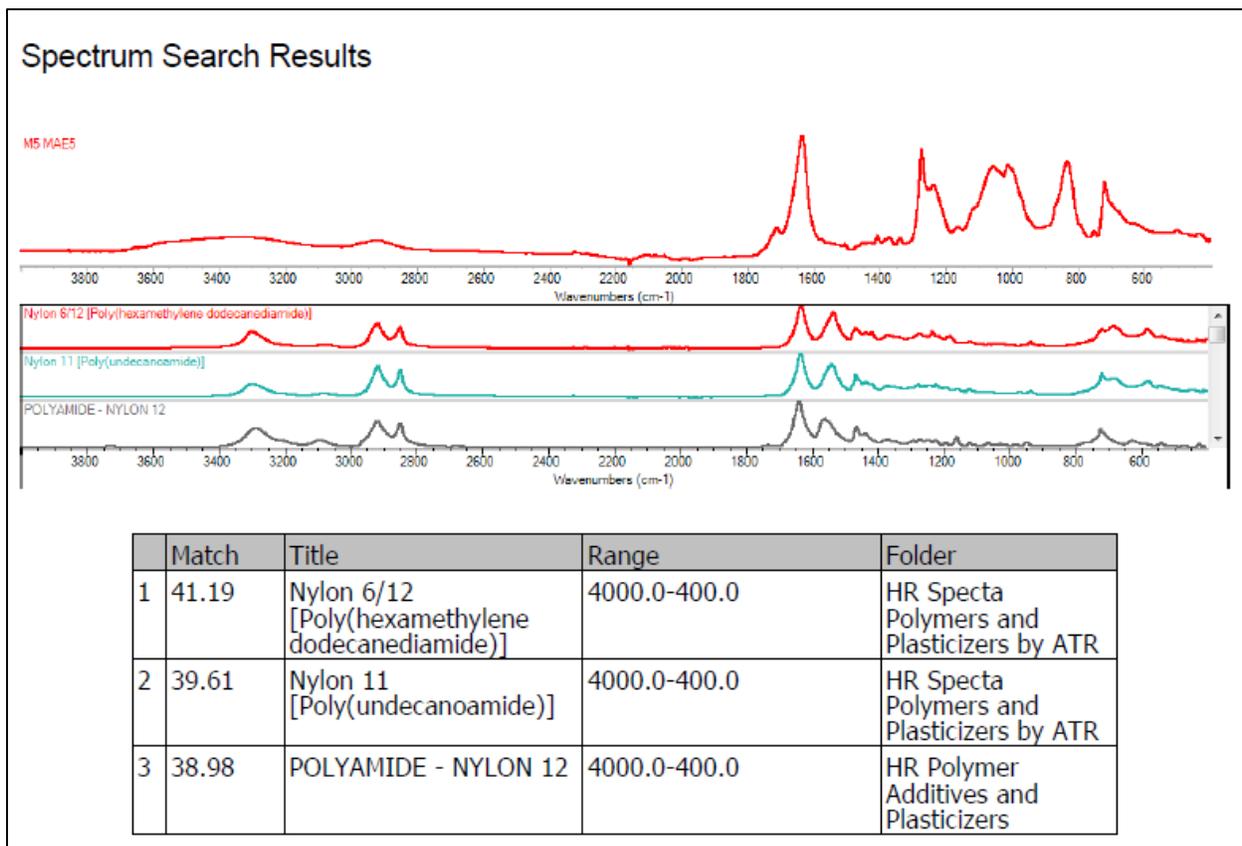
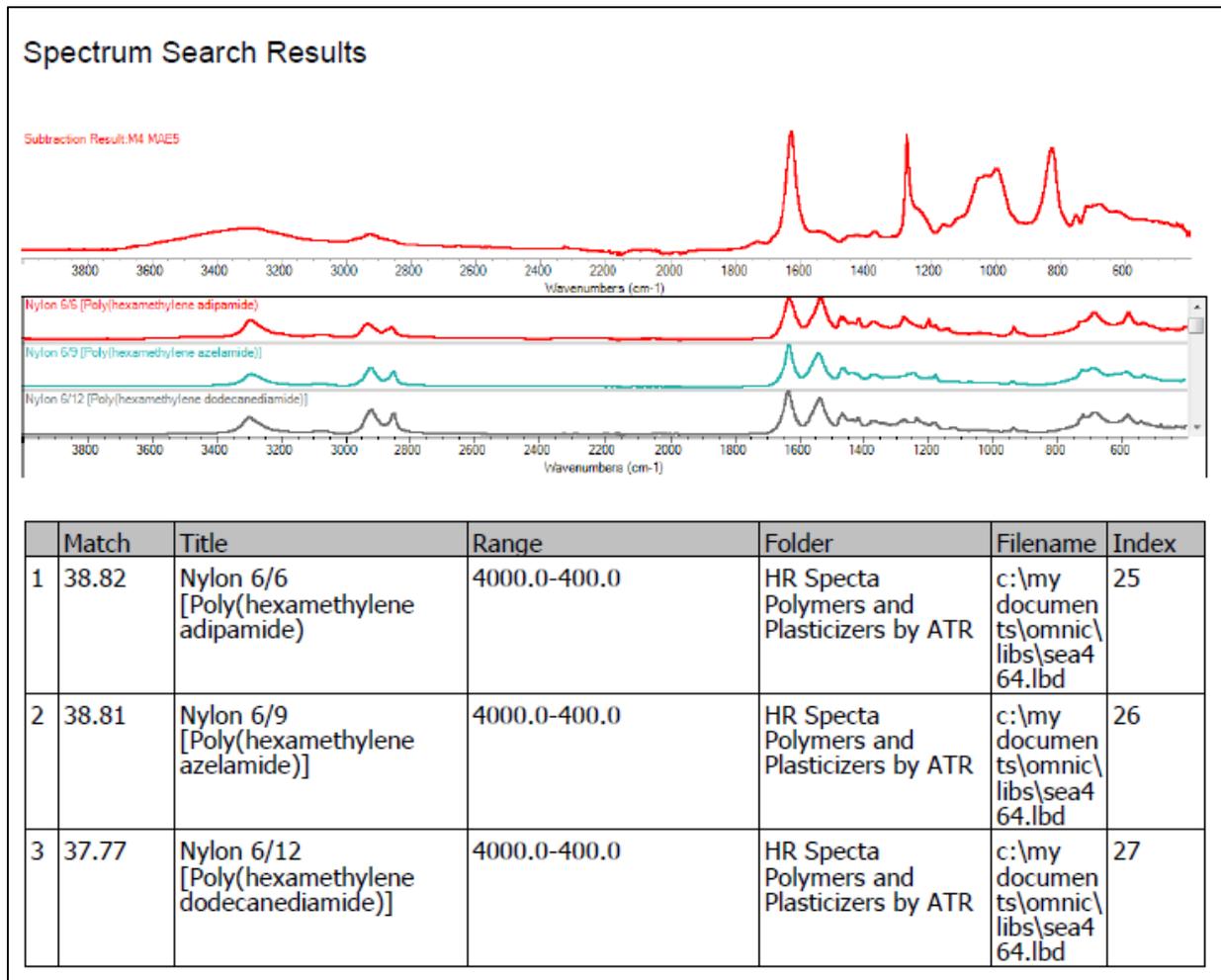


Figura 54

Espectro IR FTIR MAE



Punto de Monitoreo 2 IPI

Figura 55

Espectro IR FTIR MAE

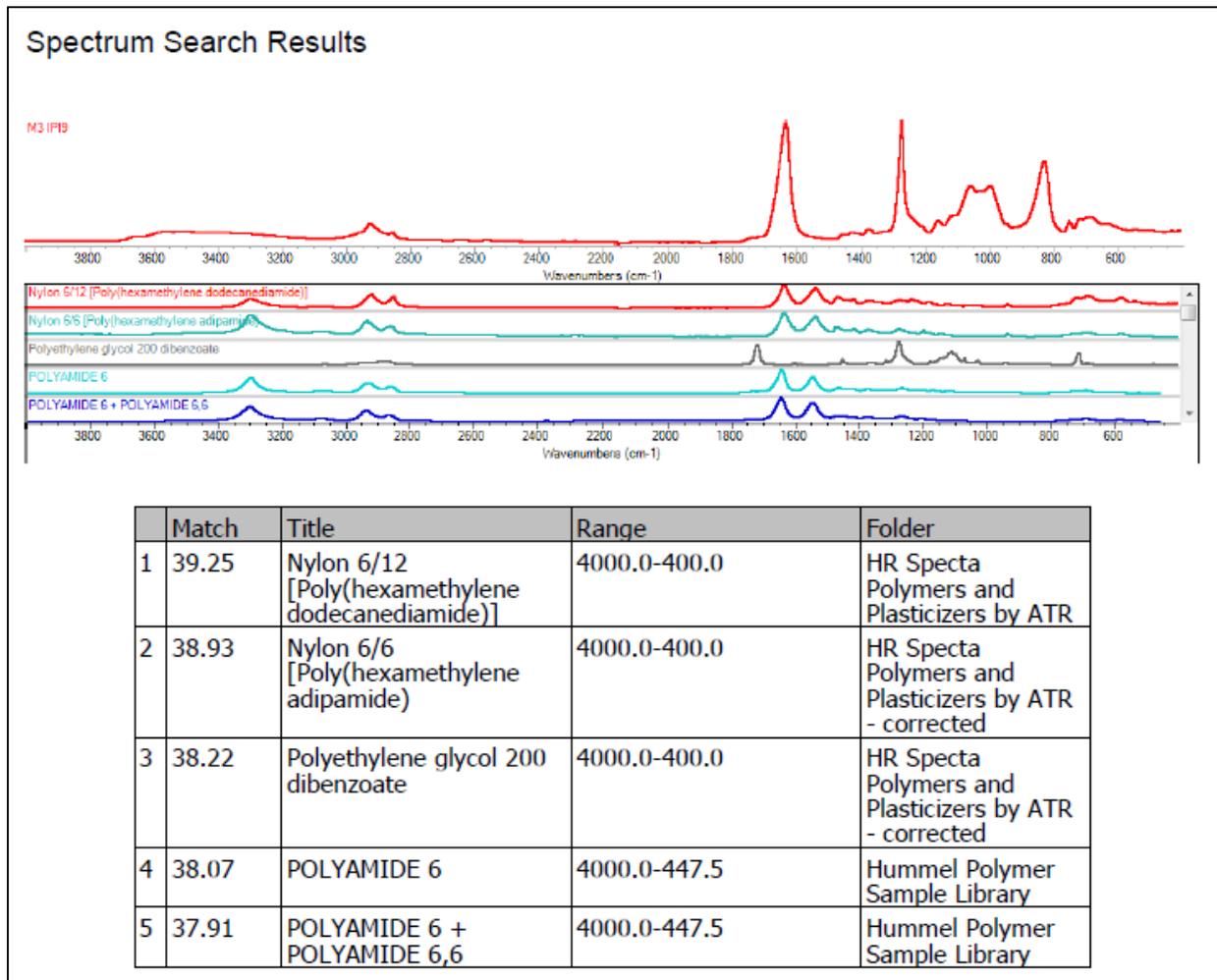


Figura 56

Espectro IR FTIR MAE

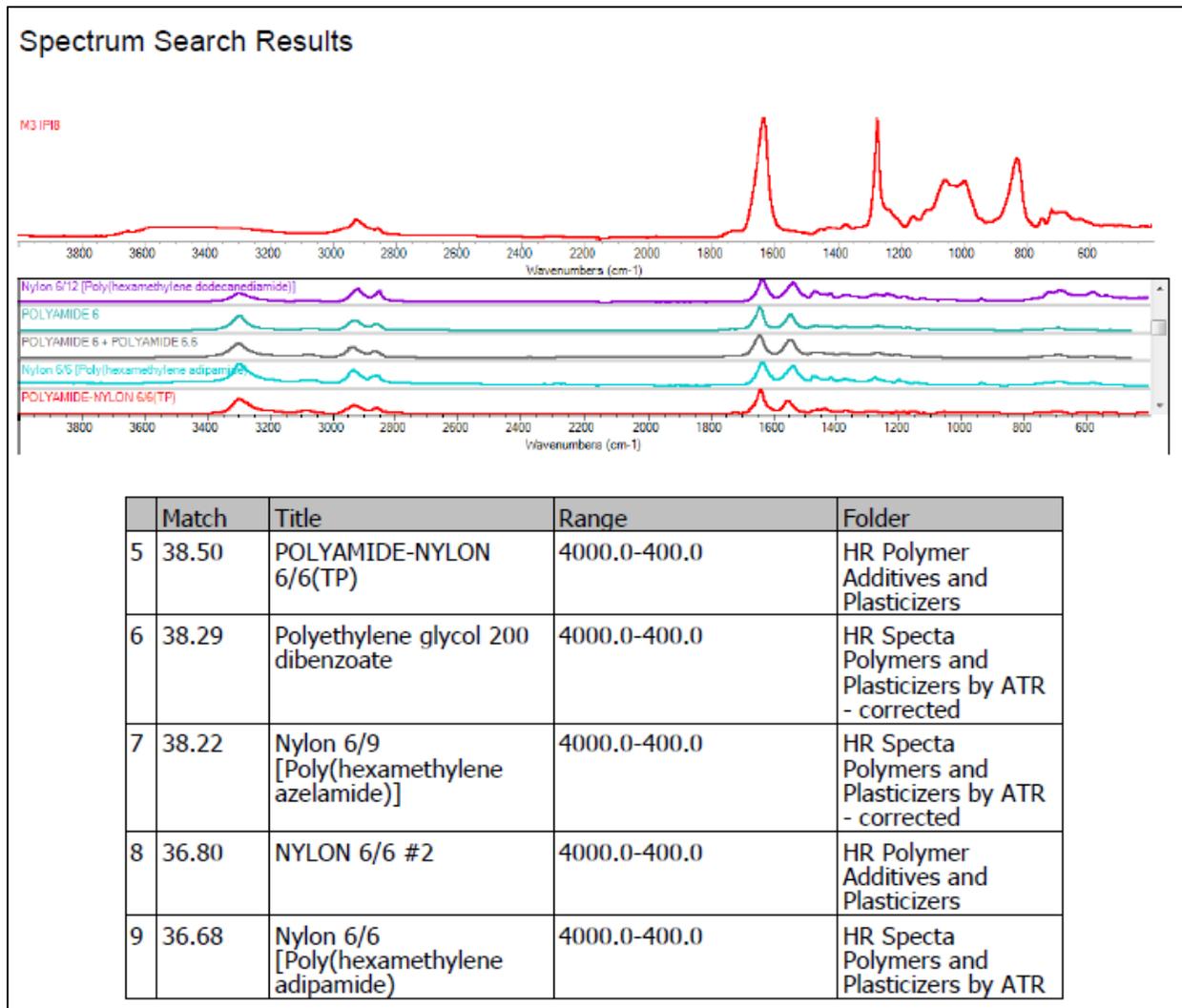
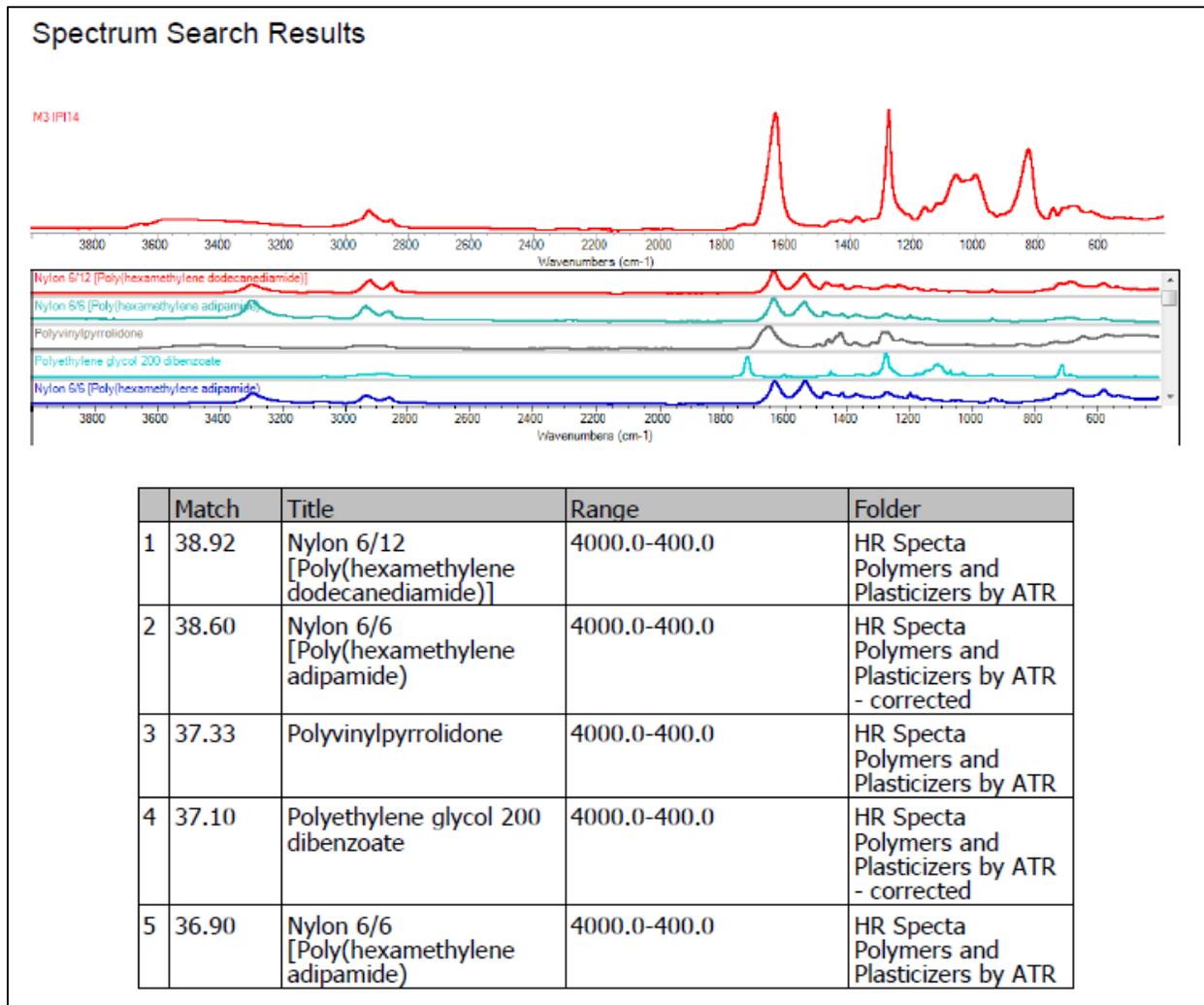


Figura 57

Espectro IR FTIR MAE



Punto de monitoreo 3 IAC

Figura 58

Espectro IR FTIR IAC

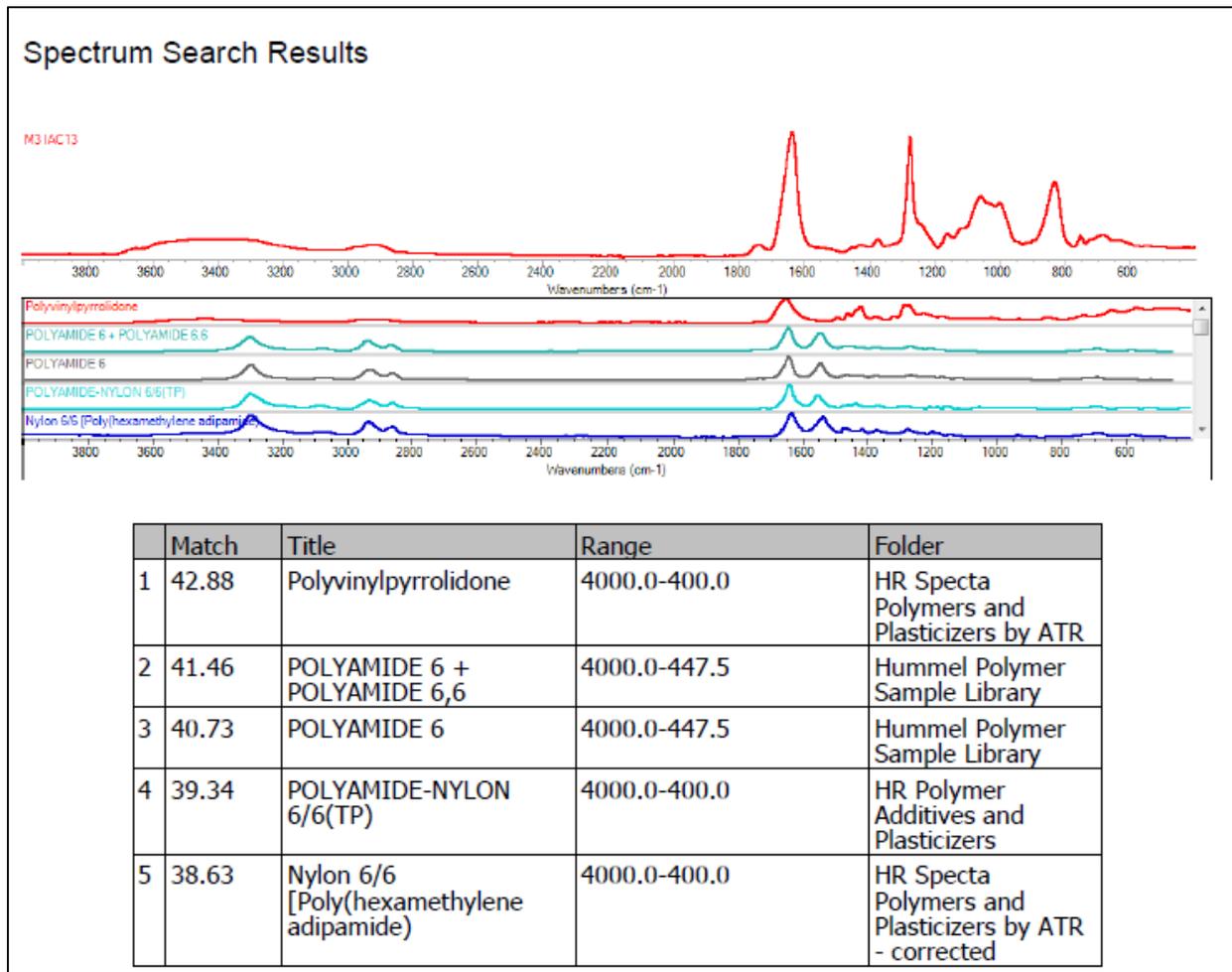


Figura 59

Espectro IR FTIR IAC

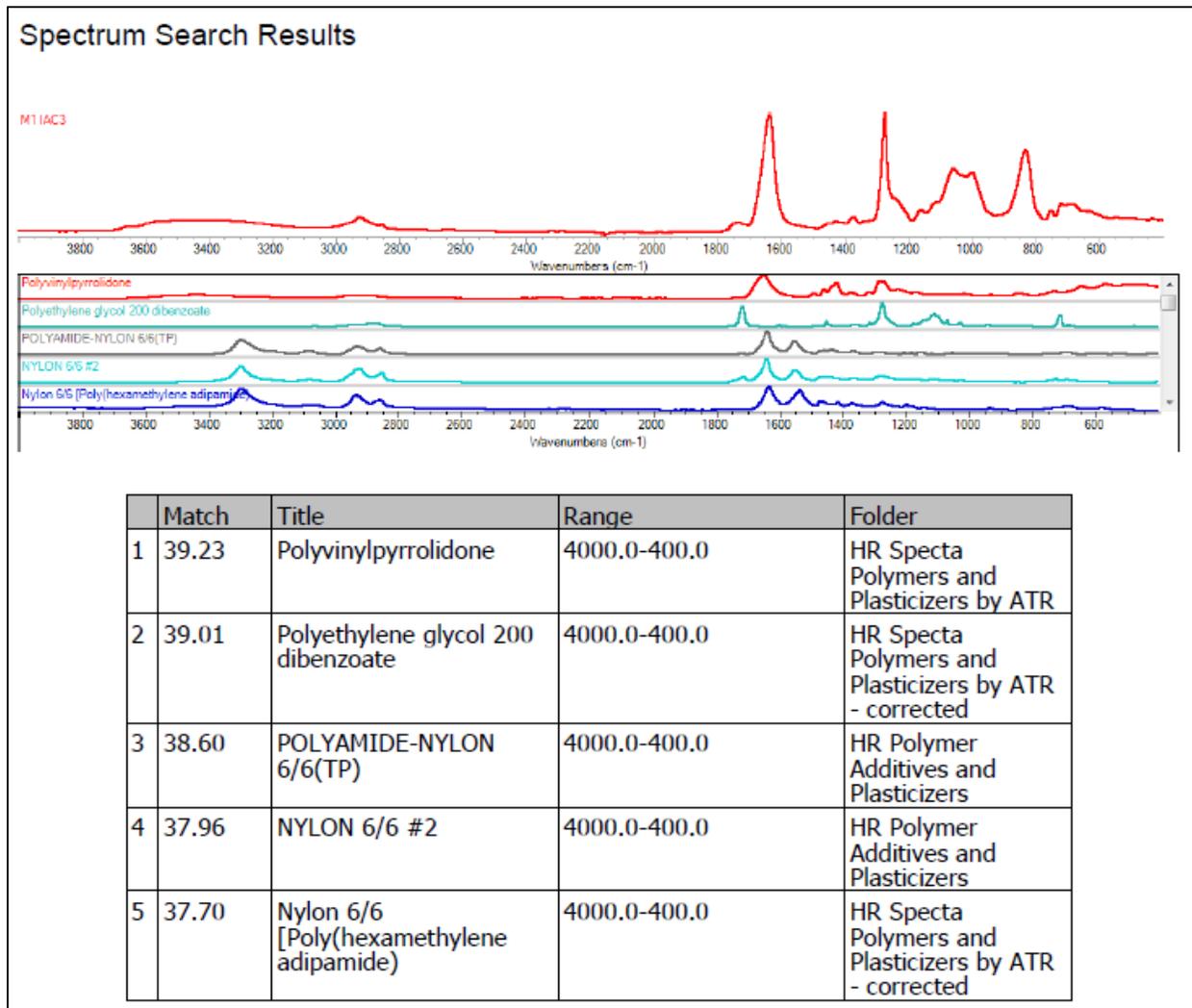


Figura 60

Espectro IR FTIR IAC

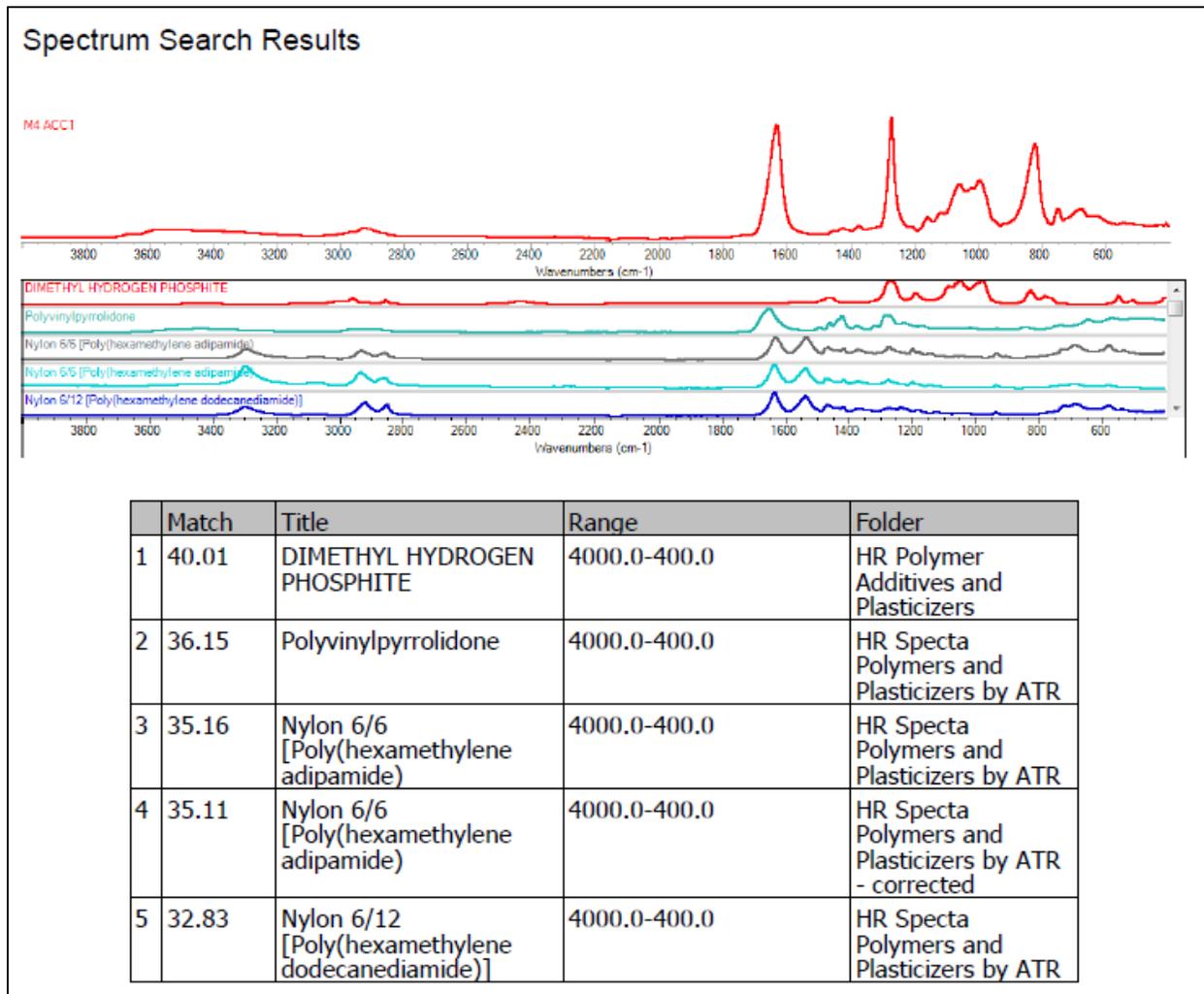


Figura 61

Espectro IR FTIR IAC

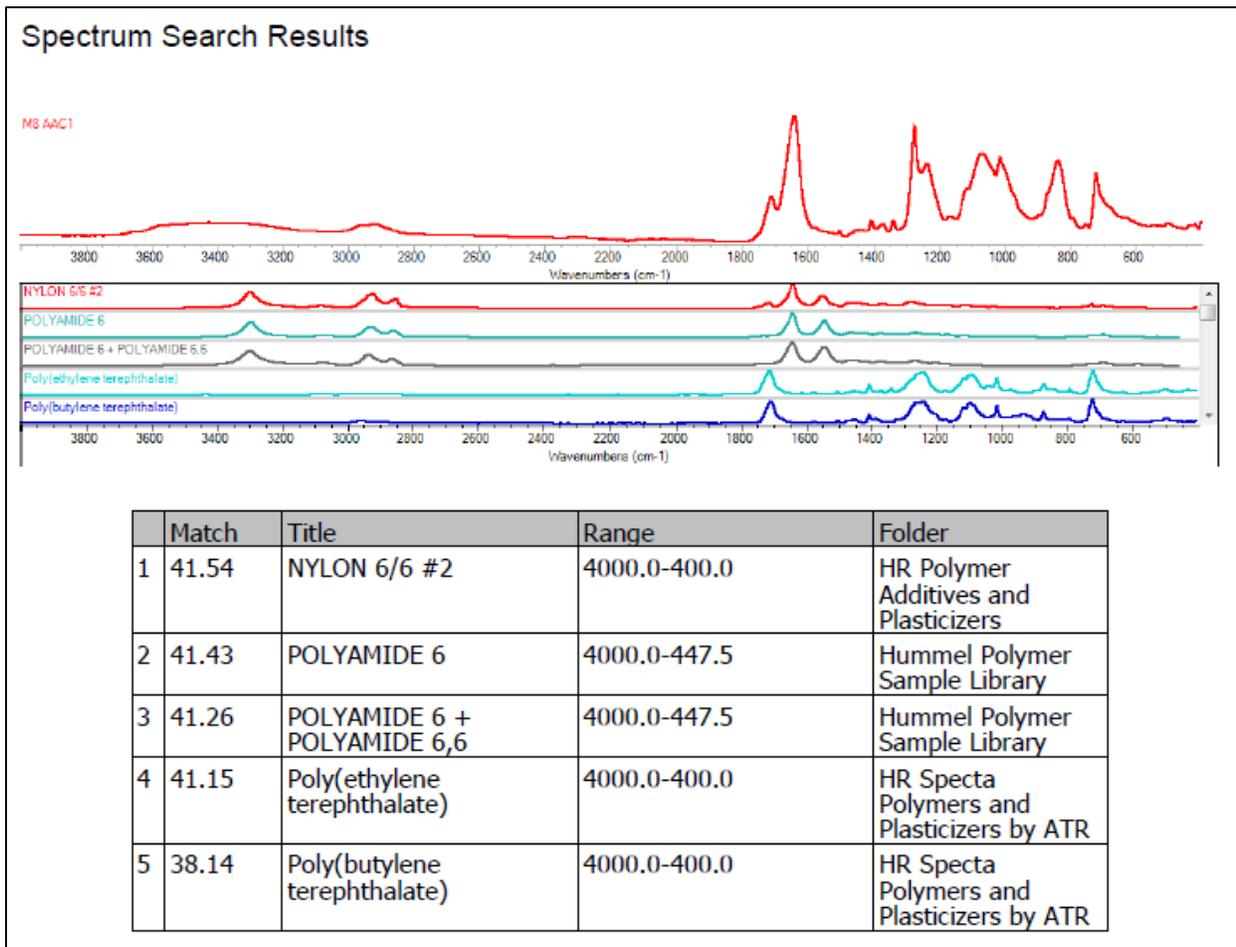


Figura 62

Espectro IR FTIR IAC

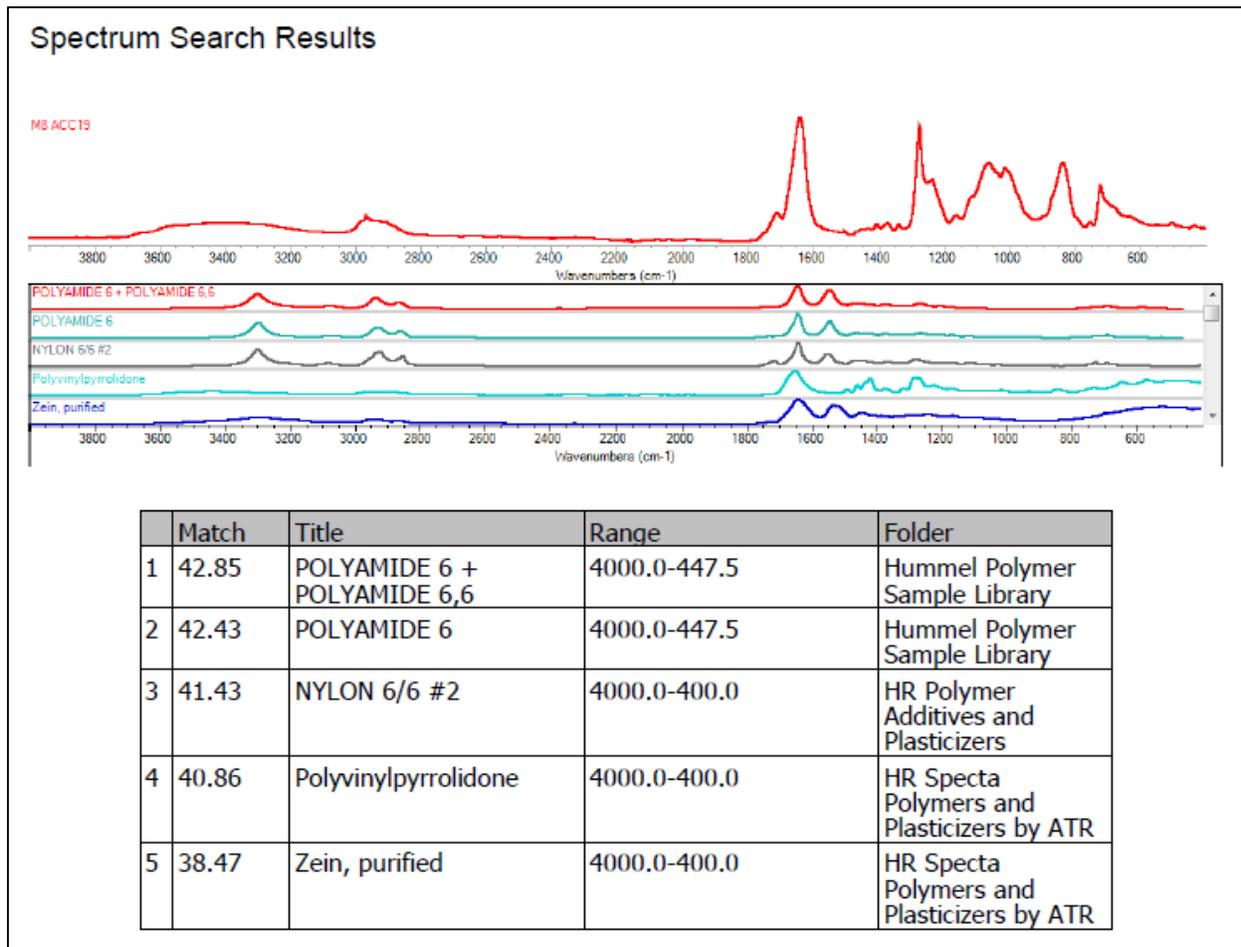
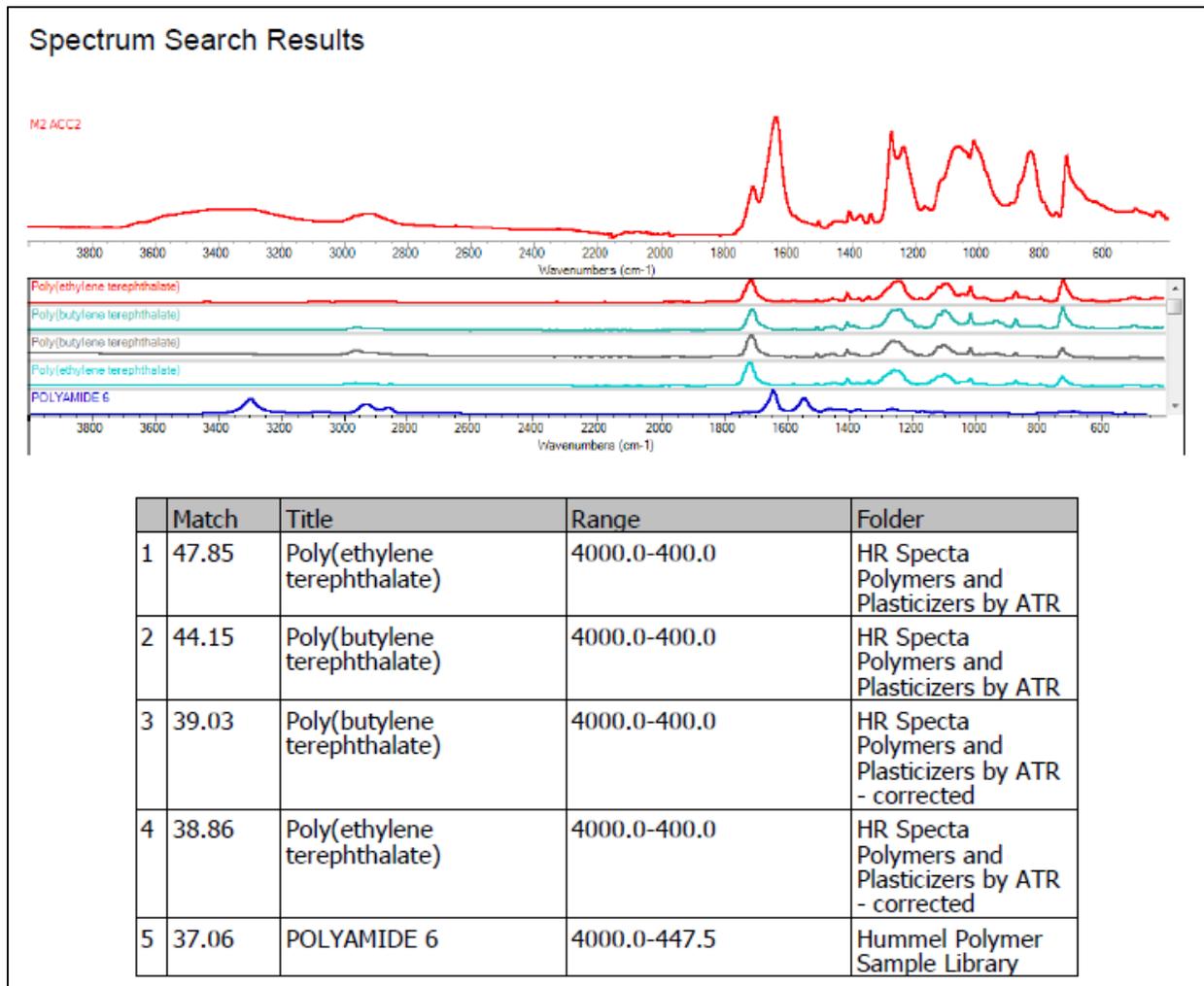


Figura 63

Espectro IR FTIR IAC



Punto de monitoreo 4 AAC

Figura 64

Espectro IR FTIR AAC

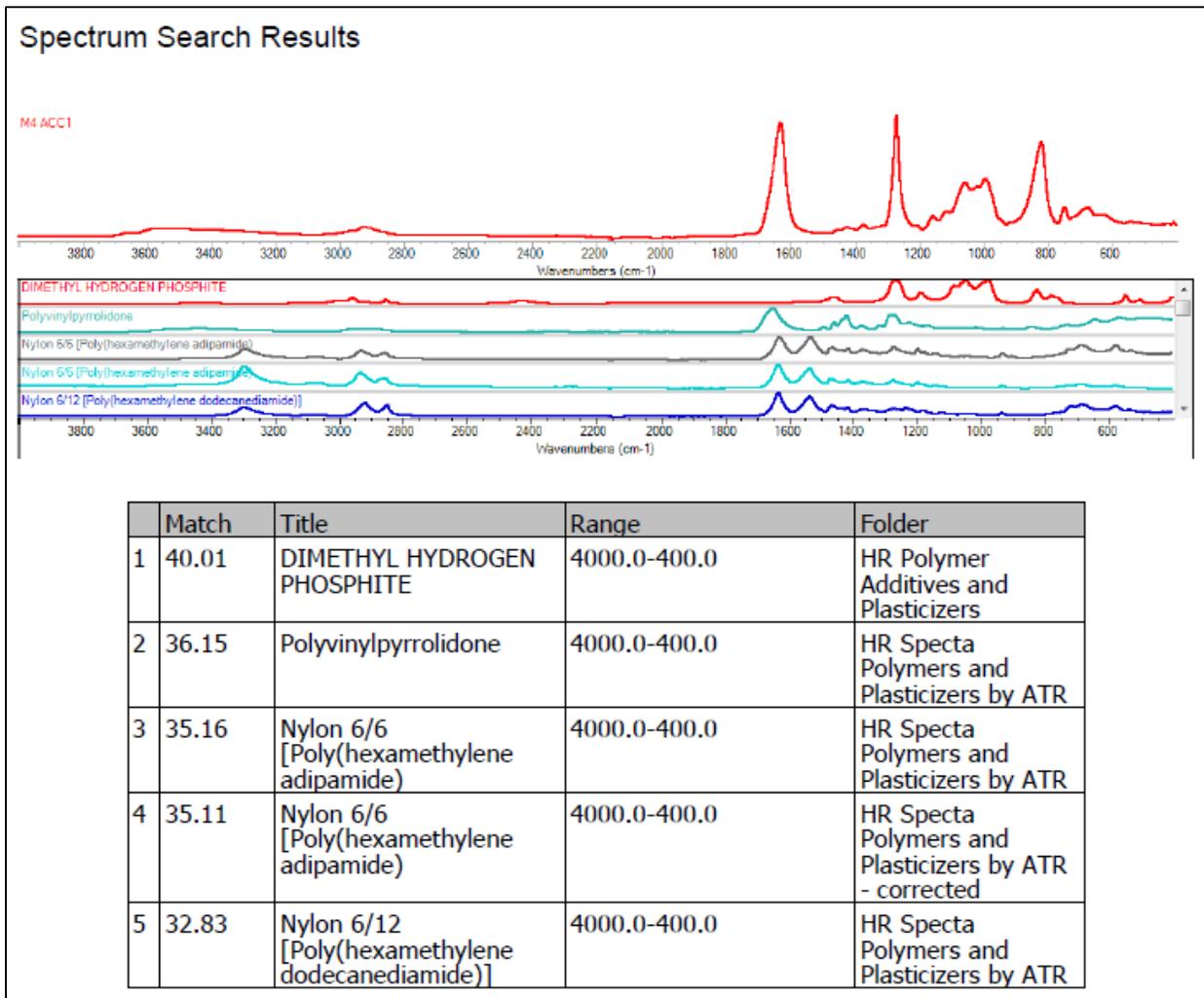


Figura 65

Espectro IR FTIR AAC

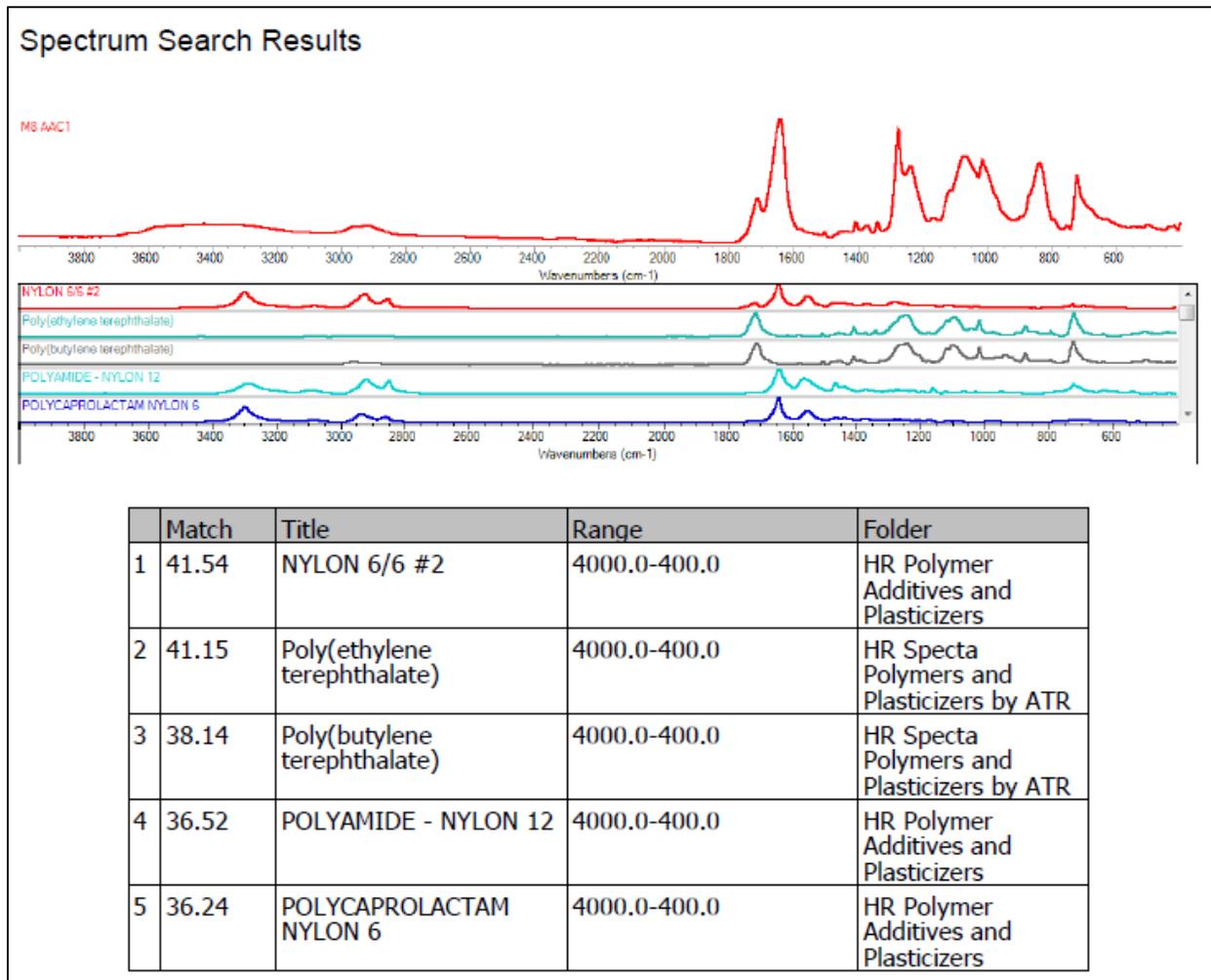


Figura 66

Espectro IR FTIR AAC

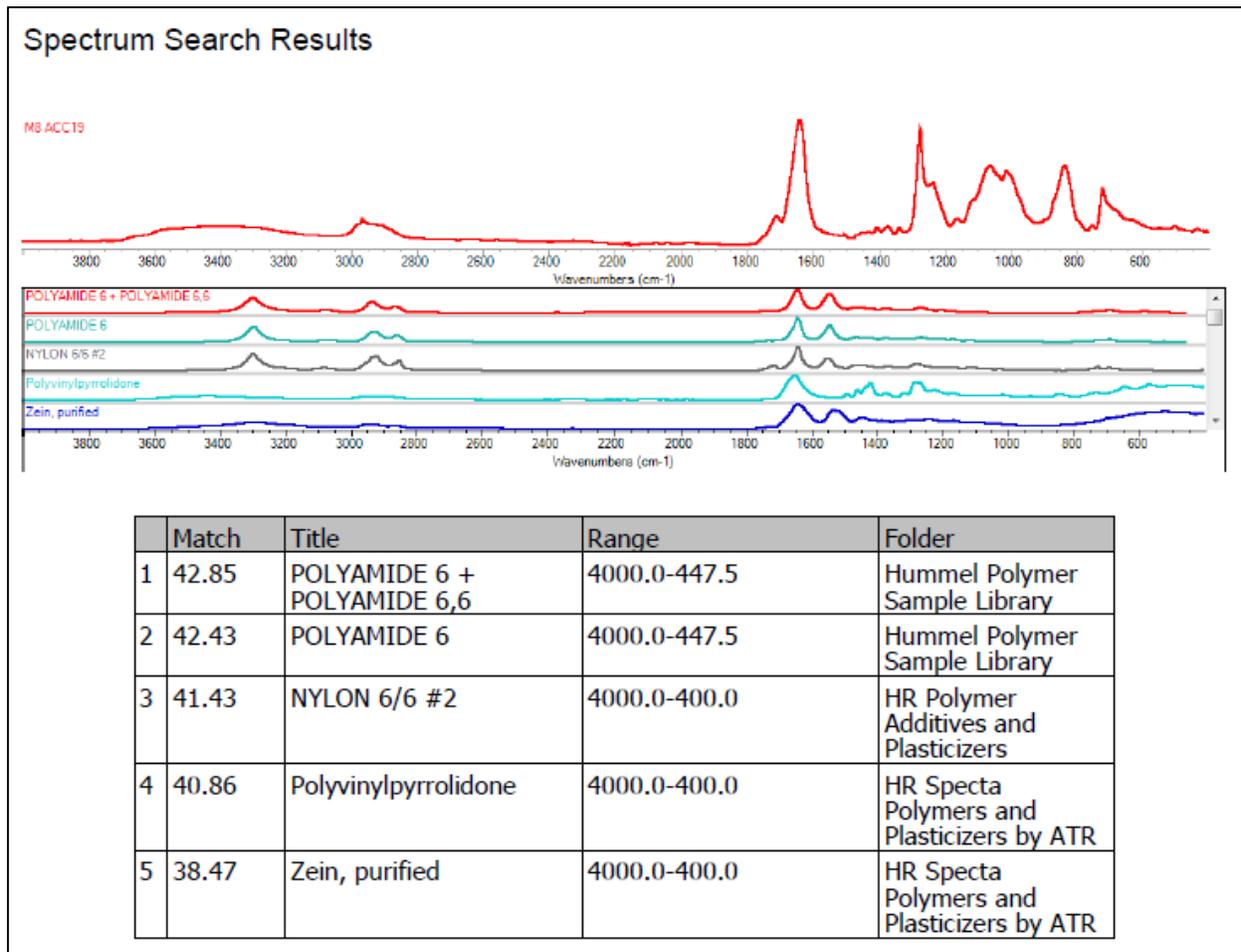
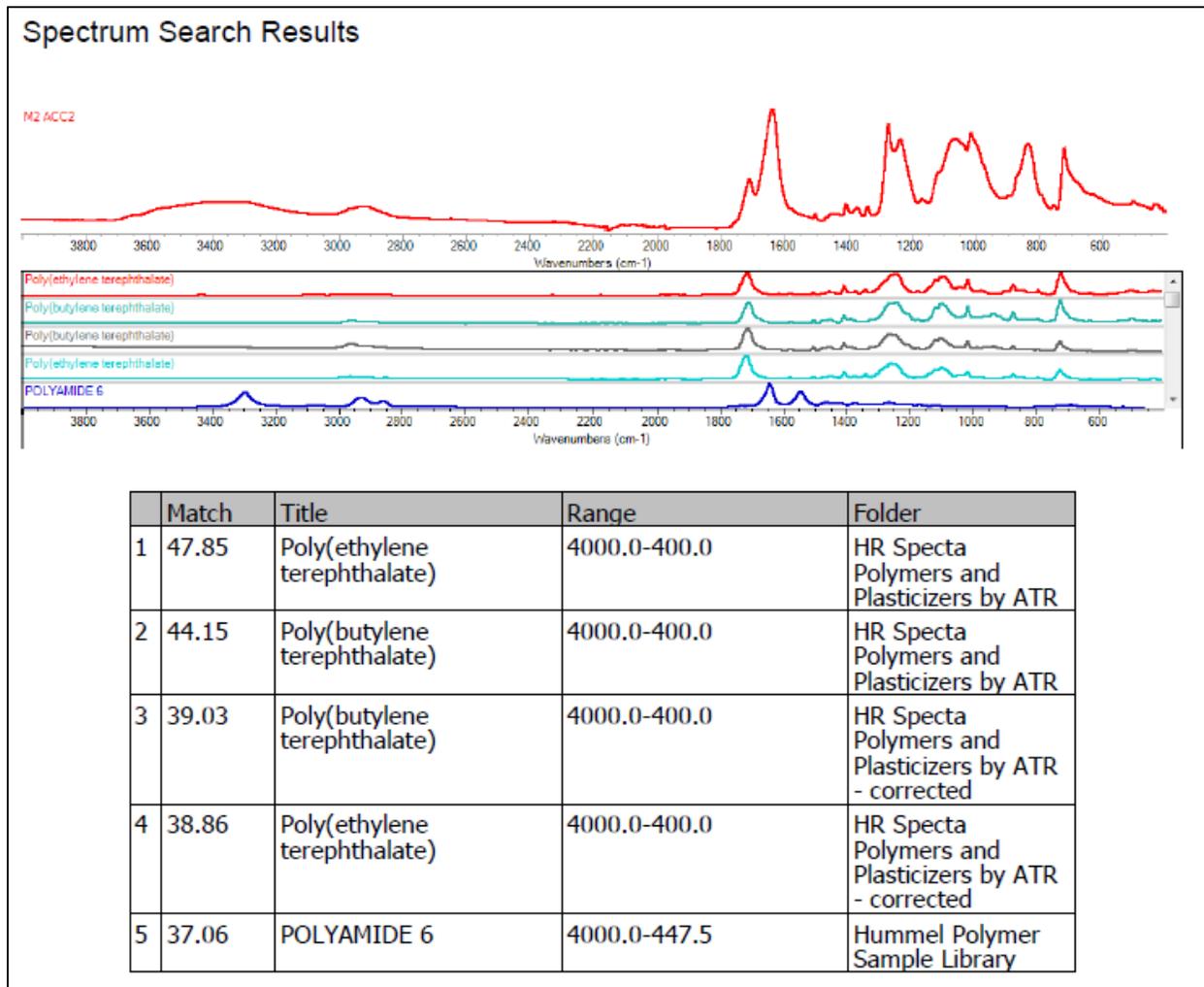


Figura 67

Espectro IR FTIR AAC



Punto de monitoreo 5 CSC

Figura 68

Espectro IR FTIR CSC

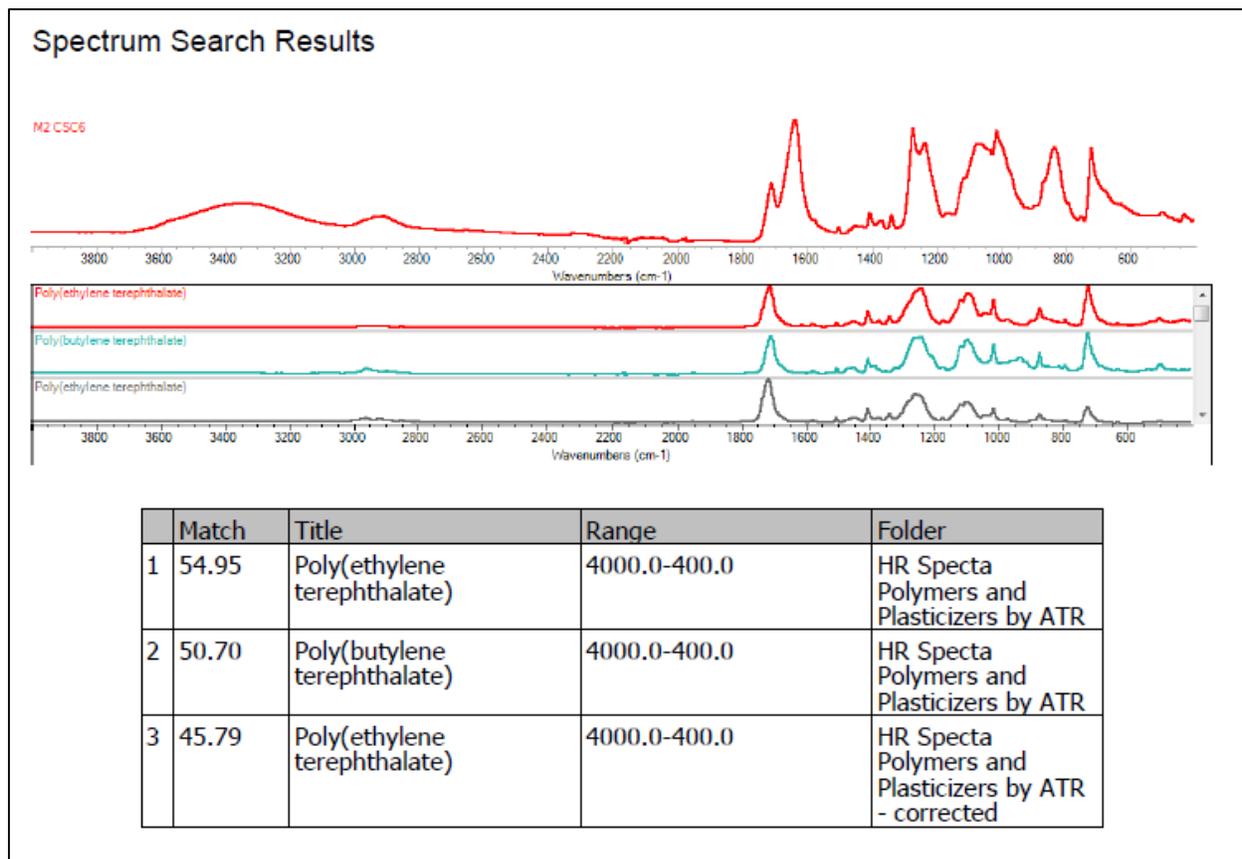


Figura 69

Espectro IR FTIR CSC

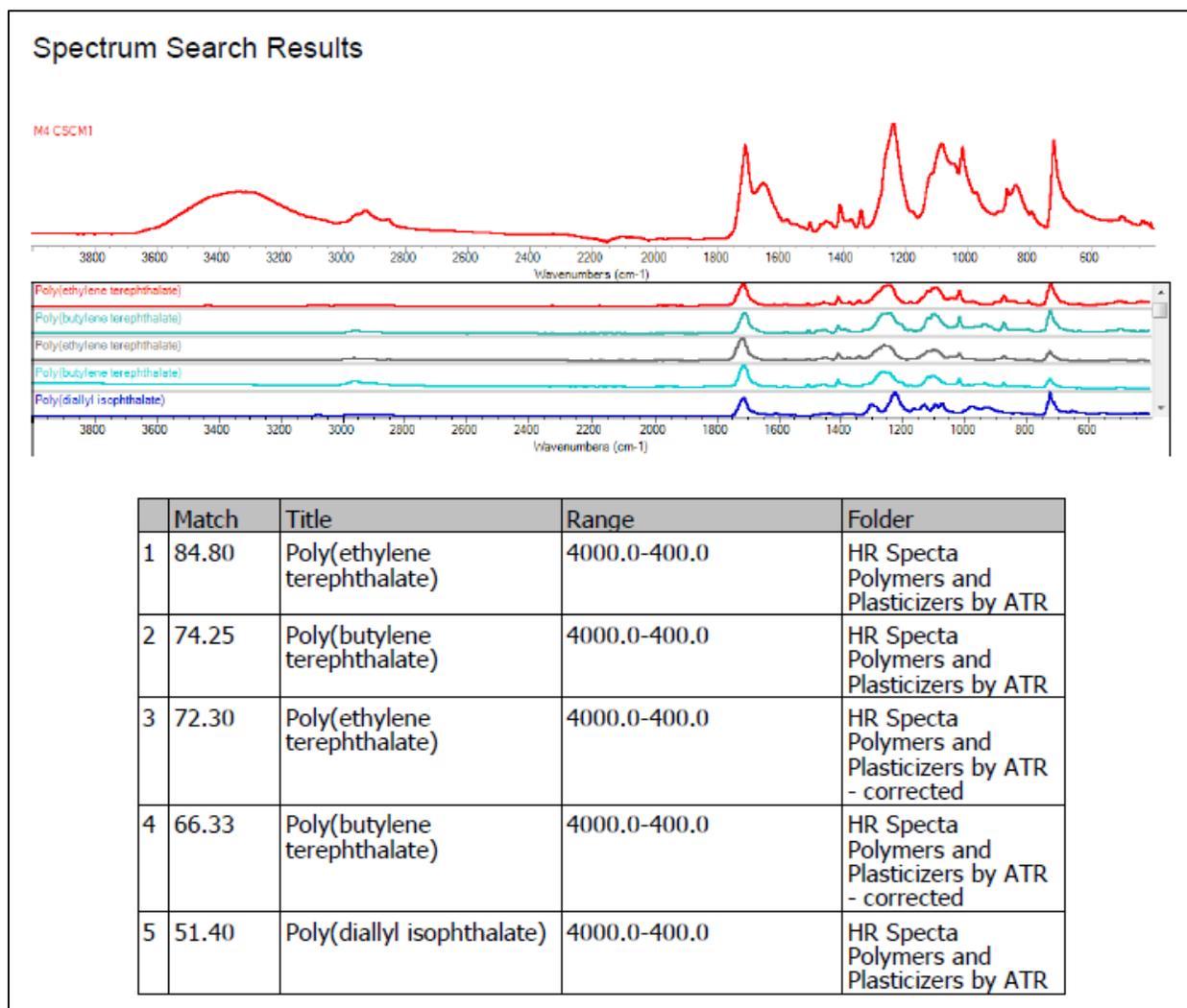


Figura 70

Espectro IR FTIR CSC

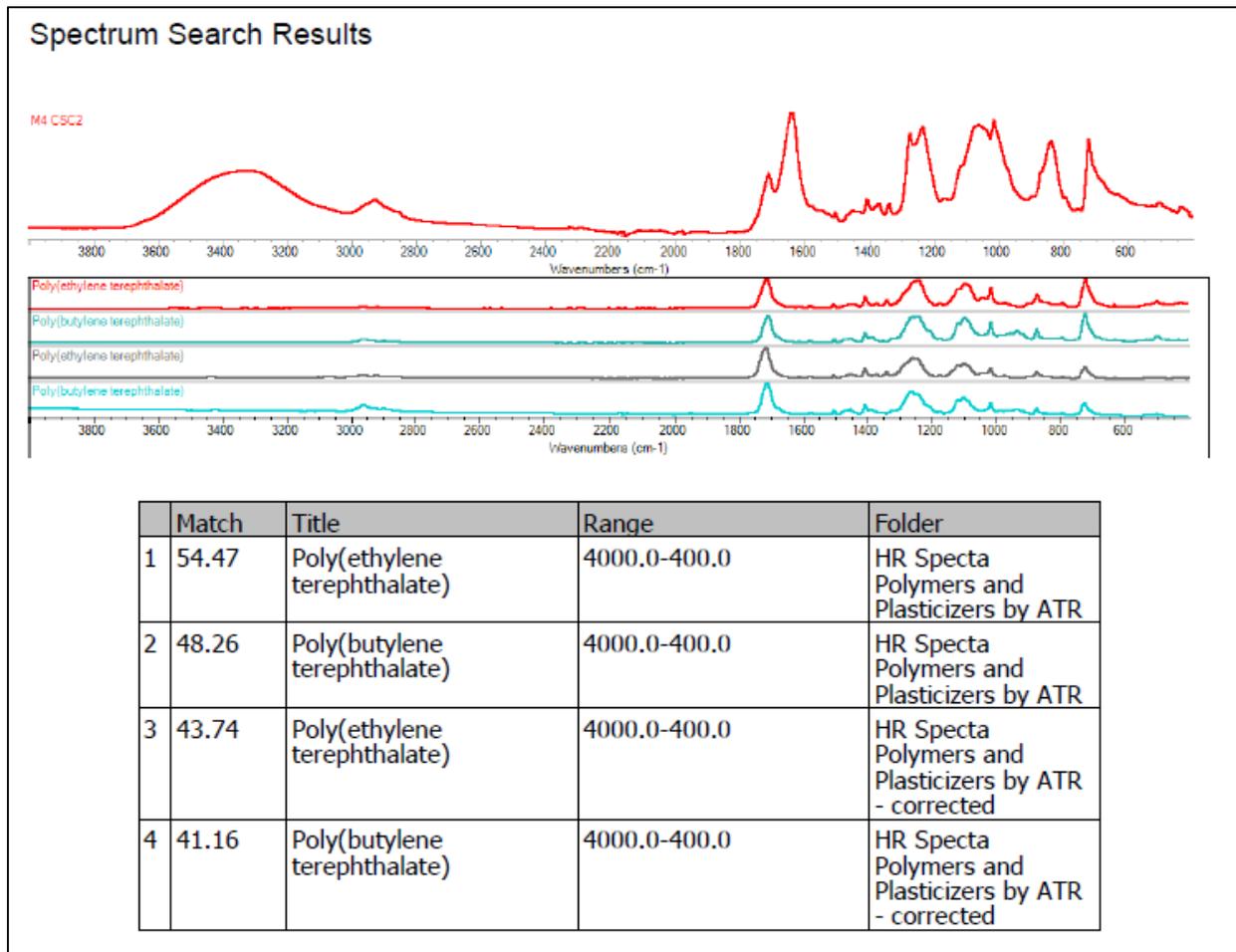


Figura 71

Espectro IR FTIR CSC

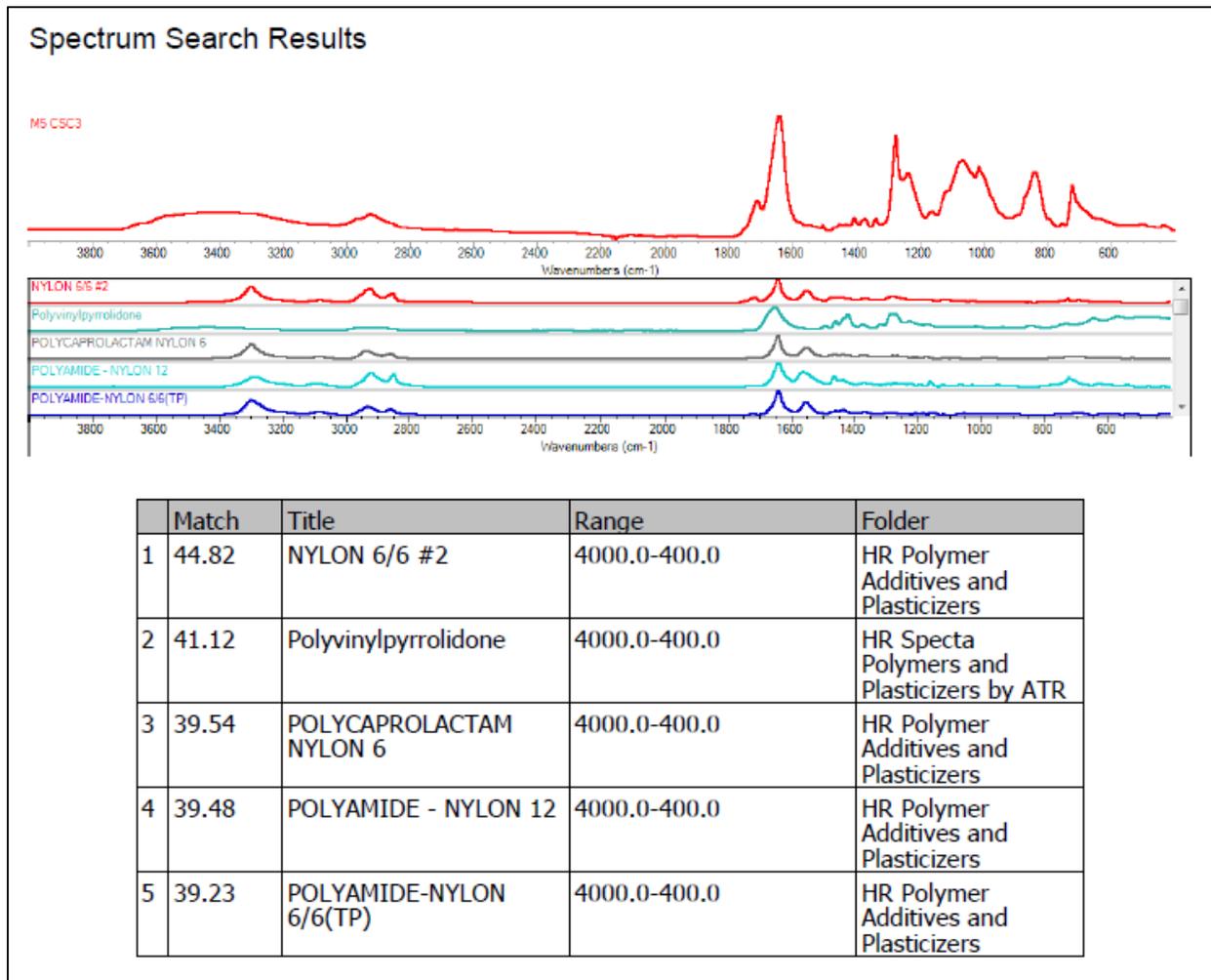


Figura 72

Espectro IR FTIR CSC

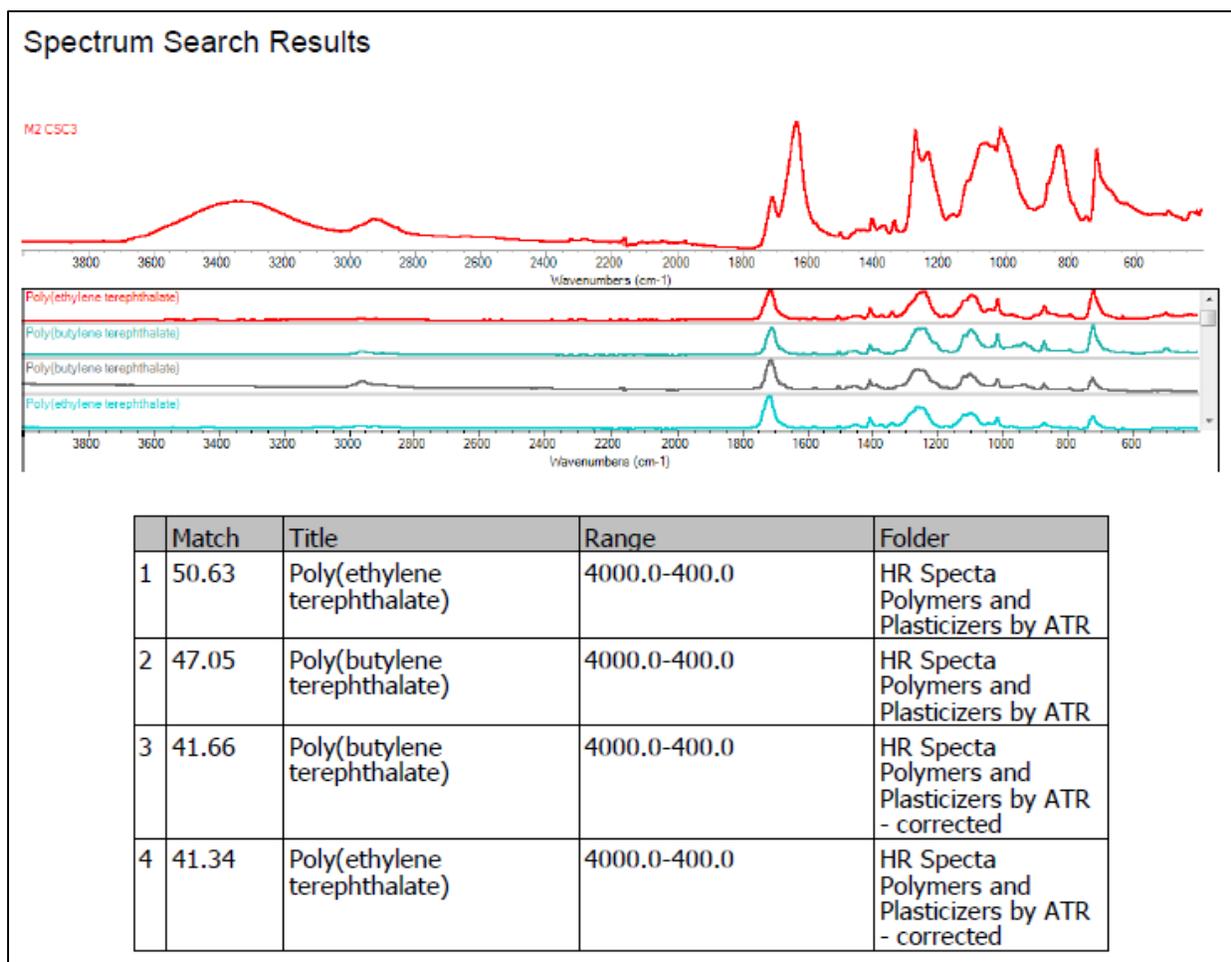


Figura 73

Espectro IR FTIR CSC

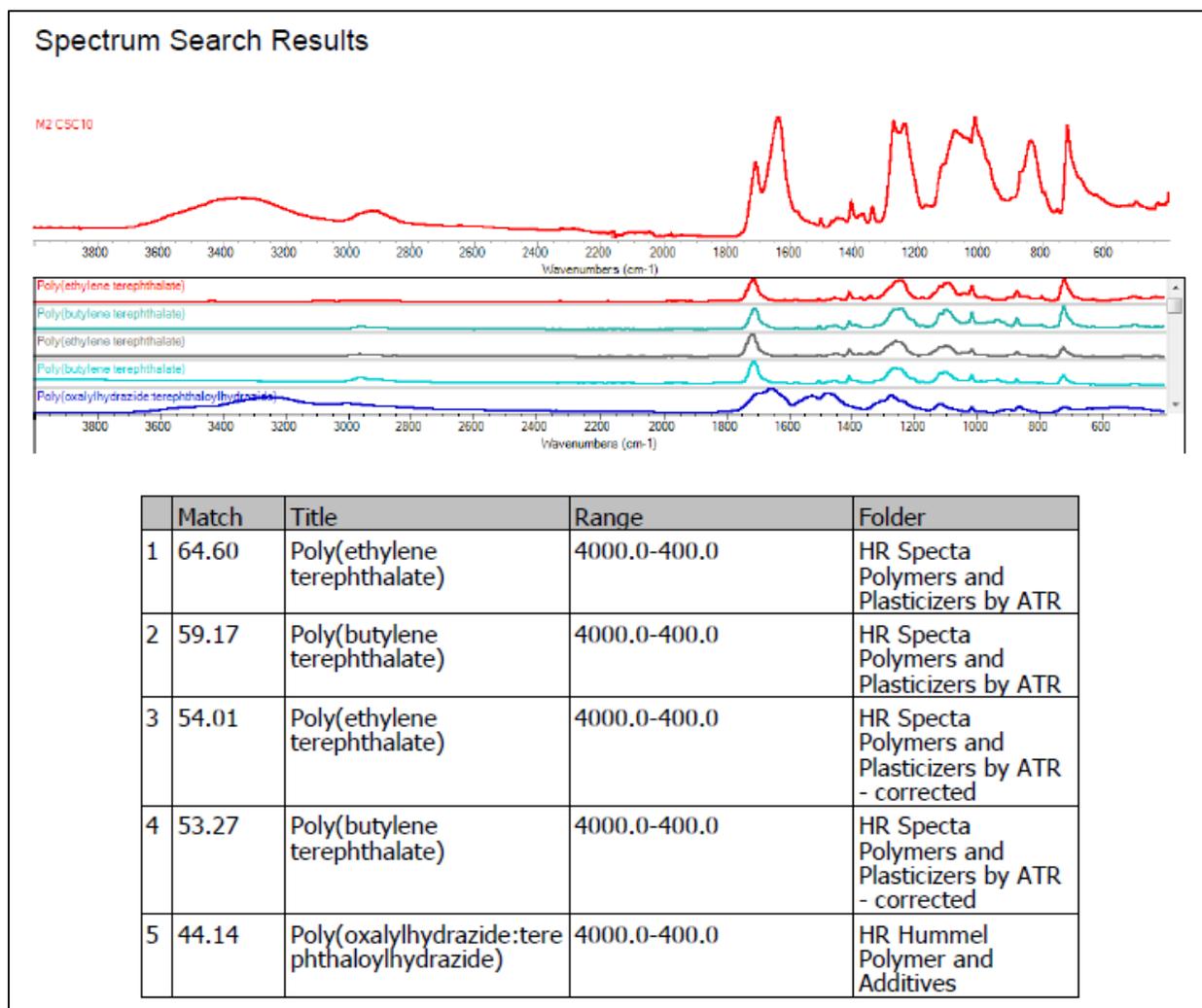
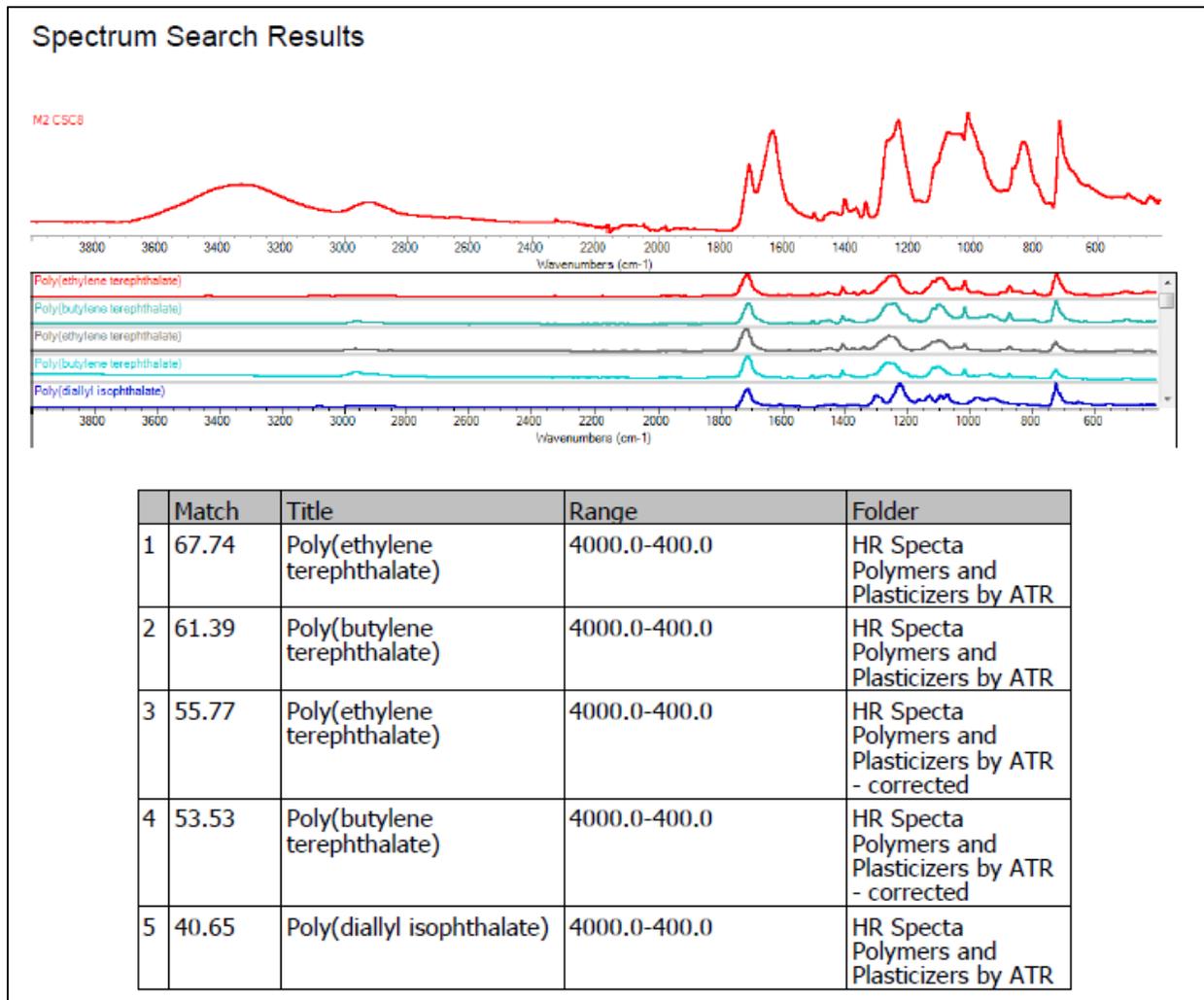


Figura 74

Espectro IR FTIR CSC



Punto de monitoreo 6 UCCY

Figura 75

Espectro IR FTIR UCCY

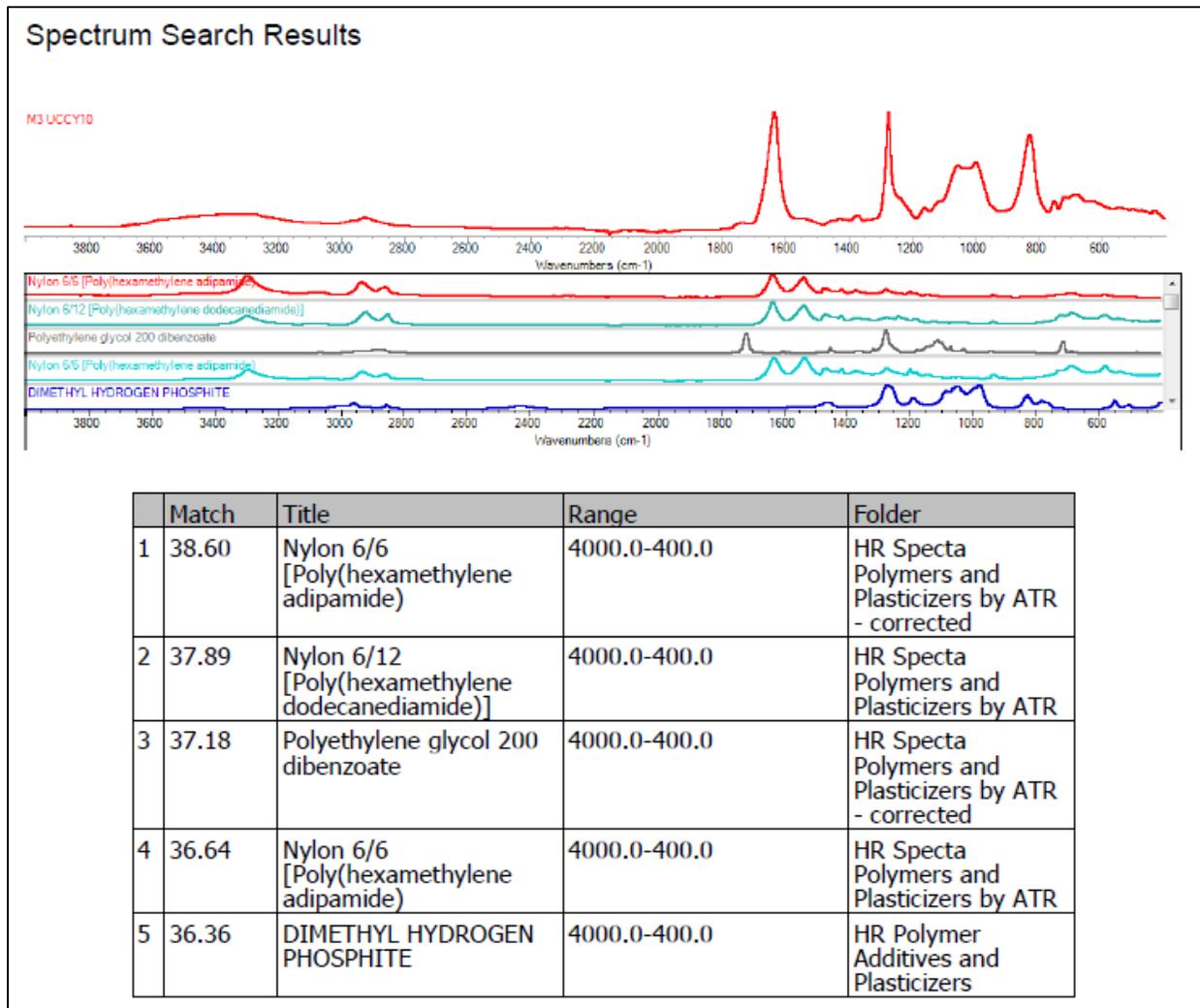


Figura 76

Espectro IR FTIR UCCY

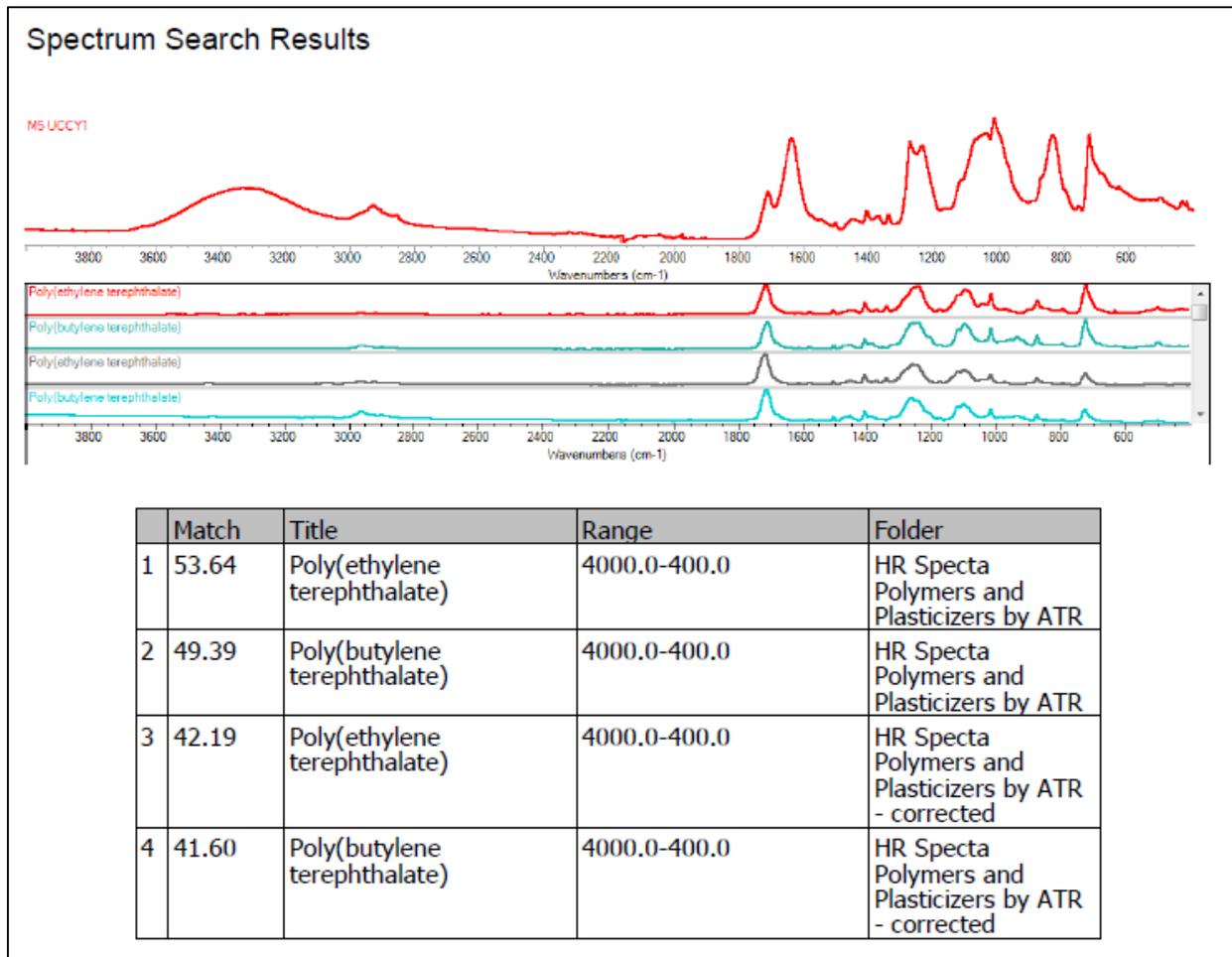


Figura 77

Espectro IR FTIR UCCY

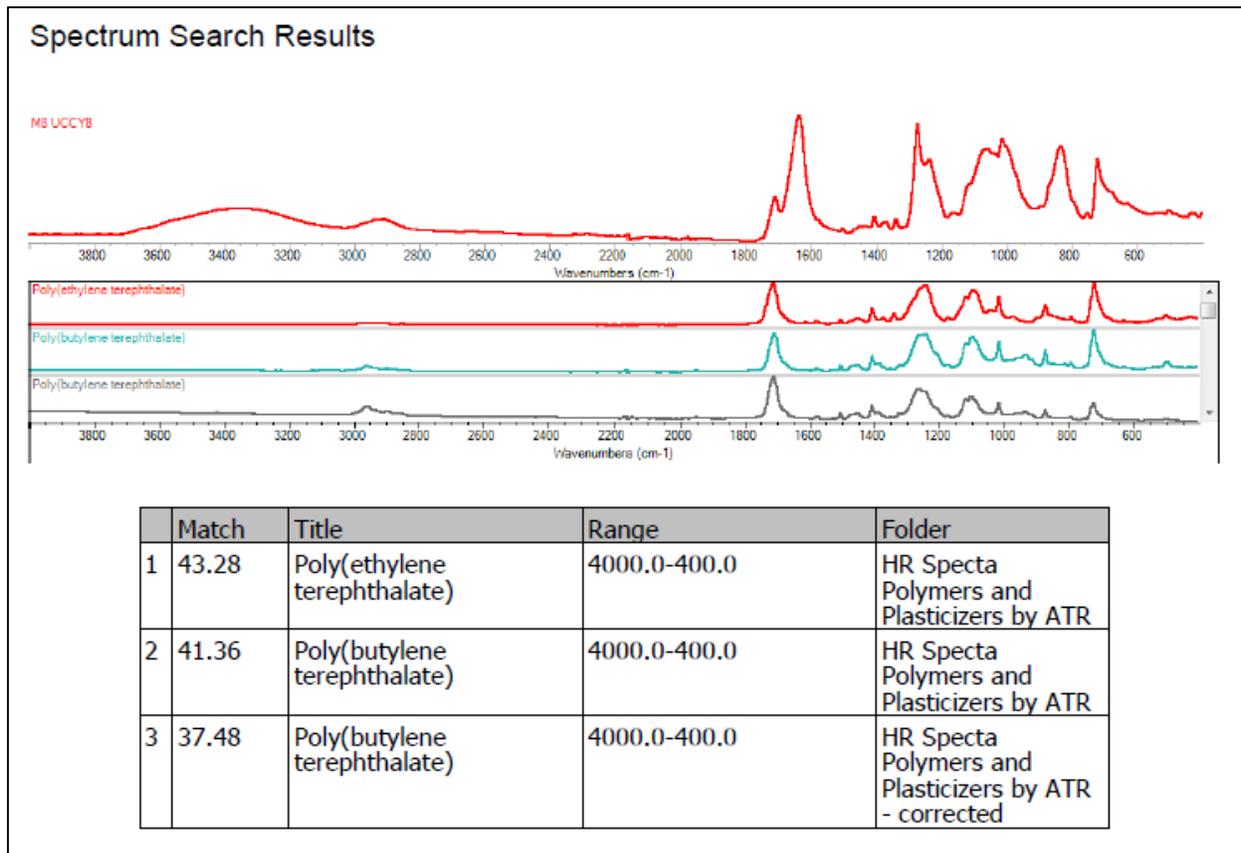
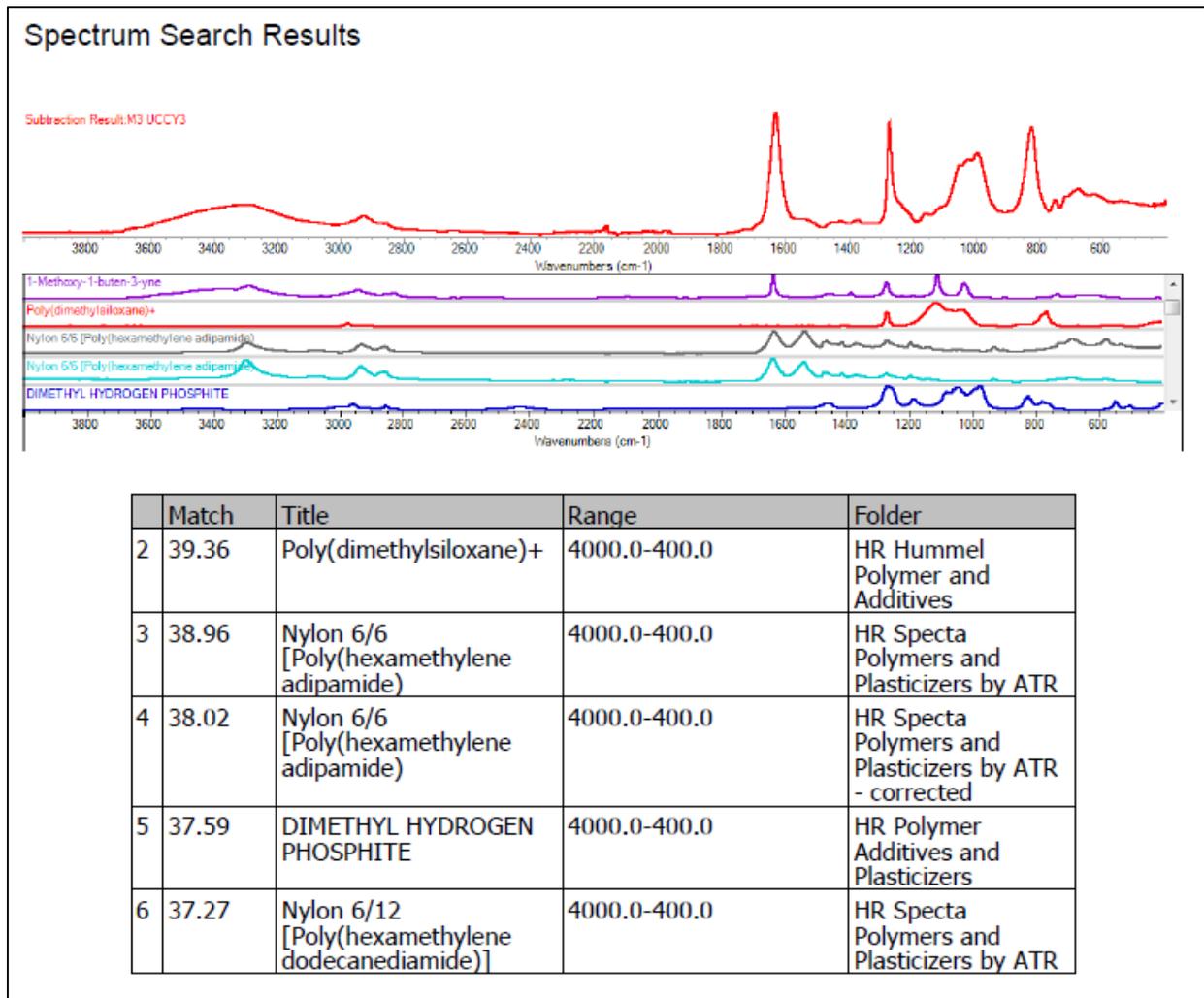


Figura 78

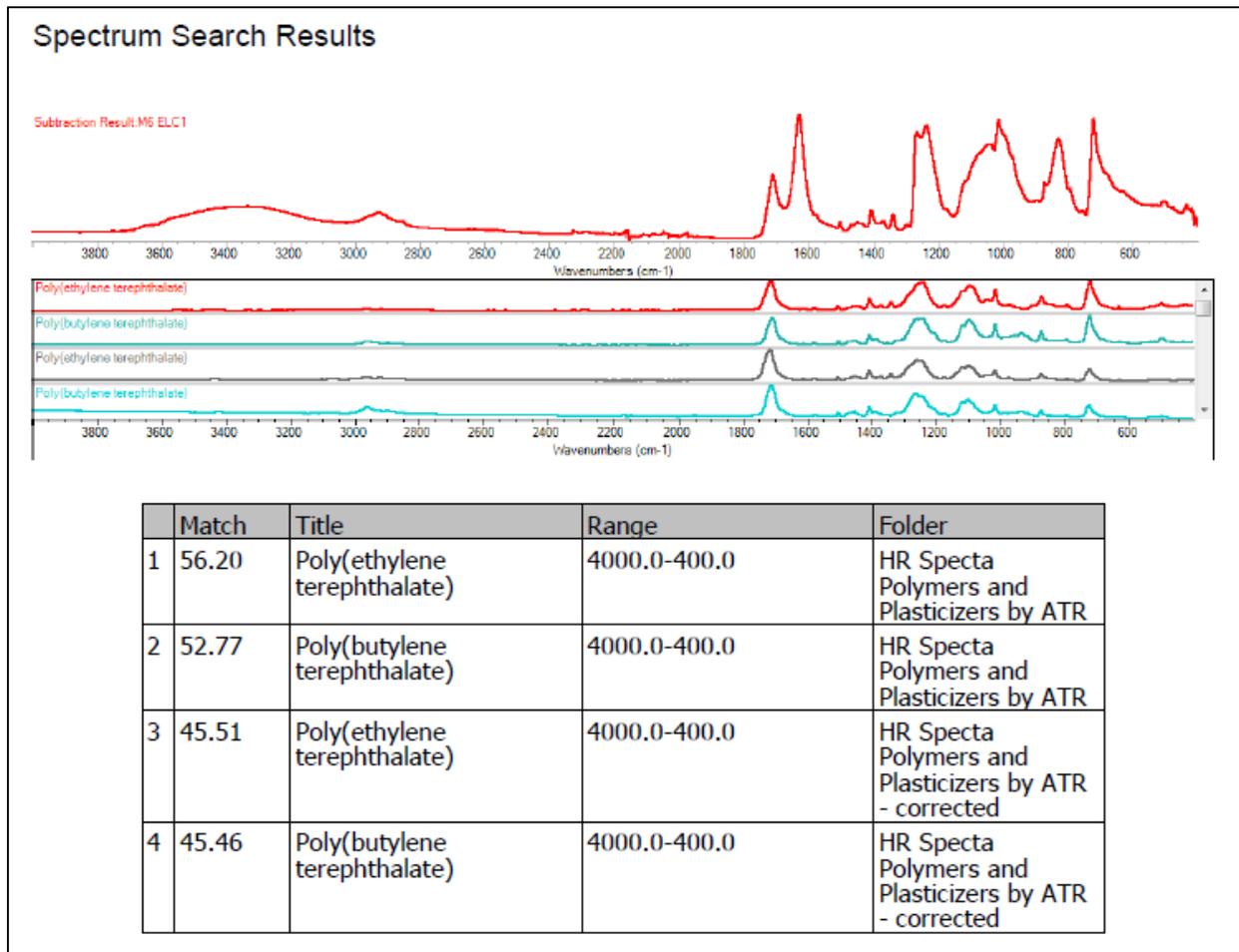
Espectro IR FTIR UCCY



Punto de muestreo 7 ELC

Figura 79

Espectro IR FTIR ELC



Punto de monitoreo 8 PDL

Figura 80

Espectro IR FTIR PDL

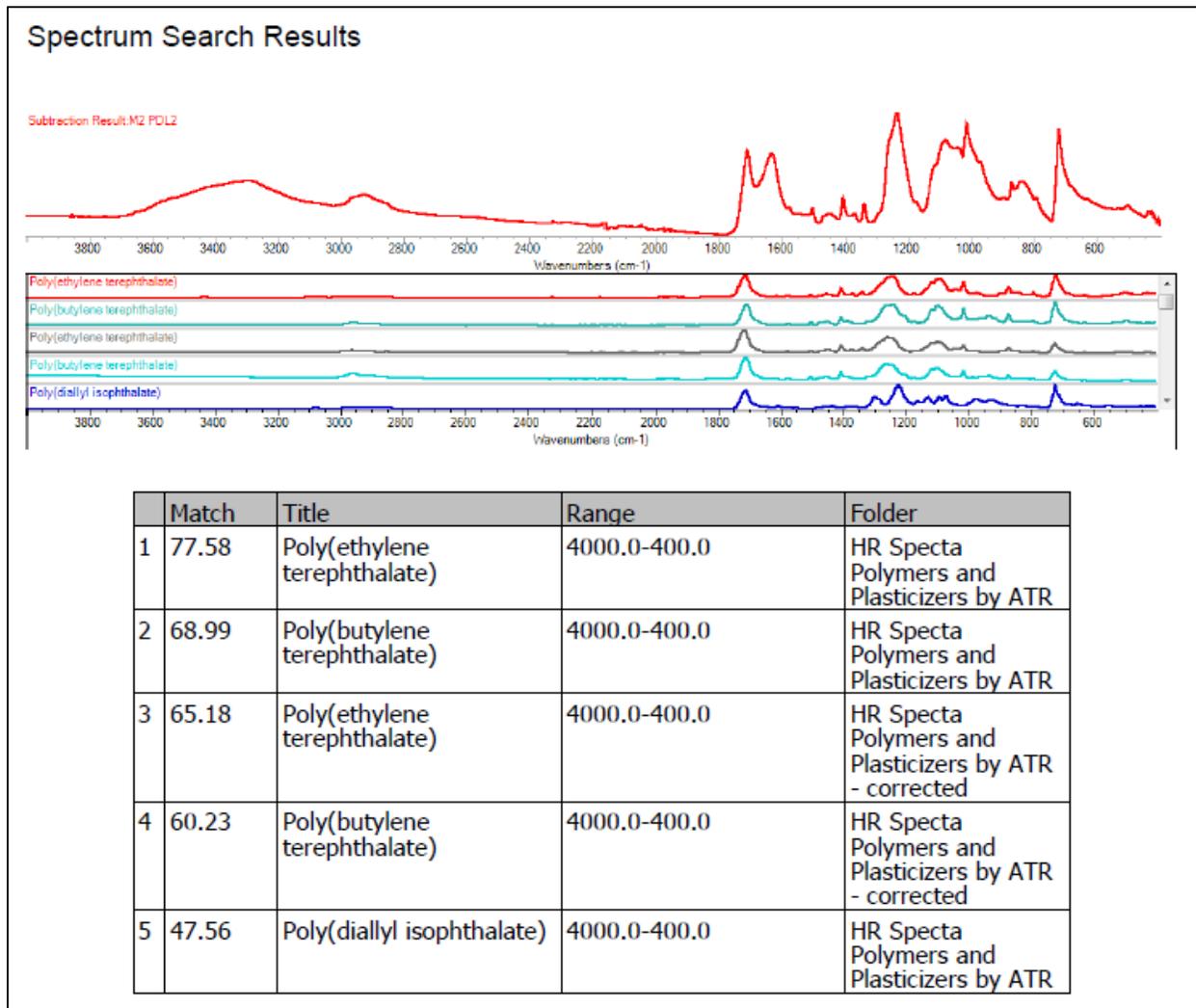


Figura 81

Espectro IR FTIR PDL

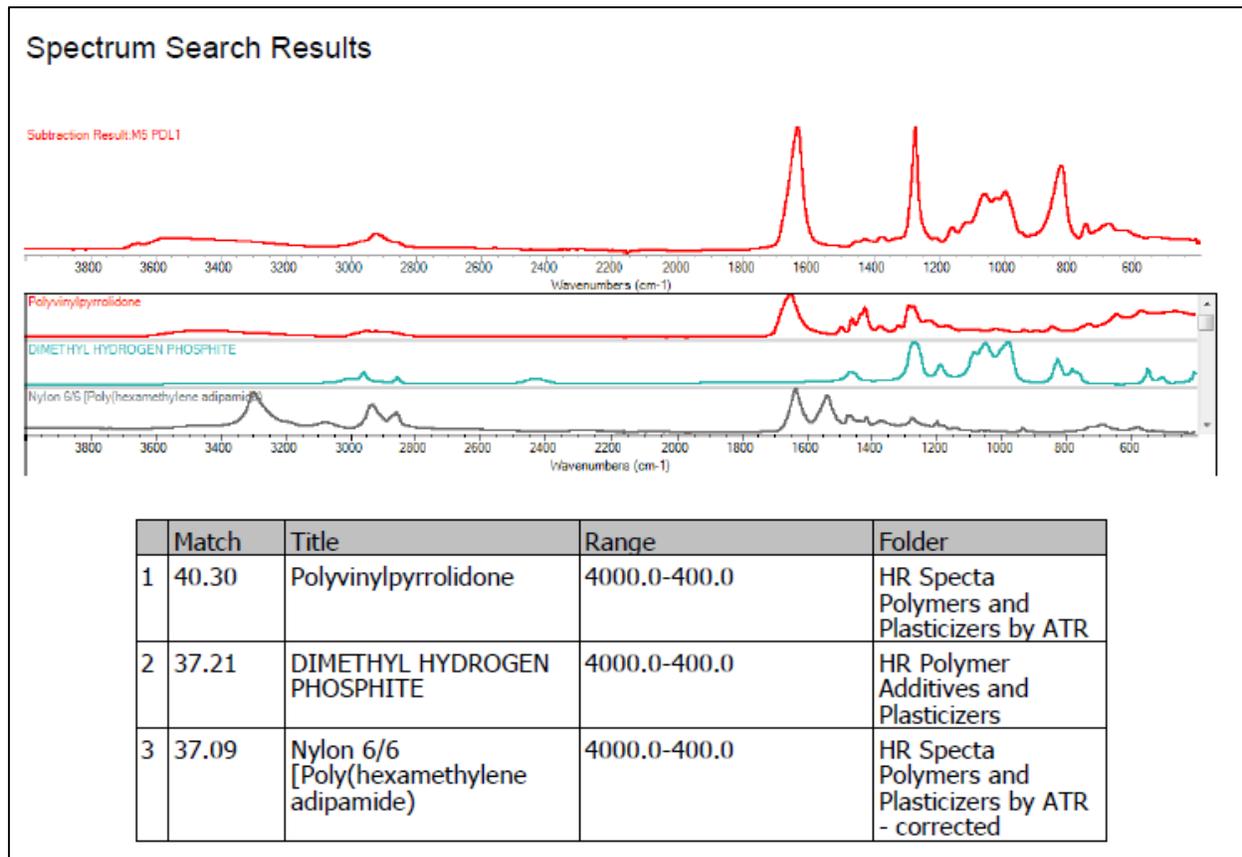


Figura 82

Espectro IR FTIR PDL

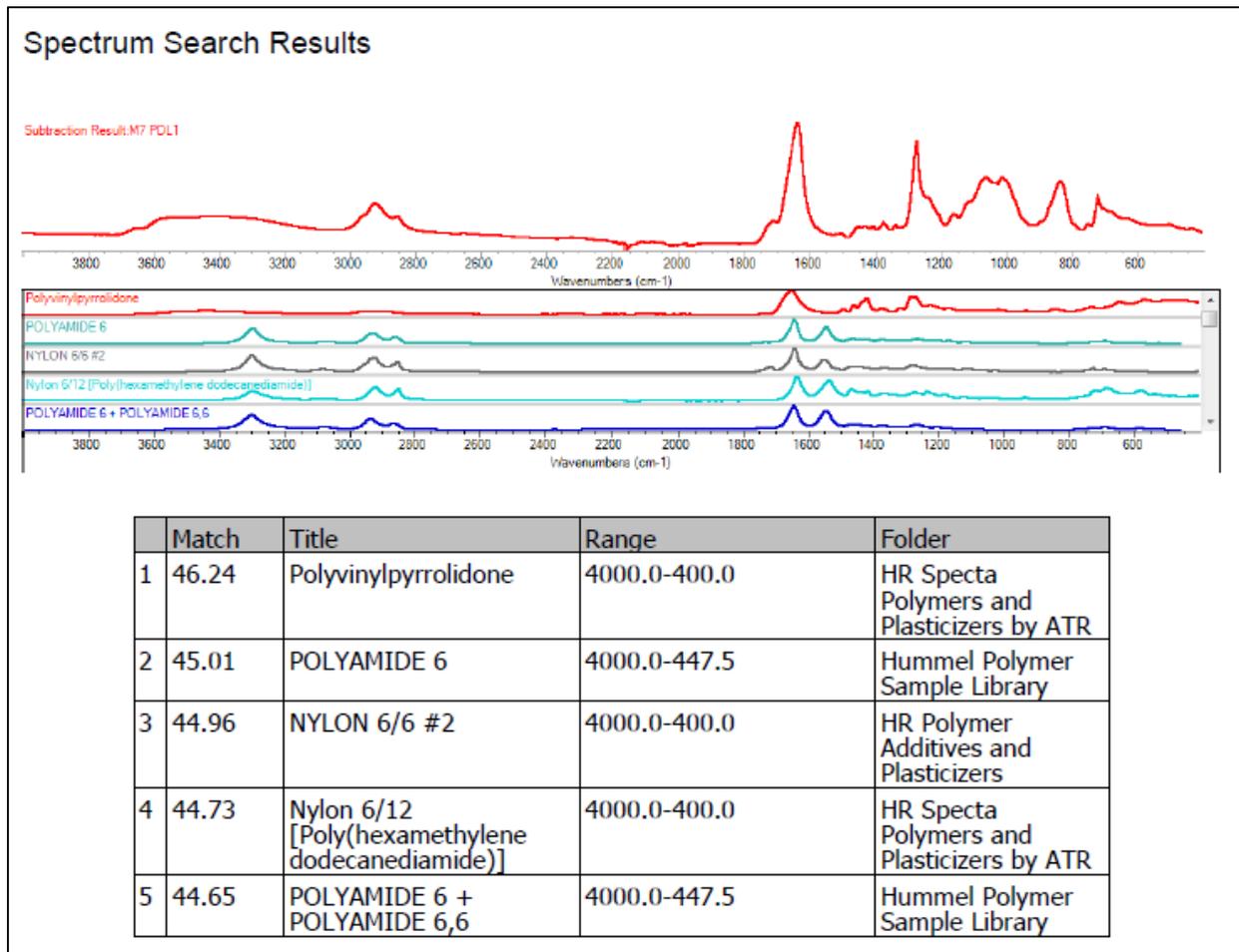
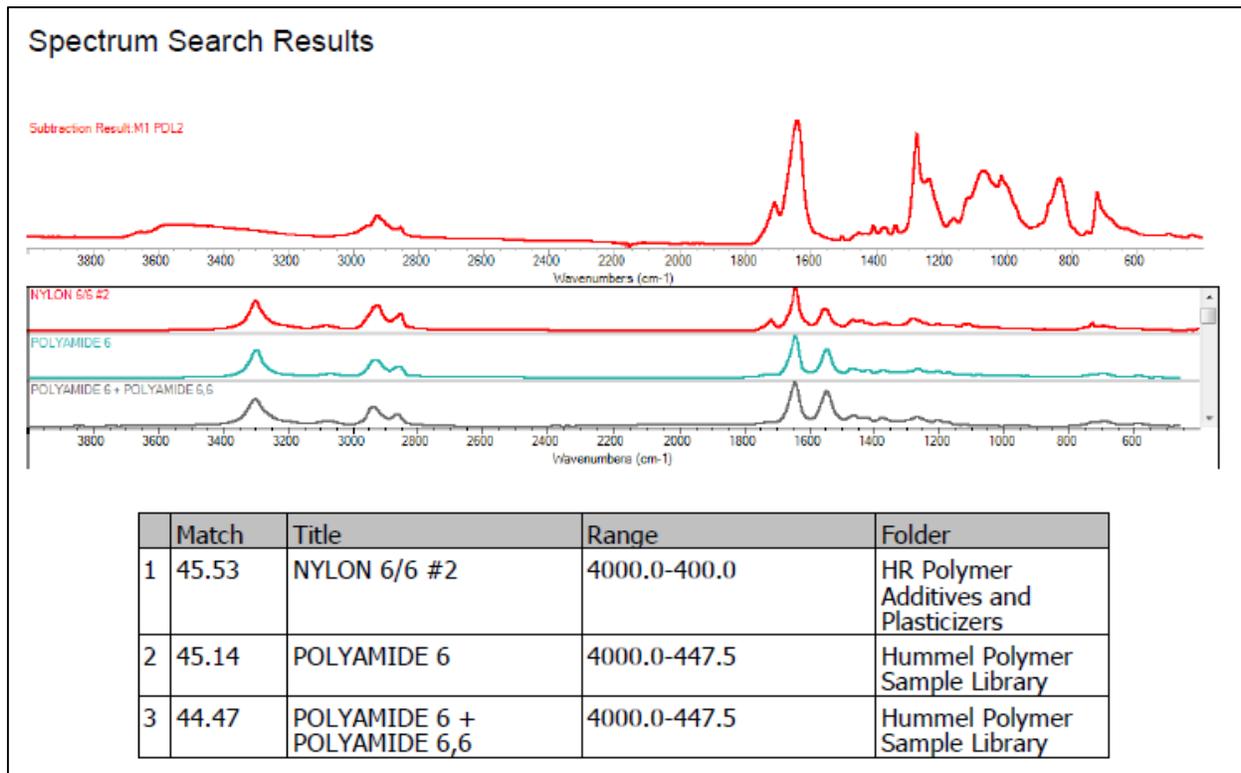


Figura 83

Espectro IR FTIR PDL



Punto de monitoreo 9 DTC

Figura 84

Espectro IR FTIR DTC

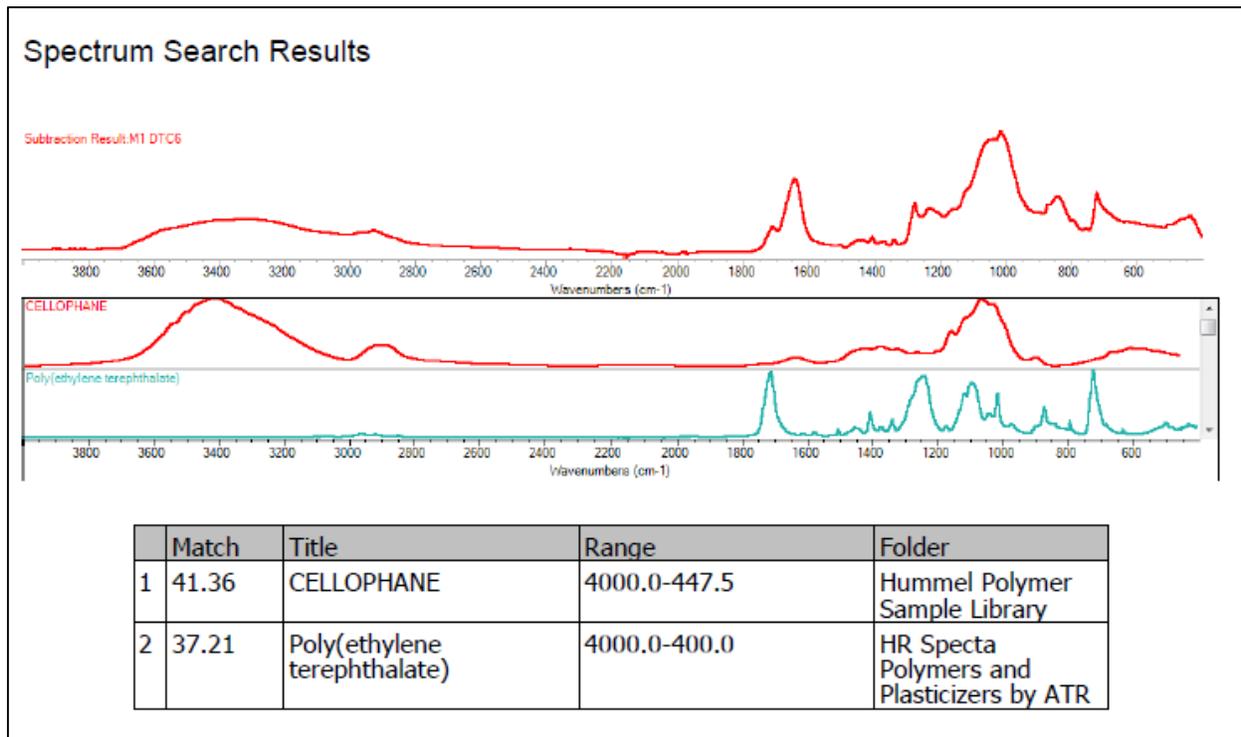


Figura 85

Especro IR FTIR DTC

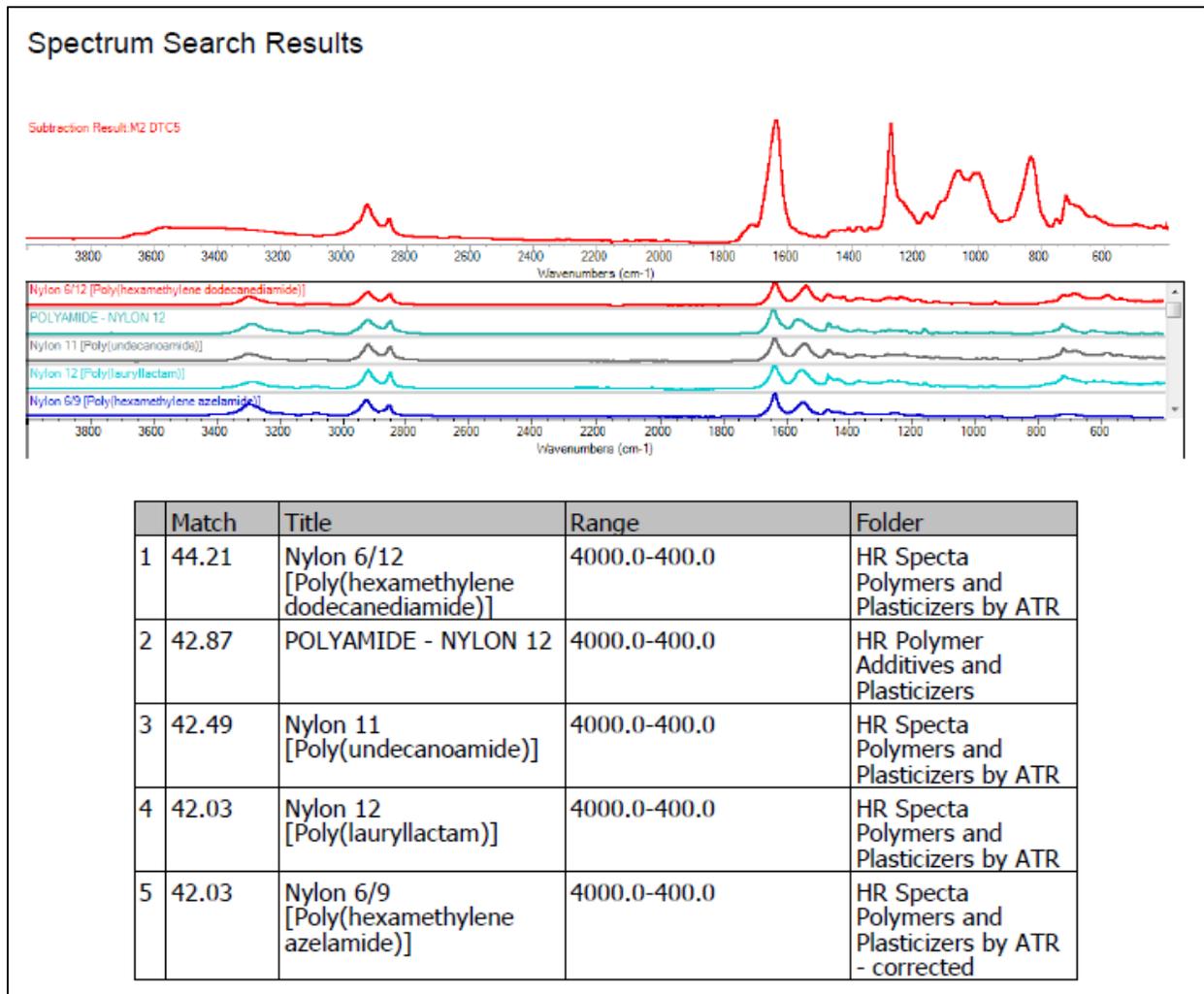


Figura 86

Espectro IR FTIR DTC

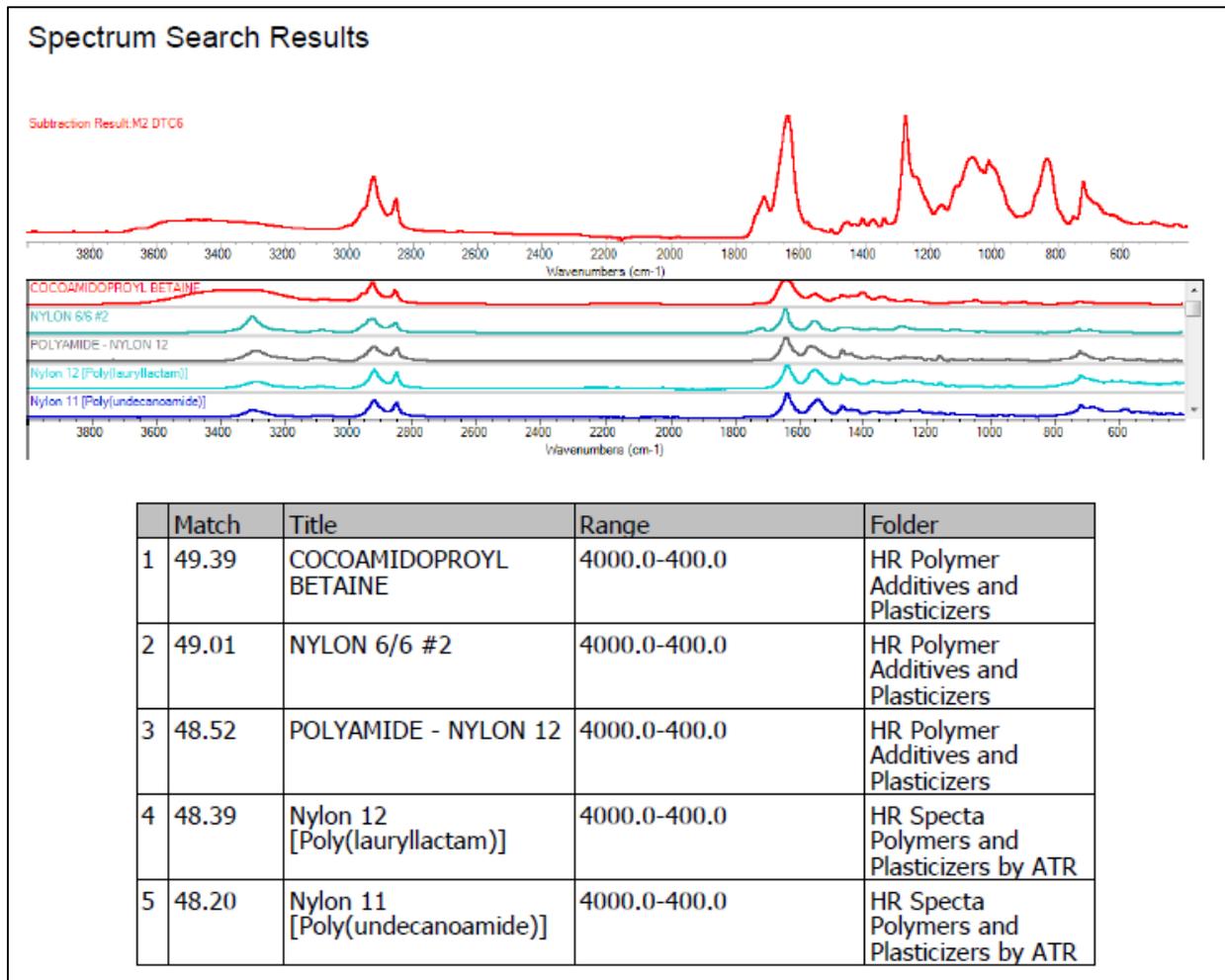


Figura 87

Espectro IR FTIR DTC

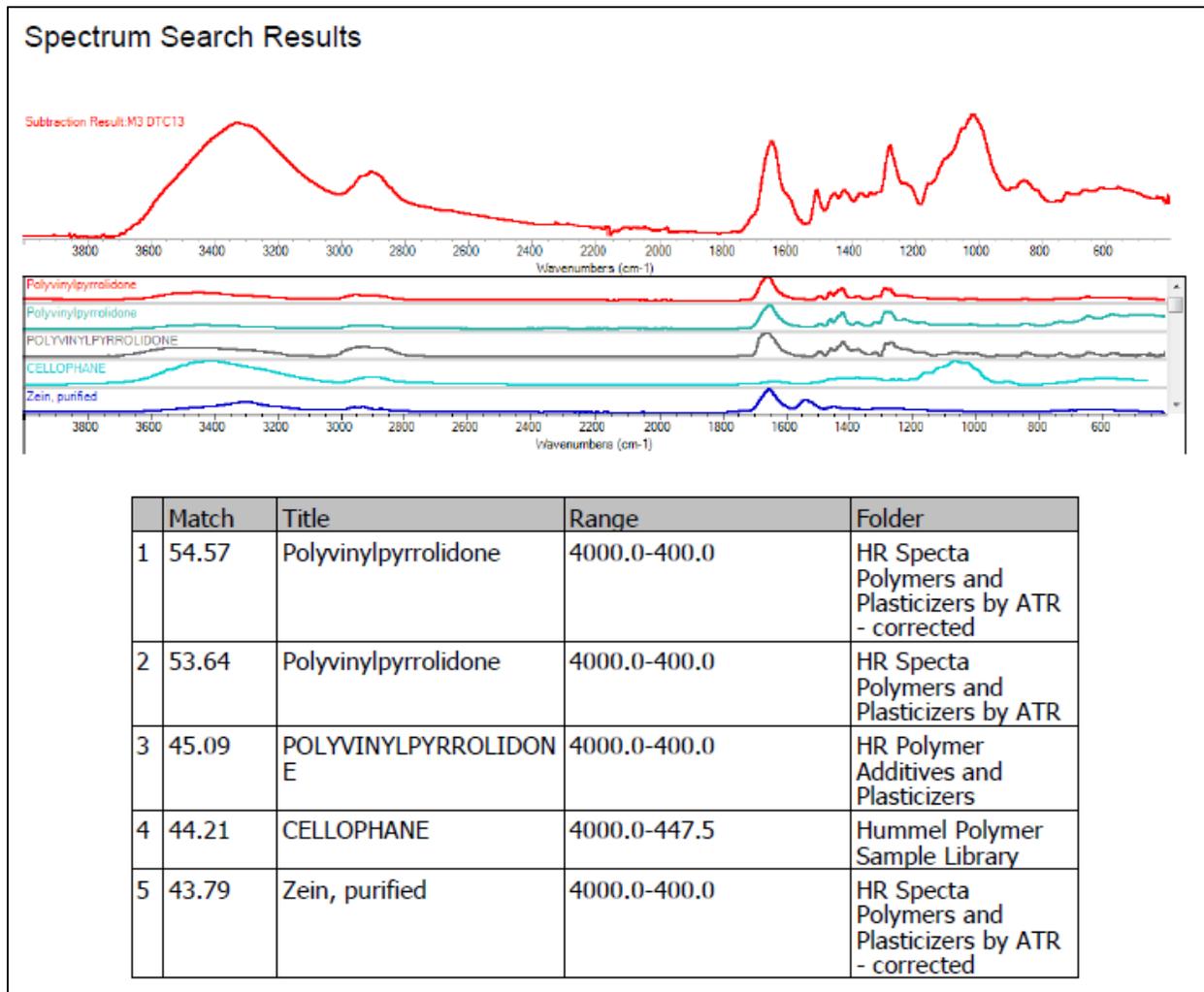


Figura 88

Espectro IR FTIR DTC

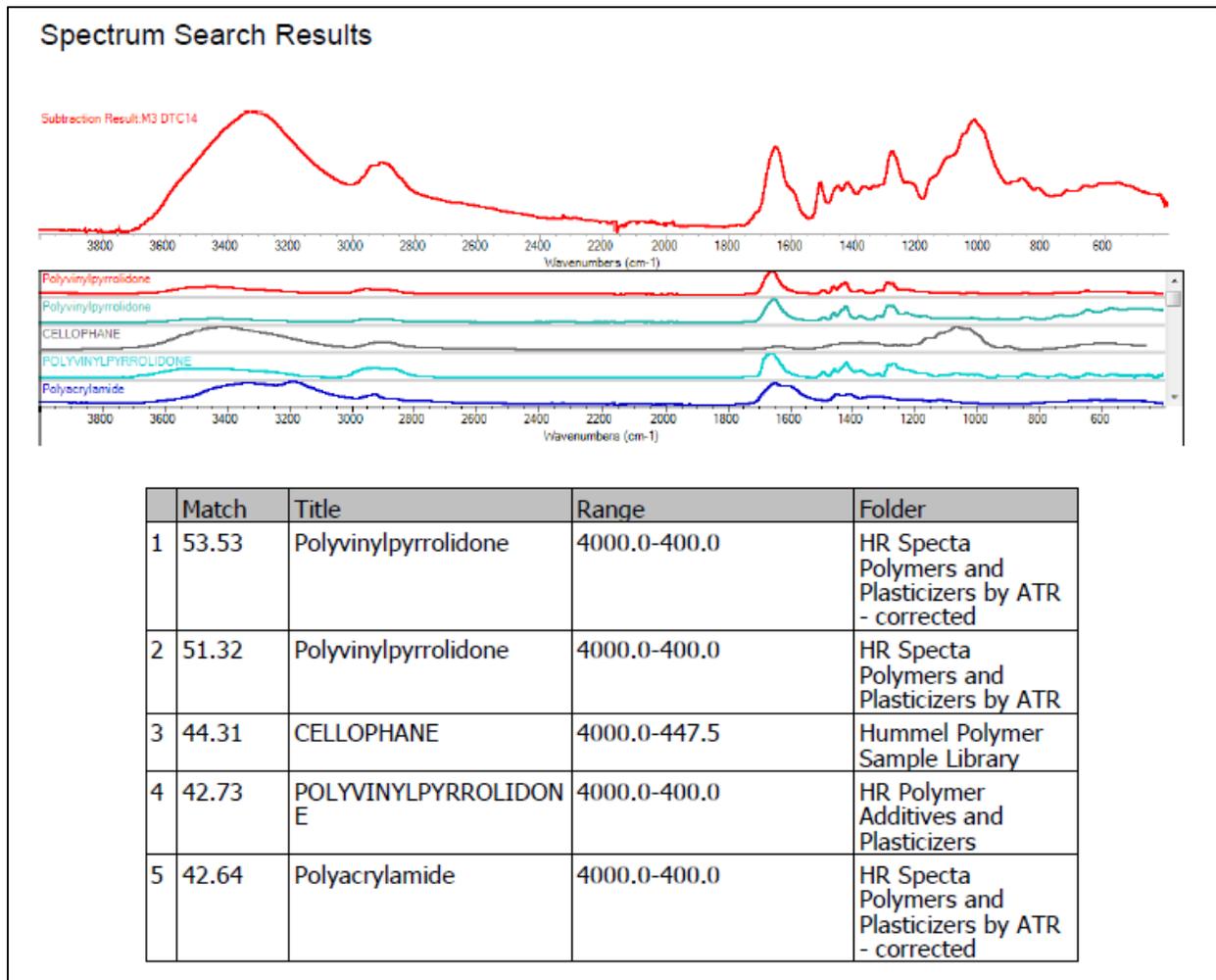


Figura 89

Espectro IR FTIR DTC

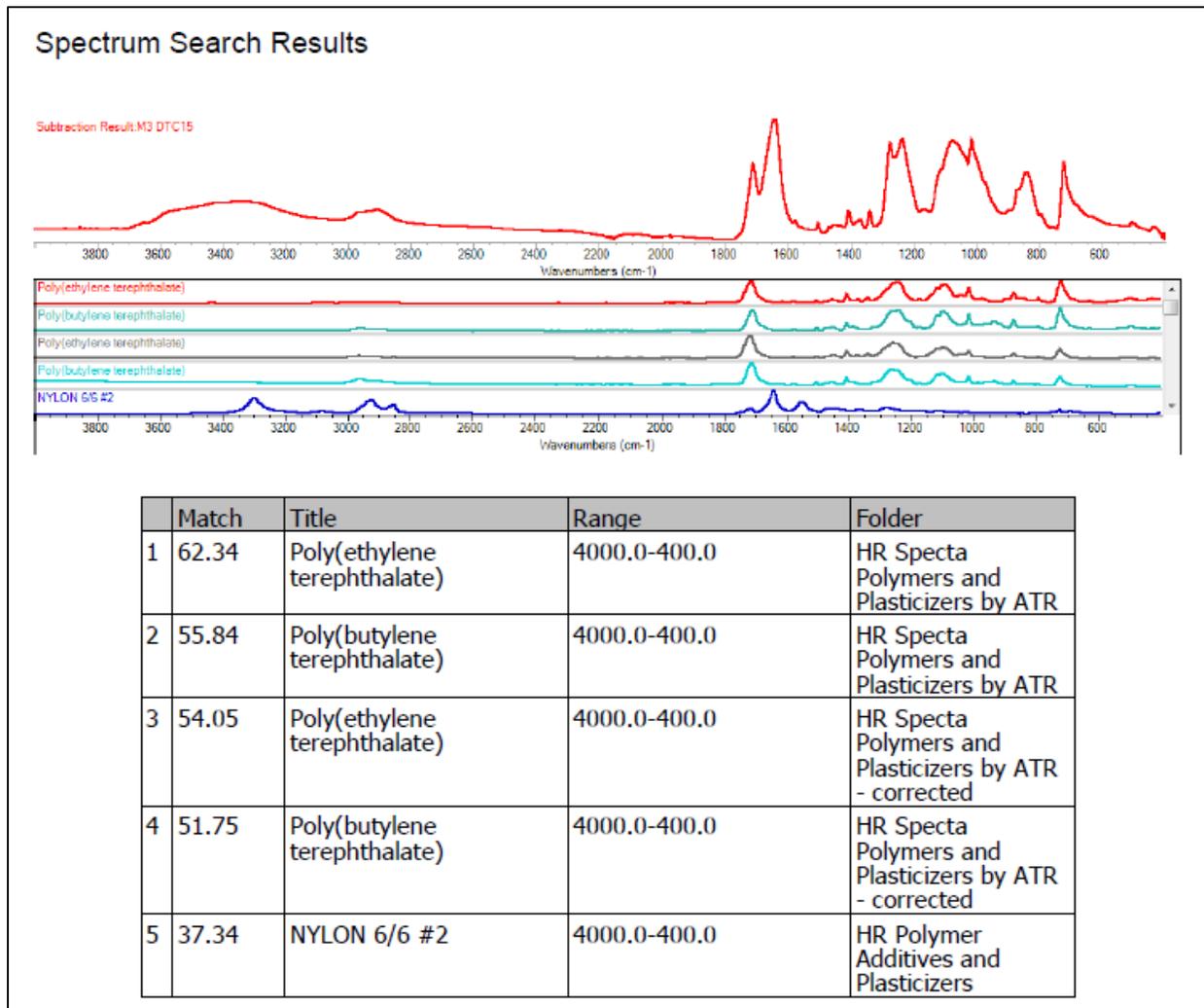


Figura 90

Espectro IR FTIR DTC

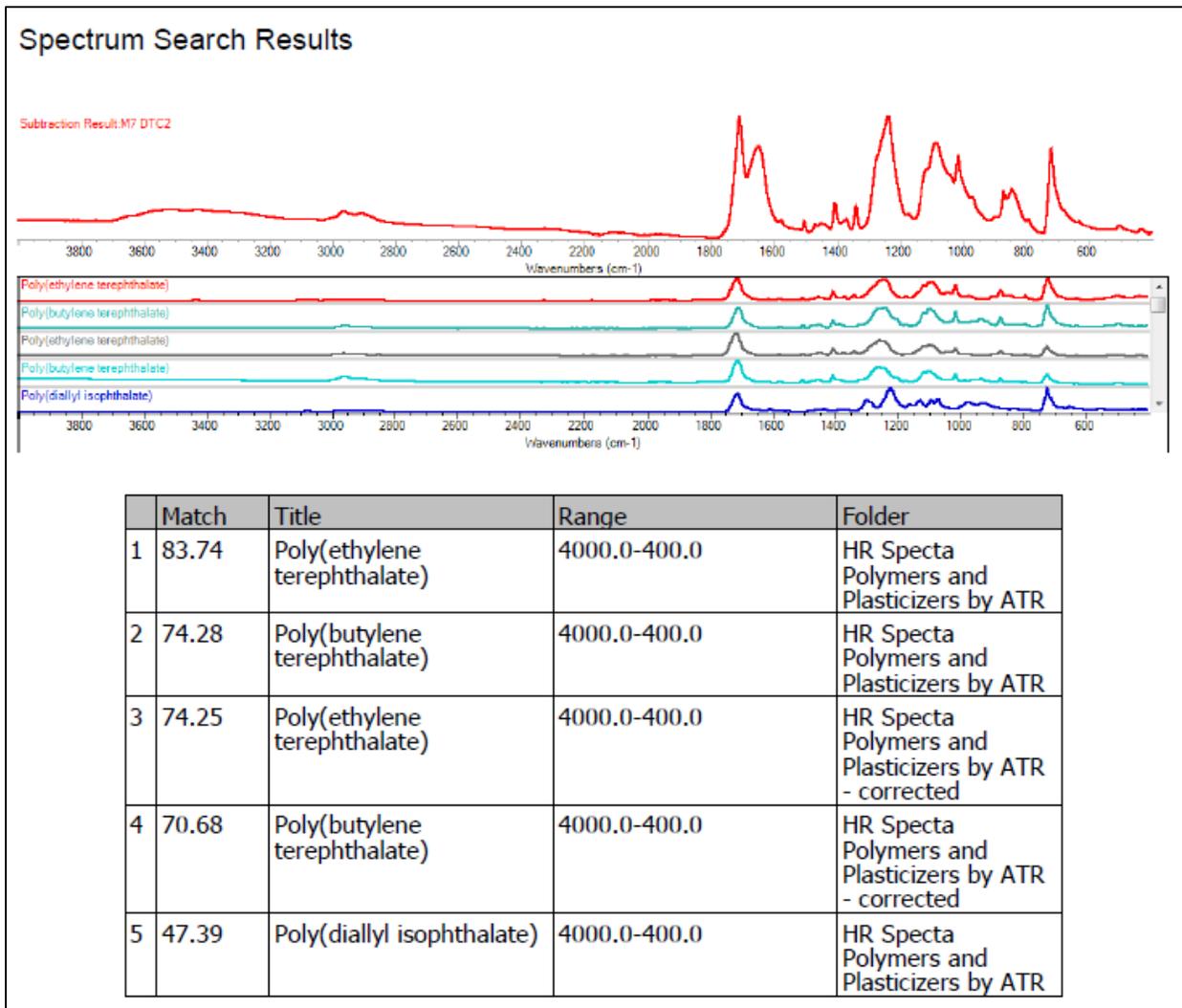


Figura 91

Espectro IR FTIR DTC

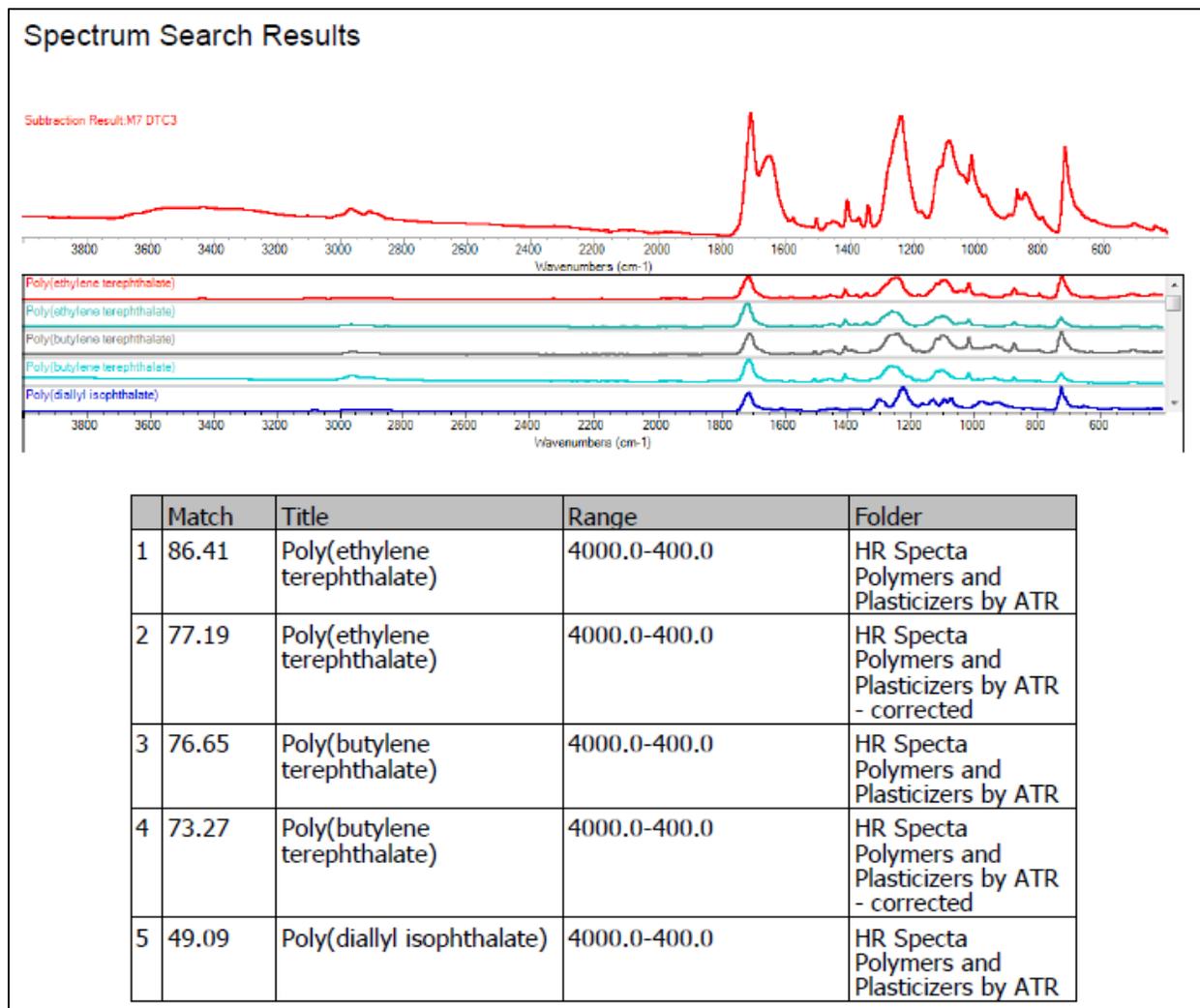


Figura 92

Espectro IR FTIR DTC

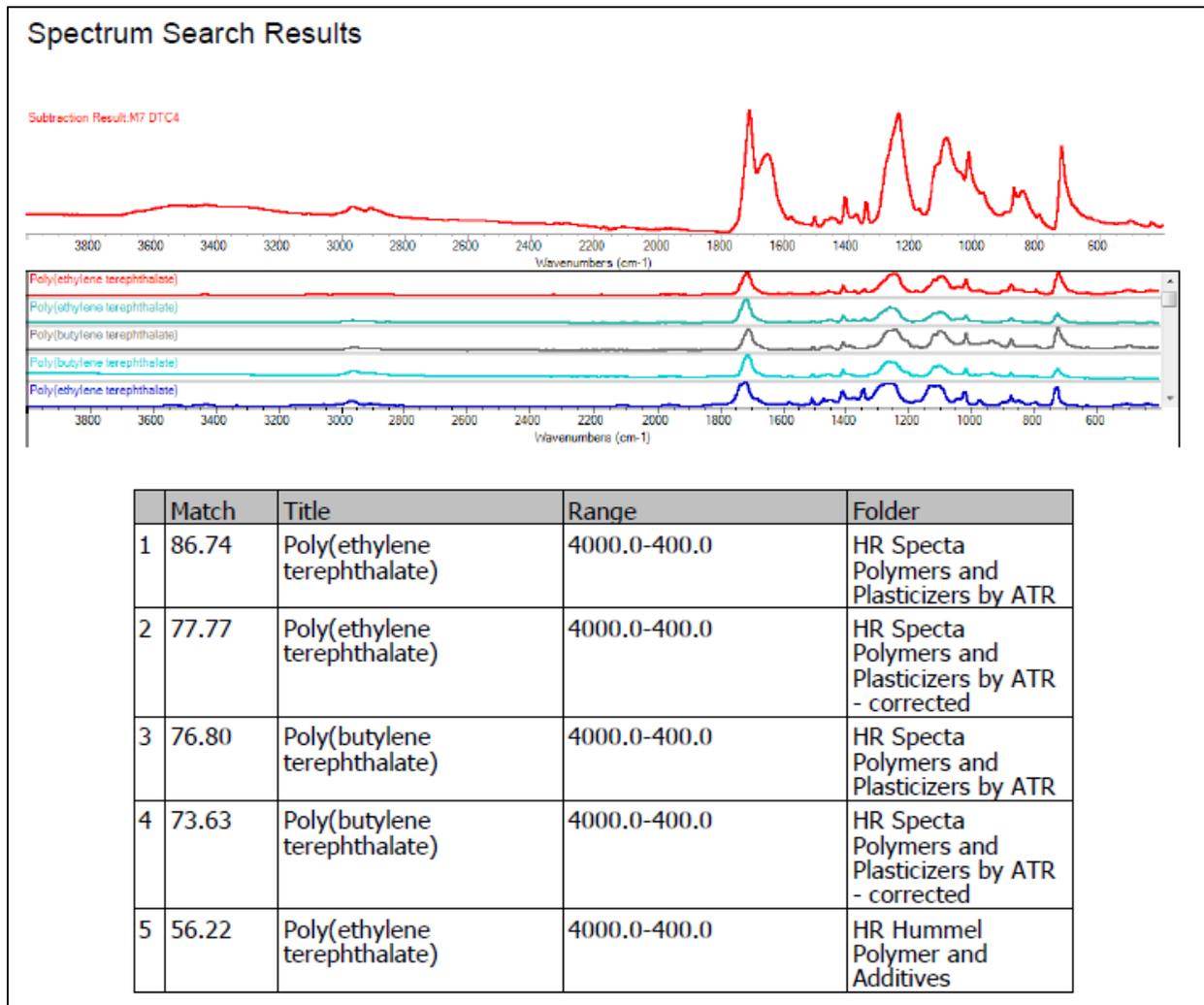


Figura 93

Espectro IR FTIR DTC

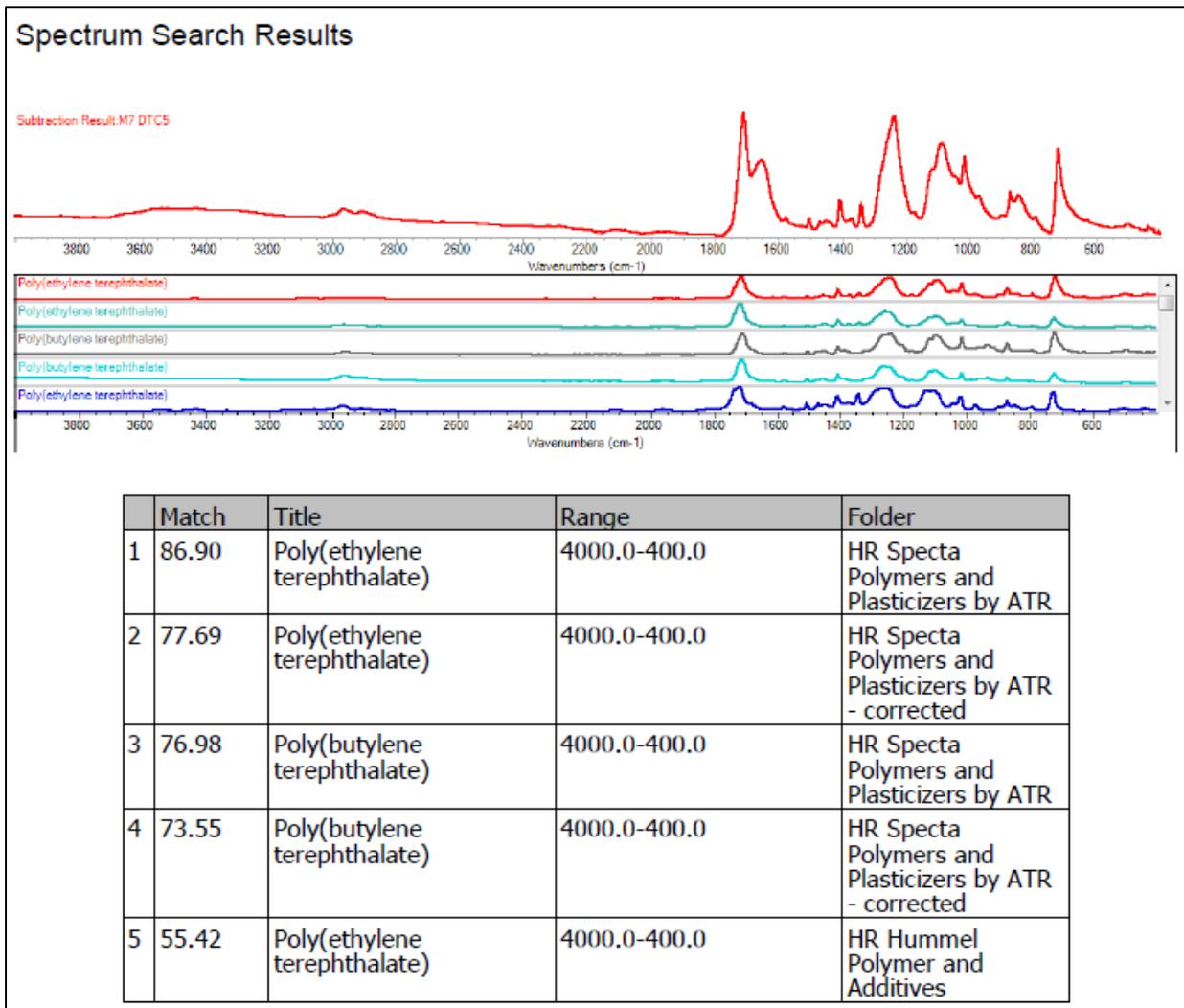


Figura 94

Espectro IR FTIR DTC

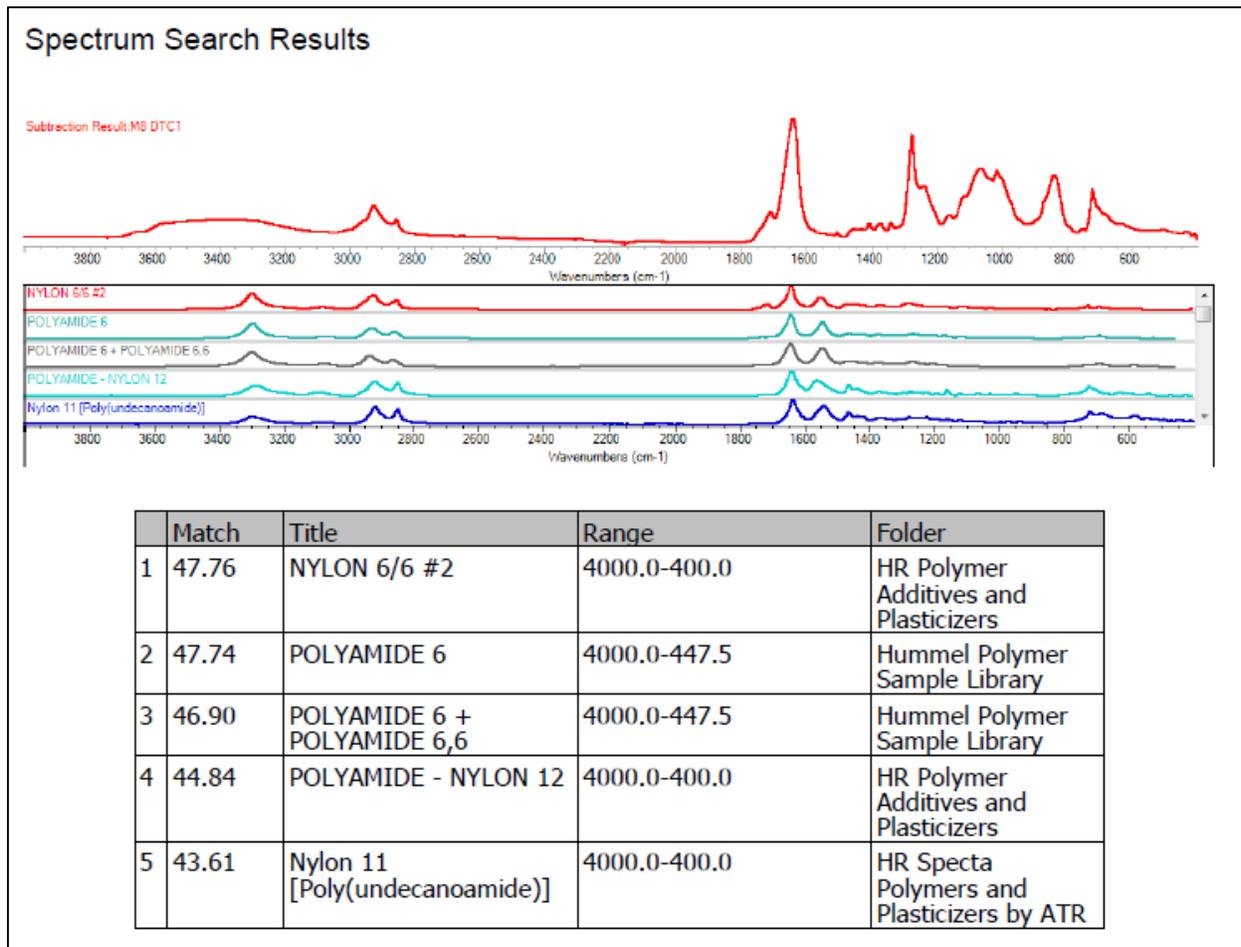


Figura 95

Espectro IR FTIR DTC

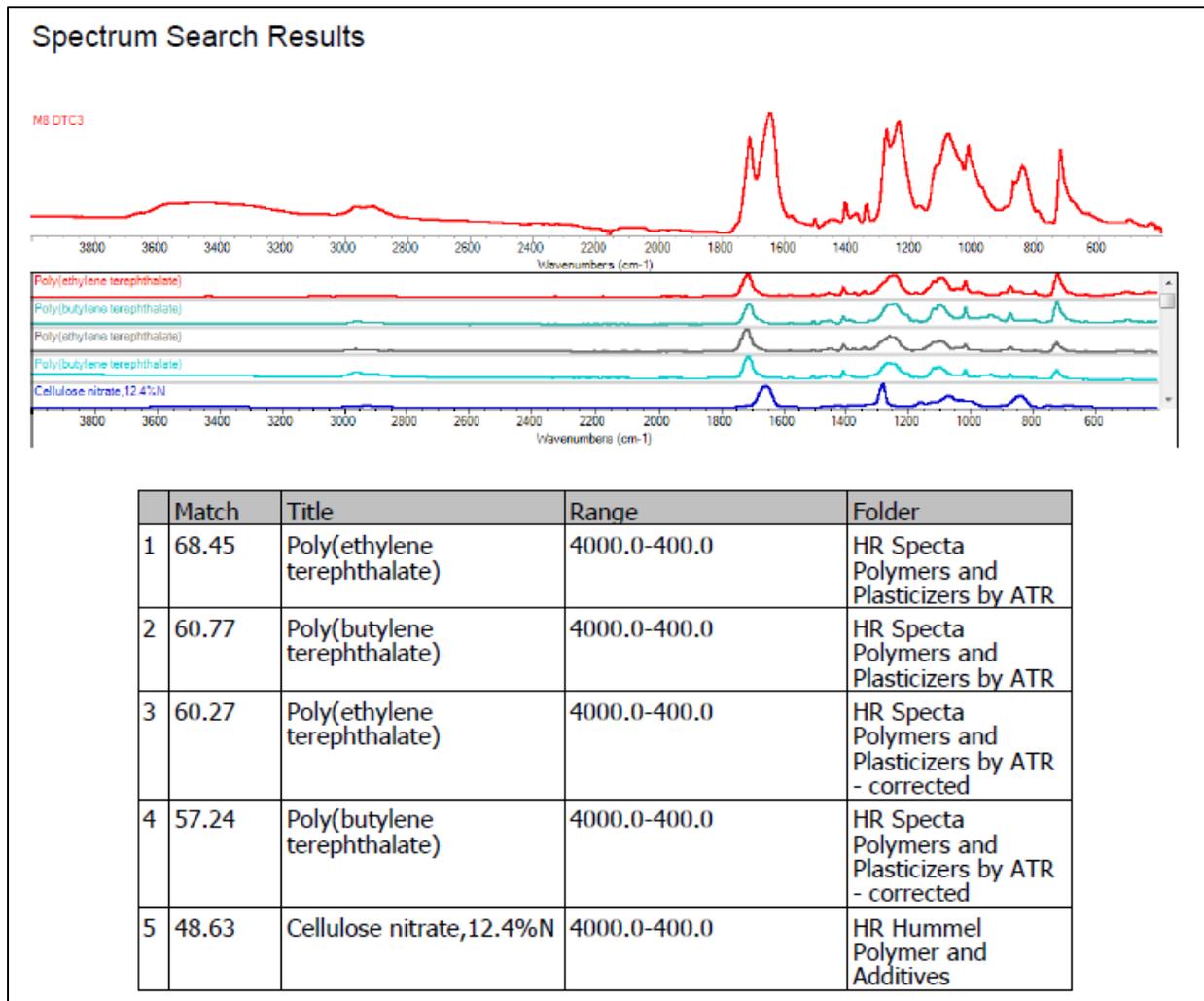
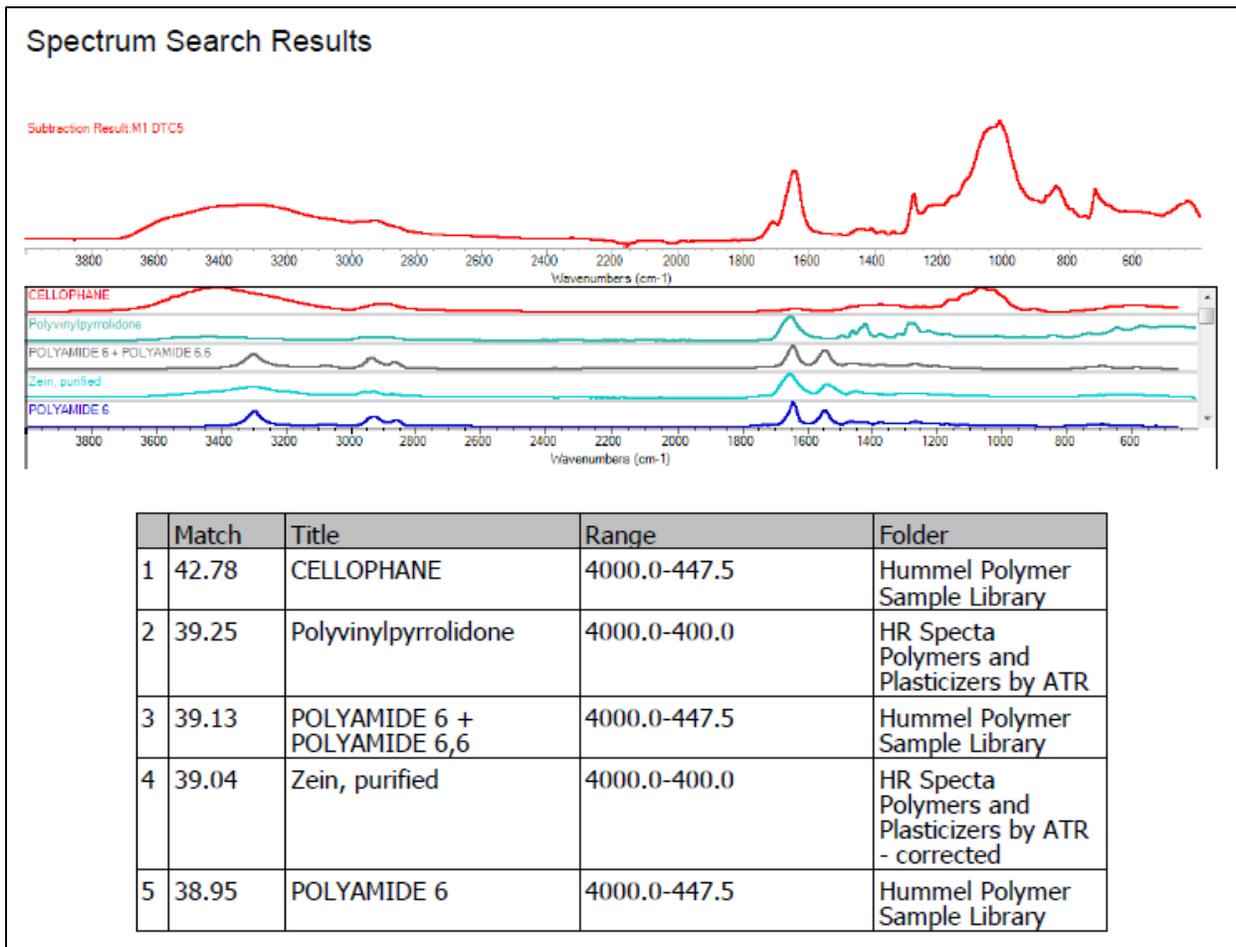


Figura 96

Espectro IR FTIR DTC



Punto de monitoreo 10 BRY

Figura 97

Espectro IR FTIR BRY

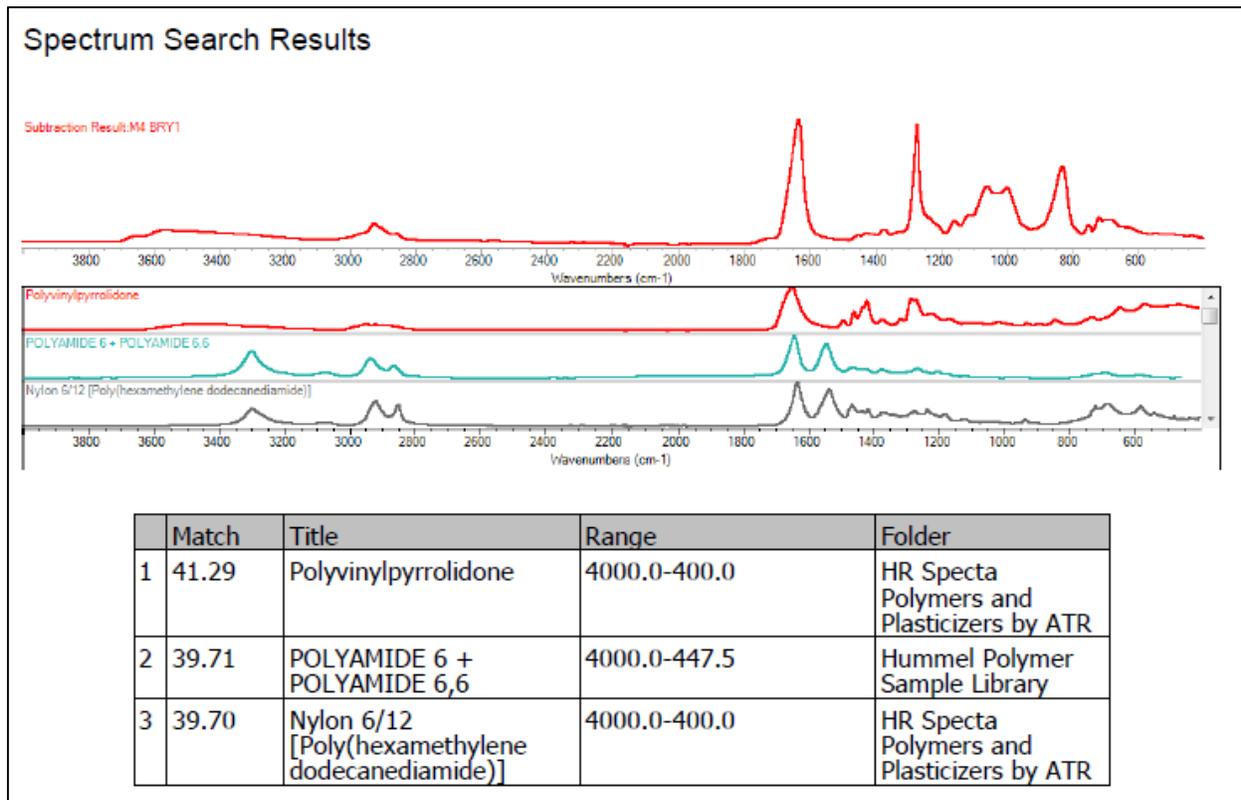


Figura 98

Espectro IR FTIR BRY

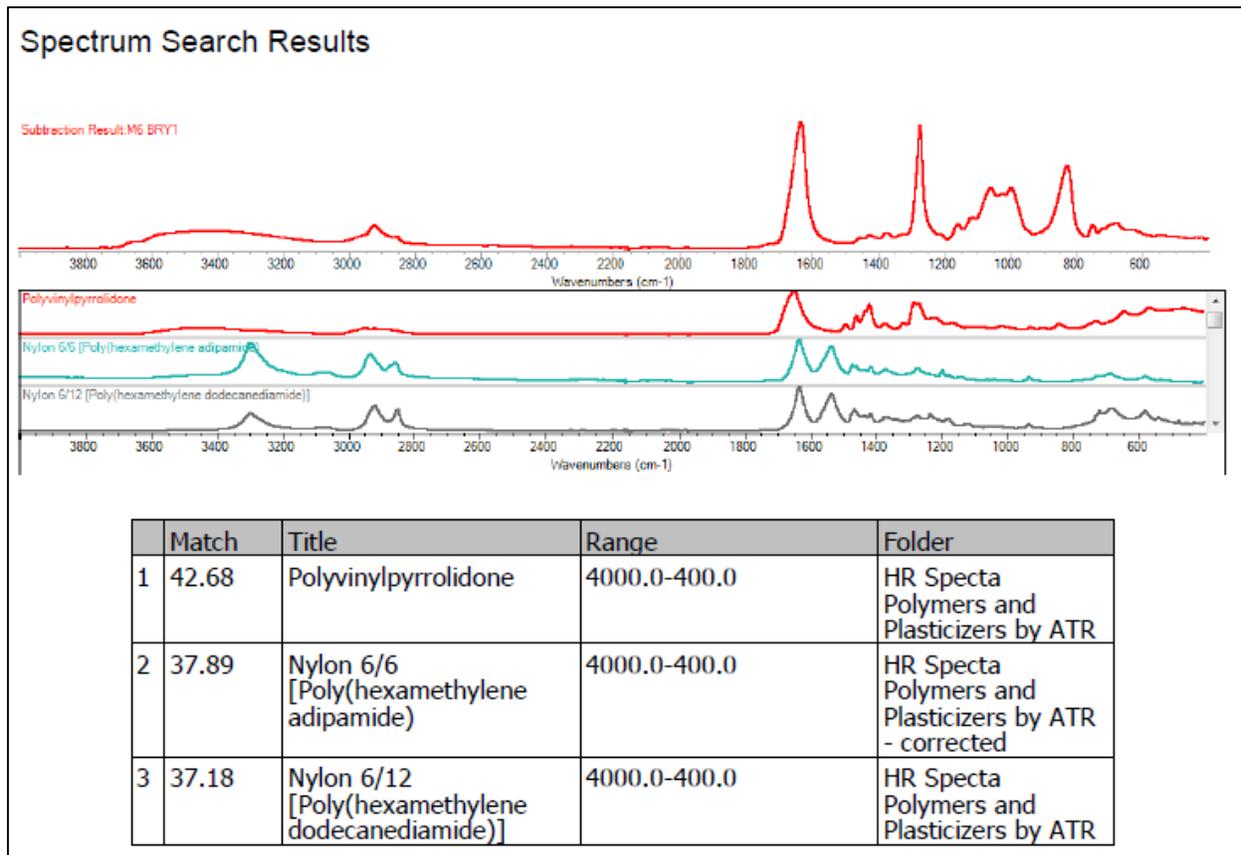


Figura 99

Espectro IR FTIR BRY

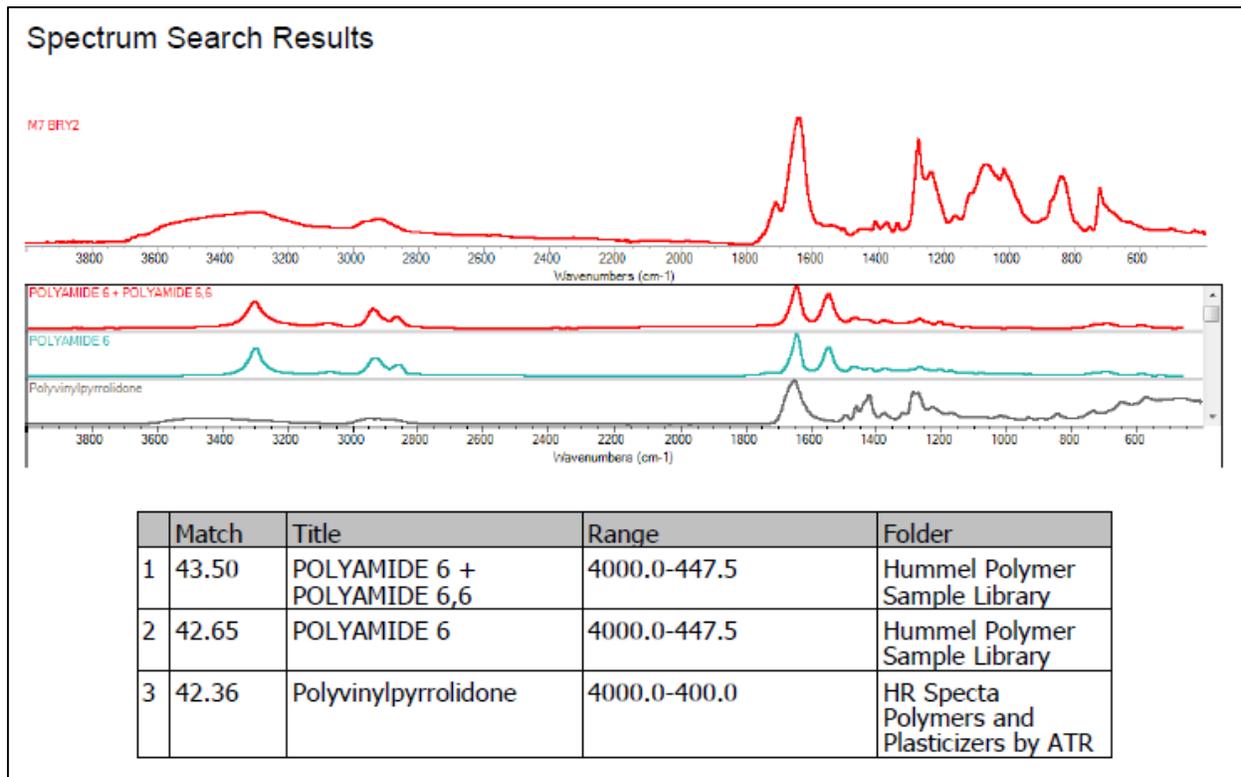


Figura 100

Espectro IR FTIR BRY

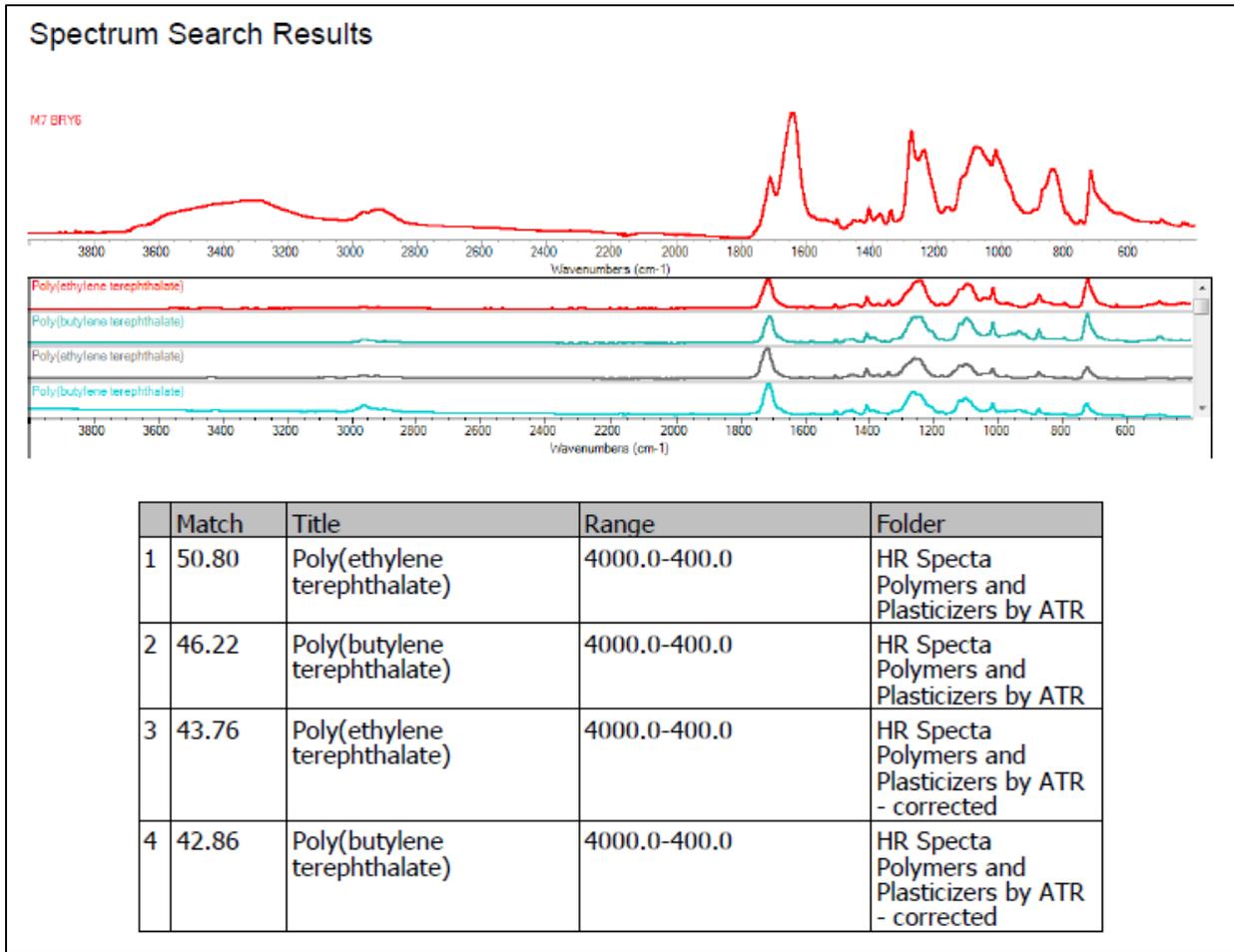
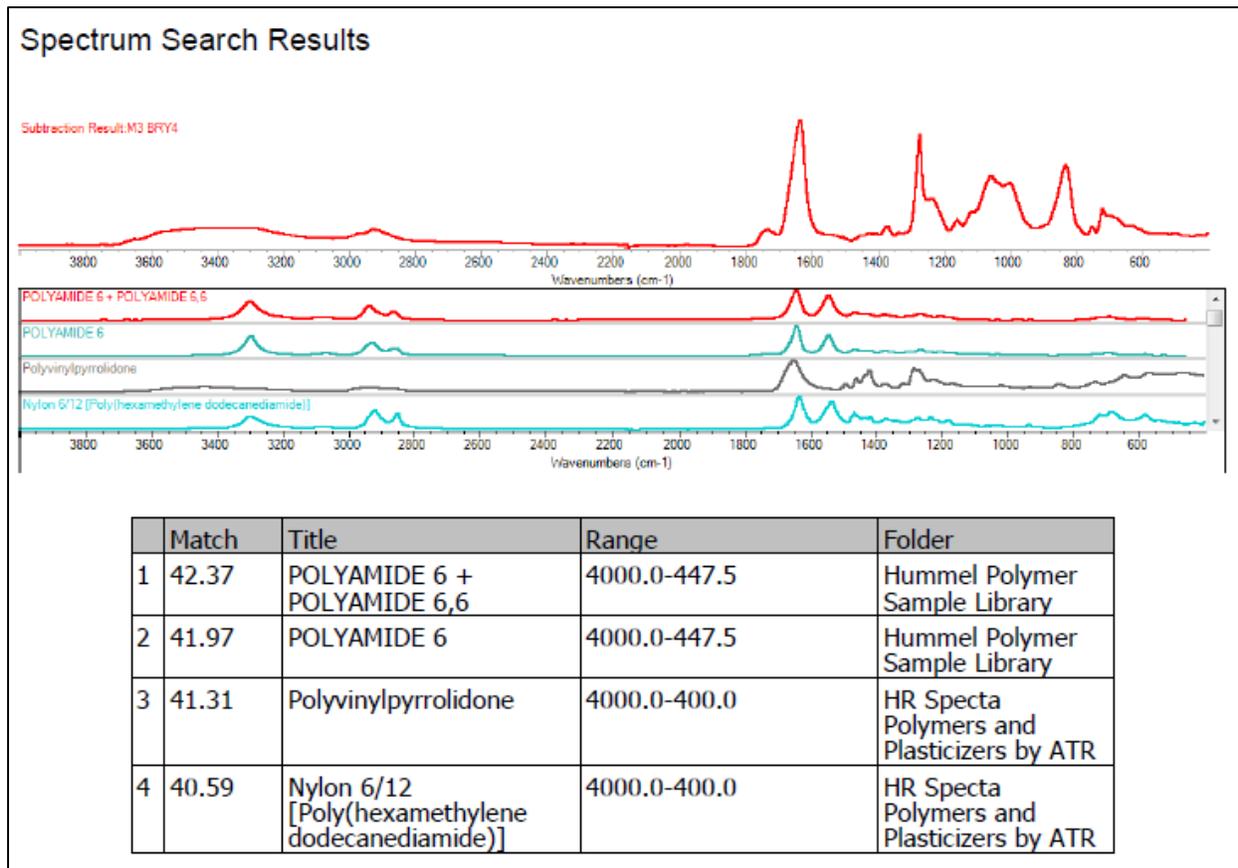


Figura 101

Espectro IR FTIR BRY



Anexo H

Prueba de Tukey, Descripción del Comportamiento de los Metales Pesados

Tabla 37

Comportamiento estadístico de los valores de concentración de metales pesados Cr, Cd, Hg y Pb por punto de monitoreo mediante el método de Tukey

Muestras	Metales	P	Conclusión	Agrupación
MAE	Cr	0,998	No son iguales	
MAE	Cd	1,000	No son iguales	
MAE	Hg	1,000	No son iguales	
MAE	Pb	0,889	No son iguales	

MAE	Cr	0,997	No son iguales	
MAE	Cd	1,000	No son iguales	
MAE	Hg	1,000	No son iguales	
MAE	Pb	0,003	Son iguales	IAC
MAE	Cr	0,977	No son iguales	
MAE	Cd	1,000	No son iguales	
MAE	Hg	1,000	No son iguales	
MAE	Pb	0,005	Son iguales	ACC
MAE	Cr	0,997	No son iguales	
MAE	Cd	1,000	No son iguales	
MAE	Hg	1,000	No son iguales	
MAE	Pb	0,085	No son iguales	
MAE	Cr	0,985	No son iguales	
MAE	Cd	1,000	No son iguales	
MAE	Hg	1,000	No son iguales	
MAE	Pb	0,683	No son iguales	
MAE	Cr	1,000	No son iguales	
MAE	Cd	1,000	No son iguales	
MAE	Hg	1,000	No son iguales	
MAE	Pb	0,001	Son iguales	ELC
MAE	Cr	0,992	No son iguales	
MAE	Cd	1,000	No son iguales	
MAE	Hg	0,067	No son iguales	
MAE	Pb	0,009	Son iguales	PDL
MAE	Cr	1,000	No son iguales	
MAE	Cd	1,000	No son iguales	
MAE	Hg	1,000	No son iguales	
MAE	Pb	0,886	No son iguales	
MAE	Cr	0,997	No son iguales	
MAE	Cd	1,000	No son iguales	
MAE	Hg	1,000	No son iguales	

MAE	Pb	0,421	No son iguales	
IPI	Cr	0,996	No son iguales	
IPI	Cd	1,000	No son iguales	
IPI	Hg	1,000	No son iguales	
IPI	Pb	0,003	Son iguales	IAC
IPI	Cr	0,975	No son iguales	
IPI	Cd	1,000	No son iguales	
IPI	Hg	1,000	No son iguales	
IPI	Pb	0,004	Son iguales	ACC
IPI	Cr	0,996	No son iguales	
IPI	Cd	1,000	No son iguales	
IPI	Hg	1,000	No son iguales	
IPI	Pb	0,081	No son iguales	
IPI	Cr	0,984	No son iguales	
IPI	Cd	1,000	No son iguales	
IPI	Hg	1,000	No son iguales	
IPI	Pb	0,670	No son iguales	
IPI	Cr	1,000	No son iguales	
IPI	Cd	1,000	No son iguales	
IPI	Hg	1,000	No son iguales	
IPI	Pb	0,001	Son iguales	ELC
IPI	Cr	0,991	No son iguales	
IPI	Cd	1,000	No son iguales	
IPI	Hg	0,064	No son iguales	
IPI	Pb	0,009	Son iguales	PDL
IPI	Cr	1,000	No son iguales	
IPI	Cd	1,000	No son iguales	
IPI	Hg	1,000	No son iguales	
IPI	Pb	0,878	No son iguales	
IPI	Cr	0,997	No son iguales	
IPI	Cd	1,000	No son iguales	

IPI	Hg	1,000	No son iguales	
IPI	Pb	0,408	No son iguales	
IAC	Cr	0,975	No son iguales	
IAC	Cd	1,000	No son iguales	
IAC	Hg	1,000	No son iguales	
IAC	Pb	0,004	Son iguales	ACC
IAC	Cr	0,996	No son iguales	
IAC	Cd	1,000	No son iguales	
IAC	Hg	1,000	No son iguales	
IAC	Pb	0,081	No son iguales	
IAC	Cr	0,983	No son iguales	
IAC	Cd	1,000	No son iguales	
IAC	Hg	1,000	No son iguales	
IAC	Pb	0,669	No son iguales	
IAC	Cr	1,000	No son iguales	
IAC	Cd	1,000	No son iguales	
IAC	Hg	1,000	No son iguales	
IAC	Pb	0,001	Son iguales	ELC
IAC	Cr	0,991	No son iguales	
IAC	Cd	1,000	No son iguales	
IAC	Hg	0,063	No son iguales	
IAC	Pb	0,008	Son iguales	PDL
IAC	Cr	1,000	No son iguales	
IAC	Cd	1,000	No son iguales	
IAC	Hg	1,000	No son iguales	
IAC	Pb	0,878	No son iguales	
IAC	Cr	0,997	No son iguales	
IAC	Cd	1,000	No son iguales	
IAC	Hg	1,000	No son iguales	
IAC	Pb	0,407	No son iguales	
ACC	Cr	0,992	No son iguales	

ACC	Cd	1,000	No son iguales	
ACC	Hg	1,000	No son iguales	
ACC	Pb	0,064	No son iguales	
ACC	Cr	0,973	No son iguales	
ACC	Cd	1,000	No son iguales	
ACC	Hg	1,000	No son iguales	
ACC	Pb	0,608	No son iguales	
ACC	Cr	1,000	No son iguales	
ACC	Cd	1,000	No son iguales	
ACC	Hg	1,000	No son iguales	
ACC	Pb	0,000	Son iguales	ELC
ACC	Cr	0,984	No son iguales	
ACC	Cd	1,000	No son iguales	
ACC	Hg	0,050	No son iguales	
ACC	Pb	0,006	Son iguales	PDL
ACC	Cr	1,000	No son iguales	
ACC	Cd	1,000	No son iguales	
ACC	Hg	1,000	No son iguales	
ACC	Pb	0,837	No son iguales	
ACC	Cr	0,994	No son iguales	
ACC	Cd	1,000	No son iguales	
ACC	Hg	1,000	No son iguales	
ACC	Pb	0,352	No son iguales	
CSC	Cr	0,970	No son iguales	
CSC	Cd	1,000	No son iguales	
CSC	Hg	1,000	No son iguales	
CSC	Pb	0,593	No son iguales	
CSC	Cr	1,000	No son iguales	
CSC	Cd	1,000	No son iguales	
CSC	Hg	1,000	No son iguales	
CSC	Pb	0,000	Son iguales	ELC

CSC	Cr	0,982	No son iguales	
CSC	Cd	1,000	No son iguales	
CSC	Hg	0,047	No son iguales	
CSC	Pb	0,006	Son iguales	PDL
CSC	Cr	1,000	No son iguales	
CSC	Cd	1,000	No son iguales	
CSC	Hg	1,000	No son iguales	
CSC	Pb	0,826	No son iguales	
CSC	Cr	0,993	No son iguales	
CSC	Cd	1,000	No son iguales	
CSC	Hg	1,000	No son iguales	
CSC	Pb	0,339	No son iguales	
UCCY	Cr	1,000	No son iguales	
UCCY	Cd	1,000	No son iguales	
UCCY	Hg	1,000	No son iguales	
UCCY	Pb	0,000	Son iguales	ELC
UCCY	Cr	0,984	No son iguales	
UCCY	Cd	1,000	No son iguales	
UCCY	Hg	0,051	No son iguales	
UCCY	Pb	0,006	Son iguales	PDL
UCCY	Cr	1,000	No son iguales	
UCCY	Cd	1,000	No son iguales	
UCCY	Hg	1,000	No son iguales	
UCCY	Pb	0,840	No son iguales	
UCCY	Cr	0,994	No son iguales	
UCCY	Cd	1,000	No son iguales	
UCCY	Hg	1,000	No son iguales	
UCCY	Pb	0,356	No son iguales	
ELC	Cr	0,545	No son iguales	
ELC	Cd	0,000	Son iguales	PDL
ELC	Hg	1,000	No son iguales	

ELC	Pb	1,000	No son iguales	
ELC	Cr	0,109	No son iguales	
ELC	Cd	0,000	Son iguales	DTC
ELC	Hg	0,000	Son iguales	DTC
ELC	Pb	0,868	No son iguales	
ELC	Cr	0,436	No son iguales	
ELC	Cd	0,000	Son iguales	BRY
ELC	Hg	0,000	Son iguales	BRY
ELC	Pb	0,998	No son iguales	
PDL	Cr	0,882	No son iguales	
PDL	Cd	0,045	No son iguales	
PDL	Hg	0,002	Son iguales	DTC
PDL	Pb	1,000	No son iguales	
PDL	Cr	0,997	No son iguales	
PDL	Cd	0,046	No son iguales	
PDL	Hg	0,002	Son iguales	BRY
PDL	Pb	1,000	No son iguales	
DTC	Cr	0,675	No son iguales	
DTC	Cd	1,000	No son iguales	
DTC	Hg	1,000	No son iguales	
DTC	Pb	0,037	Son iguales	BRY

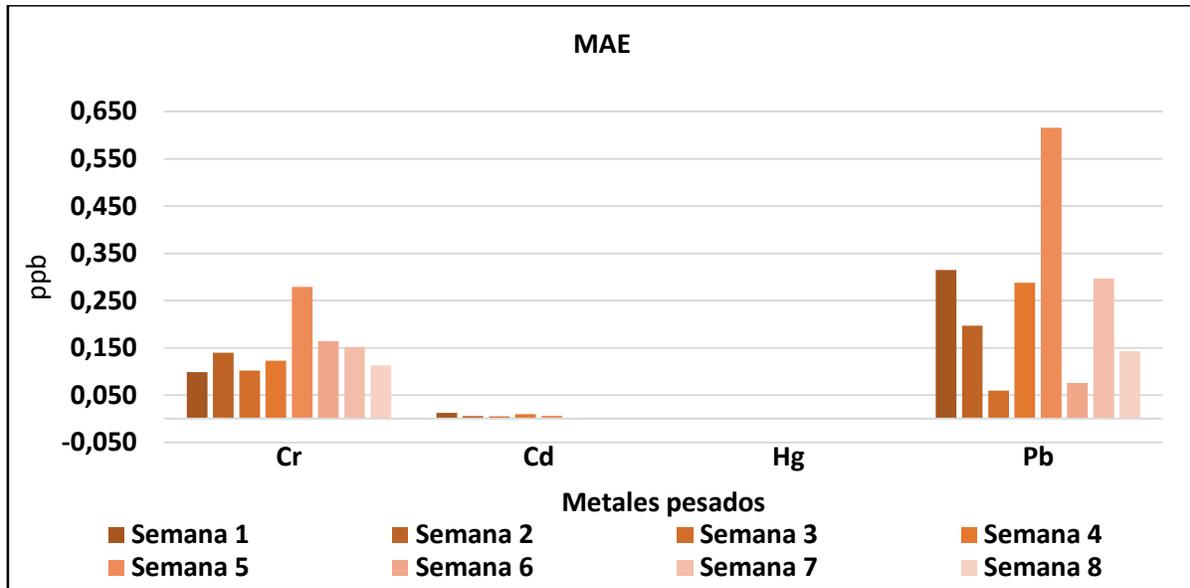
Anexo I

Diagramas de Barras para el Análisis de la Concentración de Metales Pesados Cr, Cd, Hg y Pb

Punto de monitoreo 1 MAE

Figura 102

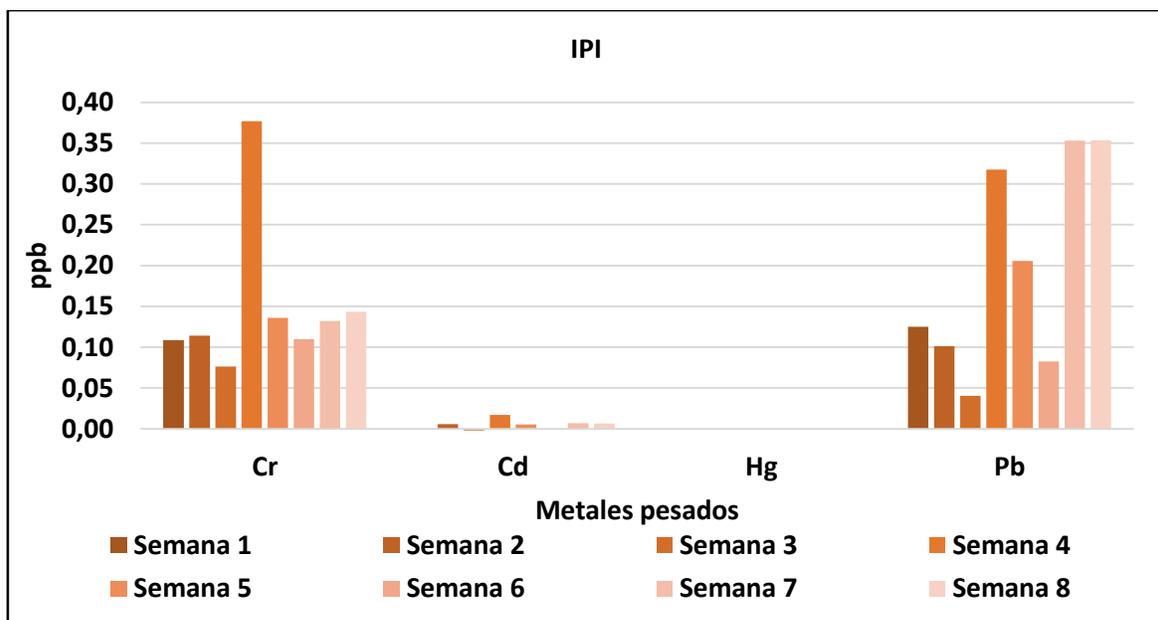
Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, punto de monitoreo MAE



Punto de monitoreo 2 IPI

Figura 103

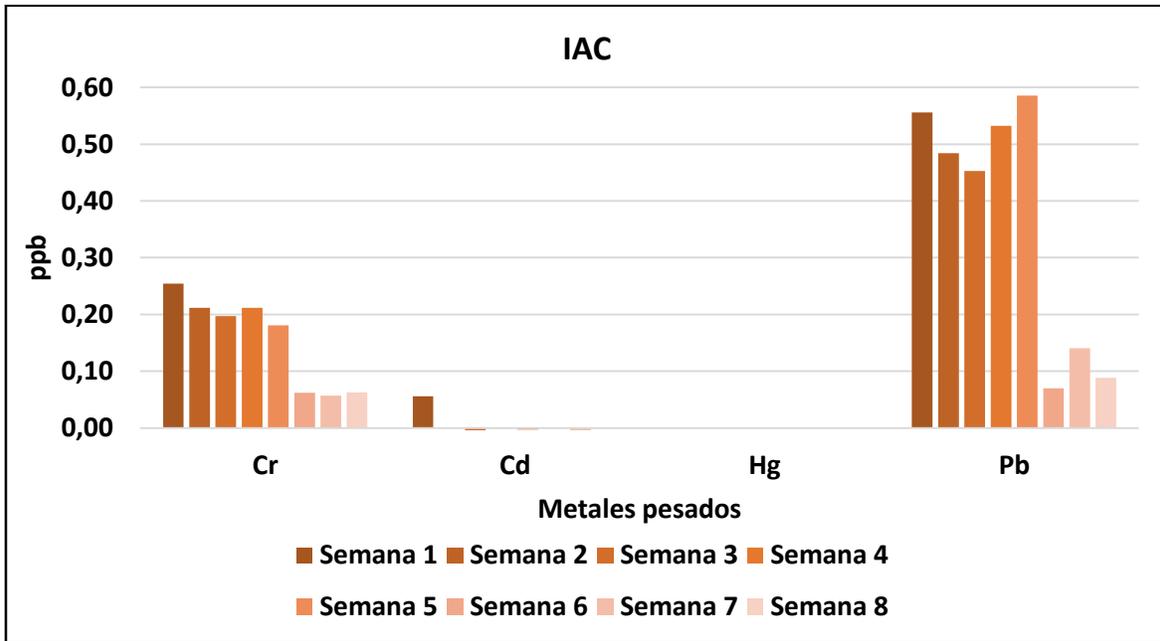
Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y P, punto de monitoreo IPI



Punto de monitoreo 3 IAC

Figura 104

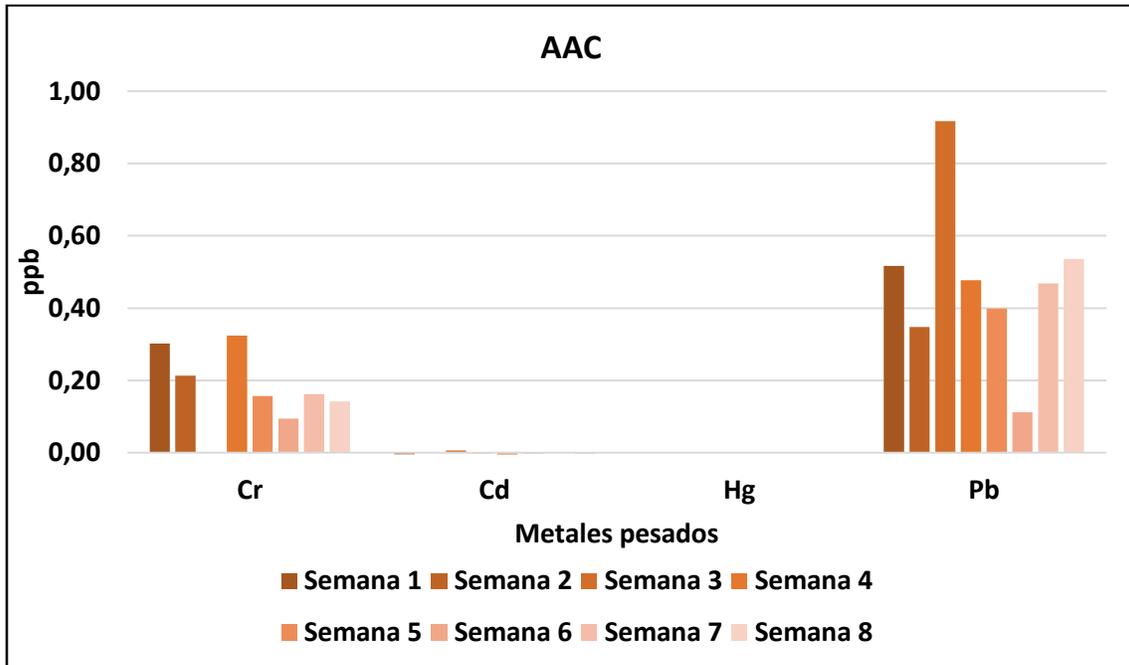
Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, punto de monitoreo IAC



Punto de monitoreo 4 AAC

Figura 105

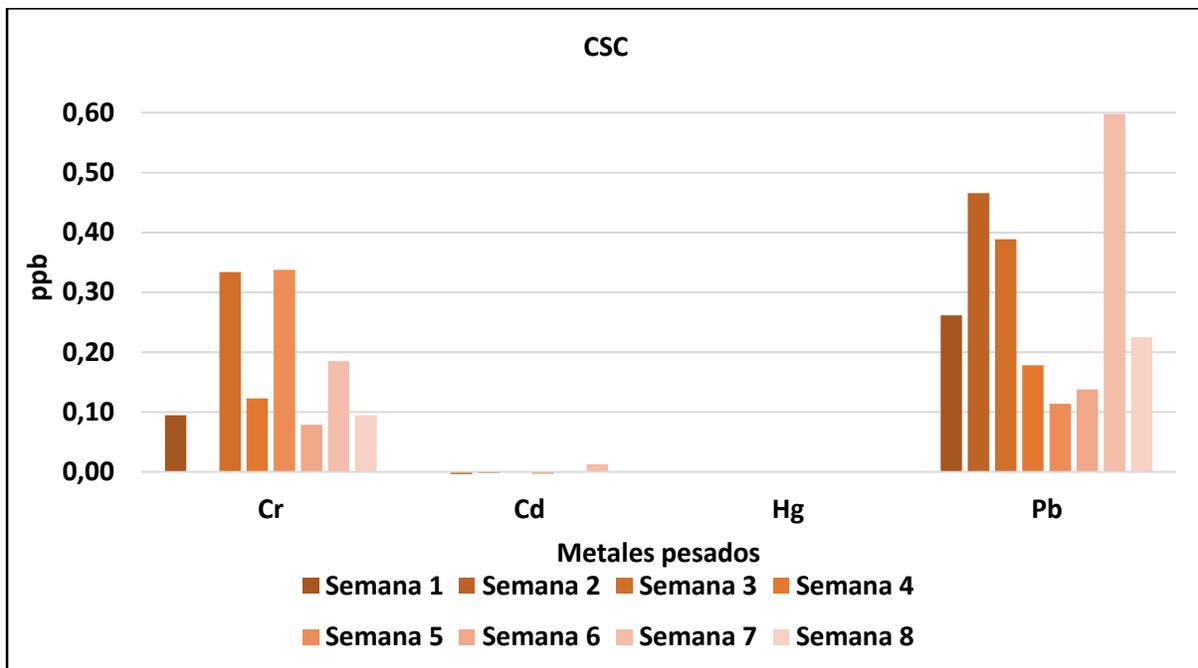
Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, punto de monitoreo AAC



Punto de monitoreo 5 CSC

Figura 106

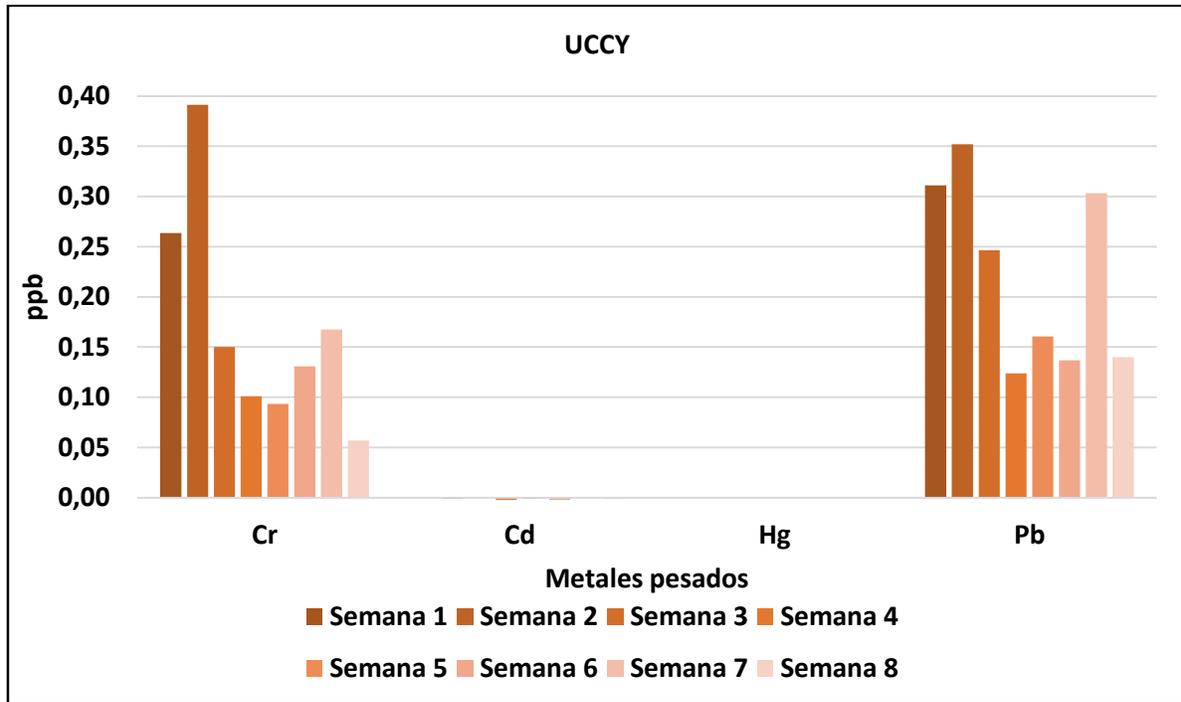
Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, punto de monitoreo CSC



Punto de monitoreo 6 UCCY

Figura 107

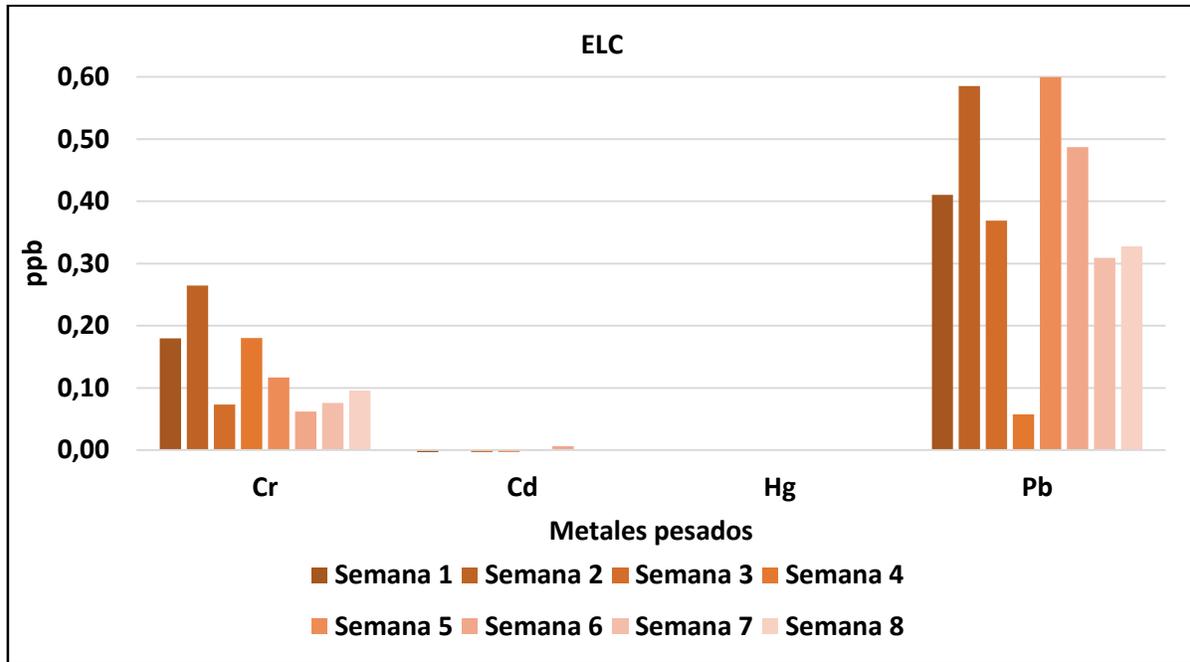
Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, punto de monitoreo UCCY



Punto de monitoreo 7 ELC

Figura 108

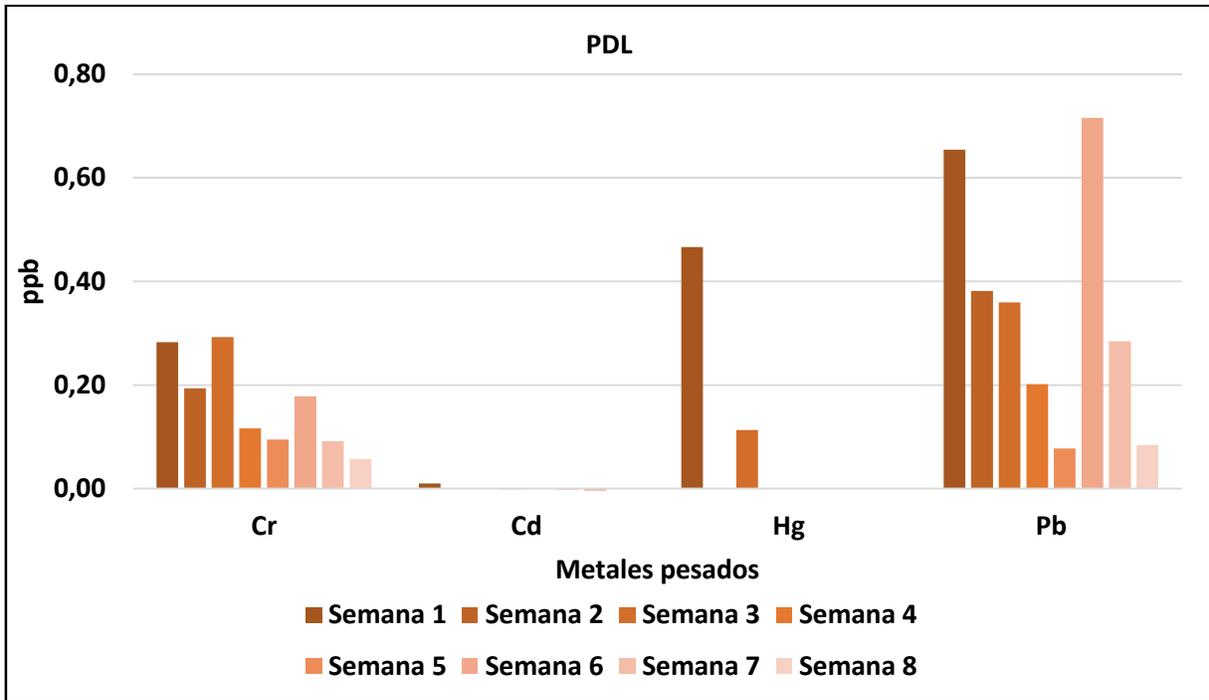
Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, punto de monitoreo ELC



Punto de monitoreo 8 PDL

Figura 109

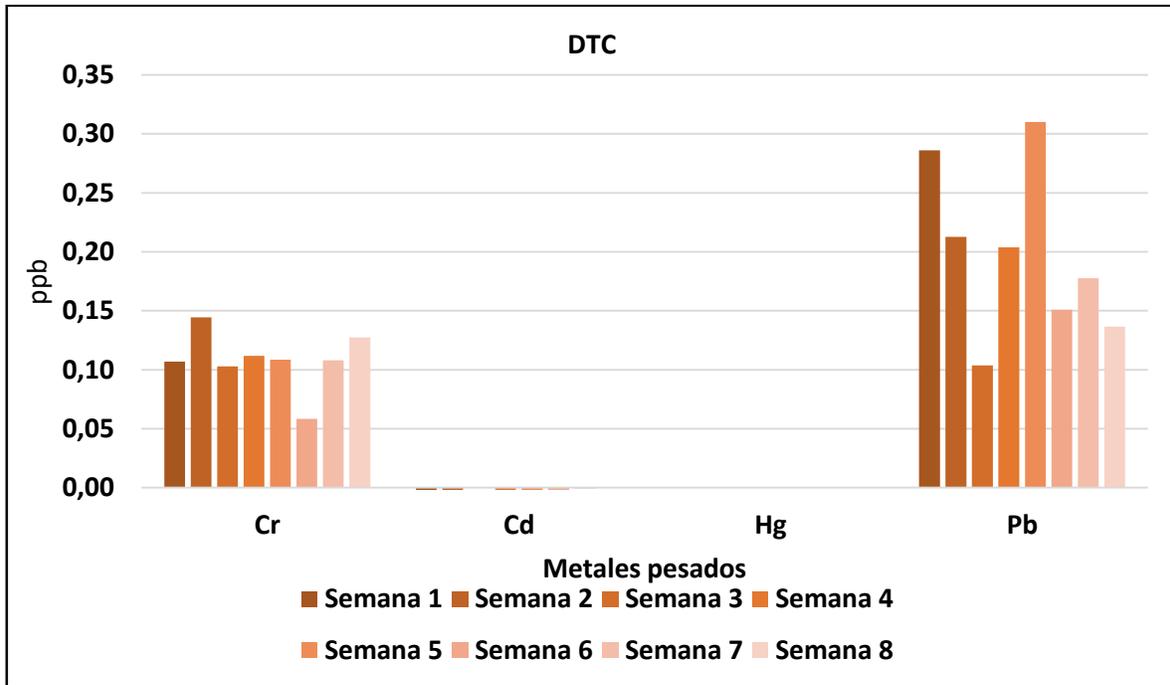
Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, punto de monitoreo PDL



Punto de monitoreo 9 DTC

Figura 110

Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, punto de monitoreo DTC



Punto de monitoreo 10 BRY

Figura 111

Concentración promedio de metales pesados Cd, Cr, Hg y Pb, punto de monitoreo BRY

