

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis previa a la obtención del título de:

Ingeniero Ambiental

TEMA:

*“Determinación de las concentraciones de iones presentes
en el agua lluvia de la zona urbana de la Ciudad de Cuenca
causantes de la lluvia ácida”*

AUTORA:

Lourdes Elizabeth Ayala Morales

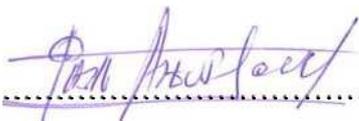
DIRECTOR:

Pablo Arevalo Ph.D.

Cuenca, agosto de 2014

CERTIFICACIÓN

Certifico, que el presente trabajo intitulado “*Determinación de las concentraciones de iones presentes en el agua lluvia de la zona urbana de la Ciudad de Cuenca causantes de la lluvia ácida*” fue realizado por Ayala Morales Lourdes Elizabeth, bajo mi supervisión.



.....

Pablo Arevalo Moscoso Ph.D.

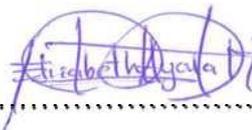
DIRECTOR DE TESIS

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de la autora.

A través de la presente declaración cedo mi derecho de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Cuenca, agosto de 2014.



.....
Lourdes Elizabeth Ayala Morales

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por la vida y por los medios brindados para la culminación de esta importante etapa en mi vida

A Pablo Arévalo Ph.D., director de tesis, quien me ha aportado con sus conocimientos, críticas, sugerencias y comentarios durante la realización de este trabajo.

A mis padres, Jorge y Luly, y a mi abuelita Carmita quienes me entregan su amor y apoyo incondicional.

A todas los familiares, amigo/as y todos quienes me han acompañado en el transcurso de mi vida.

DEDICATORIA

A mis queridos, esposo e hijo

La Autora

RESUMEN

En este trabajo, se realizó la determinación de la concentración de los iones sulfato y nitrato del agua lluvia, causantes de la lluvia ácida, que se produce en la Ciudad de Cuenca. Mediante el uso del software ArcGIS 9.3 y de información de la Calidad del aire del año 2012 expuesta por la EMOV (Empresa Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de la Ciudad de Cuenca), se implementó una red de monitoreo de lluvia con 10 estaciones distribuidas en la ciudad.

El monitoreo se realizó durante los meses de junio y julio del año 2013, obteniendo 80 muestras, las mismas fueron tomadas a pocos minutos de producida la precipitación y almacenadas en recipientes esterilizados a 4°C. Los análisis se realizaron en un Cromatógrafo Iónico DIONEX ICS – 1600, con una columna AS18/4x250 mm y una precolumna AG18/4x50 mm siguiendo el correspondiente protocolo de funcionamiento y utilizando estándares de sulfato y nitrato de 1, 3 y 5 partes por millón realizadas en el laboratorio.

Los resultados de este estudio determinaron la presencia de sulfatos y nitratos en el agua lluvia; sin embargo estos no sobrepasan los rangos que indica la Organización Meteorológica Mundial. En comparación con el estudio realizado en Guadalajara, en donde se ha determinado lluvia ácida, el agua lluvia de la ciudad de Cuenca está por debajo de estos resultados.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
CAPITULO I.....	5
1. DEFINICIÓN DE LLUVIA.....	5
1.1. FORMACIÓN DE NUBES Y LLUVIA.....	5
1.1.1. Nubes	5
1.1.2. Lluvia	6
1.1.2.1. Formación de la lluvia:	6
1.1.2.2. Clasificación de la lluvia:.....	7
1.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LLUVIA	7
1.3. COMPUESTOS QUE PRODUCEN LA LLUVIA ÁCIDA	10
1.3.1. Factores ambientales influyentes en la lluvia ácida	11
1.3.2. Límites permitidos	12
1.4. EFECTOS DE LA LLUVIA ÁCIDA	12
1.5.LA CROMATOGRFÍA: método de análisis de nitratos y sulfatos en el agua lluvia.....	14
CAPÍTULO II	18
2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	18
2.1. COLOCACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO	18
2.1.1.DESCRIPCIÓN DE LOS FACTORES FÍSICOS DEL TERRITORIO A MONITOREAR	18
2.1.2. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	19

2.1.3.FACTORES INFLUYENTES EN LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE DEL CANTÓN CUENCA.....	21
2.1.3.1.Densidad poblacional	21
2.1.3.2. Tráfico vehicular	23
2.1.3.3. Industria	26
2.1.3.4. Viento.....	28
2.1.4. CRITERIOS PARA LA COLOCACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO	32
2.1.4.1. Modelamiento teórico de la contaminación por SO ₂ y NO ₂ en el área de estudio.	33
2.1.4.1.1. Método del Inverso de la Distancia Ponderada (IDW)	33
2.1.5. PUNTOS DE MUESTREO: ANÁLISIS DEL PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	40
2.2. MONITOREO.....	44
2.2.1. COLOCACIÓN DE MUESTRAS.....	44
2.2.1.1. Preparación de envases	44
2.2.1.2. Colocación de envases	45
2.2.1.3. Recolección y almacenamiento de muestras.....	45
2.2.2. ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO	47
2.2.2.1. MATERIALES Y REACTIVOS	47
2.2.2.2. Especificaciones del cromatógrafo iónico	48
2.2.2.3. Protocolo de funcionamiento: para el correcto funcionamiento del cromatógrafo iónico fueron necesarias las siguientes condiciones:.....	48
2.2.3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO	49
2.2.3.1. Preparación del eluyente y patrones.....	49

2.2.3.2. Análisis de muestras.....	52
CAPÍTULO III.....	55
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	55
3.1. RESULTADOS.....	55
3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS	56
3.2.1.CONCENTRACIÓN DEL ION NITRATO	61
3.2.2. CONCENTRACIÓN DEL ION SULFATO.....	81
3.3. PROYECCIONES	101
CAPÍTULO IV	106
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	106
4.1. CONCLUSIONES	106
4.2. RECOMENDACIONES.....	107
BIBLIOGRAFÍA	108
GLOSARIO	111
ANEXOS	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Rango de concentración de iones	12
Tabla 2.- Tráfico promedio diario anual	23
Tabla 3.- Tráfico promedio diario anual, calles aledañas.	24
Tabla 4.- Viento promedio en superficie 2012.....	30
Tabla 5.- Concentración media anual de contaminantes.....	32
Tabla 6.- Coordenadas y valores de la concentración del ion Nitrato en el agua lluvia	34
Tabla 7.- Distancia entre lugares y el punto a predecir.....	35

Tabla 8.- Coordenadas y valores de la concentración del ion Sulfato en el agua lluvia	36
Tabla 9.- Puntos de Muestreo.....	42
Tabla 10.- Tipo de uso de suelo de los puntos de monitoreo.....	44
Tabla 11.- Límites permisibles de sulfato, nitrato y pH.....	56
Tabla 12.- Análisis estadístico de la concentración del ion nitrato en las muestras de agua lluvia	58
Tabla 13.- Análisis estadístico de la concentración del ion sulfato en las muestras de agua lluvia	59
Tabla 14.- Resultados del pH del agua lluvia utilizando papel indicador.....	60
Tabla 15.- Análisis t student del punto PI.....	61
Tabla 16.- Análisis t student del punto UPS.....	63
Tabla 17.- Análisis t student del punto GS.....	65
Tabla 18.- Análisis t student del punto PC.....	67
Tabla 19.- Análisis t student del punto HC.....	69
Tabla 20.- Análisis t student del punto TP.....	71
Tabla 21.- Análisis t student del punto RC.....	73
Tabla 22.- Análisis t student del punto ARC.....	75
Tabla 23.- Análisis t student del punto LDB.....	77
Tabla 24.- Análisis t student del punto CS.....	79
Tabla 25.- Análisis t student del punto PI.....	81
Tabla 26.- Análisis t student del punto UPS.....	83
Tabla 27.- Análisis t student del punto GS.....	85
Tabla 28.- Análisis t student del punto PC.....	87
Tabla 29.- Análisis t student del punto HC.....	89

Tabla 30.- Análisis t student del punto TP.....	91
Tabla 31.- Análisis t student del punto RC.	93
Tabla 32.- Análisis t student del punto ARC.	95
Tabla 33.- Análisis t student del punto LDB.....	97
Tabla 34.- Análisis t student del punto CS.....	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Química de la cromatografía iónica	17
Figura 2. - Cromatograma líquido.....	17
Figura 3.- Ubicación de la Ciudad de Cuenca	19
Figura 4.- Delimitación del área de estudio.	20
Figura 5.- Densidad poblacional	22
Figura 6.- Tráfico vehicular	25
Figura 7.- Zona industrial.....	27
Figura 8.- El viento y su dirección de incidencia.....	28
Figura 9.- Resumen Histórico climatológico	29
Figura 10.- Vecindad del IDW del punto seleccionado.	37
Figura 11.- Distribución espacial de dióxido de azufre (SO ₂).....	38
Figura 12.- Distribución espacial de dióxido de azufre (SO ₂).....	39
Figura 13.- Concentración de contaminantes.....	41
Figura 14.- Mapa de puntos de muestreo	43
Figura 15.- Muestreador colocado en la Universidad Politécnica Salesiana	45
Figura 16.- Medición de pH de la muestra.....	46
Figura 17.- Filtración de la muestra.	46
Figura 18.- Almacenamiento de las muestras.	47

Figura 19.- Desgasificación del agua.	49
Figura 20.- Preparación de estándares.	50
Figura 21.- Preparación de estándares 1 parte por millón (ppm), 3 ppm y 5 ppm.....	50
Figura 22.- Cromatograma del estándar de 1 parte por millón (ppm)	51
Figura 23.- Cromatograma del estándar de 3 ppm.	51
Figura 24.- Cromatograma del estándar de 5 ppm.	52
Figura 25.- Toma de la muestra de agua lluvia con la jeringa.	52
Figura 26.- Colocación del filtro Millipore en la jeringa.	53
Figura 27.- Inyección en el cromatógrafo iónico.	53
Figura 28.- Cromatograma	54
Figura 29.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto PI.	62
Figura 30.- Histograma de capacidad del punto PI.	62
Figura 31.- Gráfica de caja del punto PI.	63
Figura 32.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto UPS.	64
Figura 33.- Histograma de capacidad del punto UPS.	64
Figura 34.- Gráfica de caja del punto UPS.	65
Figura 35.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto GS.	66
Figura 36.- Histograma de capacidad del punto GS.	66
Figura 37.- Gráfica de caja del punto GS.	67
Figura 38.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto PC.	68
Figura 39.- Histograma de capacidad del punto PC.	68
Figura 40.- Gráfica de caja del punto PC.	69
Figura 41.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto HC.	70
Figura 42.- Histograma de capacidad del punto HC.	70
Figura 43.- Gráfica de caja del punto HC.	71

Figura 44.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto TP.....	72
Figura 45.- Histograma de capacidad del punto TP.....	72
Figura 46.- Gráfica de caja del punto TP.....	73
Figura 47.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto RC.....	74
Figura 48.- Histograma de capacidad del punto RC.....	74
Figura 49.- Gráfica de caja del punto RC.....	75
Figura 50.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto ARC.....	76
Figura 51.- Histograma de capacidad del punto ARC.....	76
Figura 52.- Gráfica de caja del punto ARC.....	77
Figura 53.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto LDB.....	78
Figura 54.- Histograma de capacidad del punto LDB.....	78
Figura 55.- Gráfica de caja del punto LDB.....	79
Figura 56.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto CS.....	80
Figura 57.- Histograma de capacidad del punto CS.....	80
Figura 58.- Gráfica de caja del punto CS.....	81
Figura 59.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto PI.....	82
Figura 60.- Histograma de capacidad del punto PI.....	82
Figura 61.- Gráfica de caja del punto PI.....	83
Figura 62.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto UPS.....	84
Figura 63.- Histograma de capacidad del punto UPS.....	84
Figura 64.- Gráfica de caja del punto UPS.....	85
Figura 65.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto GS.....	86
Figura 66.- Histograma de capacidad del punto GS.....	86
Figura 67.- Gráfica de caja del punto GS.....	87
Figura 68.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto PC.....	88

Figura 69.- Histograma de capacidad del punto PC.....	88
Figura 70.- Gráfica de caja del punto PC.....	89
Figura 71.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto HC.....	90
Figura 72.- Histograma de capacidad del punto HC.....	90
Figura 73.- Gráfica de caja del punto HC.	91
Figura 74.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto TP.....	92
Figura 75.- Histograma de capacidad del punto TP.....	92
Figura 76.- Gráfica de caja del punto TP.	93
Figura 77.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto RC.....	94
Figura 78.- Histograma de capacidad del punto RC.	94
Figura 79.- Gráfica de caja del punto RC.	95
Figura 80.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto ARC.	96
Figura 81.- Histograma de capacidad del punto ARC.	96
Figura 82.- Gráfica de caja del punto ARC.....	97
Figura 83.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto LDB.	98
Figura 84.- Histograma de capacidad del punto LDB.....	98
Figura 85.- Gráfica de caja del punto LDB.....	99
Figura 86.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto CS.	100
Figura 87.- Histograma de capacidad del punto CS.....	100
Figura 88.- Gráfica de caja del punto CS.....	101
Figura 89.- Distribución espacial de la concentración media semanal del ión nitrato en las muestras de agua lluvia.....	102
Figura 90.- Distribución espacial de la concentración media semanal del ión sulfato en las muestras de agua lluvia.....	104

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la humanidad, afronta un grave problema de contaminación ambiental producto del consumo excesivo de los recursos naturales, de la emisión de contaminantes a la atmósfera y medio terrestre y, de las extensivas concentraciones industriales y urbanas. Frente a estos grandes cambios, la naturaleza ha perdido lentamente la capacidad de asimilarse y regenerarse provocando un grave problema de contaminación ambiental.

Las consecuencias de este problema no solamente se interpretan como daños a la humanidad, sino también, la formación de otros fenómenos extremadamente dañinos que afectan el ambiente a escala mundial, uno de estos es la llamada “*lluvia ácida*”, que es un tipo de lluvia con pH más ácido que el de la lluvia normal. Ejemplos claros de este fenómeno se han presentado en EEUU, Canadá y Noruega, donde la lluvia ha alterado el pH del agua de los lagos, provocando que varias de las especies del hábitat no se desarrollen regularmente y lleguen a convertirse en lagos muertos.¹

En México, el pueblo Nacajuca, donde gran parte de su población depende de la pesca, sufre una fuerte contaminación ambiental; se conoce que las fábricas cercanas al pueblo han sido el origen de la lluvia ácida, la misma que ha producido la mortalidad de 20.000 peces.²

Las consecuencias de la lluvia ácida también se evidencian en los ecosistemas terrestres, es así que en países de América del Norte y Europa, centenares de hectáreas de bosques han sido devastadas a causa de este fenómeno. Las afecciones han llegado también a los bienes patrimoniales, monumentos y edificios que son parte de la herencia más importante del mundo, algunos de estos son:³

¹ CARTER, Lane, *Acid Rain: Overview and Abstracts*, New York, 2003, p. 4.

² Organización Editorial Mexicana, *Mueren envenenadas más de 20 mil mojarras*, 19 de Noviembre de 2013, www.oem.com.mx/oem/notas/n3197637.

³ NEBEL, Bernard y WRIGHT, Richard, *Ciencias Ambientales: Ecología y desarrollo sostenible*. Sexta Edición, Editorial Pearson Educación, México, 1999, p. 406.

- Gran Buda de Leshan, alcanza los 71m y es uno de los primeros templos chinos; éste, ha sido afectado por la lluvia ácida originada por la contaminación generada por las plantas de energía a carbón cercanas al templo.
- Acrópolis de Atenas, monumento que asciende 150 metros sobre Atenas y que sirvió como centro de defensa durante varios siglos de los sucesivos ataques hacia esta ciudad; construido a base de mármol, ha sido susceptible a la corrosión, producto de la contaminación causada por la industria y el parque automotor en Grecia.
- Taj Mahal, obra maestra construida entre 1631 y 1648 en la India. La lluvia ácida, producto de la contaminación generada por la industria metalúrgica y una refinería de petróleo locales, ha corroído el mármol con el cual está construido el palacio.

Estos casos son los más relevantes entre varios producidos en todo el mundo, donde su recuperación y mantenimiento se evidencia en la economía de estos países. En EEUU, por ejemplo, la lluvia ácida afecta a la pintura de los automóviles; para contrarrestar este daño, los fabricantes utilizan pinturas resistentes a los ácidos a un costo promedio de \$ 5 por auto nuevo, es decir, un total de \$ 61 millones por año para todos los automóviles y camiones vendidos en este país⁴.

Por otro lado, China ha tenido grandes pérdidas en la economía alcanzado los \$ 13.253 millones de dólares anuales. La causa principal de esta pérdida económica es la contaminación ambiental generada en las centrales eléctricas que funcionan a carbón. Las autoridades ambientales de este país consideran una prioridad el contrarrestar la deposición ácida, es por esto que la Administración Estatal de Protección Ambiental de China ha establecido los costos de la lluvia ácida a los 13 billones⁵.

⁴ EPA: Environmental Protection Agency, *Los Efectos de la lluvia ácida: materiales*, 04 de diciembre de 2012, www.epa.gov/acidrain/spanish/effects/materials, 02 de Abril de 2014.

⁵ LARSEN, T., y otros. (2006). *Acid rain in China*. American Chemical Society, p. 6.

Actualmente, varios países del mundo están implementando sistemas de control de contaminación ambiental con el objetivo de reducir la producción de lluvia ácida y por lo tanto reducir su influencia en la economía de los mismos. En América Latina, países como México, Colombia, Perú y Chile, han realizado monitoreos de precipitación ácida para obtener resultados veraces y aplicar planes de control de contaminación ambiental.

En nuestro país, en las ciudades Quito y Cuenca, existen centros de monitoreo de calidad del aire que dan a conocer la distribución espacial de los contaminantes atmosféricos.

Cuenca, al ser considerada la tercera ciudad importante del país y al tener un rápido crecimiento tanto en población, industria y sobre todo en el parque automotor, ha creado una red de monitoreo de la calidad del aire, la misma que ha lanzado varios resultados de contaminantes ambientales como dióxido de azufre (SO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2); por tanto, es importante determinar la influencia de esta contaminación atmosférica en la composición de la lluvia que se precipita en la región.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Determinar la concentración de iones del agua lluvia de la zona urbana de la Ciudad de Cuenca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer los sitios de toma de muestras en el casco urbano de la ciudad de Cuenca, considerando el tiempo de monitoreo y su frecuencia.
- Establecer una metodología para evaluar y determinar los iones que generan la lluvia ácida en la ciudad.
- Generar mapas de presencia de iones de la lluvia en la ciudad.

CAPITULO I

1. DEFINICIÓN DE LLUVIA

Según la definición oficial de la Organización Meteorológica Mundial (OMM)⁶, la lluvia es la precipitación de partículas líquidas de agua de diámetro mayor a 0.5 mm o de gotas menores dispersas y que caen a una velocidad entre 3 y 4 m/s dependiendo de su peso y la influencia del viento. Las gotas son dispersas y dependen de la presión atmosférica, temperatura y humedad.

1.1. FORMACIÓN DE NUBES Y LLUVIA

Los principales fenómenos atmosféricos visibles del tiempo meteorológico son las nubes, la lluvia, la niebla, etc., las mismas que son un paso transitorio e importante en el ciclo del agua; estos incluyen: la evaporación de la humedad desde la superficie terrestre, su transporte hasta niveles superiores de la atmósfera, la condensación del vapor de agua en masas nubosas y el retorno final del agua a la tierra en forma de precipitaciones de lluvia y nieve.

1.1.1. Nubes

La nube es un hidrometeoro formado por pequeños cristales de hielo o agua que están suspendidas en la atmósfera en forma de vapor. Los tipos de nube que dan origen a la lluvia son⁷:

- *Estratocúmulos*: bancos de nubes cumuliformes que producen lloviznas ligeras, continuas y lloviznas.
- *Estratos*: manto de nubes grises que pueden provocar lloviznas al espesarse demasiado.

⁶ ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL, *Atlas Internacional de las Nubes*, London, 1987.

⁷ COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, *Manual Teórico Práctico del Observador Meteorológico de Superficie*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D.F, 2010, p. 154.

- *Cumulonimbus*: constituido por gotas de mediano volumen, este tipo de nube es de grandes dimensiones y se asemeja a un penacho, con la fuerza y dirección del viento. Tienen un color grisáceo, casi negras y producen precipitaciones en forma de chaparrón.
- *Nimbostratos*: es un tipo de nube casi oscura que en la mayoría de veces produce precipitaciones continuas. Estas pueden descender hasta el suelo y encubrir la luminosidad del sol.

1.1.2. Lluvia

La lluvia es un fenómeno atmosférico que inicia con la condensación del vapor de agua contenido en las nubes, llegando a la fase de saturación en la que el aire húmedo se enfría hasta la temperatura de punto de rocío.⁸

La cantidad de agua caída en un lugar dado no es constante, ya que en las lluvias influyen circunstancias especiales que pueden modificarlas, tales como la latitud, la dirección de los vientos dominantes, la proximidad a grandes masas de agua y el relieve del suelo.⁹

1.1.2.1. Formación de la lluvia:¹⁰

- **Caída directa de gotas de agua:** Conocido como "proceso de coalescencia" y se produce cuando las gotitas de las nubes chocan entre sí y comienzan a caer despacio a través de la nube (habitualmente son muy ligeras y permanecen en suspensión); a medida que van descendiendo se van uniendo a otras gotitas formando gotas mayores.
- **Cristales de hielo que se funden:** La existencia de corrientes ascendentes provoca la formación de cristales de hielo en la parte superior de las nubes, los

⁸ INZUNZA, Juan, *Meteorología Descriptiva*, 2006, p.

⁹ PRIETO, Carlos, *El agua: sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación*, Editorial Ecoe, Segunda Edición, Bogotá – Colombia 2004, p. 8.

¹⁰ ROGERS, R.R, *A short course in Cloud Physics*, Editorial Reverté, Pergamon Press, Oxford, 1977, p. 97.

cuales, al caer sirven de núcleo de condensación, a la vez que se licuan formando de este modo las gotas de lluvia que se precipitan (fase de precipitación).

Las gotitas de agua están caracterizadas por unas intensas fuerzas de tensión superficial, de modo que, para que una pueda aumentar de tamaño por condensación a partir del vapor, la tensión superficial tiene que ser contrarrestada por un fuerte gradiente de presión de vapor.

1.1.2.2. Clasificación de la lluvia:¹¹

- **Lluvias de convección:** se produce cuando una masa de aire asciende debido a que su temperatura es mayor y, por tanto, es más ligera que el aire que la rodea. El resultado es que la masa se enfría y se origina el proceso de condensación, lo que da lugar a la lluvia por convección.
- **Lluvias orográficas o de relieve:** ocurre cuando una masa de aire caliente es forzada a subir a niveles más fríos, es decir, cuando encuentra una cadena montañosa en su camino esta se eleva a niveles más altos.
- **Lluvia frontal o ciclónica:** es un proceso similar al anterior y tiene lugar cuando una masa de aire caliente se encuentra con una gran masa de aire frío. Como las masas de aire generalmente no se mezclan, el aire caliente asciende, deslizándose por encima del frío, produciéndose el enfriamiento, condensación y precipitación.
- **Lluvias de niebla:** este tipo de lluvia se produce por el enfriamiento de la niebla.

1.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA LLUVIA

En la atmósfera, existe gran cantidad de partículas sobre las cuales las moléculas de vapor de agua tienden a reunirse para transformarse en líquido, formando así diminutas gotas de agua. Gran parte de estas partículas de condensación están formados por sustancias químicas conocidas como sulfatos y nitratos, producidos en

¹¹ CAMPOS, Daniel, *Procesos del ciclo hidrológico*, Edición Universitaria Potosina, México, 1998, p. 3-42.

el aire a causa de la combustión de productos ricos en azufre y de ácido nítrico que se encuentra de forma permanente en la atmósfera.¹²

El agua lluvia normal no contiene contaminantes. Sin embargo, ésta es ligeramente ácida con un pH aproximado de 5.6¹³. Esto es ocasionado por el equilibrio entre el agua lluvia y tres componentes que existen de forma natural en el ambiente, que son:¹⁴

- Dióxido de carbono (CO₂) del aire, el cual se disuelve en cantidad suficiente en las gotas para dar una solución diluida de ácido carbónico. Este es producido en la descomposición de la materia orgánica siendo la principal fuente de acidez en el agua de lluvia no contaminada.
- Óxido nítrico (NO), compuesto que contribuye en cierta forma a la acidez natural del agua lluvia. Este se genera durante tormentas eléctricas en donde reaccionan dos gases atmosféricos comunes, el nitrógeno y oxígeno. El NO, en el aire se oxida a dióxido de nitrógeno que a su vez reacciona con el agua para dar ácido nítrico (HNO₃). Esta formación se disocia en agua para dar como resultado iones de hidrógeno e iones nitrato.
- El dióxido de azufre (SO₂), originado en las erupciones volcánicas y en el metabolismo anaerobio.

El aumento descontrolado de estos contaminantes atmosféricos ocasiona serios daños tanto en la economía como en la salud de los pobladores. Varios casos de afecciones en la salud se han presentado en diversos países a nivel mundial, tal es el caso de enfermedades respiratorias a gran escala en Londres, Estados Unidos de América, Italia, India, Suecia, Canadá, Brasil, Japón etc., donde hubieron muertes masivas en especial dentro de la población de niños y ancianos.¹⁵ Es por esto que organizaciones

¹² BARRIO, Javier y otros, *Física y química*, Tercera Edición, Editorial Editex, Madrid-España, 2008, p. 243.

¹³ BAIRD, Colin, *Química Ambiental*, Segunda Edición, Editorial Reverté, Barcelona, 2001, p.105-107.

¹⁴ CASIDAY, Rachel; FREY, Regina, *Lluvia Ácida: Experimento de reacciones inorgánicas*, Departamento de química de la Universidad de Washington, 1998.

¹⁵ CARTER, Lane. Op. Cit. p. 4-5.

como la OMM y la USEPA (Agencia de Protección del Ambiente de los Estados Unidos), han incluido en distintos manuales: formas de medición, límites permisibles y control de contaminantes atmosféricos.

La aplicación del control de contaminantes atmosféricos se ha evidenciado en varios países en distintos continentes, en los que se han tomado medidas preventivas con el fin de evitar pérdidas humanas y económicas. Países como México, Chile, Perú, Ecuador, entre otros, realizan monitoreos de contaminación y posteriormente adoptan medidas preventivas en parte aplicadas al parque automotor e industria.

En Ecuador, la Corporación para el mejoramiento del Aire de Quito (CORPAIRE)¹⁶ y la Empresa Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de la Ciudad de Cuenca (EMOV), son las empresas encargadas del monitoreo de los contaminantes atmosféricos; en sus estudios anuales, presentan los datos exactos de dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), benceno (C₆H₆), material particulado, etc. Según el último estudio de calidad del aire en Cuenca realizado en el año 2012, las concentraciones de los contaminantes como el dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno no superan las concentraciones establecidas por la OMM (SO₂ - 50 µg/m³ y NO₂ - 40 µg/m³). A pesar de ello, estos valores guías han requerido la evaluación y vigilancia permanente, además, programas de mejoramiento de combustibles y revisión técnica vehicular como medidas de prevención.¹⁷

El dióxido de azufre y el dióxido de nitrógeno son descargados en grandes cantidades a la atmósfera y emitidos desde diversas fuentes; estos, ocasionan el incremento de la acidez normal del agua lluvia a gran escala y a nivel mundial. Esta precipitación se denomina “lluvia ácida”.¹⁸

¹⁶ CORPORACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO, *Índice quiteño de la calidad del aire, IQCA*.

¹⁷ ALCALDÍA DE CUENCA, RED DE MONITOREO EMOV EP, *Informe de la calidad del aire, año 2011*. Cuenca-Ecuador 2012.

¹⁸ MARTÍNEZ, Ernesto y DÍAZ, Yolanda, *Contaminación Atmosférica*, Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, Murcia-España, 2004. p. 27.

1.3. COMPUESTOS QUE PRODUCEN LA LLUVIA ÁCIDA

El fenómeno de la “**lluvia ácida**” fue descubierto por Agnus Smith en Gran Bretaña a mediados del año 1880, con base en sus estudios sobre el aire de Manchester, Inglaterra. No fue sino hasta que se creó una red de vigilancia de la lluvia en el Norte de Europa en la década de 1950, es así como se reconoció la incidencia generalizada. Este término se refiere a la sedimentación ácida, tanto húmeda como seca que es significativamente más ácida que la lluvia “normal”. Un indicador de esta agua lluvia es el pH menor a 5.6, debido a que las cantidades de ácidos superan a los de una lluvia normal.¹⁹

Dentro de las principales sustancias involucradas en la variación de la acidez normal de la lluvia están el sulfato $(SO_4)^{-2}$ y el nitrato $(NO_3)^{-1}$.²⁰

a) *Sulfato $(SO_4)^{-2}$*

El sulfato presente en el agua lluvia se forma a partir de óxidos de azufre que se producen por la combustión de compuestos que contienen azufre como carbón, fuel y gasóleos; se originan de diversas fuentes, incluyendo la quema de combustibles que contienen azufre, la fabricación de pulpa y papel, centrales térmicas, tráfico vehicular, etc.

Las fuentes de quema de combustibles emiten SO_2 en concentraciones relativamente bajas pero en grandes volúmenes, mientras que otras fuentes emiten concentraciones más elevadas pero en volúmenes menores. Cuando se quema un combustible fósil, el azufre se combina con el oxígeno en la atmósfera para formar óxidos de azufre. Este compuesto asciende a las nubes donde reaccionan con el agua formándose ácido sulfuroso (H_2SO_3), continuando así su oxidación a trióxido de azufre (SO_3), seguido de una serie de reacciones en serie produciéndose ácido sulfúrico y continuamente a sulfatos.

¹⁹ BAIRD, Colin. Op. Cit. p. 104.

²⁰ BAIRD, Colin. Op. Cit. p. 120.

b) *Nitrato* (NO_3)⁻¹

El nitrato presente en el agua lluvia se deriva de óxidos de nitrógeno, los mismos que se conforman por compuestos químicos gaseosos producidos por combustión a temperatura elevada como son la fijación del nitrógeno atmosférico, nitrógeno de los combustibles, fabricación y concentración de ácido nítrico, emisiones de motores de combustión interna y de diesel, producción eléctrica entre otras actividades residenciales. El NO en el aire se oxida a dióxido de nitrógeno que a su vez reacciona con el agua para dar ácido nítrico (HNO₃). Esta formación se disocia en agua para dar como resultado iones de hidrógeno e iones nitrato.

1.3.1. Factores ambientales influyentes en la lluvia ácida

La atmósfera juega un papel importante en la contaminación, dado que en ella suceden procesos de transformación y transporte de compuestos adversos al ambiente.²¹

- El *viento*, es el medio de transporte por el que las partículas de NO_x y SO_x presentes en el aire reaccionan y se dispersan hacia otros lugares ajenos al de su origen. La velocidad y dirección ocasionan que las masas de aire se desplazasen a miles de kilómetros.
- La *temperatura*, tanto de los gases emitidos como de la atmósfera guardan gran relación, es decir, mientras la diferencia entre las dos temperaturas sea mayor, mayor será la dispersión de los gases.
- El alto *grado de humedad* ocasiona que los gases de emisión tiendan a ser inestables, que al ascender disminuyen su temperatura y se saturan; luego la temperatura de la masa gaseosa varía por la condensación del agua.

²¹ BUREAU VERITAS FORMACIÓN, *Manual para la formación en medio ambiente*, Editorial Lex Nova, España, 2008, p. 168.

- La **radiación solar**, al ser incidente y a la vez reflejada por la tierra ocasiona los sucesos de inversión térmica, el mismo que impide la dispersión de los contaminantes.

1.3.2. Límites permitidos

La OMM, recomienda los siguientes rangos de concentración de iones sulfatos y nitratos:

Tabla 1.- Rango de concentración de iones

ANIÓN	RANGO (mg/l)
<i>Sulfato (SO₄)⁻²</i>	<1 a 30
<i>Nitrato (NO₃)⁻¹</i>	<1 a 10

Fuente: Organización Meteorológica Mundial, *Manual para el programa de química de la precipitación*, 2004.

1.4. EFECTOS DE LA LLUVIA ÁCIDA

La lluvia ácida afecta tanto a los ecosistemas acuáticos como a los terrestres, siendo los primeros los más susceptibles a cambios drásticos, dando como resultados serias afecciones a las poblaciones que en ellos habitan.

➤ **Ecosistemas acuáticos:** En ríos y lagos, la lluvia ácida actúa de dos formas. Por un lado, se altera el pH del agua, lo cual puede causar la muerte de varias especies acuáticas alterando la cadena alimenticia y provocando un desequilibrio ecológico. Por debajo de pH 5.5 existen muchas especies de anfibios y peces que no pueden desarrollarse y, a este pH hay muy pocas especies de crustáceos y moluscos que pueden sobrevivir, como es el caso de los problemas en el crecimiento y desarrollo del salmón del Atlántico en varios ríos de Nueva Escocia y Norteamérica, donde han desaparecido más de la mitad o en algunos casos todos los peces, dejando lagos muertos.²²

²²LOPE-BELLO, Nelson Geigel, *Derecho ambiental internacional*, Ediciones de la Universidad Simón Bolívar, Venezuela, 1997, p. 81.

Especies de anfibios como ranas y salamandras se reproducen en estanques, sin embargo, su reproducción no llega a completarse ya que los huevecillos y embriones no sobreviven a los cambios en la composición de su hábitat produciendo en ellos malformaciones o muertes. *“Los anfibios son miembros significativos de los ecosistemas acuáticos y terrestres; como depredadores importantes de insectos acuáticos y también como alimento con gran contenido proteínico para muchas aves y mamíferos, estos animales son eslabones importantes de la cadena alimenticia”*.²³

Según la Agencia de Protección Ambiental (EPA), especies como la trucha y el cangrejo de río no pueden desarrollarse en medios con pH menores a 5. Otras especies como las almejas y caracoles no sobreviven en medios acuáticos con pH menores a 6.

➤ ***Ecosistemas terrestres:*** Los efectos sobre estos ecosistemas es de forma lenta, ya que existen varias condiciones climáticas que intervienen en las afecciones directas de la lluvia ácida, como son: el clima, el uso de suelo, la hidrología, etc.

Varios estudios y tesis realizados en laboratorio han evidenciado la alteración de los suelos y la vegetación. La lluvia ácida penetra en los suelos cambiando constantemente su composición química y biológica, alterando los ciclos de los compuestos y disipando de forma iónica metales tóxicos como el aluminio, zinc, plomo, cadmio, cobre y hierro; donde son absorbidos por las raíces de las plantas, dando como consecuencia un alto índice de plantas que carecen de nutrientes y otras que no logran desarrollarse, las hojas pierden la dureza de su cera y se ven amenazadas por plagas.²⁴

Un claro ejemplo se produjo en la zona de bosques de New Hampshire, donde la combinación de aluminio y la escasez de calcio provocaron que el crecimiento de los

²³ GLINN, Henry; GARY, Heinke, *Ingeniería Ambiental*, Segunda Edición, Editorial Pearson Educación, México, 1999, p. 129.

²⁴ CASTILLO, Francisco, y otros, *Biología Ambiental*, Editorial Tébar, Madrid, España, 2005, p. 243.

bosques disminuyera. Otro caso, en California y Nueva Inglaterra, los bosques han quedado devastados a causa de la precipitación ácida.²⁵

En las ciudades, las afecciones de la precipitación ácida se evidencian en varios de los materiales de construcción como piedra caliza, mármol, cemento, pintura, plásticos, acero y acero galvanizado. Parte de la herencia cultural como monumentos, edificios, puentes y reliquias de importancia arqueológica e histórica se deterioran al reaccionar con el carbonato de calcio que contiene su material con sulfatos y nitratos, los cuales corroen con gran rapidez produciendo daños, así como afectando la economía en costos de recuperación y mantenimiento de los bienes afectados.²⁶

1.5. LA CROMATOGRAFÍA: método de análisis de nitratos y sulfatos en el agua lluvia.

*“La cromatografía es un método físico de separación en el cual los componentes a separar se distribuyen entre dos fases, una que es estacionaria (fase estacionaria) mientras que la otra, (fase móvil) se mueve en una dirección determinada”.*²⁷

1.5.1. Desarrollo de la cromatografía:²⁸

- La técnica de cromatografía se le atribuye al botánico ruso Tswett, que en 1903 separó pigmentos vegetales mediante cromatografía de adsorción. De ahí el término cromatografía que proviene del griego *khromatos* (color) y *graphos* (escrito). Hoy en día, no solo se realizan análisis de compuestos que contengan color sino de incoloros, sin embargo, el término se ha mantenido.
- En 1930, Kuhn y Lederer utilizaban la cromatografía para la separación de productos naturales.

²⁵ NEBEL, Bernard J. y WRIGHT, Richard T., *Ciencias Ambientales: Ecología y desarrollo sostenible*, Sexta Edición, Editorial Pearson, 1999, p. 405.

²⁶ BOTELLO, A.V, *Golfo de México: Contaminación e impacto ambiental: Diagnóstico y tendencias*, Segunda Edición, p. 536.

²⁷ JIMÉNEZ, M. I, *Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC): Nomenclatura para cromatografía*, Editorial Real Jardín, Madrid, España, 1999.

²⁸ SHARMA, B.K, *Chromatography*, Cuarta Edición, GOEL Publishing, 2007 p. C-9

- En 1941, Martin y Singe ganaron un premio nobel por descubrir la cromatografía de reparto líquido-líquido; además asentaron bases sobre la cromatografía gas-líquido y la cromatografía líquida de alto rendimiento (HLPC).
- Martin y James, en 1952 publicaron su primer escrito sobre la cromatografía de gases, iniciando un desarrollo rápido de esta técnica analítica.
- La cromatografía iónica fue introducida en 1975 por Small, Stevens y Baumann como un nuevo método analítico. Durante un periodo corto de tiempo, la cromatografía iónica se desarrolló a partir de un nuevo esquema de detección de aniones y cationes inorgánicos seleccionados a una técnica analítica versátil para especies iónicas en general. La detección sensible de iones se realizó a través de su conductividad eléctrica, el efluente de la columna del separador pasaba por una columna de supresor, la misma reduce químicamente la conductancia fondo del eluyente, mientras que al mismo tiempo aumenta la conductancia eléctrica de los iones del analito.
- En 1983 la cromatografía iónica se amplió considerablemente con detectores electroquímicos y espectrofotométricos lo que permite una detección muy sensible de hidratos de carbono.
- La cromatografía iónica ha tenido un creciente número de aplicaciones abriendo un amplio campo de análisis de metales pesados. Estos hechos hacen que la cromatografía iónica sea parte integral de ambos análisis tanto orgánica como inorgánica moderna.

1.5.2. Definición de cromatografía de intercambio iónico

Se define generalmente como un método analítico en el que los aniones o cationes están separados por diferencia en la velocidad a la que pasan a través de una columna de relleno, realizando un intercambio de partículas. La separación de los cationes o

aniones se consigue mediante el uso de un eluyente junto con un reactivo de similar contenido iónico.²⁹

La cromatografía iónica es una técnica confiable y conveniente que permite la determinación de concentraciones de cationes y aniones tanto orgánicos como inorgánicos con un peso molecular bajo. Las siguientes variables son de gran importancia en el funcionamiento de la cromatografía iónica.³⁰

a. La *temperatura* de la columna generalmente es mayor al ambiente, el mismo que debe ser rigurosamente controlada.

b. El *caudal* sirve para maximizar la resolución y compensar la lentitud de la transferencia de materia.

c. La presencia de disolventes orgánicos en la fase móvil disminuye su viscosidad favoreciendo así la cinética del proceso.

1.5.3. Funcionamiento³¹

El funcionamiento de la cromatografía líquida implica una serie de fases con tiempos de larga duración.

Esta inicia con la inyección de un volumen mínimo de muestra líquida en un tubo lleno de partículas que van de 3 a 5 micrones de diámetro, llamada fase estacionaria. Los componentes individuales de la muestra son movidos por la columna en un medio líquido siendo esta la fase móvil, que es administrada y forzada a través de la columna a alta presión suministrada por una bomba.

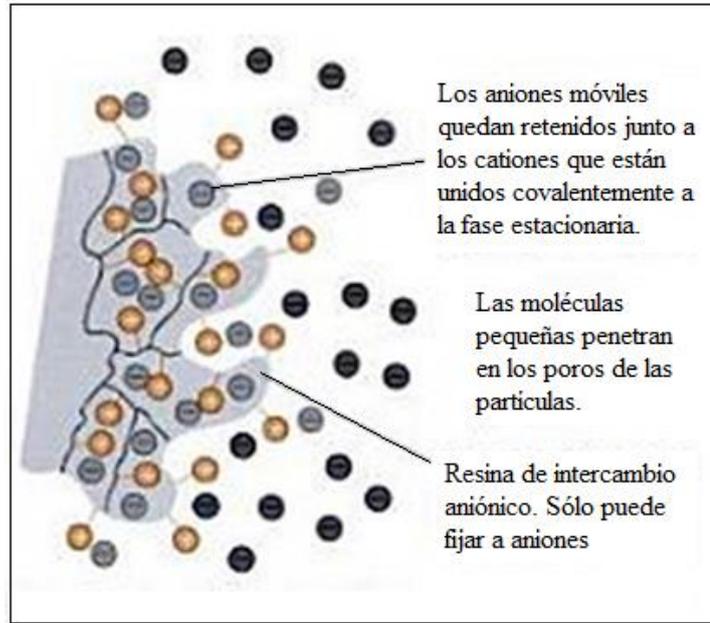
²⁹ FRITZ, James y GJERDE, Douglas T., *Ion Chromatography*, Cuarta Edición, Edición Wiley-VCH, Nueva York, p. 112

³⁰ VALCÁRCEL, M. y GÓMEZ, A., *Técnicas analíticas de separación*, Editorial Reverté, Barcelona, España, 1998, p. 333.

³¹ VALCÁRCEL, M. y GÓMEZ, A, Op. Cit. p. 485.

Los componentes de la muestra se separan el uno del otro debido al contenido de la columna que implica varias interacciones químicas y/o físicas entre sus moléculas y las partículas de embalaje, ver Figura N°1. Estos componentes separados se detectan a la salida de la columna, por flujo a través de un detector, el cual mide el valor del analito.

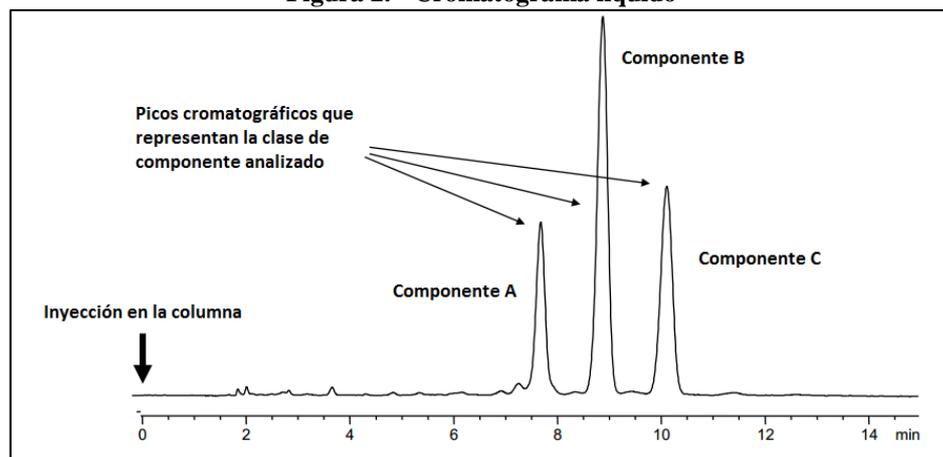
Figura 1.- Química de la cromatografía iónica



Fuente: Harris, D, *Análisis químico cuantitativo*, 2001.

La salida de este detector se llama cromatograma líquido

Figura 2. - Cromatograma líquido



Fuente: Encyclopedia of Life Sport Systems (EOLSS), 2003.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1. COLOCACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO

La localización de los puntos de monitoreo se ha realizado tomando en cuenta diferentes parámetros que justifiquen el muestreo de dichos puntos en el área de estudio.

2.1.1. DESCRIPCIÓN DE LOS FACTORES FÍSICOS DEL TERRITORIO A MONITOREAR

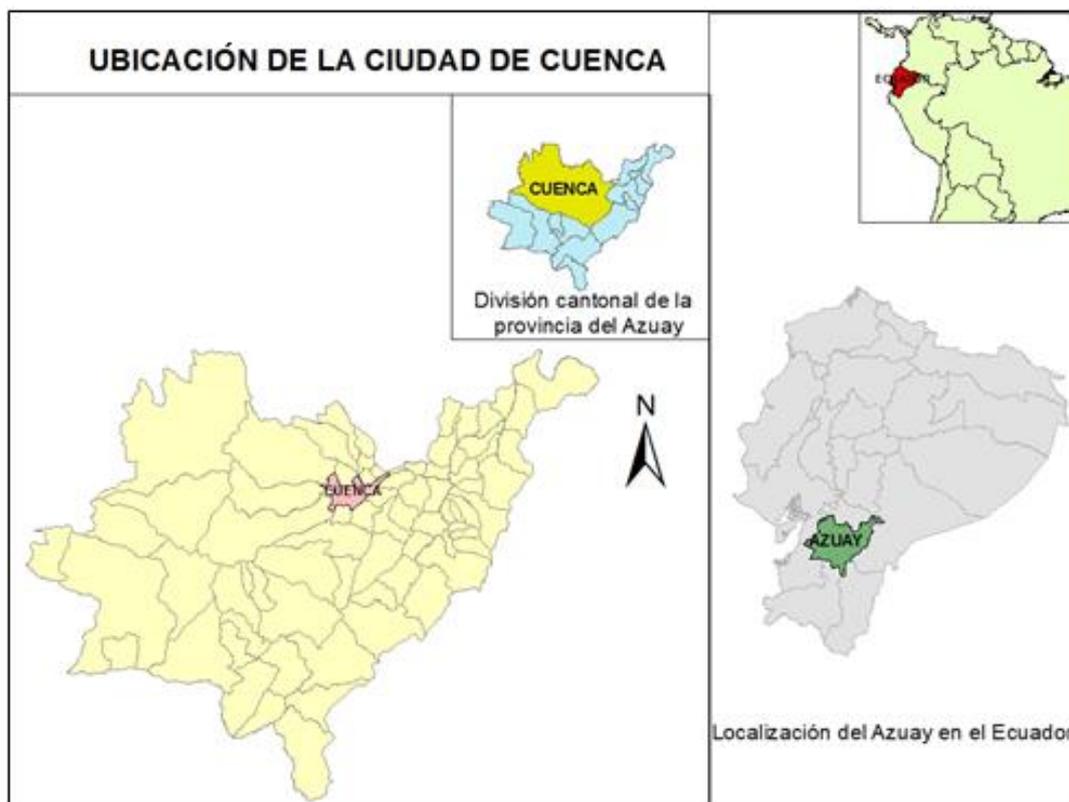
Cuenca, capital de la provincia del Azuay, está ubicada en la sierra sur del Ecuador, a una altitud basada entre los 2.535 y 2.550 msnm (metros sobre el nivel del mar). El clima promedio de este territorio está en 17°C. La superficie es de 72 kilómetros cuadrados aproximadamente.

Este lugar está constituido por un sistema de terrazas o placas de terreno, cuatro en total, dando como resultado un poco de relieve en la ciudad. Se la considera una ciudad plana, rodeada por montañas de donde surgen cuatro ríos: Machángara, Tomebamba, Tarqui y Yanuncay, los mismos que atraviesan la ciudad.

La zona histórica y central de la ciudad conserva una estructura colonial española. La mayoría de las construcciones se ejecutaron entre los siglos XVIII y XIX de los cuales se destacan dos conventos de claustro, El Carmen y la Inmaculada Concepción, parte de la Catedral Antigua y una pequeña cantidad de casas particulares. En conjunto está constituido por 26 edificios de valor monumental, 602 de valor arquitectónico y 830 de valor ambiental. En 1999, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), declaró al Centro Histórico de Cuenca como Patrimonio Cultural y reconoce “la belleza de su

centro histórico con un tipo particular de arquitectura republicana” y “la armonía que guarda en su entorno geográfico”.³²

Figura 3.- Ubicación de la Ciudad de Cuenca



Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

2.1.2. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende 2600 hectáreas, la misma que está delimitada por la Av. de las Américas, desde el sector Control Sur hasta el sector Hospital del Río, y la autopista Cuenca Azogues, con los mismos sectores por extremos; siendo estas dos vías las que marcan la periferia de los centros más poblados de Cuenca, como se muestra en la Figura 4.

³² ALCALDÍA DE CUENCA, *Situación actual de Cuenca*, 15 de enero de 2014, www.cuenca.gov.ec.

Figura 4.- Delimitación del área de estudio.



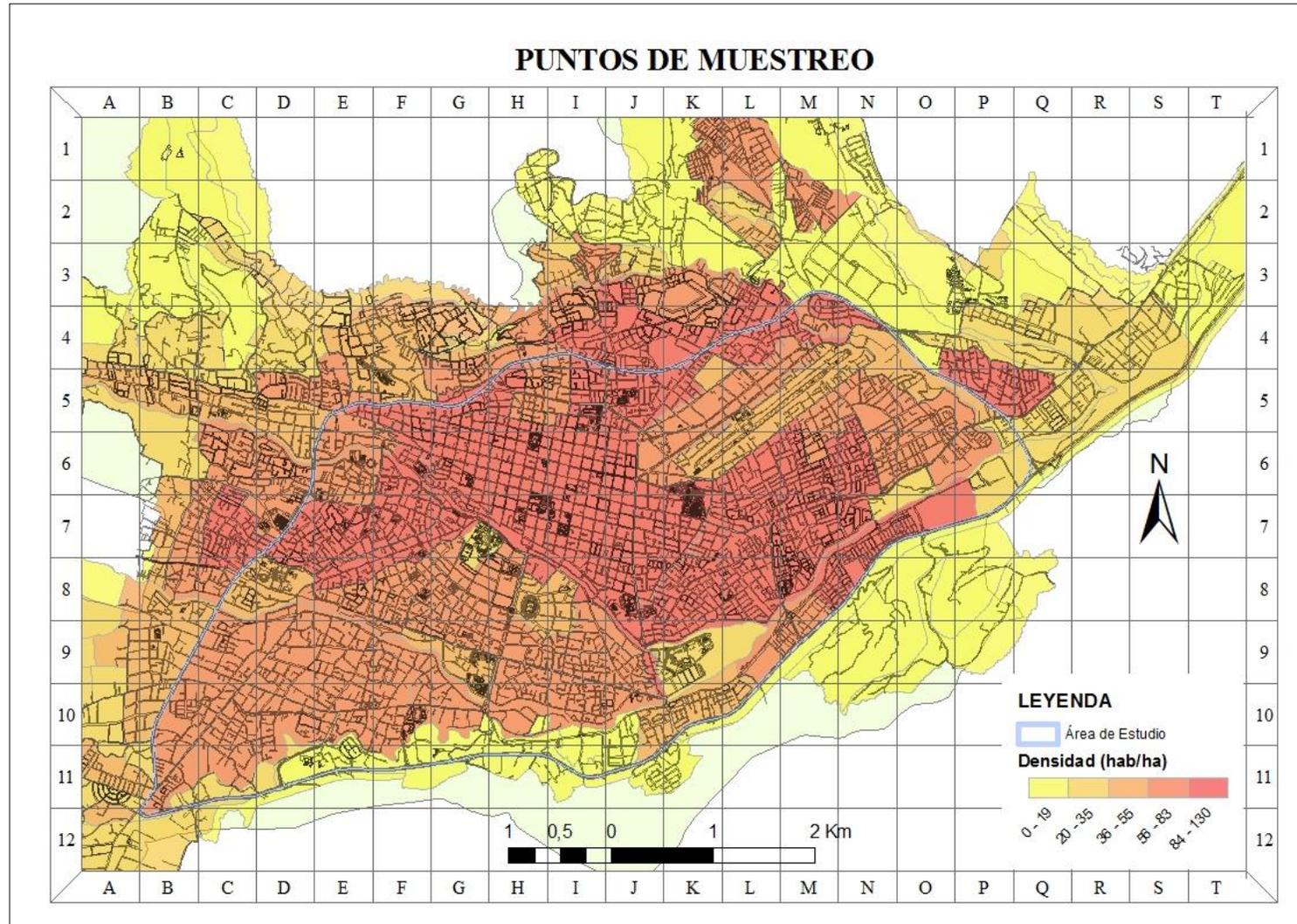
Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

2.1.3. FACTORES INFLUYENTES EN LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE DEL CANTÓN CUENCA.

2.1.3.1. Densidad poblacional

En la zona urbana del cantón Cuenca habitan 329.928 personas aproximadamente, según los datos obtenidos por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), en el censo 2010. Dando como resultado una densidad poblacional de 71 hab/ha. La mayor parte de los habitantes está concentrada en el centro de la ciudad, como se observa en el mapa de la Figura 5.

Figura 5.- Densidad poblacional



Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

2.1.3.2. Tráfico vehicular

El tráfico vehicular produce grandes descargas de contaminantes hacia la atmósfera. Actualmente la mayoría de los vehículos utilizan combustible fósil como es la gasolina y diesel, principalmente.

Cuenca tiene altos niveles de crecimiento en el sector automotor, dando como resultado un promedio de 113,720 vehículos, de los cuales el 88.9 % utilizan gasolina y el restante 11.1 % utilizan diesel. El crecimiento anual del sector automotor es del 15%.³³ Según estudios realizados por la Dirección de Tránsito de Cuenca, en el centro histórico, calles como: Presidente Córdova, Larga, Benigno Malo y Tarqui son las más transitadas diariamente.

Tabla 2.- Tráfico promedio diario anual

TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL				
CALLES	TOTAL	COMPOSICIÓN		
		LIVIANOS	BUSES	CAMIONES
Presidente Córdova	16573	15313	1230	30
Mariscal Sucre	8284	8185	99	15
Calle Larga	11253	10657	581	
Juan Jaramillo	9255	8950	305	
Tarqui	13315	12331	984	6
General Torres	6129	6123		14
Padre Aguirre	7205	7191		51
Benigno Malo	11829	11778		
Luis Cordero	7925	7925		13
Antonio Borrero	8905	8892		
Hermano Miguel	5389	5389		
Bolívar	8976	8976		

Fuente: Lojano, Juan Pablo, *Dirección de Tránsito de Cuenca*, 2011.

³³ TAPIA, Darío, *Red de monitoreo de calidad de aire, Cuenca*, 2009.

Con respecto a las vías aledañas al Centro Histórico, se presentan los siguientes resultados.

Tabla 3.- Tráfico promedio diario anual, calles aledañas.

TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL	
CALLES	TOTAL
Huayna Capac	45351
Av. Américas	3726
Fray Vicente Solano	37034
Autopista (Sur)	35316
Av. 12 de Abril	29903
González Suárez	28216
Remigio Crespo	23972
Unidad Nacional	22972
Av. España	21618
Av. 10 de Agosto	15540
Av. Don Bosco	14363
Av. Loja	13713
Gil Ramírez Dávalos	12701
Héroes de Verdeloma	11294
1 de Mayo	8185

Fuente: Lojano, Juan Pablo, *Dirección de Tránsito de Cuenca*, 2011.

Figura 6.- Tráfico vehicular



Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

2.1.3.3. Industria

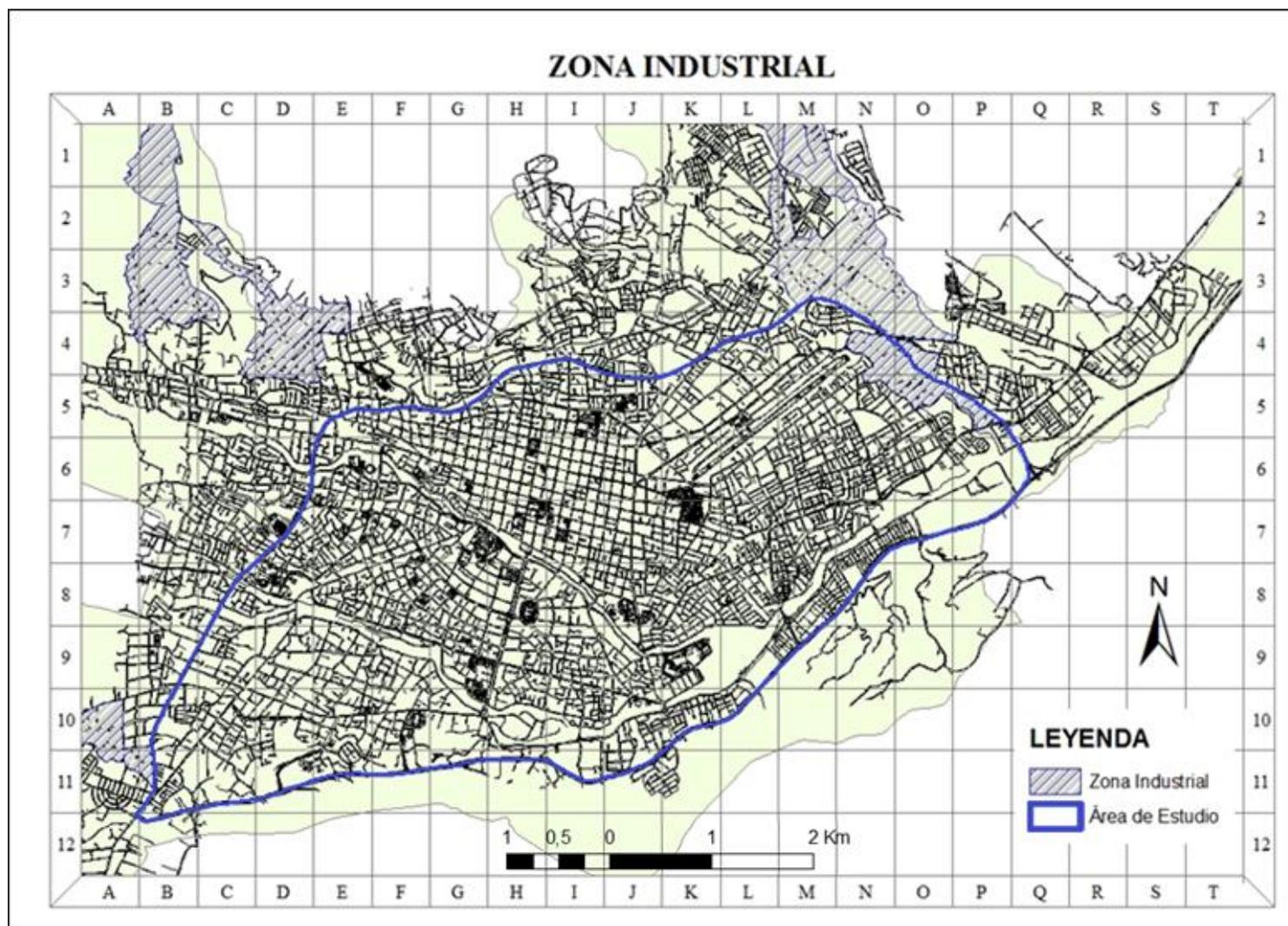
Hay dos tipos de emisión en el sector industrial, las producidas por combustibles y las relacionadas con los procesos de producción. En Cuenca, la industria se presenta en dos zonas principalmente: Parque Industrial (145 industrias) y la zona del suroeste de la ciudad; se incluye emisiones de procesos industriales como fabricación y reencauche de llantas, fabricación de muebles, pegamentos, pinturas, textiles, elaboración de pan, pastas, ron y aguardiente.³⁴

Las gasolineras son una fuente de emisión de compuestos orgánicos volátiles, ya que este se evapora y causa gran contaminación, aún más, cuando están mal distribuidas en toda la ciudad.³⁵ (Gallego, 2012)

³⁴ TAPIA, Darío, *Red de monitoreo de calidad de aire, Cuenca*, 2009.

³⁵ GALLEGO, Alejandrina, y otros, *Contaminación atmosférica*, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, 2012, p. 84.

Figura 7.- Zona industrial

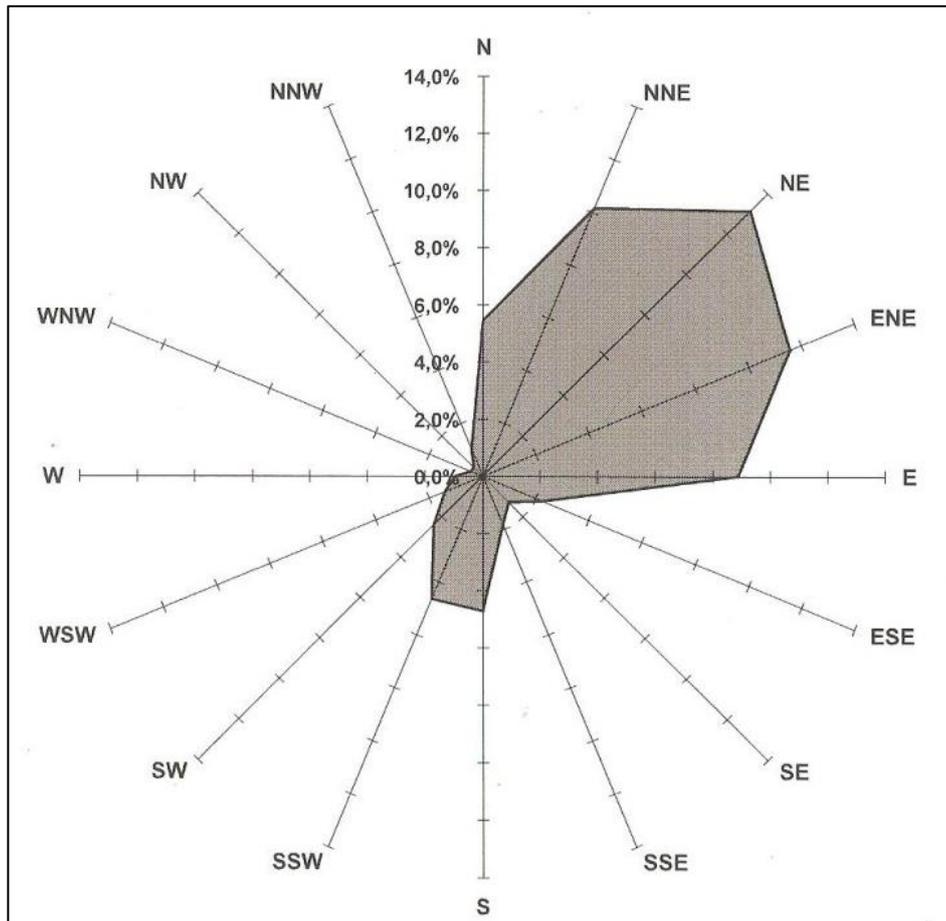


Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

2.1.3.4. Viento

Según información recopilada de la estación meteorológica del Aeropuerto Mariscal Lamar, las características del viento en Cuenca presentan los siguientes resultados correspondientes al resumen histórico meteorológico 1977-2012.

Figura 8.- El viento y su dirección de incidencia



Fuente: Estación meteorológica Aeropuerto Mariscal Lamar.

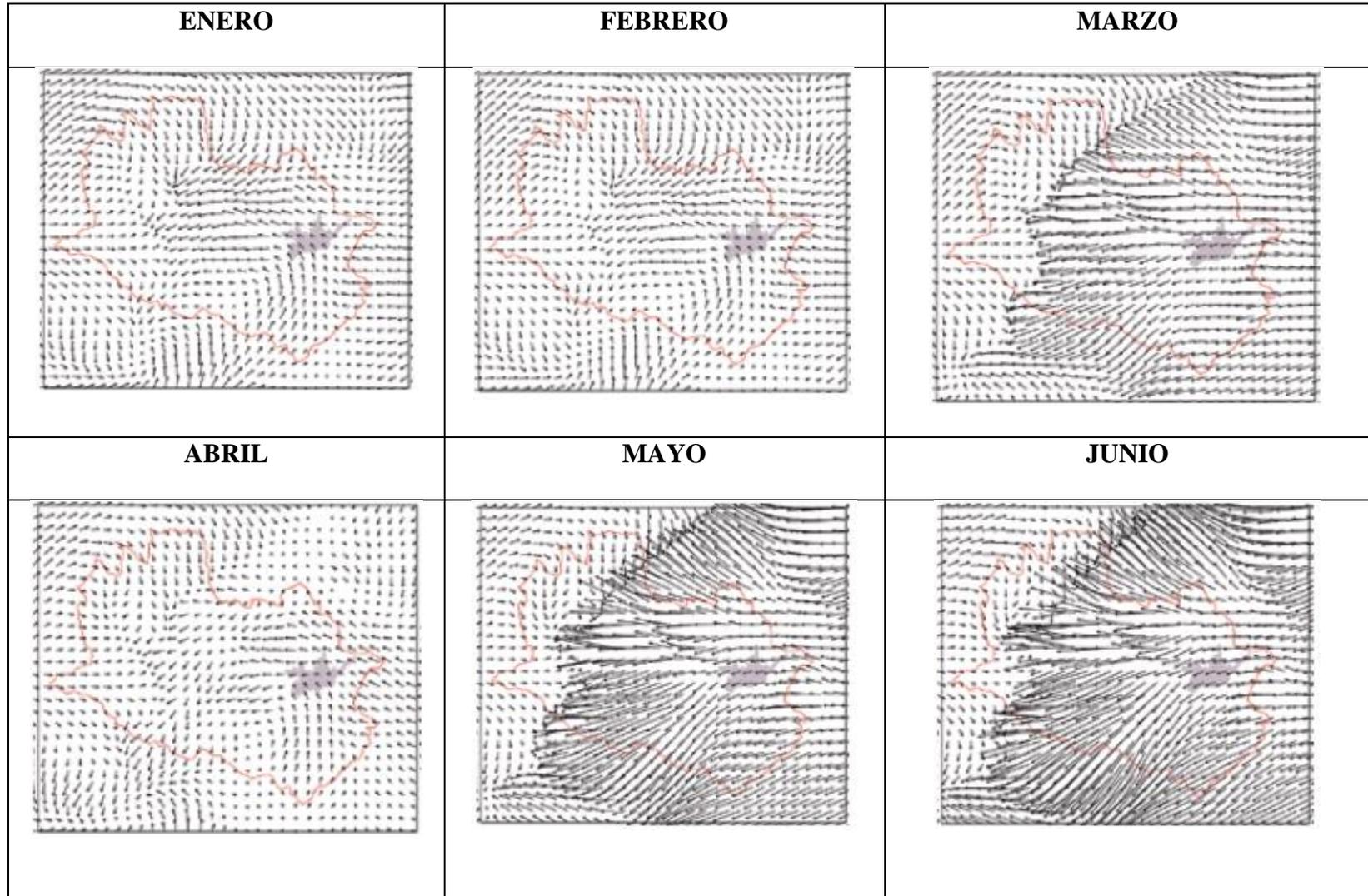
Figura 9.- Resumen Histórico climatológico

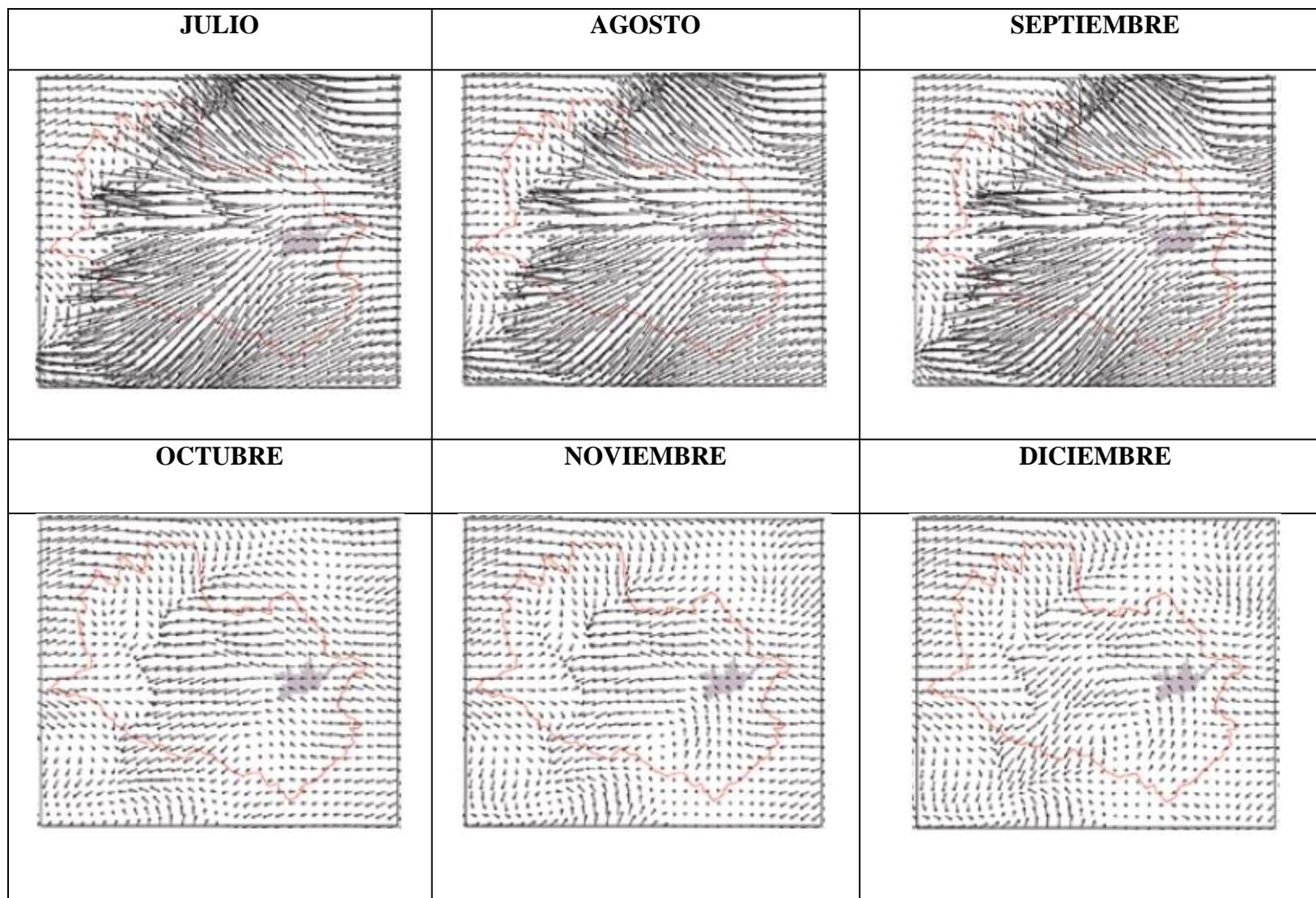
RESUMEN HISTORICO CLIMATOLOGICO																	
1977 - 2012																	
AEROPUERTO MARISCAL LAMAR																	
CUENCA- AZUAY																	
LATITUD 02°53.2' S					LONGITUD 78°59.0' W					ELEVACION 2.530 m							
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	S.T	Media	Mx.Ab	Mn.Ab	
VIENTO DOMINANTE																	
PRD	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE	SSW	S	0,0	NE	/	/	
Media	5	5	5	4	5	5	5	6	5	5	6	6	63	5	/	/	
Vel.Mx.	34	33	34	39	28	33	28	30	31	37	32	34	0	39	34	/	
kt.																	
DISTRIBUCION PORCENTUAL DE LA DIRECCION DEL VIENTO																	
EN RUMBOS																	
DIR	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	CLM
%	5,5%	10,2%	13,2%	11,6%	8,9%	2,3%	1,3%	1,8%	4,7%	4,6%	2,4%	1,4%	1,0%	0,4%	0,5%	1,0%	29,3%

Fuente: Estación meteorológica Aeropuerto Mariscal Lamar.

Según el Estudio de Contaminación de Aire 2012 realizado por la EMOV, el comportamiento del viento durante todo el año se verifica en la tabla 3, la misma contiene mes a mes la dirección predominante del viento en la zona del cantón Cuenca.

Tabla 4.- Viento promedio en superficie 2012





Fuente: TAPIA, Darío, *Red de monitoreo de calidad de aire, Cuenca, 2009.*

2.1.4. CRITERIOS PARA LA COLOCACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Los criterios para la colocación de los puntos de muestreo se basaron en los estudios de Calidad de Aire del año 2012, realizados por la EMOV. Esta empresa pública, es responsable de dichas operaciones a partir del año 2010, anteriormente, en el periodo 2008-2010, estuvo a cargo de la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Cuenca (CUENCAIRE).

Se han tenido en cuenta los análisis del último monitoreo de Calidad de Aire 2012, pues al ser recientes, se pueden tomar datos más veraces sobre la actual situación de emisiones en la ciudad de Cuenca. Los resultados de dióxido de azufre (SO₂) y dióxido de nitrógeno (NO₂) de los años 2010, 2011 y 2012 se han reducido en una cantidad favorable, ya que se han aplicado planes de control de contaminantes como es la entrega de combustibles de mejor calidad al cantón. En los años anteriores al 2012, la concentración media del NO₂ estaba entre 15.8 y 19.3 ug/m³ a comparación del 2012 este se ha reducido a 14.61 ug/m³. A continuación se presenta la concentración de SO₂ y NO₂ en el Cantón Cuenca:

Tabla 5.- Concentración media anual de contaminantes.

CONCENTRACIÓN MEDIA ANUAL DE CONTAMINANTES (ug/m³)			
CÓDIGO	Punto de monitoreo	NO₂	SO₂
EVI	Escuela “Velasco Ibarra”.	13.9	7.9
MEA	Mercado El Arenal.	15.8	4.8
ODO	Facultad de Odontología – Universidad de Cuenca.	11.2	9.6
CHT	Colegio “Herlinda Toral”.	10.5	5.3
TET	Terminal Terrestre.	20.5	4.4
MUN	Municipio de la ciudad.	16.2	8.8
EIE	Escuela “Ignacio Escandón”.	13.5	5.3
CRB	Colegio “Rafael Borja”.	7.6	7.0
BAL	Balzay – Universidad de Cuenca.	9.1	3.7
EIA	Escuela “Ignacio Andrade”.	9.5	6.7

CÓDIGO	Punto de monitoreo	NO₂	SO₂
CCA	Colegio “Carlos Arízaga Vega”.	15.8	6.7
ECC	Escuela “Carlos Crespi”.	10.2	4.5
EHS	Escuela “Héctor Sempértgui”.	6.8	4.6
BCB	Estación de Bomberos.	30.2	5.6
LAR	Calle Larga.	25.8	5.7
VEG	Calle Vega Muñoz.	28.0	4.7
MAN	Machángara	8.2	6.7
CEB	El Cebollar	10.4	5.8

Fuente: Red de Monitoreo EMOV, Informe de la calidad del aire. 2012.

2.1.4.1. Modelamiento teórico de la contaminación por SO₂ y NO₂ en el área de estudio.

Los resultados de estas dos emisiones presentadas en el informe de Calidad de Aire 2012 han sido procesados con el fin de obtener mapas para la colocación de los puntos de monitoreo.

El método aplicado fue el Inverso de la Distancia Ponderada (IDW), para el cual se utilizó el software ARCGIS 9.3.

2.1.4.1.1. Método del Inverso de la Distancia Ponderada (IDW)

Método de geoprocésamiento que interpola una superficie a partir de puntos utilizando una técnica de distancia inversa ponderada, es decir, la variable que es representada cartográficamente disminuye su influencia mientras la distancia sea más grande.³⁶

2.1.4.1.2. Cálculo de la concentración de iones de un punto utilizando la metodología del Inverso de Distancia Ponderada (IDW)

³⁶ ESRI, *ArcGIS Resource Center 2012*, 13 de febrero de 2014, www.arcgis.com

Con el fin de demostrar el funcionamiento de este método, herramienta para predicción, se calculó el valor de la concentración media de un punto cuyas coordenadas (X; Y) son (720725.113; 9680019.258), utilizando como datos vecinos correspondientes a los puntos: ARC (El Arenal), RC (Remigio Crespo “Los Nocheros”) y PC (Presidente Córdova y Mariano Cueva).

▪ **Ejemplo aplicado con la concentración del ion NITRATO.**

Tabla 6.- Coordenadas y valores de la concentración del ion Nitrato en el agua lluvia

PUNTOS	NOMBRE	COORDENADA X	COORDENADA Y	VALOR ppm
1	ARC	719858,488	9679945,732	1.676
2	RC	721126,217	9679182,005	0.7790
3	PC	722356,457	9679657,98	2.5556
4	Lugar a Predecir	720725,113	9680019,258	?

Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3.

a. Cálculo de las distancias entre el punto cuyo valor del ion nitrato se va a predecir y los puntos de monitoreo.

$d(\text{lugar1}, \text{lugar2})$ significa distancia del lugar 1 al lugar 2.

$$d(\text{ARC}, \text{Punto de predicción}) = d_{10}$$

$$= \sqrt{(719858,488 - 720725,113)^2 + (9679945,732 - 9680019,258)^2} = 869.738$$

$$d(\text{RC}, \text{Punto de predicción}) = d_{20}$$

$$= \sqrt{(721126,217 - 720725,113)^2 + (9679182,005 - 9680019,258)^2} = 928.373$$

$$d(\text{PC}, \text{Punto de predicción}) = d_{30}$$

$$= \sqrt{(722356,457 - 720725,113)^2 + (9679657,98 - 9680019,258)^2} = 1670.869$$

Tabla 7.- Distancia entre lugares y el punto a predecir

PUNTOS	DISTANCIAS	di
1	869.738	d ₁₀
2	928.373	d ₂₀
3	1670.869	d ₃₀

Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

b. Cálculo de los pesos λ_i

$$\lambda_i = \frac{d_{io}^{-p}}{\sum_{l=1}^N d_{io}^{-p}}$$

Dónde:

N= Número de sitios de muestreo

p=Grado de ponderación

En este caso del ejemplo N=3 y p=2 ya que el programa utiliza estos valores por defecto, sin embargo estos pueden variar.

El total de la suma deberá ser 1, que quiere decir: $\sum_{i=1}^3 \lambda_i = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 1$

$$\sum_{i=1}^3 d_{io}^{-2} = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{1}{d_{io}^2} \right) = \frac{1}{d_{10}^2} + \frac{1}{d_{20}^2} + \frac{1}{d_{30}^2}$$

$$\sum_{i=1}^3 = 0.00000132197 + 0.00000116025 + 0.000000358191$$

$$= \mathbf{0.00000284071}$$

$$\lambda_1 = \frac{d_{10}^{-2}}{\sum_{l=1}^3 d_{io}^{-2}} = \left(\frac{0.00000132197}{0.00000284071} \right) = 0.46536$$

$$\lambda_2 = \frac{d_{20}^{-2}}{\sum_{l=1}^3 d_{io}^{-2}} = \left(\frac{0.00000116025}{0.00000284071} \right) = 0.40843$$

$$\lambda_3 = \frac{d_{30}^{-2}}{\sum_{l=1}^3 d_{io}^{-2}} = \left(\frac{0.000000358191}{0.00000284071} \right) = 0.12609$$

Se comprueba que el total de la suma sea 1

$$0.46536 + 0.40843 + 0.12609 = 1$$

c. Cálculo de la predicción.

$z(S_1), z(S_2), z(S_3)$: Valores de la concentración media del ion Nitrato en el lugar 1, lugar 2 y lugar 3, respectivamente.

$$z(S_0) = \lambda_1 * z(S_1) + \lambda_2 * z(S_2) + \lambda_3 * z(S_3)$$

$$= 0.46536 * 1.676 + 0.40843 * 0.7790 + 0.12609 * 2.5556$$

$$= 0.77994336 + 0.31816697 + 0.322235604$$

$$= \mathbf{1.42034 \text{ ppm}}$$

▪ **Ejemplo aplicado con la concentración del ion SULFATO.**

Tabla 8.- Coordenadas y valores de la concentración del ion Sulfato en el agua lluvia

PUNTOS	NOMBRE	COORDENADA X	COORDENADA Y	VALOR ppm
1	ARC	719858,488	9679945,732	2.7772
2	RC	721126,217	9679182,005	2.2137
3	PC	722356,457	9679657,98	2.3186
4	Lugar a Predecir	720725,113	9680019,258	?

Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

Se obvió los cálculos de los valores de la distancia y de los pesos ya que es el mismo procedimiento para el mismo punto.

a. Cálculo de la predicción.

$z(S_1), z(S_2), z(S_3)$: Valores de la concentración media del ion Nitrato en el lugar 1, lugar 2 y lugar 3, respectivamente.

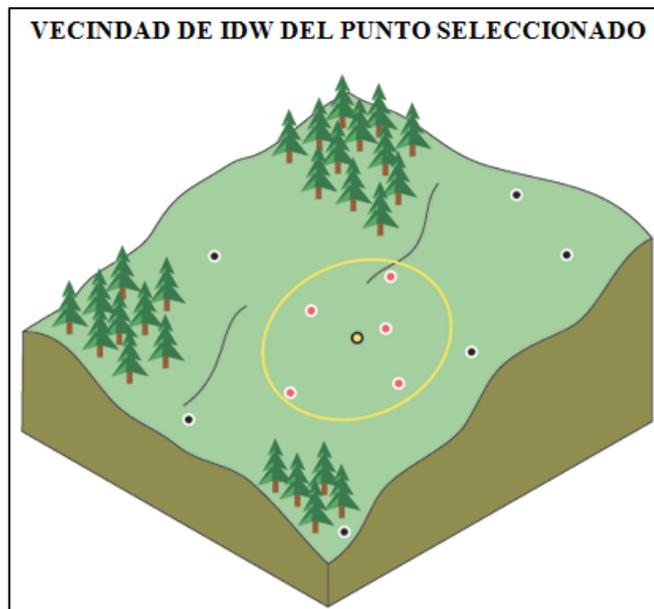
$$z(S_0) = \lambda_1 * z(S_1) + \lambda_2 * z(S_2) + \lambda_3 * z(S_3)$$

$$= 0.46536 * 2.7772 + 0.40843 * 2.2137 + 0.12609 * 2.3186$$

$$= 1.2923 + 0.90414 + 0.29235$$

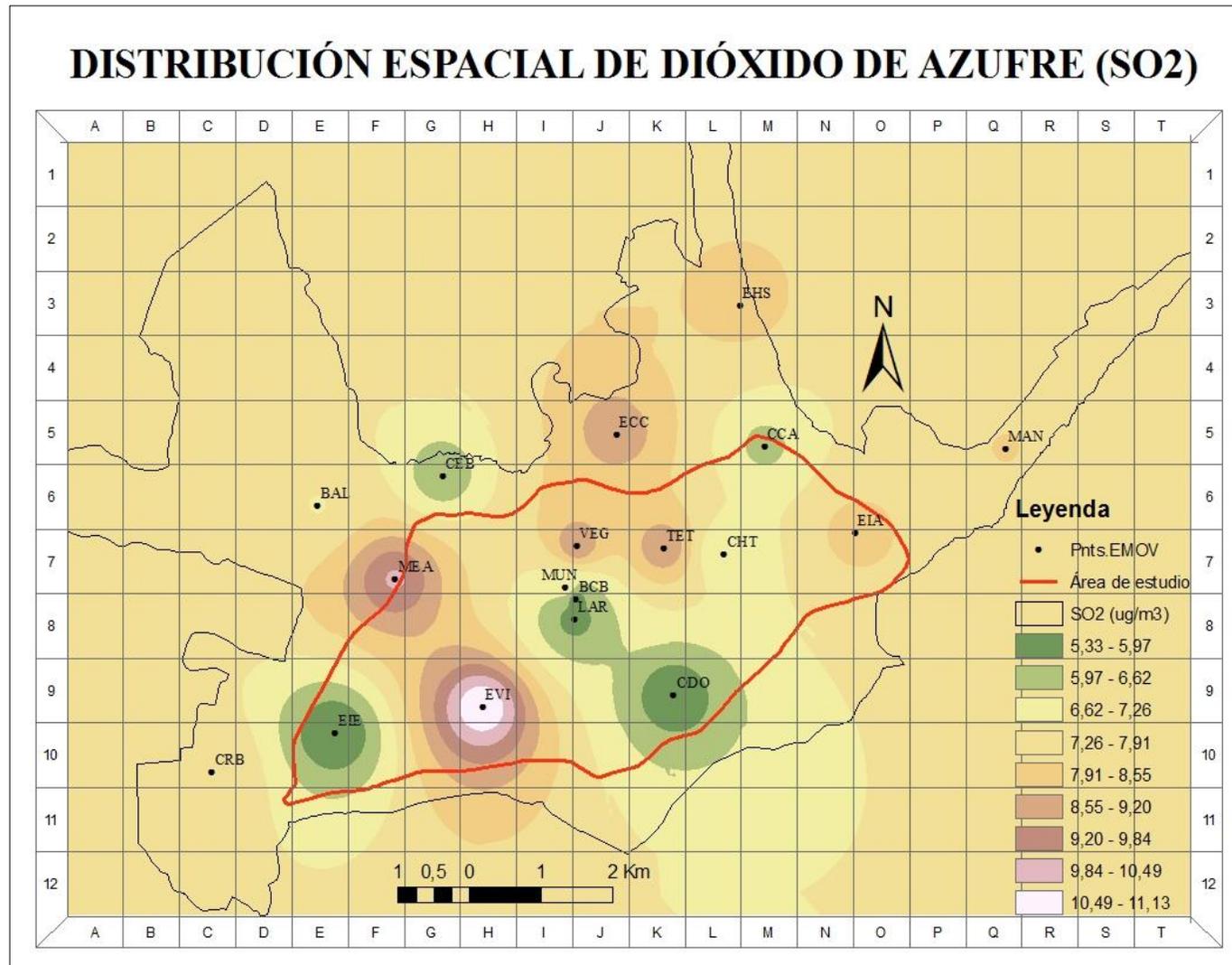
$$= 2.48879 \text{ ppm}$$

Figura 10.- Vecindad del IDW del punto seleccionado.



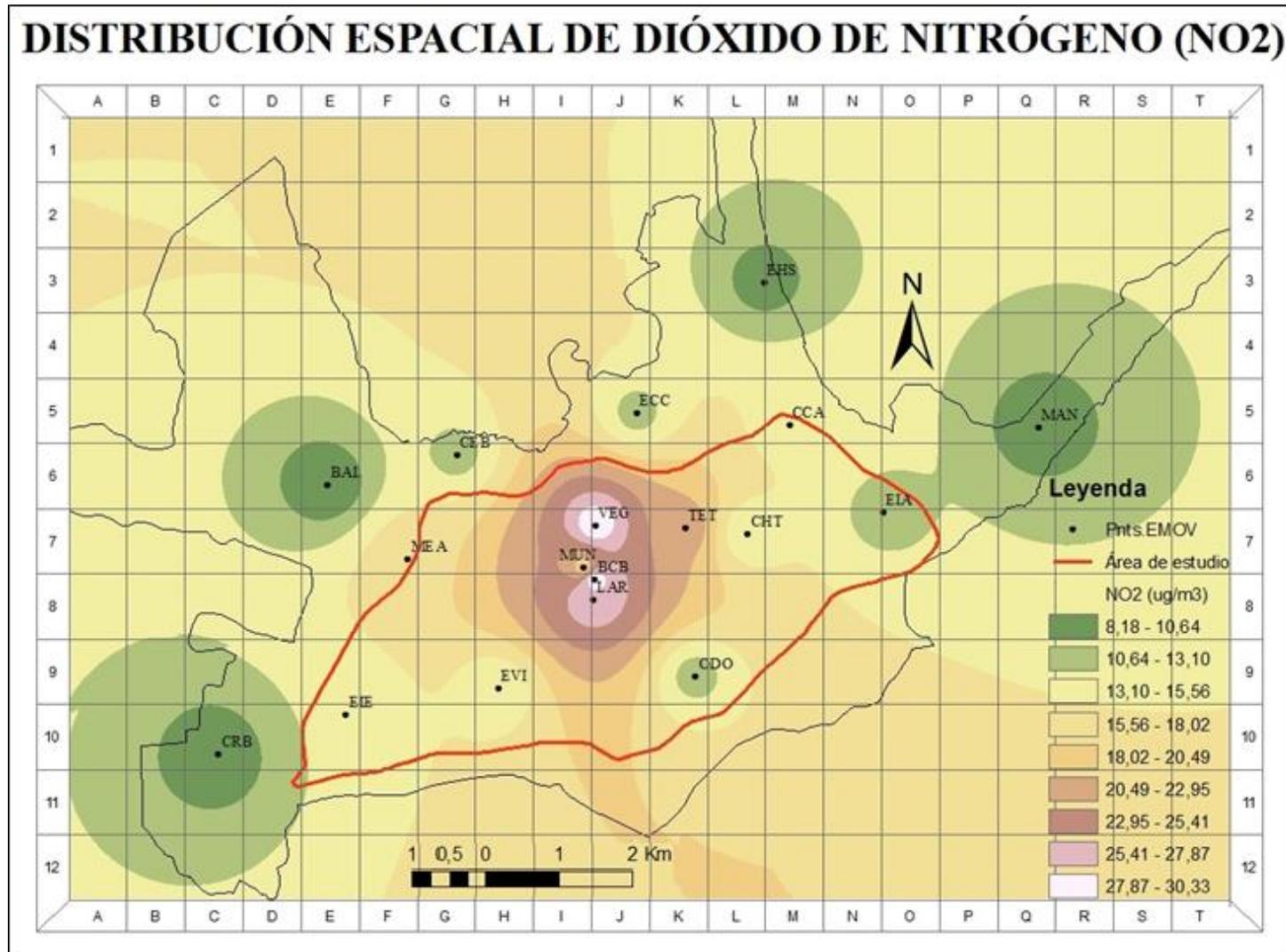
Fuente: ESRI, *ArcGIS Resource Center* 2012, 13 de febrero de 2014

Figura 11.- Distribución espacial de dióxido de azufre (SO₂)



Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

Figura 12.- Distribución espacial de dióxido de azufre (SO₂)

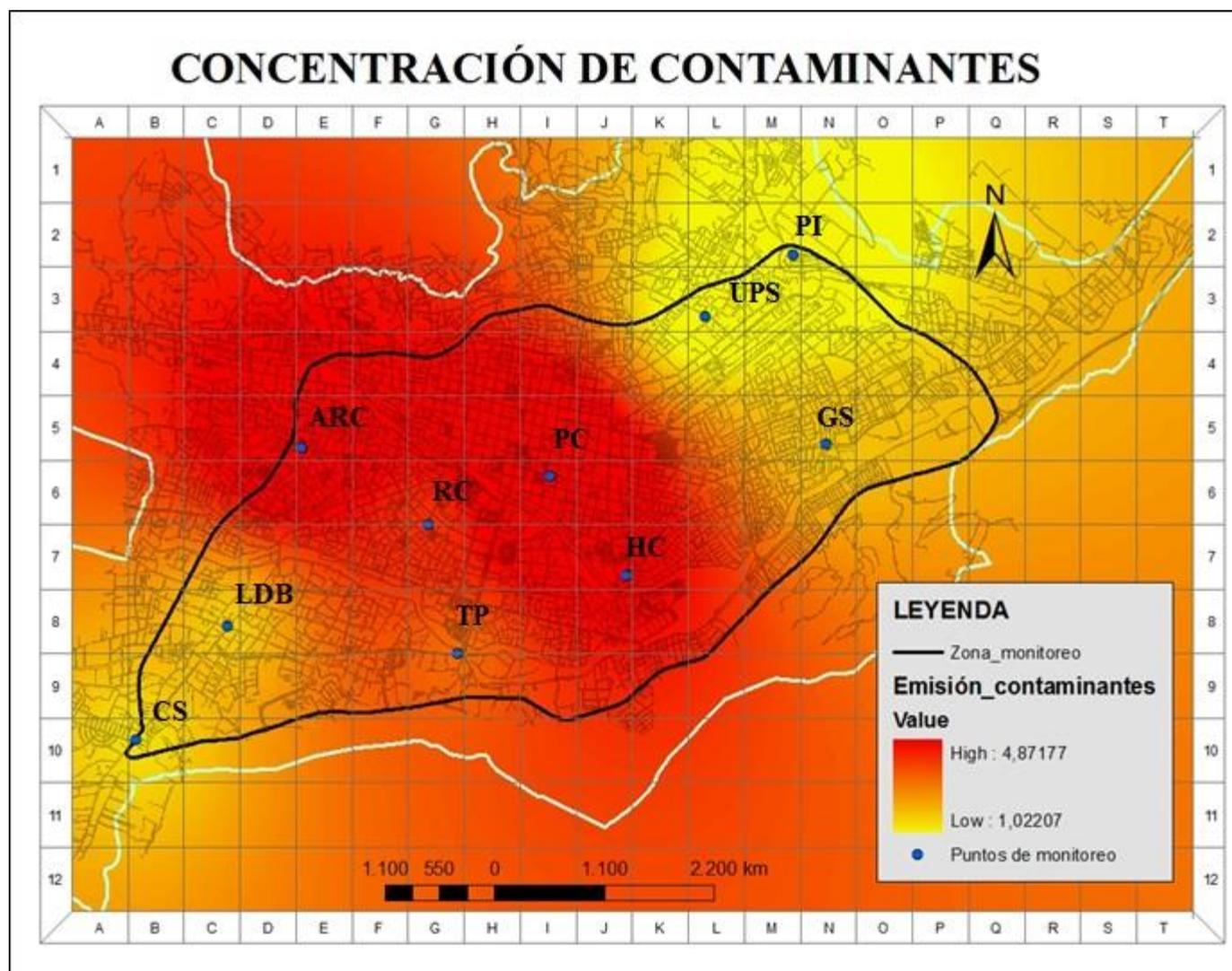


Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

2.1.5. PUNTOS DE MUESTREO: ANÁLISIS DEL PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

Los mapas fueron procesados en el software ARCGIS con la información del Informe de Calidad de Aire de 2012 mencionado anteriormente. Mediante interpolación del SO₂ y NO₂ con la herramienta IDW, se obtuvieron dos mapas tipo Raster con la distribución espacial de dichas emisiones. Estos a su vez fueron sumados con la herramienta Raster Calculator, dando un mapa resultante de la concentración de las emisiones en la zona de monitoreo.

Figura 13.- Concentración de contaminantes



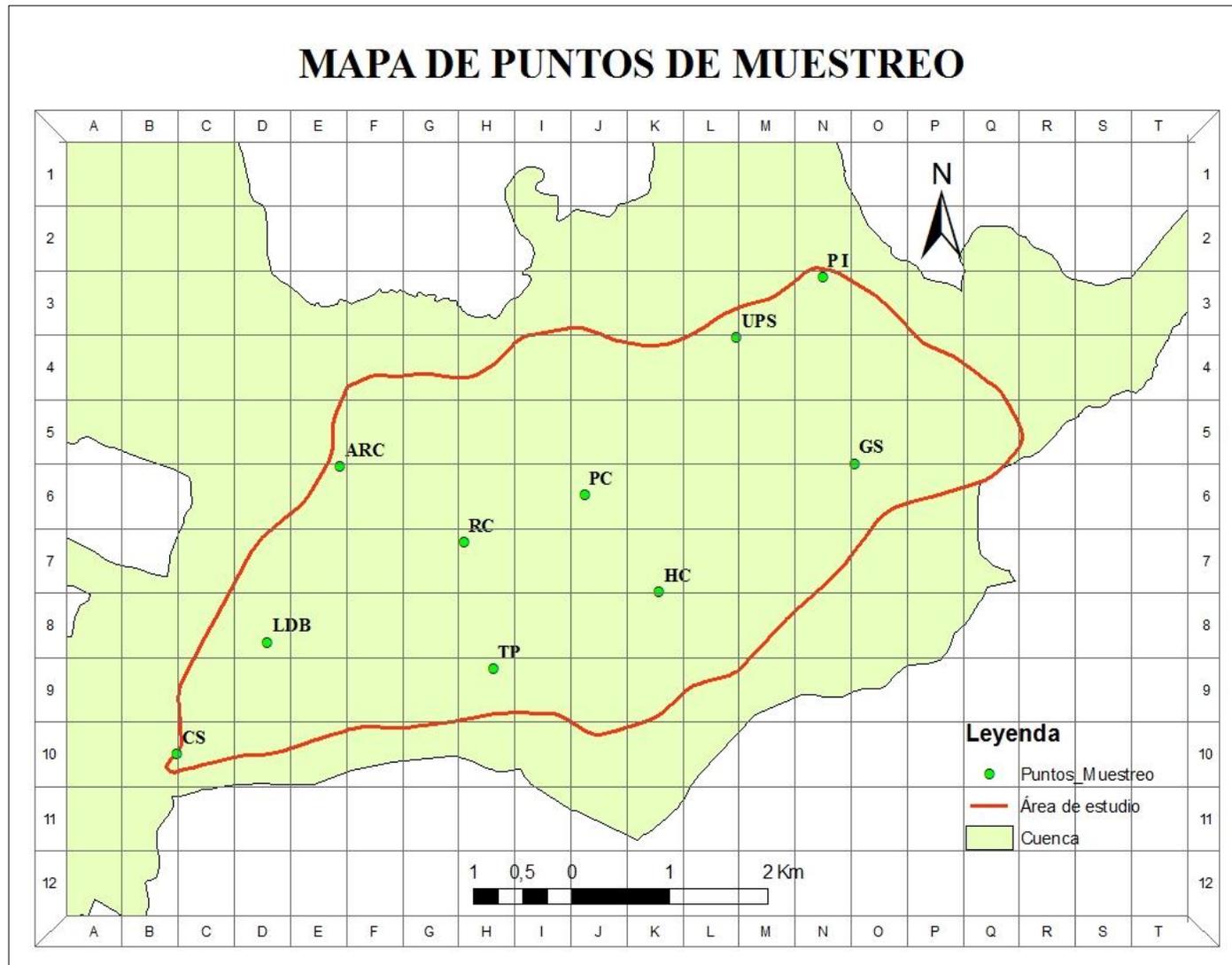
Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

Tabla 9.- Puntos de Muestreo

PUNTOS DE MUESTREO					
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS		ALTURA m.s.n.m	CALLES
		X	Y		
PI	Parque Industrial	724790	9681863	2479	Av. Independencia (Colegio Carlos Arízaga Vega)
UPS	Universidad Politécnica Salesiana	723905	9681250	2465	Calle Vieja y Elia Liut
GS	González Suárez	725111	9679975	2499	Av. González Suárez y Reino de Quito (Clínica Veterinaria Clinivet)
PC	Presidente Córdova	722356	9679658	2556	Calle Presidente Córdova y Mariano Cueva
HC	Huayna Capac	723120	9678677	2517	Av. Huayna Capac y Pachacamac
TP	Tres Puentes	721425	9677900	2542	Av. Solano y Av. Don Bosco
RC	Remigio Crespo	721126	9679182	2552	Av. Remigio Crespo y Av. Ricardo Muñoz. (Los Nocheros)
ARC	Av. de las Américas y Remigio Crespo	719858	9679945	2594	Mercado El Arenal
LDB	Av. Loja y Don Bosco	719121	9678170	2546	Av. Loja y Av. Don Bosco
CS	Control Sur	718202	9677043	2604	Av. De las Américas y Luis de la Cerda

Fuente: La Autora.

Figura 14.- Mapa de puntos de muestreo



Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

2.1.5.1. Determinación del uso de suelo a los puntos de monitoreo.

La determinación del tipo de suelo para los puntos de monitoreo, fueron analizadas según el “Informe final de Mapa de ruido del área urbana de la ciudad de Cuenca”, presentado por la Universidad del Azuay, anexo 1.

Tabla 10.- Tipo de uso de suelo de los puntos de monitoreo.

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	TIPO DE ZONA
PI	Parque Industrial	Industrial
UPS	Universidad Politécnica Salesiana	Comercial mixta
GS	González Suárez	Residencial mixta
PC	Presidente Córdova	Comercial
HC	Huayna Capac	Hospitalaria
TP	Tres Puentes	Residencial mixta
RC	Remigio Crespo	Comercial mixta
ARC	Av. de las Américas y Remigio Crespo	Comercial mixta
LDB	Av. Loja y Don Bosco	Residencial mixta
CS	Control Sur	Residencial mixta

Fuente: La Autora. Figura N°14.

2.2. MONITOREO

2.2.1. COLOCACIÓN DE MUESTRAS

2.2.1.1. Preparación de envases

El material de los envases utilizados para el muestreo fue de polietileno (plástico), sin embargo al ser transparentes se los oscureció usando cinta a prueba de agua con el objetivo de evitar modificaciones producidas por los rayos solares. Además, se colocó un embudo con el fin de obtener una muestra significativa para el análisis en el laboratorio. Este proceso se denomina metodología de precipitación total.³⁷

³⁷ MIGLIAVACCA, D, *Atmospheric precipitation and chemical composition of an urban site, Guaíba hydrographic basin, Brazil*. Editorial Tellus, 2005.

Antes de su colocación y después de cada toma de muestra, se lavaron los envases con detergente y se enjuagó con agua desionizada³⁸ para evitar alteraciones en las muestras.

2.2.1.2. Colocación de envases

Los envases se colocaron tomando en cuenta las siguientes condiciones:

- Colocados a una altura mínima de dos metros.
- Alejados del follaje o raíces de los árboles, ya que estos actúan como obstáculos.
- Ubicados en sitios libres de vandalismo.

Figura 15.- Muestreador colocado en la Universidad Politécnica Salesiana



Fuente: La Autora.

2.2.1.3. Recolección y almacenamiento de muestras

³⁸ Agua desionizada: aquella que no contiene iones como calcio, hierro, sodio, etc. Se utiliza con fines de experimentos científicos.

El monitoreo se realizó durante los meses de junio y julio de 2013. Las muestras fueron recolectadas a pocas horas de haberse producido la precipitación. Previo a cada toma de muestra se midió la acidez del agua lluvia con papel indicador de pH, este tenía la característica de medir en fracciones de 0.25.

Figura 16.- Medición de pH de la muestra.



Fuente: La Autora.

Una vez medido el pH, se procedió a filtrar el agua en un recipiente esterilizado.

Figura 17.- Filtración de la muestra.



Fuente: La Autora.

Las muestras tomadas en cada punto, fueron almacenadas a 4°C, siguiendo las indicaciones de recogida de muestras, conservación y almacenamiento de la Agencia de Protección Ambiental.³⁹

Figura 18.- Almacenamiento de las muestras.



Fuente: La Autora.

2.2.2. ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO

2.2.2.1. MATERIALES Y REACTIVOS

Para el análisis de las muestras en el cromatógrafo iónico se utilizaron los siguientes materiales y reactivos detallados a continuación:

Materiales

- Cromatógrafo iónico.
- Balones de aforo de 1000 ml.
- Balones de aforo de 25 ml.
- Vasos de precipitación de 1000 ml.
- Vasos de precipitación de 25 ml.
- Pipeta.
- Espátula.

³⁹ EPA, *Determination of inorganic anions by ion Chromatography*, Water Works Assoc., Vol 82, p. 192.

- Lunas de reloj.
- Balanza analítica.
- Baño Ultrasónico.
- Jeringas de 10 ml.
- Unidades de filtración Millipore.
- Bomba de plástico.
- Micropipetas.
- Puntas de plástico para micropipetas.

Reactivos

- Hidróxido de potasio (KOH) a una concentración de 38 mmol.
- Sulfato de potasio (K₂SO₄) (concentración: 99%).
- Nitrato de potasio (KNO₃) (concentración: 99.5%).

2.2.2.2. Especificaciones del cromatógrafo iónico

Para el análisis de las muestras de agua lluvia se utilizó un CROMATÓGRAFO IÓNICO DIONEX ICS – 1600, con una columna AS18/4x250 mm y una precolumna AG18/4x50 mm.

- El cromatógrafo tiene las siguientes características:
- Panel frontal LCD táctil.
- RFIC-ER: regeneración automática del eluyente.
- Análisis de componentes mayoritarios y minoritarios gracias a su rango dinámico.
- Tecnología supresora electroquímica o química.
- Software Chromeleon.

2.2.2.3. Protocolo de funcionamiento: para el correcto funcionamiento del cromatógrafo iónico fueron necesarias las siguientes condiciones:

- Efluente: 23 mg.
- Flujo: 1 ml/min.

- Temperatura: 30°C.
- Supresor: ASRS-300 4 mm.
- Amplitud de corriente: 57 miliamperios.
- Volumen de inyección: 20 µl.

2.2.3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO

2.2.3.1. Preparación del eluyente y patrones

Para toda solución preparada se utilizó agua desionizada y desgasificada.

Figura 19.- Desgasificación del agua.



Fuente: La Autora.

✓ ELUYENTE

Como eluyente se preparó hidróxido de potasio (concentración 85%), a una concentración de 38 mmol. Diariamente se utilizó 2000 ml, con el objetivo de mantener el cromatógrafo en buenas condiciones.

✓ PATRONES O SOLUCIONES ESTÁNDAR

Se utiliza para la curva de calibración, en donde se compara la concentración de iones contenidas en la muestra con la solución estándar. Para esto se preparó patrones de 1,3 y 5 partes por millón, dado que las concentraciones de iones en las muestras pudieran ser menores a 1ppm o mayores a 5 ppm.

Para los nitratos se utilizó Nitrato de Potasio (KNO_3) con una concentración del 99% y para los sulfatos se utilizó Sulfato de Potasio (K_2SO_4) con una concentración del 99.5%.

Figura 20.- Preparación de estándares.



Fuente: La Autora.

Se preparó 1000 ml de solución patrón tanto de KNO_3 como de K_2SO_4 , es decir, concentraciones de 1000 ppm. Luego de obtener estas soluciones estándar, se diluyó con el fin de obtener soluciones de 1,3 y 5 ppm.

En balones de aforo de 25 ml se agregó las cantidades calculadas de KNO_3 y K_2SO_4 .

Figura 21.- Preparación de estándares 1 parte por millón (ppm), 3 ppm y 5 ppm.



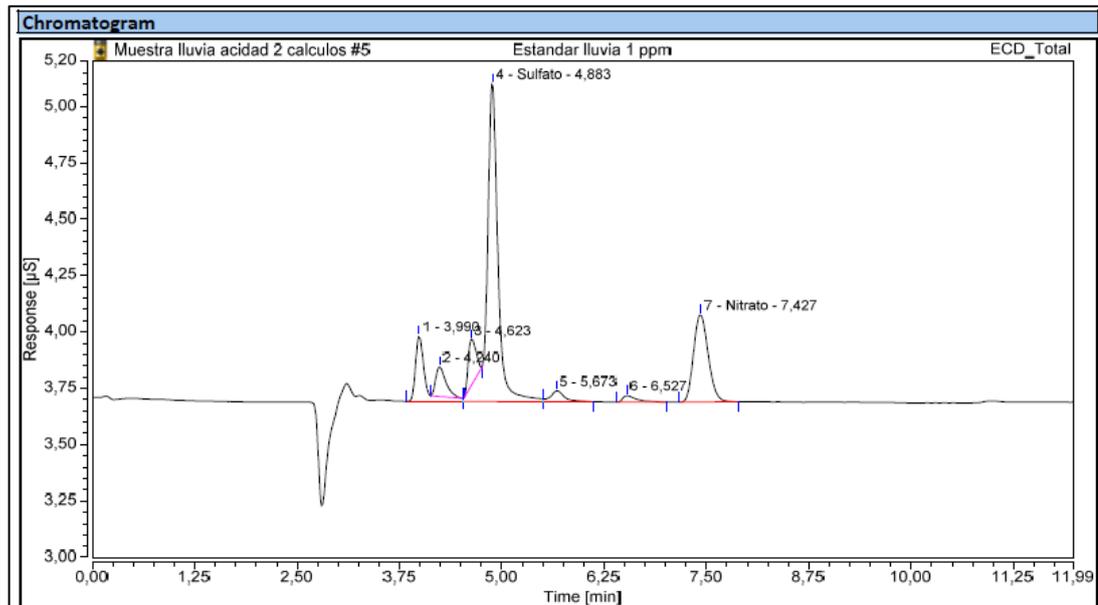
Fuente: La Autora.

Una vez obtenidos los patrones, se procedió a realizar las corridas en el cromatógrafo iónico para obtener las curvas de calibración.

Durante periodos de tiempo de veinte minutos se inyectó un blanco (agua desionizada) y un patrón, hasta completar todas las curvas de calibración.

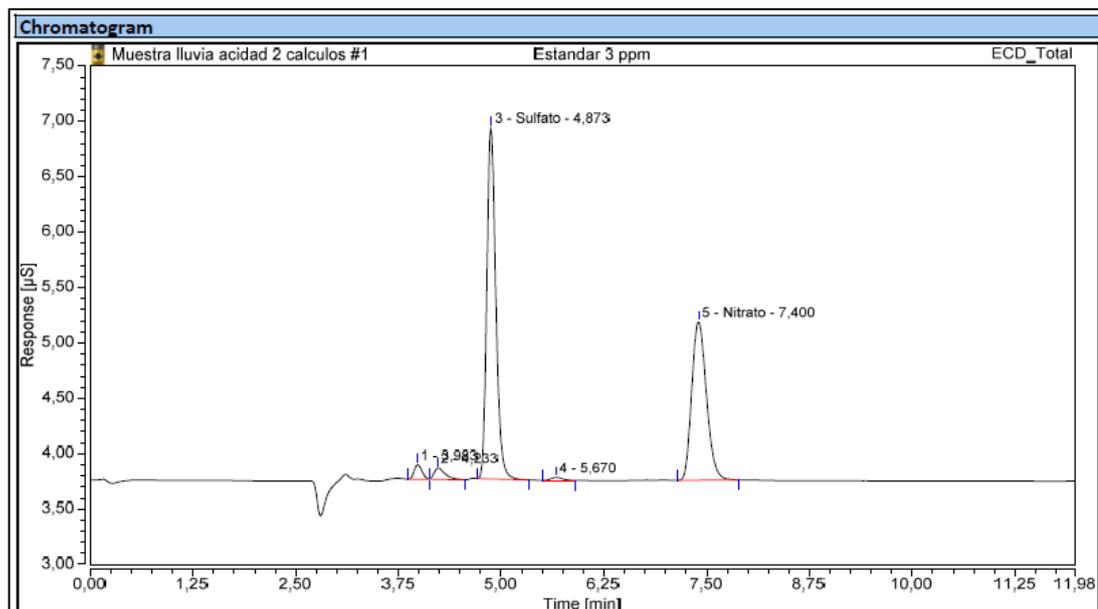
El software emite los siguientes cromatogramas:

Figura 22.- Cromatograma del estándar de 1 parte por millón (ppm)



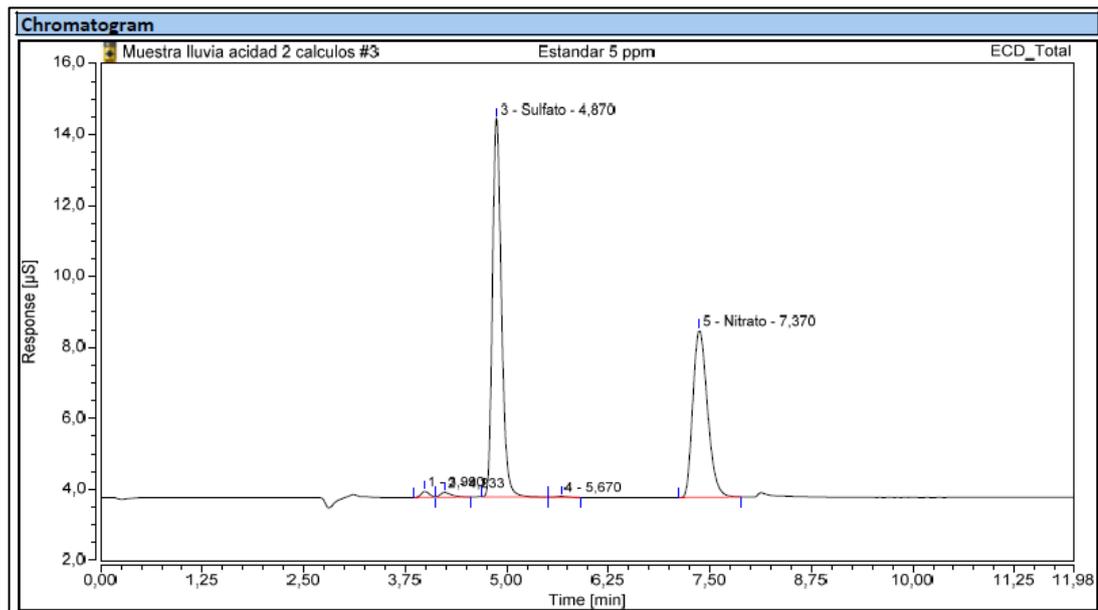
Fuente: La Autora.

Figura 23.- Cromatograma del estándar de 3 ppm.



Fuente: La Autora.

Figura 24.- Cromatograma del estándar de 5 ppm.



Fuente: La Autora.

2.2.3.2. Análisis de muestras

Para en análisis de las muestras, se realizan los siguientes pasos:

- 1) Se toma 1 ml de muestra con la jeringa.
- 2) Se coloca un filtro Millipore.

Figura 25.- Toma de la muestra de agua lluvia con la jeringa.



Fuente: La Autora.

Figura 26.- Colocación del filtro Millipore en la jeringa.



Fuente: La Autora.

3) Inyectamos la jeringa en el cromatógrafo iónico.

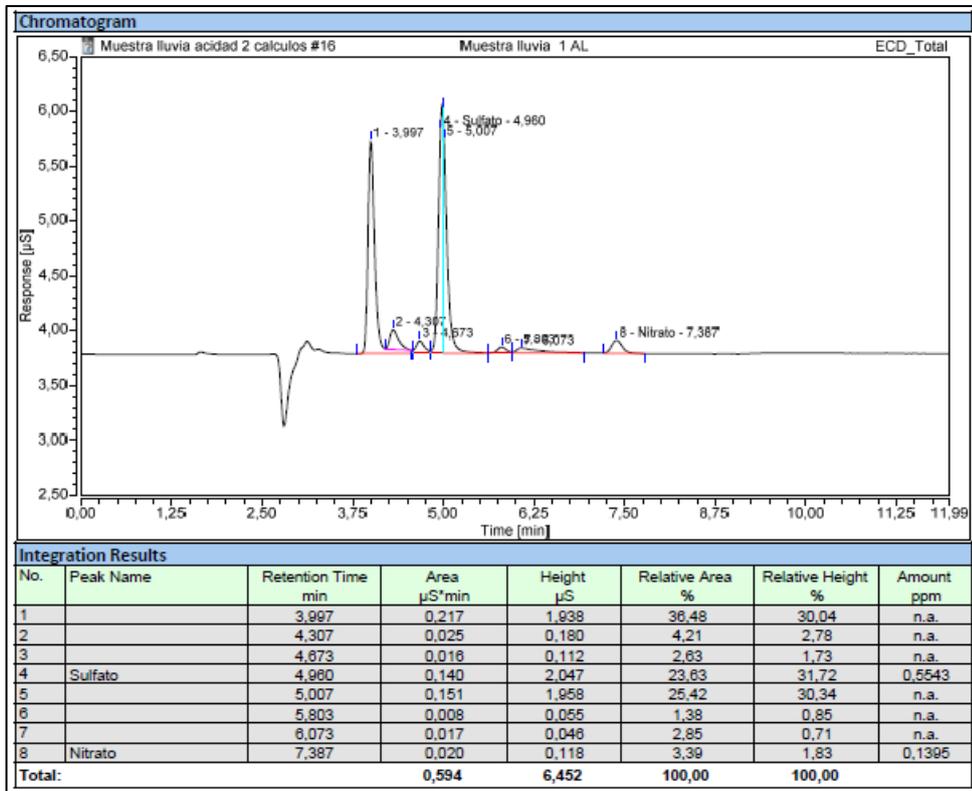
Figura 27.- Inyección en el cromatógrafo iónico.



Fuente: La Autora.

Los cromatogramas resultaron de la siguiente manera:

Figura 28.- Cromatograma



Fuente: La Autora.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. RESULTADOS

Los resultados del análisis de las concentraciones de los iones sulfato y nitrato del agua lluvia se muestran en los Anexos 2 y 3. Los datos de cada punto de monitoreo se presentan por semana de muestreo.

- De acuerdo con el Anexo 2, las mayores concentraciones del ion nitrato en el agua lluvia han sido ubicadas en los puntos PC (Presidente Córdova) y HC (Huayna Capac), los dos puntos son considerados zonas urbanas, de comercio y hospitalaria. Por otro lado una de las menores concentraciones ha sido ubicada en el punto de monitoreo PI (Parque Industrial), correspondiente a la zona industrial.
- Según el Anexo 3, las mayores concentraciones del ion sulfato en el agua lluvia se ubicaron en los puntos de monitoreo ARC (Av. de las Américas y Remigio Crespo) y PC (Presidente Córdova), consideradas zonas mixtas. En lo referente a la mínima concentración, esta se ubica en el punto PI (Parque Industrial), correspondiente a la zona industrial.

Como se observa en el análisis de los datos resultantes, las zonas con altas concentraciones de iones sulfato y nitrato se ubican en la parte central de la ciudad de Cuenca, los puntos de monitoreo situados a la periferia, como es el caso de CS (Control Sur), PI (Parque Industrial) y LDB (Loja y Don Bosco) no muestran valores representativos.

3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A nivel nacional no existen límites permisibles de iones sulfato y nitrato en el agua lluvia, sin embargo, la Organización Meteorológica Mundial presenta una guía de los rangos permisibles para estos iones.

En cuanto al pH, la EPA, considera una lluvia ácida con un pH menor a 5.6. Al conocerse que los iones causantes de la lluvia ácida son los nitratos y sulfatos, se considera que los cambios de pH también varían por el contenido de estos iones.

Tabla 11.- Límites permisibles de sulfato, nitrato y pH.

	TULSMA ⁴⁰	OMM ⁴¹	OMS ⁴²	EPA ⁴³
Sulfato	---	< 0,1 a 30 mg/l o ppm	---	---
Nitrato	---	< 0,1 a 30 mg/l o ppm	---	---
pH	---	---	---	> 5,6

Fuente: TULSMA, OMM, OMS, EPA.

El análisis estadístico de los datos resultantes se comparó con los rangos presentados por la OMM, sin embargo, para un mayor conocimiento de la situación con respecto a otros países, se tomó como referencia los estudios realizados en Guadalajara, México y San José de Costa Rica.

Con respecto al estudio “*Determinación de la concentración de aniones en muestras de precipitación total colectadas en San José, Costa Rica*”, este presenta una concentración máxima de 12,30 ppm del ion sulfato, 4,26 ppm del ion nitrato y un pH mínimo de 4.78 que según la EPA se considera lluvia ácida.⁴⁴

⁴⁰ TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente.

⁴¹ OMM: Organización Meteorológica Mundial.

⁴² OMS: Organización Mundial de la Salud.

⁴³ EPA: Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental)

⁴⁴ HERRERA, Jorge.; RODRÍGUEZ, Susana, *Determinación de la concentración de aniones en muestras de precipitación total colectadas en San José, Costa Rica*, Primera Parte, Revista Internacional de contaminación ambiental, Scielo.

En lo referente al estudio *“Influencia de los contaminantes SO₂ y NO₂ en la formación de lluvia ácida en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México”*, se exponen los resultados del año 2002 en comparación con los años 1999 y 2000, que al ser ciudades con mayor contaminación ambiental, lanzan valores que estiman una mayor relevancia en cuanto a sulfatos, nitratos y pH. El valor máximo que han hallado en sulfatos ha sido 6,20 ppm y 5.27 ppm en nitratos.

En base a los dos estudios mencionados anteriormente, se tomó en consideración el estudio realizado en Jalisco, México, ya que en el estudio realizado en San José de Costa Rica, explica que las mayores concentraciones son producto de las contribuciones antrópicas y naturales como es el aerosol marino, y en Jalisco la mayor contaminación son fuentes antrópicas.

Tabla 12.- Análisis estadístico de la concentración del ion nitrato en las muestras de agua lluvia

PUNTOS DE MONITOREO										ppm
PI	UPS	GS	PC	HC	TP	RC	ARC	LDB	CS	
0,0054	0,0182	0,1138	0,8762	0,3554	0,5030	0,0241	0,0778	0,0429	0,1130	MÍNIMOS
1,1150	1,7712	2,9130	4,2130	3,8106	1,9302	2,5255	1,9734	2,4420	1,9640	MÁXIMOS
0,2244	0,7440	0,8172	2,2823	1,6399	0,9140	0,6972	1,2885	0,5972	0,6768	MEDIANA
0,4155	0,8530	1,1411	2,5556	1,7865	1,0485	0,7790	1,1676	0,8141	0,8236	MEDIA ARITMÉTICA
0,4139	0,6414	1,1518	1,1441	1,2032	0,5227	0,8131	0,6427	0,8499	0,7107	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
0,1713	0,4113	1,3266	1,3089	1,4477	0,2732	0,6612	0,4131	0,7224	0,5050	VARIANZA
1,1096	1,7530	2,7992	3,3368	3,4552	1,4272	2,5014	1,8956	2,3991	1,8510	RANGO

Fuente: La Autora.

El análisis estadístico de la Tabla N°12 presentan como valor máximo de la concentración del ion nitrato en el punto de muestreo HC (Huayna Capac) con 4,2130 ppm, el valor mínimo se muestra en el punto PI (Parque Industrial) con un valor de 0,0054 ppm. La mayor desviación estándar es de 1,1518 en el punto GS (González Suárez), la varianza también presenta un valor alto de 1,4477 en el punto HC (Huayna Capac), de la misma forma el mayor rango está presente en este punto con un valor de 3,4552 ppm.

Tabla 13.- Análisis estadístico de la concentración del ion sulfato en las muestras de agua lluvia

PUNTOS DE MONITOREO										
PI	UPS	GS	PC	HC	TP	RC	ARC	LDB	CS	
0,0236	0,0397	0,6112	0,2832	0,5591	0,4161	0,5864	1,1750	0,4190	0,1642	MÍNIMOS
0,9150	1,3910	1,4170	3,9820	3,6520	2,6310	3,1161	4,9820	3,4896	1,7380	MÁXIMOS
0,7060	0,6504	0,7798	2,0307	1,0472	1,5130	2,3881	2,8992	0,9194	0,9434	MEDIANA
0,6060	0,6350	0,9035	2,3136	1,5542	1,5371	2,2137	2,7772	1,1715	1,0543	MEDIA ARITMÉTICA
0,3079	0,4516	0,2863	1,3629	1,1102	0,6747	0,8198	1,3632	0,9957	0,5586	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
0,0948	0,2040	0,0820	1,8575	1,2324	0,4552	0,6721	1,8584	0,9915	0,3120	VARIANZA
0,8914	1,3513	0,8058	3,6988	3,0929	2,2149	2,5297	3,8070	3,0706	1,5738	RANGO

Fuente: La Autora.

El análisis estadístico de la Tabla N°13 presentan como valor máximo de la concentración del ion sulfato en el punto de muestreo ARC (Américas y Remigio Crespo, El Arenal) con 4,9820 ppm, el valor mínimo se muestra en el punto PI (Parque Industrial) con un valor de 0,0236 ppm. La mayor desviación estándar es de 1,3632 en el punto ARC (Américas y Remigio Crespo, El Arenal), la varianza también presenta un valor alto de 1,8584 en el mismo punto y de la misma manera muestra un rango mayor de 3,8070 ppm.

Tabla 14.- Resultados del pH del agua lluvia utilizando papel indicador.

PUNTOS DE MONITOREO											
	PI	UPS	GS	PC	HC	TP	RC	ARC	LDB	CS	PROMEDIO
1ra SEMANA	5,75	5,50	5,50	6,00	5,75	5,75	5,50	5,75	5,75	5,50	5,69
2da SEMANA	5,50	5,75	5,75	5,50	5,75	5,75	5,75	5,75	5,75	5,75	5,69
3ra SEMANA	5,75	5,75	5,75	5,75	5,50	5,75	5,50	5,50	5,75	5,50	5,67
4ta SEMANA	5,50	5,75	5,75	5,75	5,50	5,75	5,75	5,75	5,50	5,50	5,67
5ta SEMANA	5,75	5,75	5,50	5,75	5,75	5,75	5,50	5,50	5,75	5,75	5,67
6ta SEMANA	5,50	5,75	5,50	5,75	5,50	5,75	5,75	5,75	5,50	5,75	5,64
7ma SEMANA	5,75	5,75	5,75	5,75	6,00	5,75	5,75	5,50	5,50	5,75	5,72
8va SEMANA	5,75	5,75	5,75	5,75	5,75	5,50	5,75	5,50	5,75	5,75	5,69
PROMEDIO	5,66	5,76	5,79	5,77	5,78	5,78	5,78	5,78	5,82	5,76	5,68

Fuente: La Autora.

El pH del agua lluvia se midió con papel indicador al poco tiempo de sucedida la precipitación, ya que el pH de las muestras se altera al almacenarlas por más de dos días.⁴⁵ El promedio que se calculó fue de 5.68, que es un pH normal, no ácido. Este resultado se utilizó como un referente para un análisis simple del tipo de lluvia en la ciudad, sin embargo, no fue objeto de un análisis profundo ya que la lectura con papel indicador no es exacta y lo correcto sería utilizar un equipo medidor de pH electrónico de campo, mismo que fue no estuvo disponible en el tiempo de recolección de las muestras.

El trabajo de investigación plantea una hipótesis el cual, mediante el proceso estadístico, se niega o se afirma con el fin de argumentar los resultados obtenidos. Es así como el trabajo presenta y comprueba los resultados con los rangos propuestos en el análisis de cada punto de monitoreo.

A continuación se presenta el análisis estadístico de las concentraciones de los iones nitrato y sulfato.

3.2.1. CONCENTRACIÓN DEL ION NITRATO

- **PI (Parque Industrial)**

La concentración del ion nitrato en el punto de muestreo PI (Parque Industrial), presenta los siguientes valores: media de 0,4155 ppm, desviación estándar de 0,4139 y un error estándar de 0,145, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

Tabla 15.- Análisis t student del punto PI.

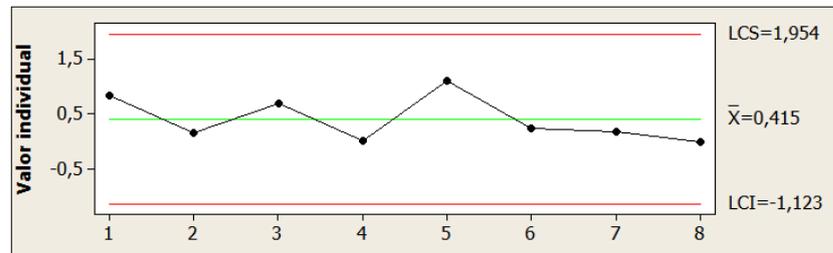
Análisis <i>t student</i> del punto PI				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	0,4155	0,4139	0,146	(0,069 ; 0,762)

Fuente: La Autora.

⁴⁵OMM, MANUAL FORT HE GAW PRECIPITATION CHEMISTRY PROGRAMME, Guidelines, data quality objectives and standard operating procedures, Noviembre de 2004 , p. 41, 42.

Existe un comportamiento normal de la concentración del ion nitrato durante cada semana de muestreo, el límite de control superior es de 1.954 ppm y el inferior es de -1.123 ppm. El comportamiento de los datos con respecto a la media es normal.

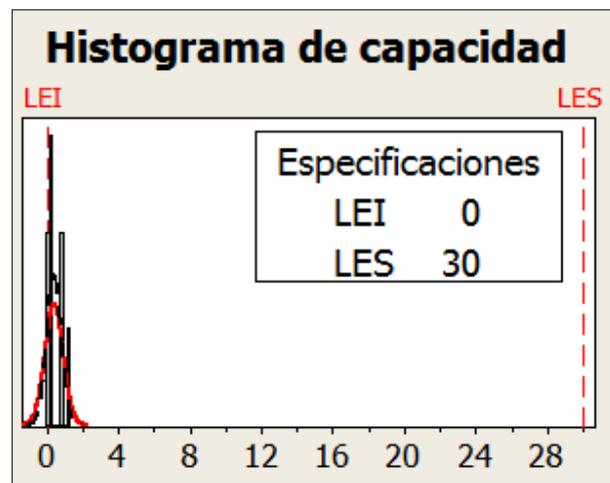
Figura 29.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto PI.



Fuente: La Autora.

El histograma de capacidad procesado ha sido con el rango de 0 a 30, como lo establece la OMM, el gráfico de barras que destaca se encuentra dentro del rango establecido y sesgado hacia la izquierda, cercano al límite inferior.

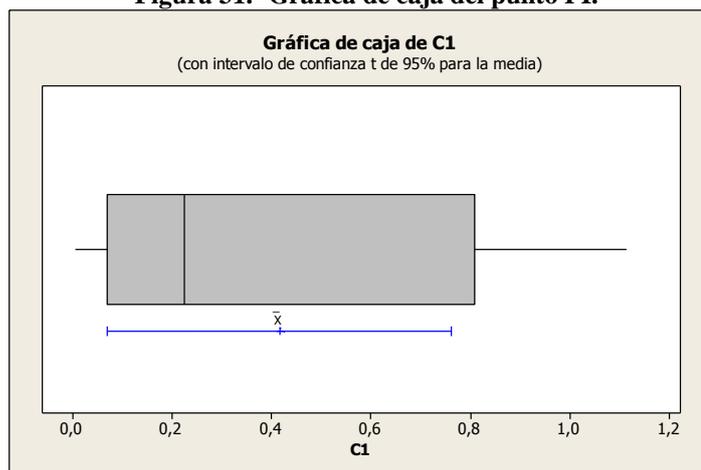
Figura 30.- Histograma de capacidad del punto PI.



Fuente: La Autora.

La gráfica de cajas obtenido presenta el bigote inferior en 0,054 ppm y el superior en 1,115 ppm. El primer cuartil se encuentra en 0,07 ppm, es decir, el 25 % de los datos son menores o a este valor; el tercer cuartil se encuentra en 0,8075 ppm, es decir, el 75% de los datos son menores a este valor. No existe ningún valor atípico.

Figura 31.- Gráfica de caja del punto PI.



Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango que establece la OMM y en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

▪ **UPS (Universidad Politécnica Salesiana)**

La concentración del ion nitrato en el punto de muestreo UPS (Universidad Politécnica Salesiana), presenta los siguientes valores: media de 0.853, desviación estándar de 0,641 y un error estándar de 0,227, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

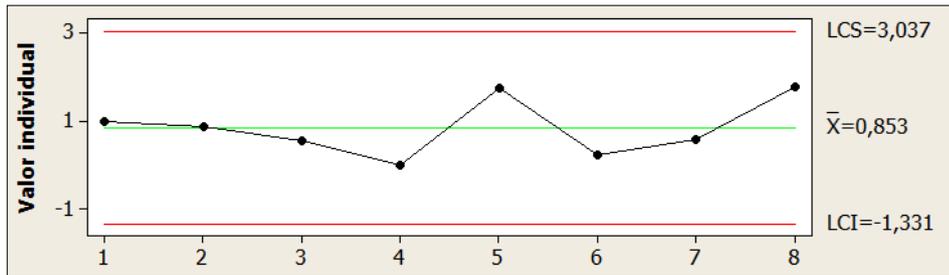
Tabla 16.- Análisis *t student* del punto UPS.

Análisis <i>t student</i> del punto UPS				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	0,853	0,641	0,227	(0,317 ; 1,389)

Fuente: La Autora.

Existe un comportamiento normal de la concentración del ion nitrato durante cada semana de muestreo, el límite de control superior es de 3,037 y el inferior es de -1.331. Los datos se distribuyen de forma normal con respecto a la media.

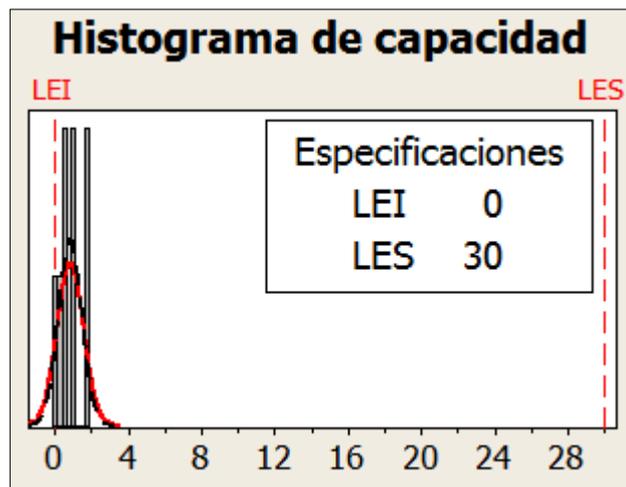
Figura 32.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto UPS.



Fuente: La Autora.

El histograma de capacidad procesado ha sido con el rango de 0 a 30, como lo establece la OMM, el gráfico de barras que destaca se encuentra dentro del rango establecido y sesgado hacia la izquierda, cercano al límite inferior.

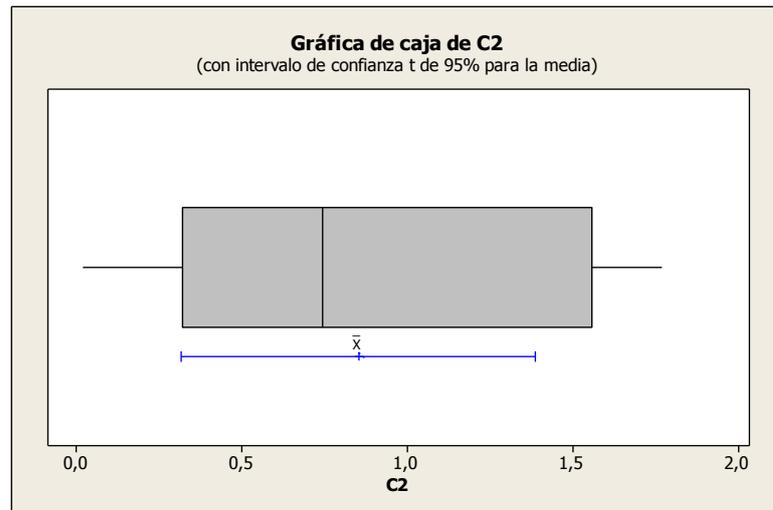
Figura 33.- Histograma de capacidad del punto UPS.



Fuente: La Autora.

La gráfica de cajas obtenido presenta el bigote inferior en 0,0182 ppm y el superior en 1,7712 ppm. El primer cuartil se encuentra en 0,318475 ppm, es decir, el 25 % de los datos son menores a este valor; el tercer cuartil se encuentra en 1,7712 ppm, es decir, el 75% de los datos son menores a este valor. No existe ningún valor atípico.

Figura 34.- Gráfica de caja del punto UPS.



Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por la OMM y en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

▪ **GS (González Suárez)**

La concentración del ion nitrato en el punto de muestreo GS (González Suárez), presenta los siguientes valores: media de 1.141, desviación estándar de 1.152 y un error estándar de 0.407, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

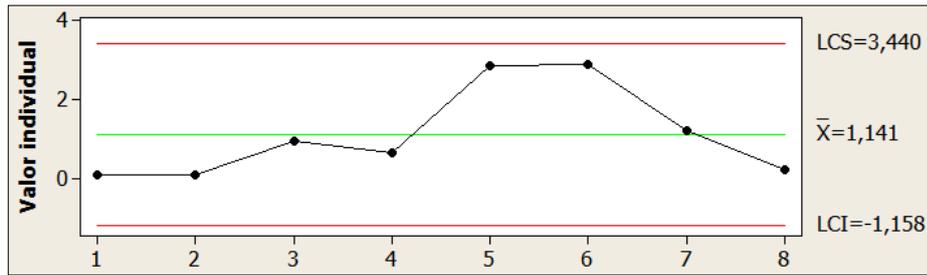
Tabla 17.- Análisis t student del punto GS.

Análisis <i>t student</i> del punto GS				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	1,141	1,152	0,407	(0,178 ; 2,104)

Fuente: La Autora.

Existe un comportamiento normal de la concentración del ion nitrato durante cada semana de muestreo, el límite de control superior es de 3,440 y el inferior es de - 1.158. Los datos se distribuyen de forma normal con respecto a la media.

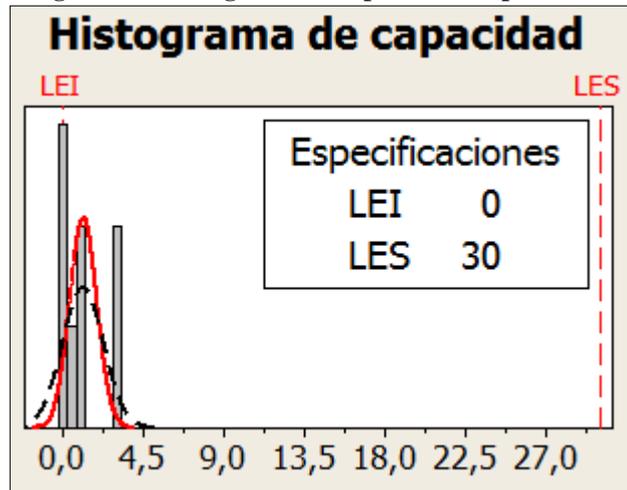
Figura 35.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto GS.



Fuente: La Autora.

El histograma de capacidad procesado ha sido con el rango de 0 a 30 ppm, como lo establece la OMM, el gráfico de barras que destaca se encuentra dentro del rango establecido y sesgado hacia la izquierda, cercano al límite inferior.

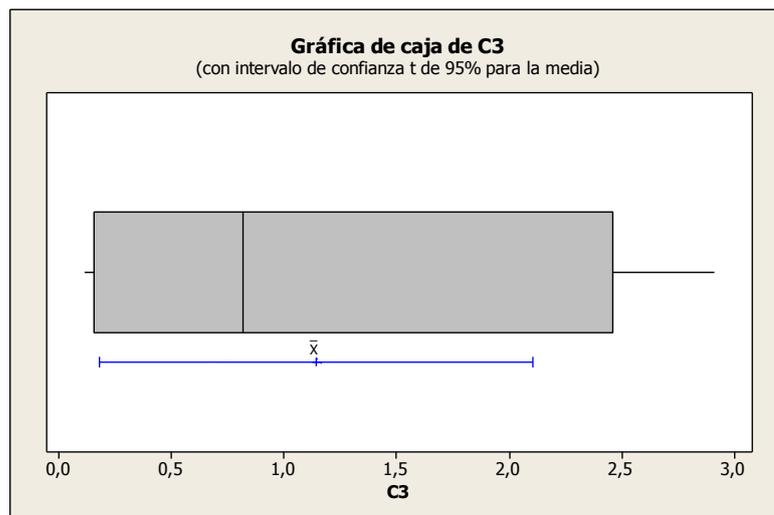
Figura 36.- Histograma de capacidad del punto GS.



Fuente: La Autora.

La gráfica de cajas obtenido presenta el bigote inferior en 0,1138 ppm y el superior en 2,913 ppm. El primer cuartil se encuentra en 0,1539 ppm, es decir, el 25 % de los datos son menores a este valor; el tercer cuartil se encuentra en 2,4602 ppm, es decir, el 75% de los datos son menores a este valor. No existe ningún valor atípico.

Figura 37.- Gráfica de caja del punto GS.



Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por la OMM y en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

▪ **PC (Presidente Córdoba)**

La concentración del ion nitrato en el punto de muestreo PC (Presidente Córdoba), presenta los siguientes valores: media de 2,556, desviación estándar de 1,144 y un error estándar de 0,404, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

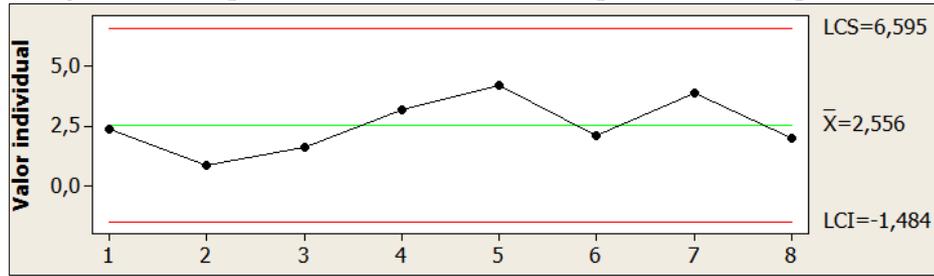
Tabla 18.- Análisis t student del punto PC.

Análisis <i>t student</i> del punto PC				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	2,556	1,144	0,404	(1,599 ; 3,512)

Fuente: La Autora.

Existe un comportamiento normal de la concentración del ion nitrato durante cada semana de muestreo, el límite de control superior es de 6,595 y el inferior es de -1.484. Los datos se distribuyen de forma normal con respecto a la media.

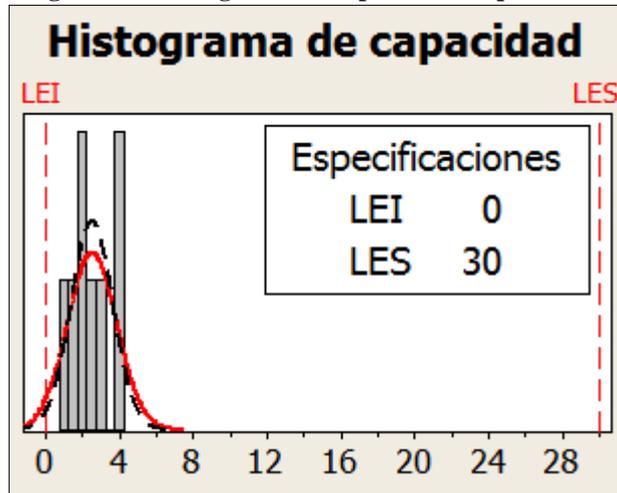
Figura 38.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto PC.



Fuente: La Autora.

El histograma de capacidad procesado ha sido con el rango de 0 a 30, como lo establece la OMM, el gráfico de barras que destaca se encuentra dentro del rango establecido y sesgado hacia la izquierda, cercano al límite inferior.

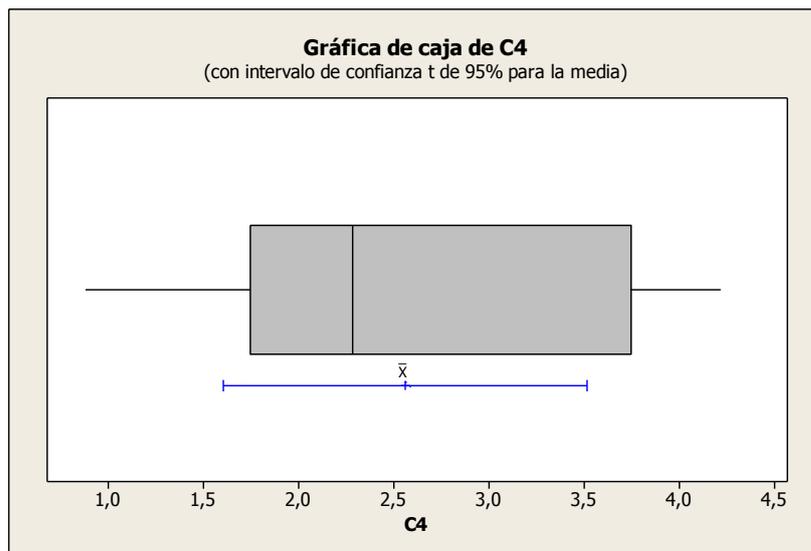
Figura 39.- Histograma de capacidad del punto PC.



Fuente: La Autora.

La gráfica de cajas obtenido presenta el bigote inferior en 0,8762 ppm y el superior en 4,213 ppm. El primer cuartil se encuentra en 1,74103 ppm, es decir, el 25 % de los datos son menores a este valor; el tercer cuartil se encuentra en 3,74 ppm, es decir, el 75% de los datos son menores a este valor. No existe ningún valor atípico.

Figura 40.- Gráfica de caja del punto PC.



Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por la OMM y en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

- **HC (Huayna Capac)**

La concentración del ion nitrato en el punto de muestreo HC (Huayna Capac), presenta los siguientes valores: media de 1,786, desviación estándar de 1,203 y un error estándar de 0,425, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

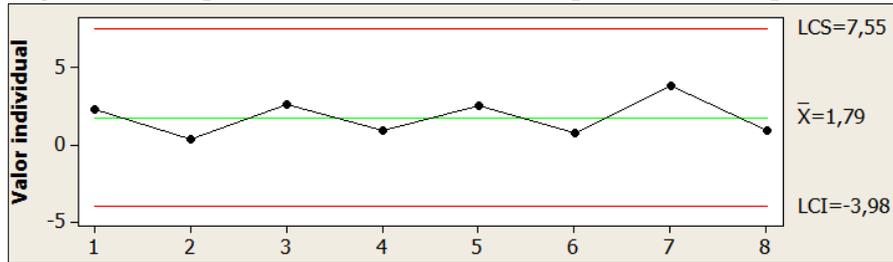
Tabla 19.- Análisis t student del punto HC.

Análisis <i>t student</i> del punto HC				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	1,786	1,203	0,425	(0,781 ; 2,792)

Fuente: La Autora.

Existe un comportamiento normal de la concentración del ion nitrato durante cada semana de muestreo, el límite de control superior es de 7,55 y el inferior es de -3,98. Los datos se distribuyen de forma normal con respecto a la media.

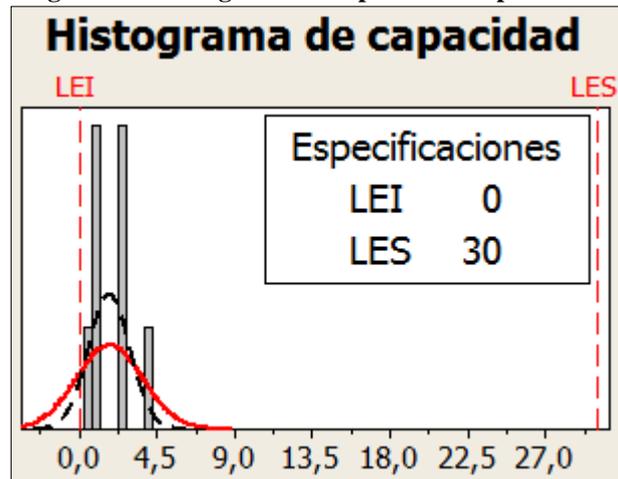
Figura 41.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto HC.



Fuente: La Autora.

El histograma de capacidad procesado ha sido con el rango de 0 a 30 ppm, como lo establece la OMM, el gráfico de barras que destaca se encuentra dentro del rango establecido y sesgado hacia la izquierda, cercano al límite inferior.

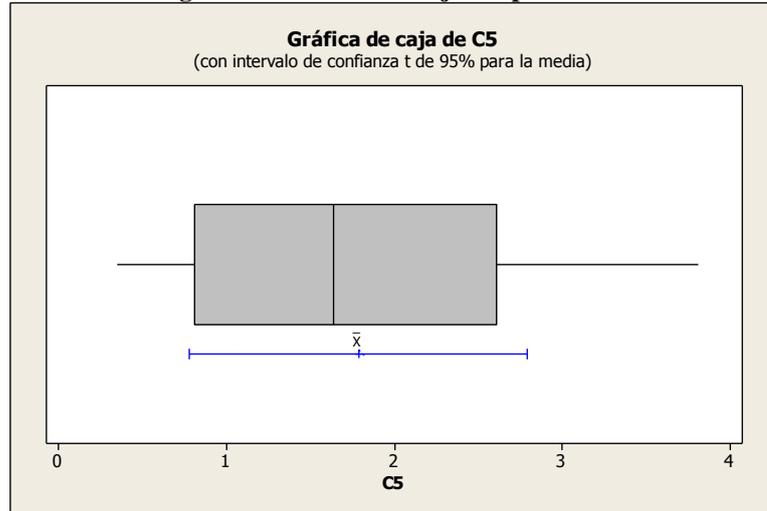
Figura 42.- Histograma de capacidad del punto HC.



Fuente: La Autora.

La gráfica de cajas obtenido presenta el bigote inferior en 0,3554 ppm y el superior en 3,8106 ppm. El primer cuartil se encuentra en 0,811 ppm, es decir, el 25 % de los datos son menores a este valor; el tercer cuartil se encuentra en 2,609 ppm, es decir, el 75% de los datos son menores a este valor. No existe ningún valor atípico.

Figura 43.- Gráfica de caja del punto HC.



Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por la OMM y en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

▪ **TP (Tres Puentes)**

La concentración del ion nitrato en el punto de muestreo TP (Tres Puentes), presenta los siguientes valores: media de 1,048, desviación estándar de 0,523 y un error estándar de 0,185, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

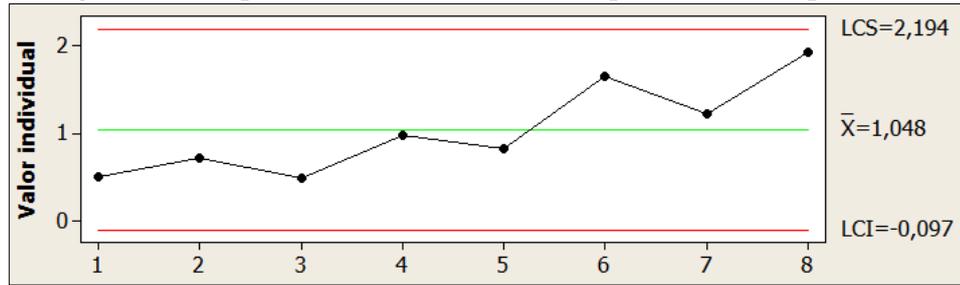
Tabla 20.- Análisis *t student* del punto TP.

Análisis <i>t student</i> del punto TP				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	1,048	0,523	0,185	(0,612 ; 1,485)

Fuente: La Autora.

Existe un comportamiento normal de la concentración del ion nitrato durante cada semana de muestreo, el límite de control superior es de 2,194 y el inferior es de -0,097. Los datos se distribuyen de forma normal con respecto a la media.

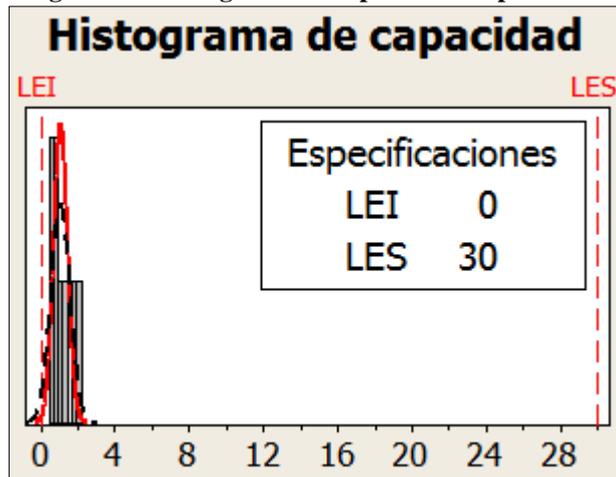
Figura 44.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto TP.



Fuente: La Autora.

El histograma de capacidad procesado ha sido con el rango de 0 a 30, como lo establece la OMM, el gráfico de barras que destaca se encuentra dentro del rango establecido y sesgado hacia la izquierda, cercano al límite inferior.

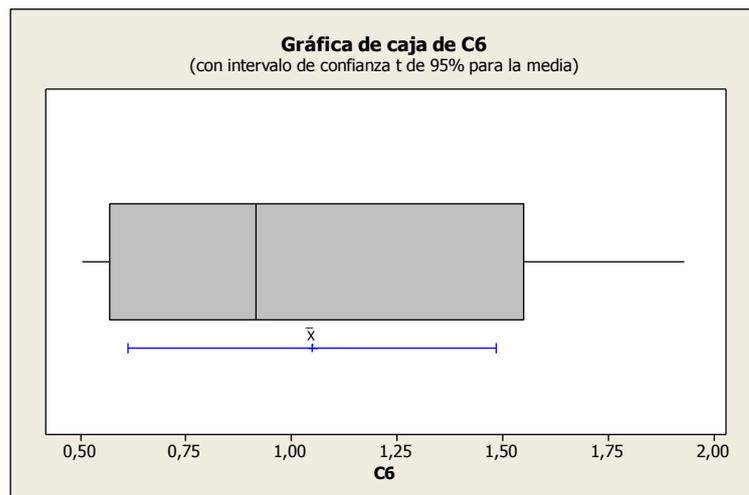
Figura 45.- Histograma de capacidad del punto TP.



Fuente: La Autora.

La gráfica de cajas obtenido presenta el bigote inferior en 0,503 ppm y el superior en 1,9302 ppm. El primer cuartil se encuentra en 0,5685 ppm, es decir, el 25 % de los datos son menores a este valor; el tercer cuartil se encuentra en 3,74 ppm, es decir, el 75% de los datos son menores a este valor. No existe ningún valor atípico.

Figura 46.- Gráfica de caja del punto TP.



Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por la OMM y en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

▪ **RC (Remigio Crespo)**

La concentración del ion nitrato en el punto de muestreo RC (Remigio Crespo), presenta los siguientes valores: media de 0,779, desviación estándar de 0,813 y un error estándar de 0,287, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

Tabla 21.- Análisis t student del punto RC.

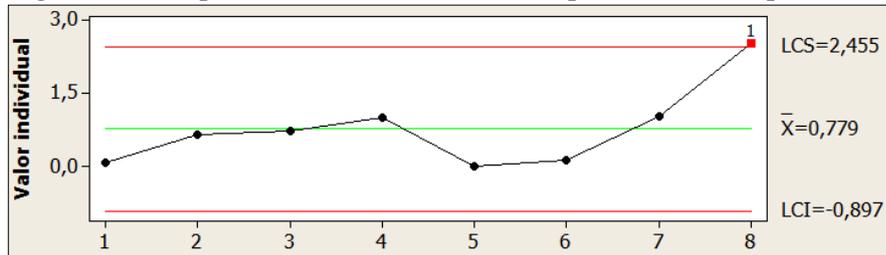
Análisis <i>t student</i> del punto RC				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	0,779	0,813	0,287	(0,099 ; 1,459)

Fuente: La Autora.

El comportamiento de los datos con respecto a la media es normal a excepción del último dato en el que excede el límite de control superior, el mismo está en 2,455 y el inferior en -0,897. Existe un comportamiento normal de la concentración del ion

nitrate during the seven weeks and in the last week there is a variation of the concentration that reaches 2,52 ppm.

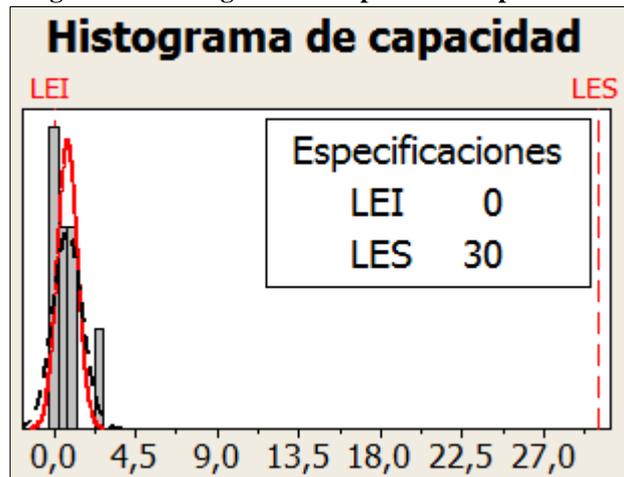
Figura 47.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto RC.



Fuente: La Autora.

The histogram of capacity processed has been with the range of 0 to 30, as established by the OMM, the bar chart that stands out is within the established range and skewed to the left, close to the lower limit.

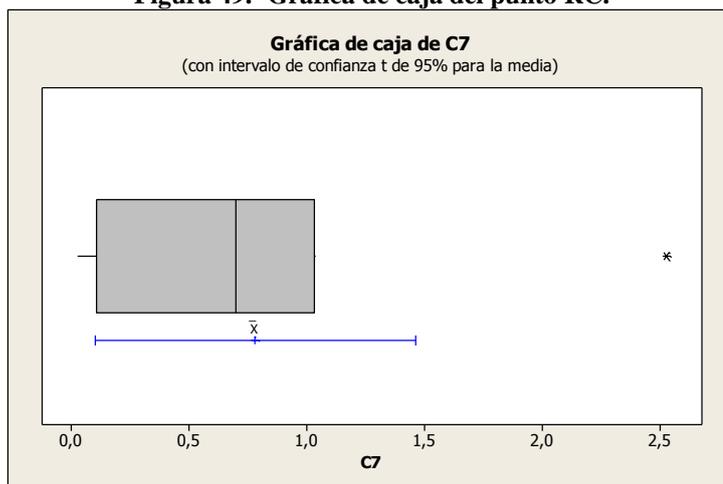
Figura 48.- Histograma de capacidad del punto RC.



Fuente: La Autora.

The box plot obtained presents the lower whisker at 0,0241 ppm and the upper at 1,0354 ppm. The first quartile is found at 1,1051 ppm, that is, 25% of the data are less than this value; the third quartile is found at 1,0297 ppm, that is, 75% of the data are less than this value. It presents an atypical value of 2,5255, the same is one of the highest values among the data resulting from this monitoring point.

Figura 49.- Gráfica de caja del punto RC.



Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por la OMM y en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

▪ **ARC (Américas y Remigio Crespo)**

La concentración del ion nitrato en el punto de muestreo ARC (Américas y Remigio Crespo), presenta los siguientes valores: media de 1,168, desviación estándar de 0,643 y un error estándar de 0,227, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

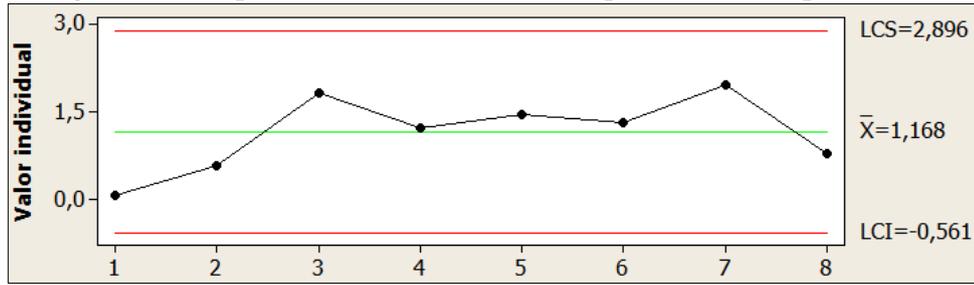
Tabla 22.- Análisis *t student* del punto ARC.

Análisis <i>t student</i> del punto ARC				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	1,168	0,643	0,227	(0,630 ; 1,705)

Fuente: La Autora.

Existe un comportamiento normal de la concentración del ion nitrato durante cada semana de muestreo, el límite de control superior es de 2,896 y el inferior es de -0,561. Los datos se distribuyen de forma normal con respecto a la media.

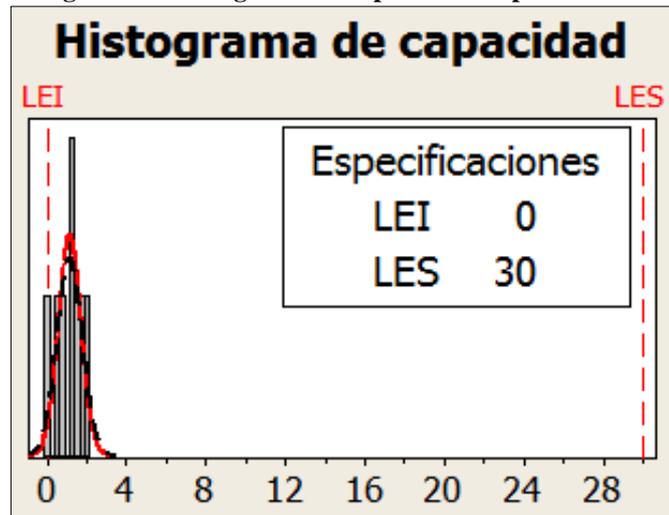
Figura 50.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto ARC.



Fuente: La Autora.

El histograma de capacidad procesado ha sido con el rango de 0 a 30, como lo establece la OMM, el gráfico de barras que destaca se encuentra dentro del rango establecido y sesgado hacia la izquierda, cercano al límite inferior.

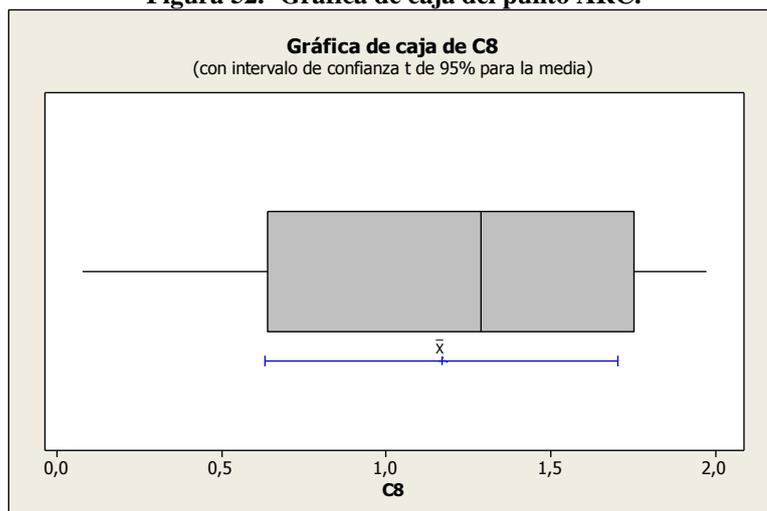
Figura 51.- Histograma de capacidad del punto ARC.



Fuente: La Autora.

La gráfica de cajas obtenido presenta el bigote inferior en 0,0778 ppm y el superior en 1,9734 ppm. El primer cuartil se encuentra en 0,6410 ppm, es decir, el 25 % de los datos son menores a este valor; el tercer cuartil se encuentra en 1,7510 ppm, es decir, el 75% de los datos son menores a este valor. No existe ningún valor atípico.

Figura 52.- Gráfica de caja del punto ARC.



Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por la OMM y en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

▪ **LDB (Loja y Don Bosco)**

La concentración del ion nitrato en el punto de muestreo LDB (Loja y Don Bosco), presenta los siguientes valores: media de 0,814, desviación estándar de 0,85 y un error estándar de 0,3, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

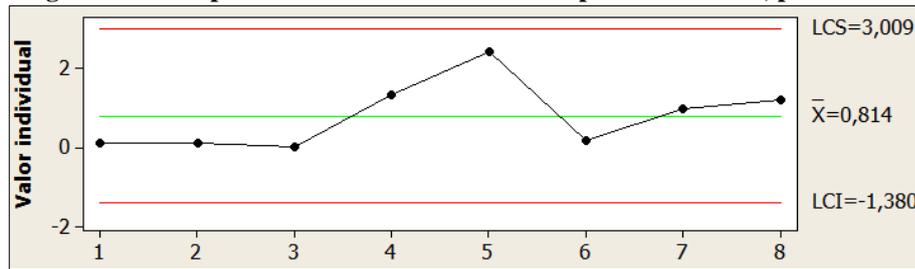
Tabla 23.- Análisis *t student* del punto LDB.

Análisis <i>t student</i> del punto LDB				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	0,814	0,85	0,3	(0,104 ; 1,525)

Fuente: La Autora.

Existe un comportamiento normal de la concentración del ion nitrato durante cada semana de muestreo, el límite de control superior es de 3,009 y el inferior es de -1,380. Los datos se distribuyen de forma normal con respecto a la media.

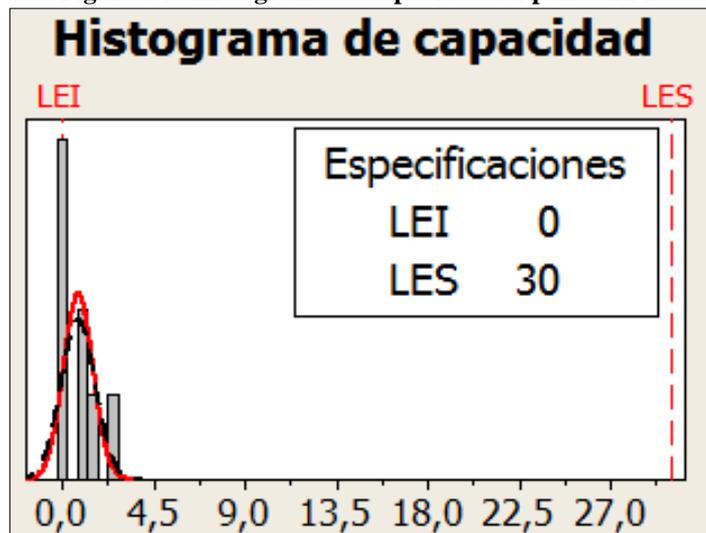
Figura 53.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto LDB.



Fuente: La Autora.

El histograma de capacidad procesado ha sido con el rango de 0 a 30, como lo establece la OMM, el gráfico de barras que destaca se encuentra dentro del rango establecido y sesgado hacia la izquierda, cercano al límite inferior.

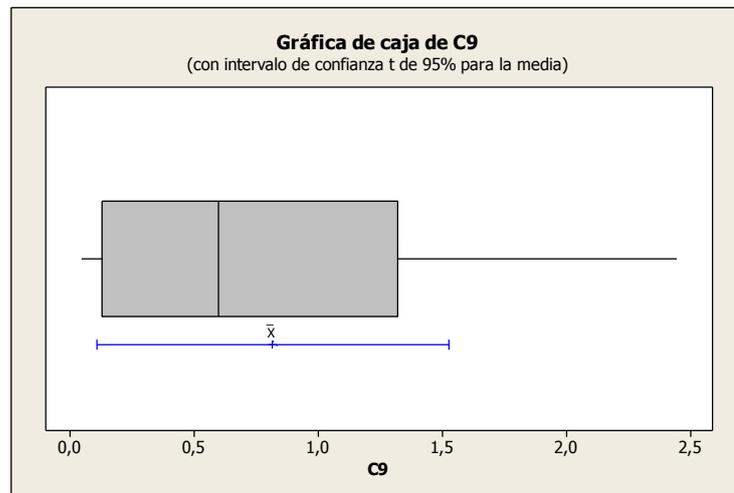
Figura 54.- Histograma de capacidad del punto LDB.



Fuente: La Autora.

La gráfica de cajas obtenido presenta el bigote inferior en 0,0429 ppm y el superior en 2,442 ppm. El primer cuartil se encuentra en 0,126 ppm, es decir, el 25 % de los datos son menores a este valor; el tercer cuartil se encuentra en 1,318 ppm, es decir, el 75% de los datos son menores a este valor. No existe ningún valor atípico.

Figura 55.- Gráfica de caja del punto LDB.



Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por la OMM y en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

▪ **CS (Control Sur)**

La concentración del ion nitrato en el punto de muestreo CS (Control Sur), presenta los siguientes valores: media de 0,824, desviación estándar de 0,711 y un error estándar de 0,251, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

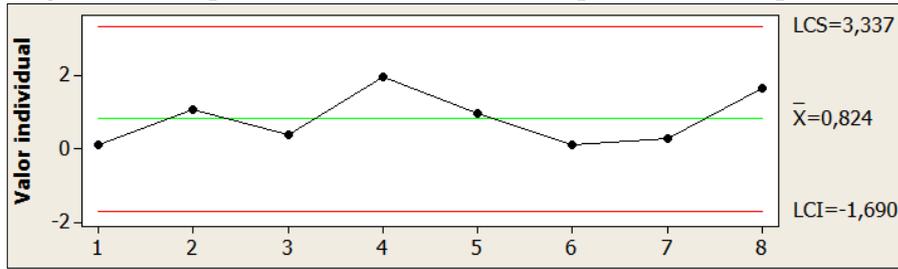
Tabla 24.- Análisis *t student* del punto CS.

Análisis <i>t student</i> del punto CS				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	0,824	0,711	0,251	(0,229 ; 1,418)

Fuente: La Autora.

Existe un comportamiento normal de la concentración del ion nitrato durante cada semana de muestreo, el límite de control superior es de 3,337 y el inferior es de - 1,690. Los datos se distribuyen de forma normal con respecto a la media.

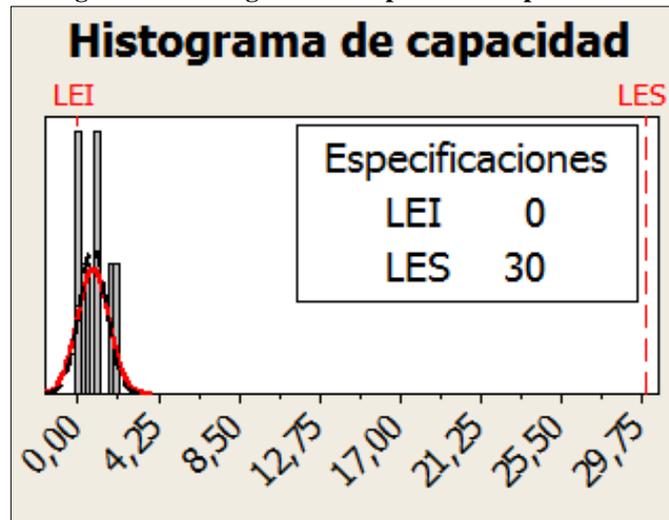
Figura 56.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto CS.



Fuente: La Autora.

El histograma de capacidad procesado ha sido con el rango de 0 a 30, como lo establece la OMM, el gráfico de barras que destaca se encuentra dentro del rango establecido y sesgado hacia la izquierda, cercano al límite inferior.

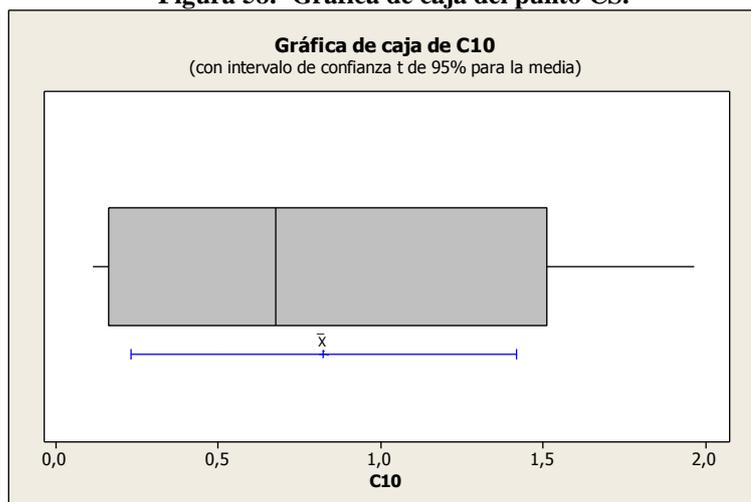
Figura 57.- Histograma de capacidad del punto CS.



Fuente: La Autora.

La gráfica de cajas obtenido presenta el bigote inferior en 0,0113 ppm y el superior en 1,964 ppm. El primer cuartil se encuentra en 0,161ppm, es decir, el 25 % de los datos son menores a este valor; el tercer cuartil se encuentra en 1,511 ppm, es decir, el 75% de los datos son menores a este valor. No existe ningún valor atípico.

Figura 58.- Gráfica de caja del punto CS.



Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por la OMM y en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

3.2.2. CONCENTRACIÓN DEL ION SULFATO

▪ PI (Parque Industrial)

La concentración del ion sulfato en el punto de muestreo PI (Parque Industrial), presenta los siguientes valores: media de 0,606, desviación estándar de 0,308 y un error estándar de 0,109, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

Tabla 25.- Análisis t student del punto PI

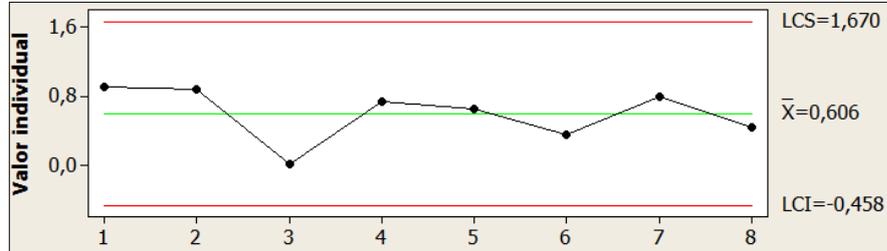
26

Análisis <i>t student</i> del punto PI				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	0,606	0,308	0,109	(0,349 ; 0,863)

Fuente: La Autora.

Existe un comportamiento normal de la concentración del ion nitrato durante cada semana de muestreo, el límite de control superior es de 1,670 y el inferior es de -0,458. Los datos se distribuyen de forma normal con respecto a la media.

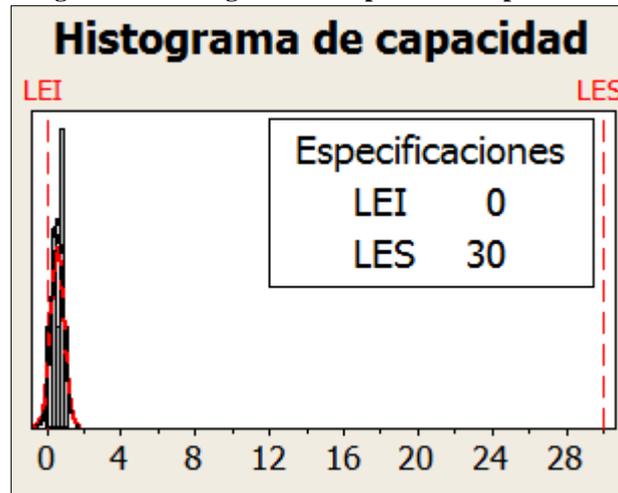
Figura 59.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto PI.



Fuente: La Autora.

El histograma de capacidad procesado ha sido con el rango de 0 a 30, como lo establece la OMM, el gráfico de barras que destaca se encuentra dentro del rango establecido y sesgado hacia la izquierda, cercano al límite inferior.

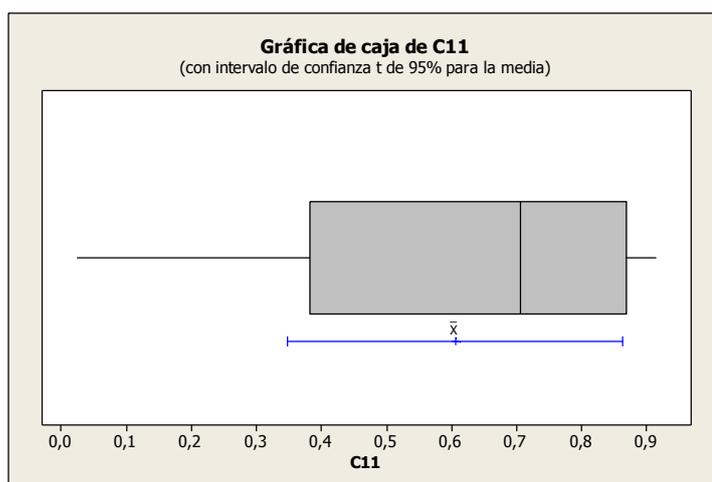
Figura 60.- Histograma de capacidad del punto PI.



Fuente: La Autora.

La gráfica de cajas obtenido presenta el bigote inferior en 0,0236 ppm y el superior en 0,915 ppm. El primer cuartil se encuentra en 0,3816 ppm, es decir, el 25 % de los datos son menores a este valor; el tercer cuartil se encuentra en 0,868 ppm, es decir, el 75% de los datos son menores a este valor. No existe ningún valor atípico.

Figura 61.- Gráfica de caja del punto PI.



Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por la OMM y en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

▪ **UPS (Universidad Politécnica Salesiana)**

La concentración del ion sulfato en el punto de muestreo UPS (Universidad Politécnica Salesiana), presenta los siguientes valores: media de 0,635, desviación estándar de 0,452 y un error estándar de 0,16, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

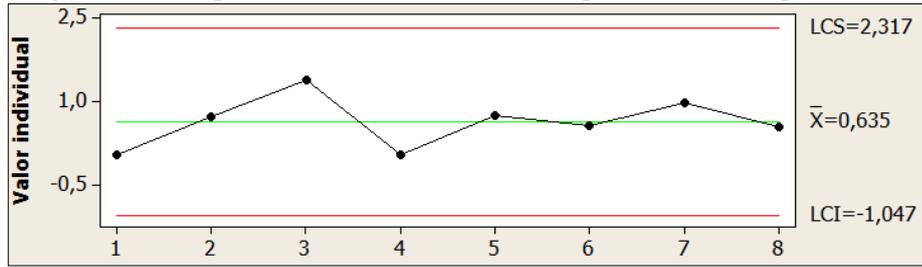
Tabla 26.- Análisis t student del punto UPS.

Análisis <i>t student</i> del punto UPS				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	0,635	0,452	0,16	(0,257 ; 1,013)

Fuente: La Autora.

Existe un comportamiento normal de la concentración del ion nitrato durante cada semana de muestreo, el límite de control superior es de 2,317 y el inferior es de -1,047. Los datos se distribuyen de forma normal con respecto a la media.

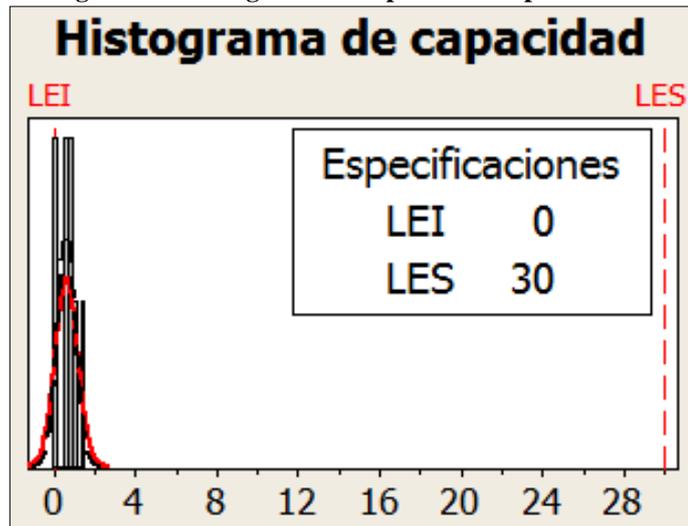
Figura 62.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto UPS.



Fuente: La Autora.

El histograma de capacidad procesado ha sido con el rango de 0 a 30, como lo establece la OMM, el gráfico de barras que destaca se encuentra dentro del rango establecido y sesgado hacia la izquierda, cercano al límite inferior.

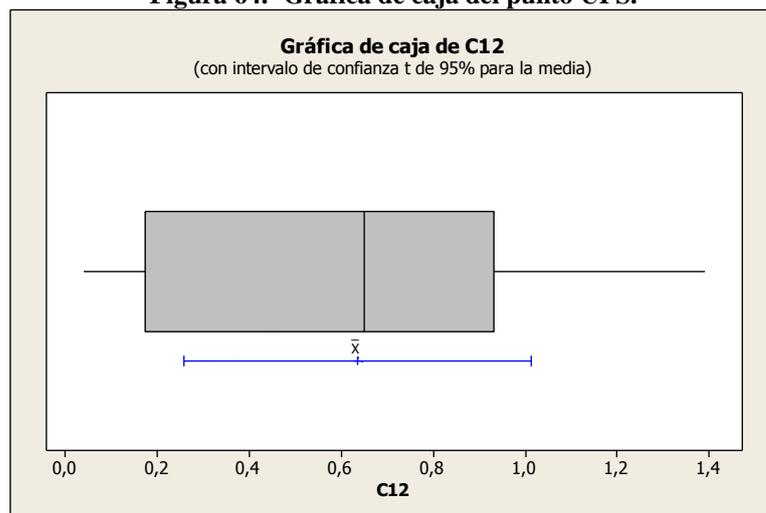
Figura 63.- Histograma de capacidad del punto UPS.



Fuente: La Autora.

La gráfica de cajas obtenido presenta el bigote inferior en 0,0397 ppm y el superior en 1,391 ppm. El primer cuartil se encuentra en 0,174 ppm, es decir, el 25 % de los datos son menores a este valor; el tercer cuartil se encuentra en 0,9305 ppm, es decir, el 75% de los datos son menores a este valor. No existe ningún valor atípico.

Figura 64.- Gráfica de caja del punto UPS.



Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por la OMM y en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

▪ **GS (González Suárez)**

La concentración del ion sulfato en el punto de muestreo GS (González Suárez), presenta los siguientes valores: media de 0,904, desviación estándar de 0,286 y un error estándar de 0,101, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

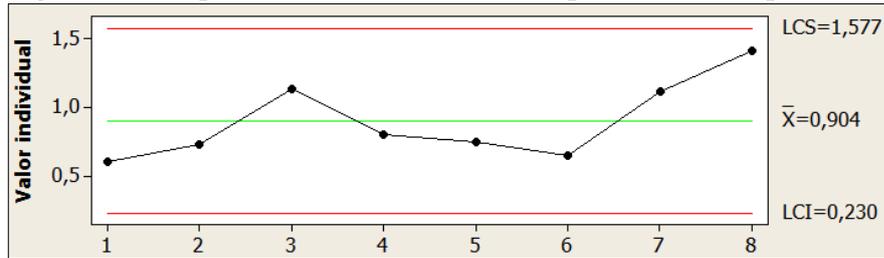
Tabla 27.- Análisis *t student* del punto GS.

Análisis <i>t student</i> del punto GS				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	0,904	0,286	0,101	(0,664 ; 1,143)

Fuente: La Autora.

Existe un comportamiento normal de la concentración del ion nitrato durante cada semana de muestreo, el límite de control superior es de 1,577 y el inferior es de 0,230. Los datos se distribuyen de forma normal con respecto a la media.

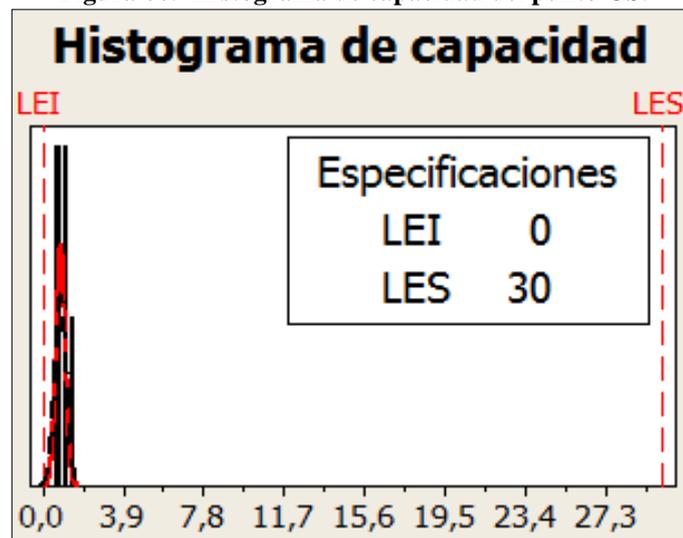
Figura 65.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto GS.



Fuente: La Autora.

El histograma de capacidad procesado ha sido con el rango de 0 a 30, como lo establece la OMM, el gráfico de barras que destaca se encuentra dentro del rango establecido y sesgado hacia la izquierda, cercano al límite inferior.

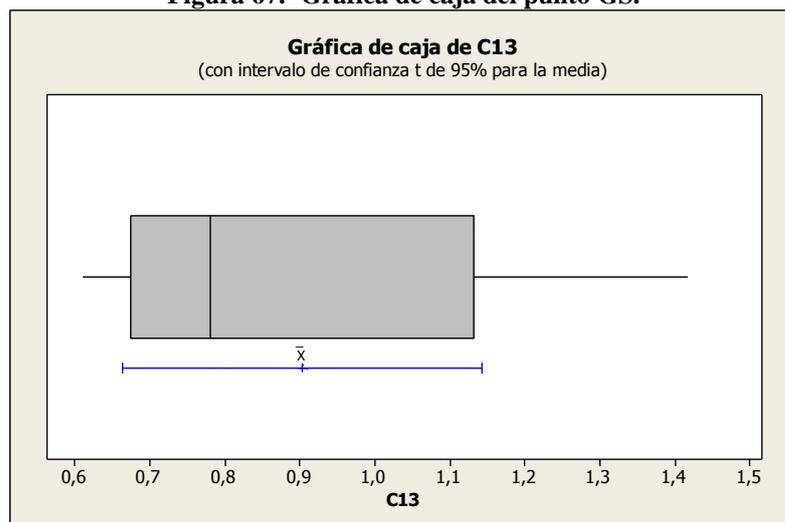
Figura 66.- Histograma de capacidad del punto GS.



Fuente: La Autora.

La gráfica de cajas obtenido presenta el bigote inferior en 0,6112 ppm y el superior en 1,417 ppm. El primer cuartil se encuentra en 0,6736 ppm, es decir, el 25 % de los datos son menores a este valor; el tercer cuartil se encuentra en 1,1326 ppm, es decir, el 75% de los datos son menores a este valor. No existe ningún valor atípico.

Figura 67.- Gráfica de caja del punto GS.



Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por la OMM y en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

▪ **PC (Presidente Córdoba)**

La concentración del ion sulfato en el punto de muestreo PC (Presidente Córdoba) presenta los siguientes valores: media de 2,314, desviación estándar de 1,363 y un error estándar de 0,482, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

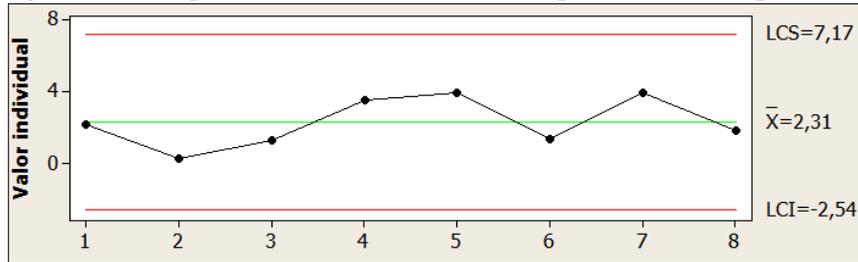
Tabla 28.- Análisis t student del punto PC.

Análisis <i>t student</i> del punto PC				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	2,314	1,363	0,482	(1,174 ; 3,453)

Fuente: La Autora.

Existe un comportamiento normal de la concentración del ion nitrato durante cada semana de muestreo, el límite de control superior es de 7,17 y el inferior es de -2,54. Los datos se distribuyen de forma normal con respecto a la media.

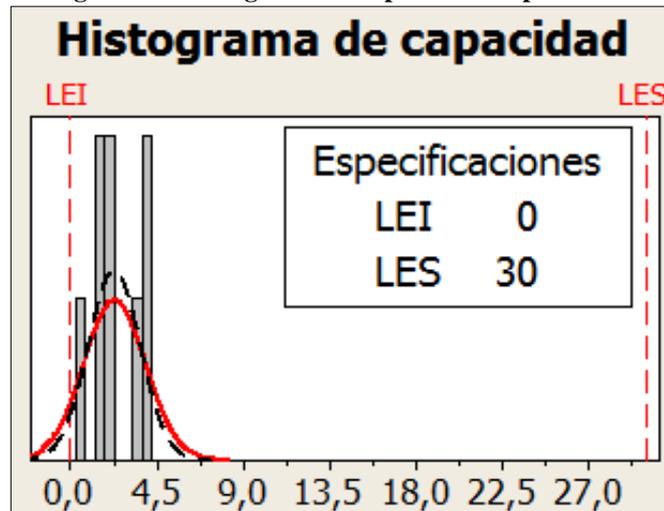
Figura 68.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto PC.



Fuente: La Autora.

El histograma de capacidad procesado ha sido con el rango de 0 a 30, como lo establece la OMM, el gráfico de barras que destaca se encuentra dentro del rango establecido y sesgado hacia la izquierda, cercano al límite inferior.

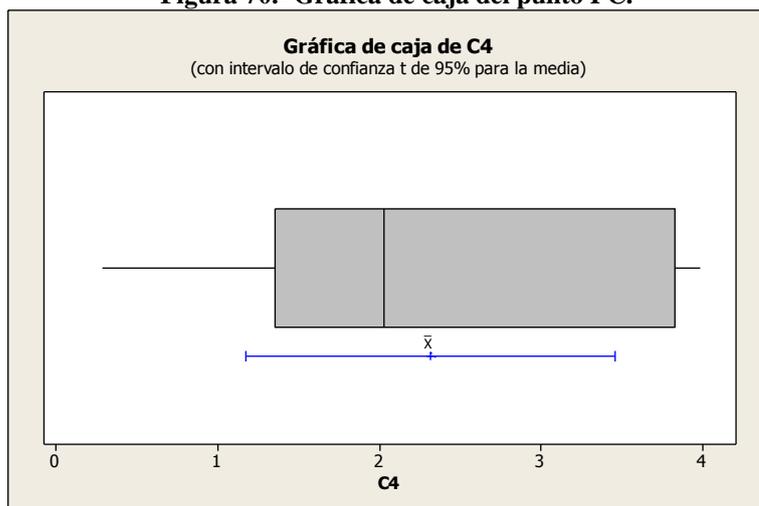
Figura 69.- Histograma de capacidad del punto PC.



Fuente: La Autora.

La gráfica de cajas obtenido presenta el bigote inferior en 0,2832 ppm y el superior en 3,982 ppm. El primer cuartil se encuentra en 1,3578 ppm, es decir, el 25 % de los datos son menores a este valor; el tercer cuartil se encuentra en 3,8241 ppm, es decir, el 75% de los datos son menores a este valor. No existe ningún valor atípico.

Figura 70.- Gráfica de caja del punto PC.



Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por la OMM y en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

▪ **HC (Huayna Capac)**

La concentración del ion sulfato en el punto de muestreo HC (Huayna Capac) presenta los siguientes valores: media de 1,554, desviación estándar de 1,11 y un error estándar de 0,392, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

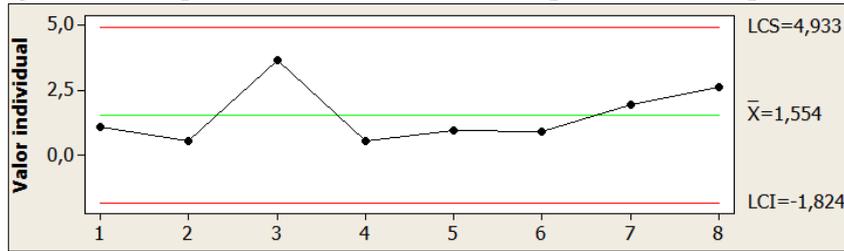
Tabla 29.- Análisis t student del punto HC.

Análisis <i>t student</i> del punto HC				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	1,554	1,11	0,392	(0,626 ; 2,482)

Fuente: La Autora.

Existe un comportamiento normal de la concentración del ion nitrato durante cada semana de muestreo, el límite de control superior es de 4,933 y el inferior es de -1,824. Los datos se distribuyen de forma normal con respecto a la media.

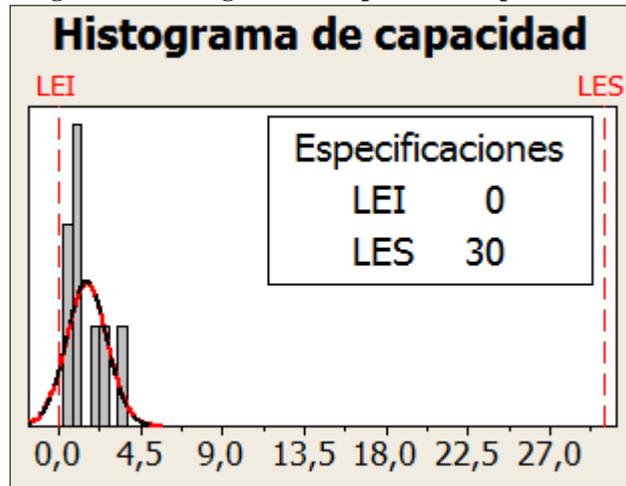
Figura 71.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto HC.



Fuente: La Autora.

El histograma de capacidad procesado ha sido con el rango de 0 a 30, como lo establece la OMM, el gráfico de barras que destaca se encuentra dentro del rango establecido y sesgado hacia la izquierda, cercano al límite inferior.

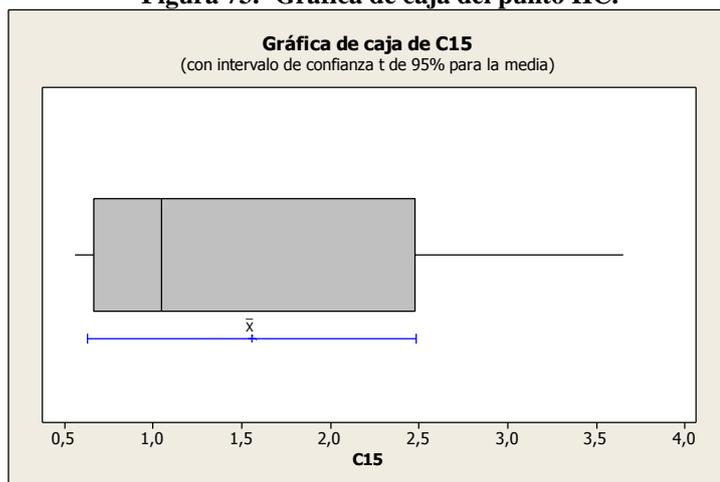
Figura 72.- Histograma de capacidad del punto HC.



Fuente: La Autora.

La gráfica de cajas obtenido presenta el bigote inferior en 0,5591 ppm y el superior en 3,652 ppm. El primer cuartil se encuentra en 0,6633 ppm, es decir, el 25 % de los datos son menores a este valor; el tercer cuartil se encuentra en 2,476 ppm, es decir, el 75% de los datos son menores a este valor. No existe ningún valor atípico.

Figura 73.- Gráfica de caja del punto HC.



Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por la OMM y en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

▪ **TP (Tres Puentes)**

La concentración del ion sulfato en el punto de muestreo TP (Tres Puentes) presenta los siguientes valores: media de 1,537, desviación estándar de 0,675 y un error estándar de 0,239, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

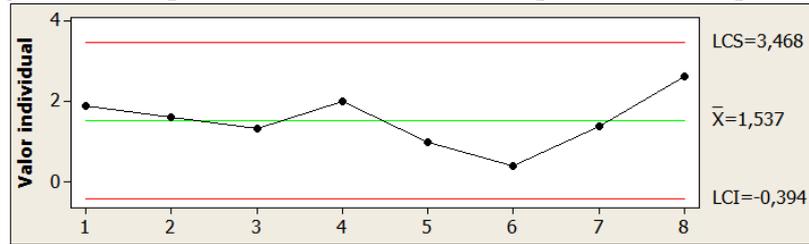
Tabla 30.- Análisis *t student* del punto TP.

Análisis <i>t student</i> del punto TP				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	1,537	0,675	0,239	(0,973 ; 2,101)

Fuente: La Autora.

Existe un comportamiento normal de la concentración del ion nitrato durante cada semana de muestreo, el límite de control superior es de 3,468 y el inferior es de -0,394. Los datos se distribuyen de forma normal con respecto a la media.

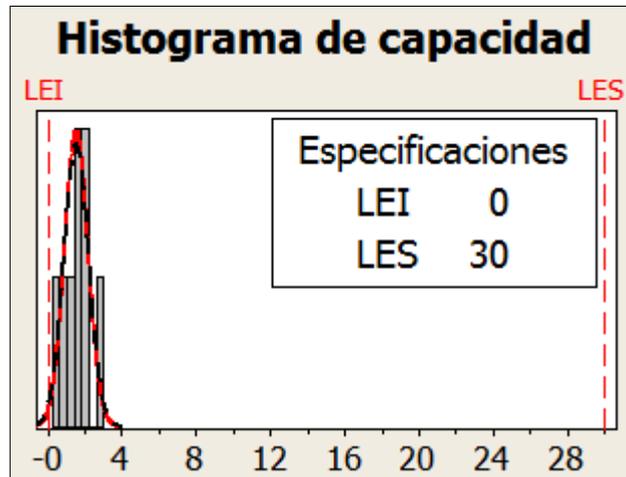
Figura 74.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto TP.



Fuente: La Autora.

El histograma de capacidad procesado ha sido con el rango de 0 a 30, como lo establece la OMM, el gráfico de barras que destaca se encuentra dentro del rango establecido y sesgado hacia la izquierda, cercano al límite inferior.

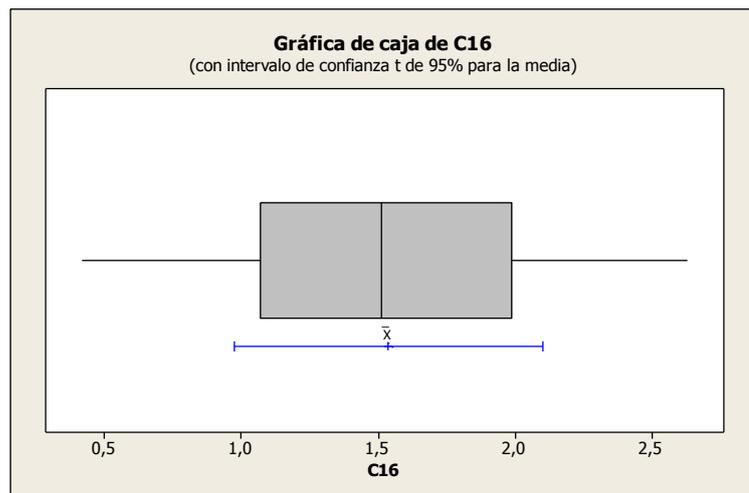
Figura 75.- Histograma de capacidad del punto TP.



Fuente: La Autora.

La gráfica de cajas obtenido presenta el bigote inferior en 0,4161 ppm y el superior en 2,631 ppm. El primer cuartil se encuentra en 1,071 ppm, es decir, el 25 % de los datos son menores a este valor; el tercer cuartil se encuentra en 1,986 ppm, es decir, el 75% de los datos son menores a este valor. No existe ningún valor atípico.

Figura 76.- Gráfica de caja del punto TP.



Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por la OMM y en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

▪ **RC (Remigio Crespo)**

La concentración del ion sulfato en el punto de muestreo RC (Remigio Crespo) presenta los siguientes valores: media de 2,214, desviación estándar de 0,82 y un error estándar de 0,29, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

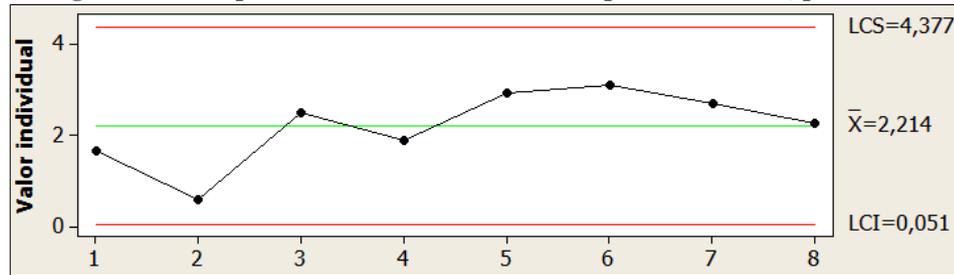
Tabla 31.- Análisis t student del punto RC.

Análisis <i>t student</i> del punto RC				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	2,214	0,82	0,29	(1,528 ; 2,899)

Fuente: La Autora.

Existe un comportamiento normal de la concentración del ion nitrato durante cada semana de muestreo, el límite de control superior es de 4,377 y el inferior es de 0,051. Los datos se distribuyen de forma normal con respecto a la media.

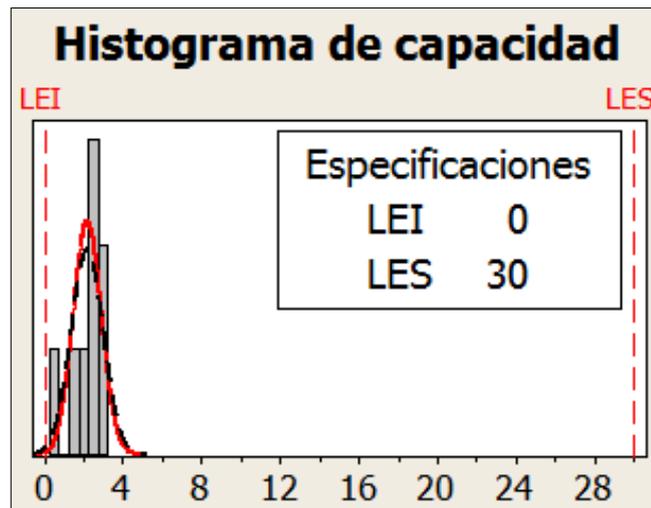
Figura 77.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto RC.



Fuente: La Autora.

El histograma de capacidad procesado ha sido con el rango de 0 a 30, como lo establece la OMM, el gráfico de barras que destaca se encuentra dentro del rango establecido y sesgado hacia la izquierda, cercano al límite inferior.

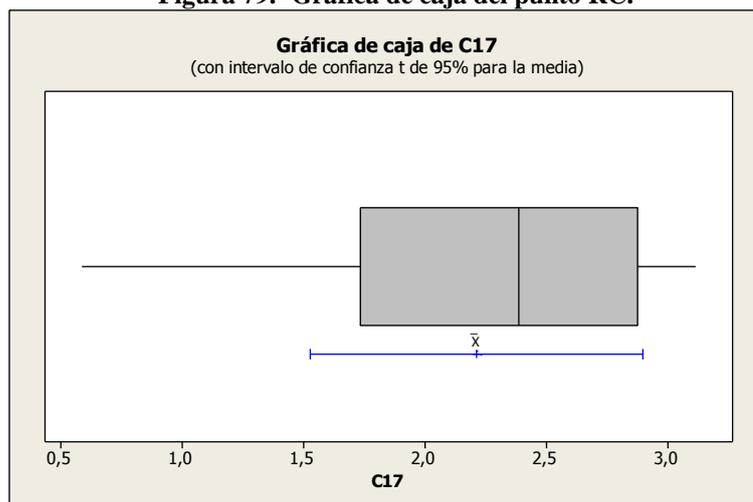
Figura 78.- Histograma de capacidad del punto RC.



Fuente: La Autora.

La gráfica de cajas obtenido presenta el bigote inferior en 0,5864 ppm y el superior en 3,1161 ppm. El primer cuartil se encuentra en 1,735 ppm, es decir, el 25 % de los datos son menores a este valor; el tercer cuartil se encuentra en 2,878 ppm, es decir, el 75% de los datos son menores a este valor. No existe ningún valor atípico.

Figura 79.- Gráfica de caja del punto RC.



Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por la OMM y en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

▪ **ARC (Américas y Remigio Crespo)**

La concentración del ion sulfato en el punto de muestreo ARC (Américas y Remigio Crespo) presenta los siguientes valores: media de 2,777, desviación estándar de 1,363 y un error estándar de 0,482, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

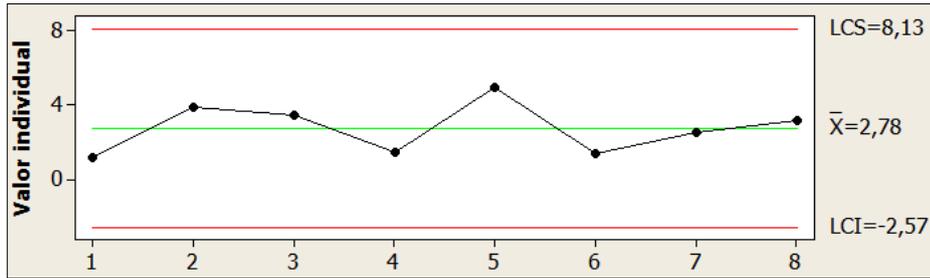
Tabla 32.- Análisis t student del punto ARC.

Análisis <i>t student</i> del punto ARC				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	2,777	1,363	0,482	(1,638 ; 3,917)

Fuente: La Autora.

Existe un comportamiento normal de la concentración del ion nitrato durante cada semana de muestreo, el límite de control superior es de 8,13 y el inferior es de -2,57. Los datos se distribuyen de forma normal con respecto a la media.

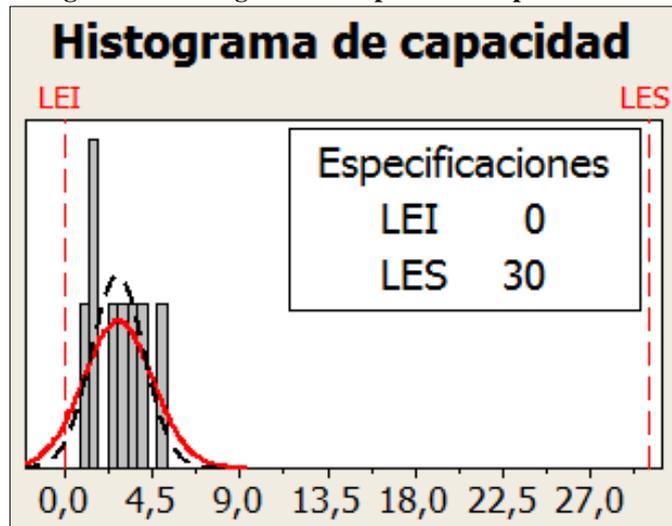
Figura 80.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto ARC.



Fuente: La Autora.

El histograma de capacidad procesado ha sido con el rango de 0 a 30, como lo establece la OMM, el gráfico de barras que destaca se encuentra dentro del rango establecido y sesgado hacia la izquierda, cercano al límite inferior.

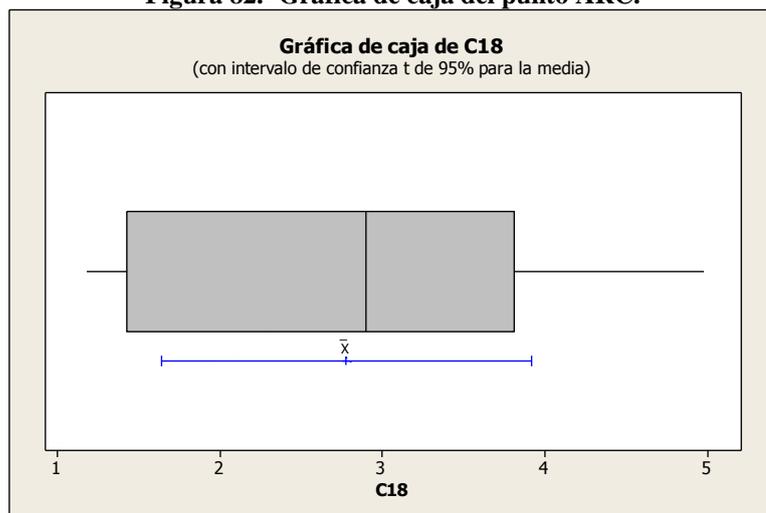
Figura 81.- Histograma de capacidad del punto ARC.



Fuente: La Autora.

La gráfica de cajas obtenido presenta el bigote inferior en 1,175 ppm y el superior en 4,982 ppm. El primer cuartil se encuentra en 1,423 ppm, es decir, el 25 % de los datos son menores a este valor; el tercer cuartil se encuentra 3,8088 ppm, es decir, el 75% de los datos son menores a este valor. No existe ningún valor atípico.

Figura 82.- Gráfica de caja del punto ARC.



Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por la OMM y en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

▪ **LDB (Loja y Don Bosco)**

La concentración del ion sulfato en el punto de muestreo LDB (Loja y Don Bosco) presenta los siguientes valores: media de 1,171, desviación estándar de 0,996 y un error estándar de 0,352, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

Tabla 33.- Análisis *t student* del punto LDB.

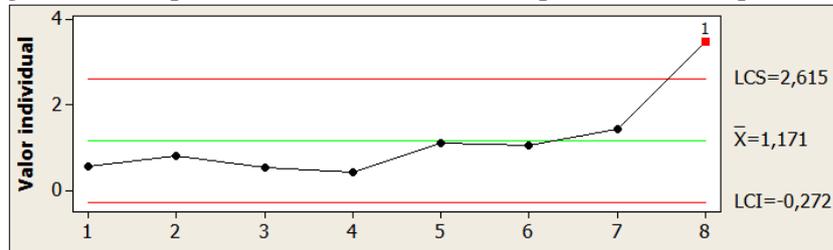
Análisis <i>t student</i> del punto LDB				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	1,171	0,996	0,352	(0,339 ; 2,004)

Fuente: La Autora.

El comportamiento de los datos con respecto a la media es normal a excepción del último dato en el que excede el límite de control superior, el mismo está en 2,615 y el inferior en -0,272. Existe un comportamiento normal de la concentración del ion

nitrito durante las siete semanas y en la última semana existe una variación de la concentración que llega a 3,48 ppm.

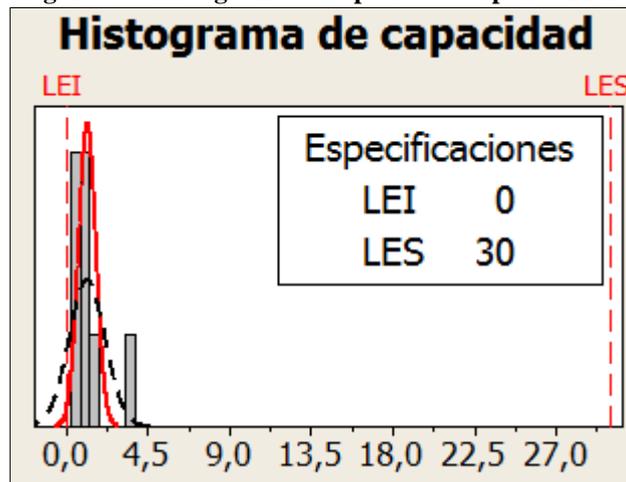
Figura 83.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto LDB.



Fuente: La Autora.

El histograma de capacidad procesado ha sido con el rango de 0 a 30, como lo establece la OMM, el gráfico de barras que destaca se encuentra dentro del rango establecido y sesgado hacia la izquierda, cercano al límite inferior.

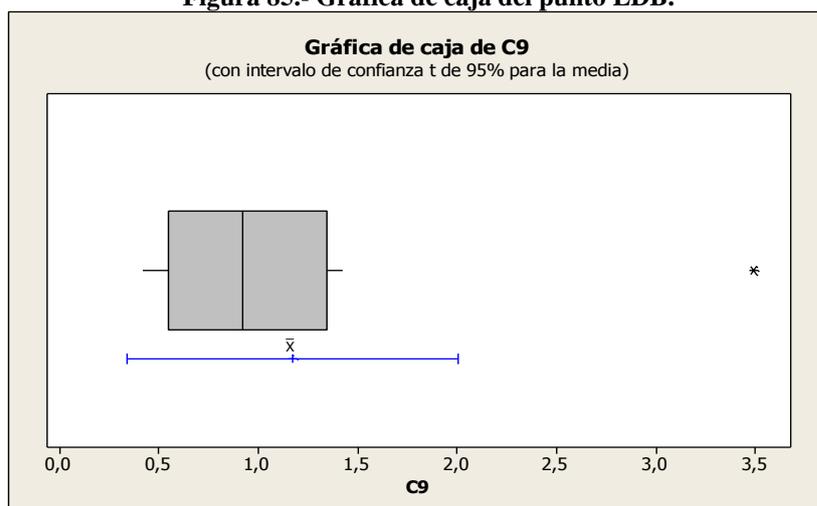
Figura 84.- Histograma de capacidad del punto LDB.



. Fuente: La Autora.

La gráfica de cajas obtenido presenta el bigote inferior en 0,419 ppm y el superior en 1,426 ppm. El primer cuartil se encuentra en 0,578 ppm, es decir, el 25 % de los datos son menores a este valor; el tercer cuartil se encuentra en 1,3443 ppm, es decir, el 75% de los datos son menores a este valor. Presenta un valor atípico de 3,489, el mismo es uno de los valores más altos entre los datos resultantes de este punto de monitoreo.

Figura 85.- Gráfica de caja del punto LDB.



Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por la OMM en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

▪ **CS (Control Sur)**

La concentración del ion sulfato en el punto de muestreo CS (Control Sur) presenta los siguientes valores: media de 1,054, desviación estándar de 0,559 y un error estándar de 0,197, el método de análisis fue mediante *t student* con un intervalo de confianza del 95 %.

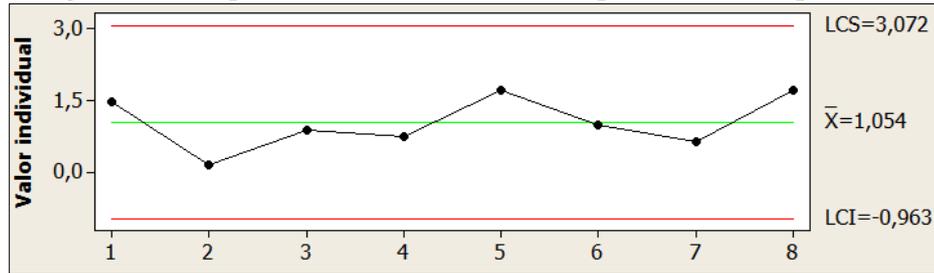
Tabla 34.- Análisis *t student* del punto CS.

Análisis <i>t student</i> del punto CS				
N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Intervalo de Confianza de 95%
8	1,054	0,559	0,197	(0,587 ; 1,521)

Fuente: La Autora.

Existe un comportamiento normal de la concentración del ion nitrato durante cada semana de muestreo, el límite de control superior es de 3,072 y el inferior es de -0,963. Los datos se distribuyen de forma normal con respecto a la media.

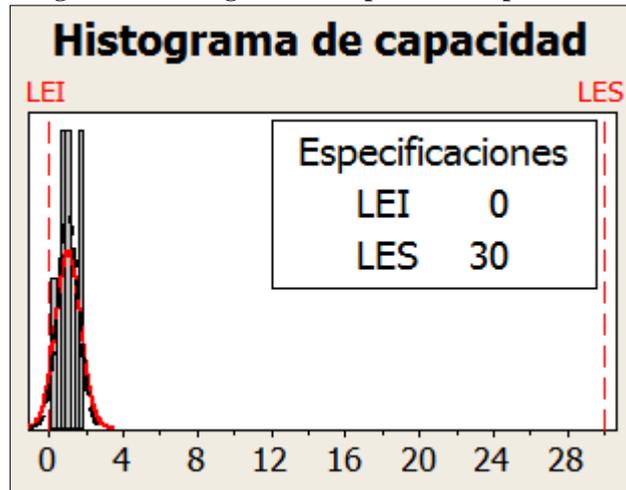
Figura 86.- Comportamiento de los datos con respecto a la media, punto CS.



Fuente: La Autora.

El histograma de capacidad procesado ha sido con el rango de 0 a 30, como lo establece la OMM, el gráfico de barras que destaca se encuentra dentro del rango establecido y sesgado hacia la izquierda, cercano al límite inferior.

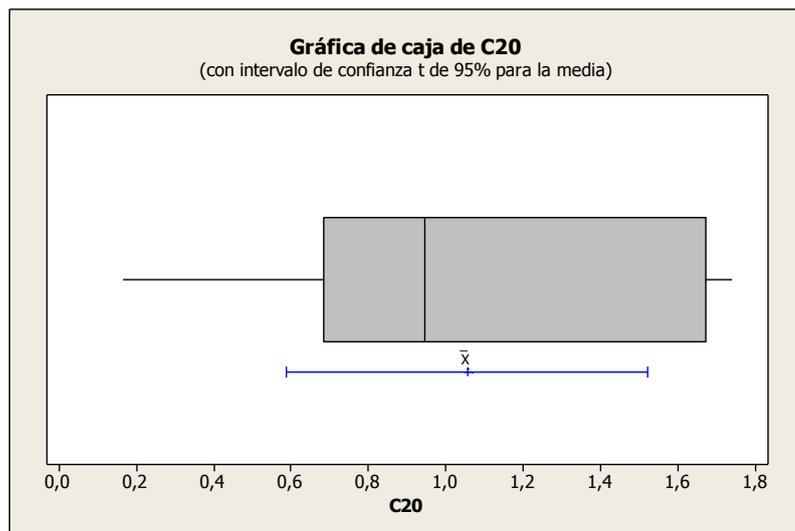
Figura 87.- Histograma de capacidad del punto CS.



Fuente: La Autora.

La gráfica de cajas obtenido presenta el bigote inferior en 0,1642 ppm y el superior en 1,738 ppm. El primer cuartil se encuentra en 0,6834 ppm, es decir, el 25 % de los datos son menores a este valor; el tercer cuartil se encuentra 1,6711 ppm, es decir, el 75% de los datos son menores a este valor. No existe ningún valor atípico.

Figura 88.- Gráfica de caja del punto CS.



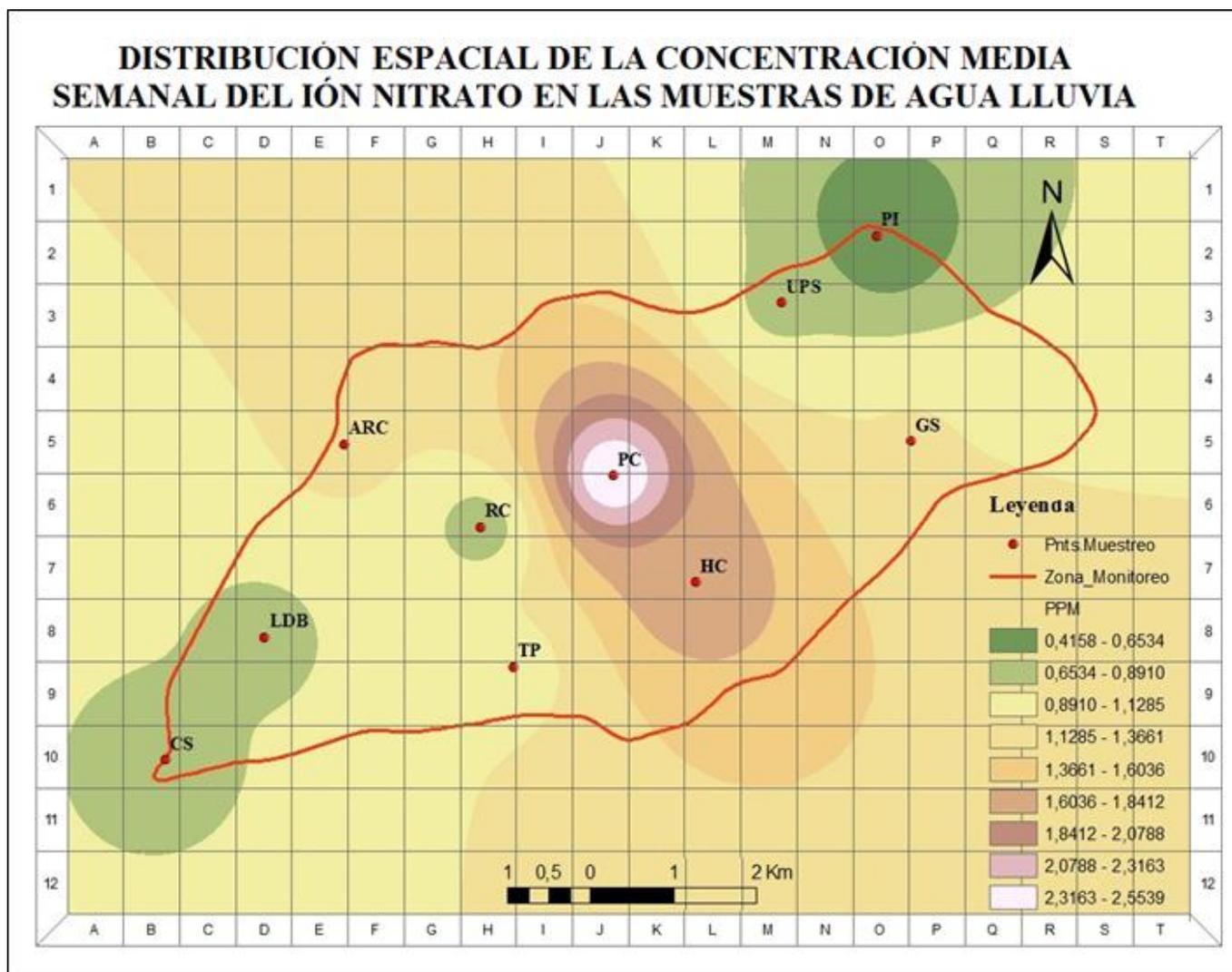
Fuente: La Autora.

Estos valores se encuentran dentro del rango establecido por la OMM y en comparación con los resultados del estudio realizado en México este presenta una mínima cantidad.

3.3. PROYECCIONES

Mediante el análisis estadístico realizado a los datos recolectados de cada punto de muestreo, se verificó la presencia de iones sulfato y nitrato en el agua lluvia de la zona urbana del cantón Cuenca, estas concentraciones son relativamente bajas. A continuación se presentan las proyecciones con las concentraciones medias semanales de los iones sulfato y nitrato de cada semana de monitoreo.

Figura 89.- Distribución espacial de la concentración media semanal del ión nitrato en las muestras de agua lluvia.

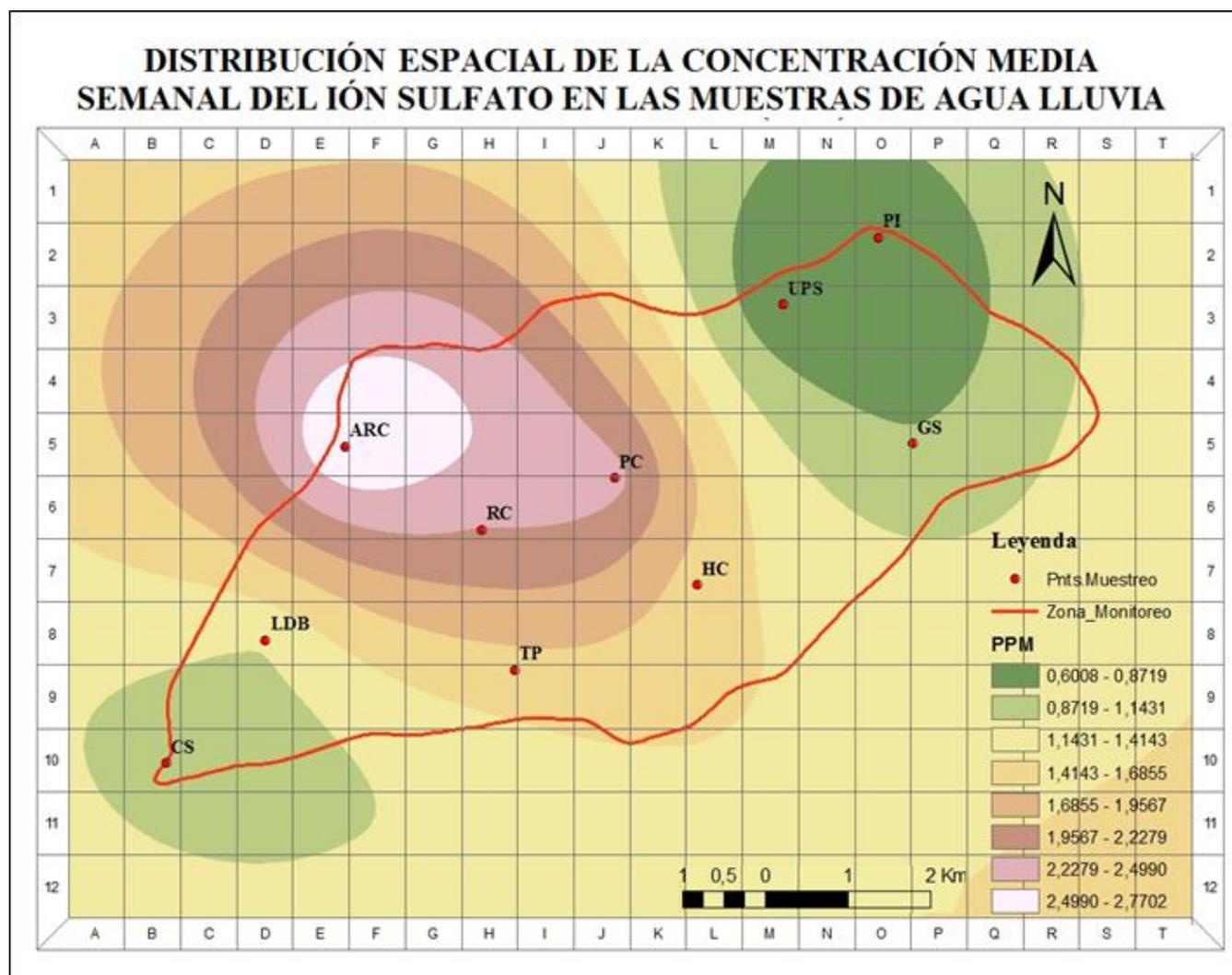


Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

Como se observa en la Figura N°99 la mayor concentración del ion nitrato en el área de monitoreo ha sido en los puntos denominados PC (Presidente Córdova) y HC (Huayna Capac), el primer punto se coloca en un rango de 2.3163-2.5539 mg/l y el segundo punto se coloca en un rango de 1.8412 – 2.0788 m/l; las mismas son zonas comerciales, de vivienda y hospitalaria. En cuanto a la dirección del viento, la predominancia es de un 4.7% hacia el Sur, la cual puede ser un factor de arrastre de contaminantes atmosféricos, ver Figura 9.

La mayor concentración se observa en la parte central de la ciudad de Cuenca, las zonas comprendidas entre los literales I y L.

Figura 90.- Distribución espacial de la concentración media semanal del ión sulfato en las muestras de agua lluvia.



Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

Como se observa en la Figura N°100 la mayor concentración del ion sulfato en el área de monitoreo ha sido en los puntos denominados ARC (Américas y Remigio Crespo – El Arenal), PC (Presidente Córdova) y RC (Remigio Crespo), el primer punto se coloca en un rango de 2,4990 – 2,7702 mg/l, el segundo punto se coloca en un rango de 2,2279 – 2,4990 mg/l y el tercer punto se coloca en un rango de 1,9567 – 2,2279 mg/l; las mismas son zonas comercial, comercial mixta y de vivienda. También ha sido determinada la zona crítica entre los literales D y J como se muestran en el mapa.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Las concentraciones del ion nitrato en la zona urbana de la ciudad de Cuenca no sobrepasan el rango que establece la OMM como permisible en el agua lluvia, en comparación con el estudio realizado en Guadalajara, las concentraciones son inferiores. El valor más alto que se encontró fue de 4,213 ppm, correspondiente a la semana 7 del punto HC (Huayna Capac), zona considerada hospitalaria. Sin embargo, el promedio más alto que se obtuvo fue de 2,52 ppm, correspondiente al punto PC (Presidente Córdova) considerada zona comercial.
- Las concentraciones del ion sulfato en la zona urbana de la ciudad de Cuenca no sobrepasan el rango que establece la OMM como permisible en el agua lluvia, en comparación con el estudio realizado en Guadalajara, las concentraciones son inferiores. El valor máximo que se halló fue de 4,9820 ppm correspondiente a la semana 6 del punto ARC (Américas y Remigio Crespo, sector El Arenal), zona considerada comercial y de vivienda. Este punto de monitoreo, con 2,77 ppm, resultó el promedio más alto.
- Mediante el geoprocesamiento de los datos, se pudo obtener proyecciones en donde se expone la mayor concentración, tanto del ion nitrato como del ion sulfato en el agua lluvia, dando como resultado las mayores afecciones a las zona comerciales y de vivienda de la ciudad de Cuenca.

4.2. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios similares de la zona rural de Cuenca, para realizar comparaciones y tal vez prever daños futuros en zonas agrícolas y ganaderas.
- Utilizar un medidor de pH electrónico con el fin de obtener resultados exactos del estado inicial de esta característica en el agua lluvia. Realizar este análisis al poco tiempo de producida la precipitación.
- Estandarizar el protocolo de funcionamiento del cromatógrafo iónico.
- Comprar o requerir el patrón de iones con el fin de obtener una mayor certeza en los análisis establecidos.

BIBLIOGRAFÍA

Libros, publicaciones y revistas

Environmental Protection Agency. (04 de 12 de 2012). Recuperado el 05 de Noviembre de 2013, de <http://www.epa.gov/acidrain/spanish/effects/materials.html>

Alcaldía de Cuenca. (s.f.). Recuperado el 01 de Diciembre de 2013, de http://www.cuenca.gov.ec/?q=page_situacion

BAIRD, C. (2001). *Química ambiental*. España: Editorial Reverté, S.A.

Carter, L. (2003). *Acid Rain*. New York: Editorial Nova.

CASIDAY, R. y. (1998). *Acid Rain: Inorganic Reactions Experiment*, Department of Chemistry, Washington University. Washington.

Castillo, F. (2005). *Biotecnología Ambiental*. Madrid: Editorial Tébar.

Comisión Nacional del, A. (2010). *Manual Teórico Práctico del Observador Meteorológico de Superficie*. México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

EPA. (4 de 12 de 2012). *USEPA*. Recuperado el 15 de 05 de 2013, de <http://www.epa.gov/acidrain/spanish/effects/materials.html>

EPA, E. P. (1993). *Determination of inorganic anions by ion chromatography*. Water Works Assoc., Vol 82, No.4

ESRI. (2012). *ArcGIS Resource Center*. Recuperado el 13 de Febrero de 2014, de <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/009z0000006m000000/>

- Fanali, S., & Haddad, P. (2010). *Liquid Chromatography: Fundamental and Instrumentation*. New York: Editorial Elsevier.
- Fritz, J., & Gjerde, D. (2009). *Ion Chromatography*. New York: Wiley-VCH.
- Gallego, A. y. (2012). *Contaminación atmosférica*. Madrid: Edición digital.
- García, M., & Ramírez Hermes, M. Á. (2006). Influencia de los contaminantes SO₂ y NO₂ en la formación de lluvia ácida en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. *e-Gnosis*, 17.
- Glynn, H., & Heinke, G. (1999). *Ingeniería Ambiental*. México: Editorial Pearson Educación.
- Herrera, J., & Rodríguez, S. (2009). Determinación de la concentración de aniones en muestras de precipitación total colectadas en San José, Costa Rica. Primera Parte. *Revista Internacional de contaminación ambiental, Scielo*.
- IERSE-UDA, E. T. (2012). *Mapa de ruido del área urbana de la ciudad de Cuenca*. Cuenca.
- INZUNZA, J. (2006). *Meteorología Descriptiva*. Universidad de Concepción.
- IUPAC. (1993). *Nomenclatura para cromatografía*. Madrid: Editorial Real Jardín Botánico.
- Larssen, T., & otros. (2006). Acid rain in China. *American Chemical Society*, 8.
- Lope-Bello, N. (1997). *DERECHO AMBIENTAL INTERNACIONAL*. Venezuela: Editorial Equinoccio.
- Martínez, E., & Díaz, Y. (2004). *Contaminación atmosférica*. Murcia, España: Ediciones de la Universidad de castilla - La Mancha.

- Moussiopoulos. (s.f.). *Calidad del aire en ciudades*. Alemania: Editorial Springer.
- Nebel, B., & Wright, R. (2001). *Ciencias Ambientales: Ecología y desarrollo sostenible*. Editorial Pearson Educación.
- Nova, L. (2008). *Manual para la formación en medio ambiente*. España: Editorial Lex Nova.
- Organización Meteorológica Mundial. (1987). *Atlas de Nubes*. London.
- PRIETO, C. (2004). *El agua: sus formas, abastecimientos, usos, daños y conservación*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Red de Monitoreo EMOV, A. d. (2012). *Informe de la calidad del aire, año 2011*. Cuenca - Ecuador.
- ROGERS, R. (2003). *Física de las nubes*. España: Editorial Reverté, S.A.
- SAROCHAR, H. (2009). *Introducción a la meteorología general*.
- Strauss, W., & Mainwaring. (2011). *CONTAMINACIÓN DEL AIRE*. México.
- Tapia, D. (2009). *Red de Monitoreo de Calidad del Aire*. Cuenca.
- Valcárcel, M., & Gómez, A. (1998). *Analíticas de separación*. Barcelona: Editorial Reverté, S.A.
- Weiss, J. (1995). *Ion Chromatography*. Alemania: New York.
- Wixom, R., & Gehrke, C. (2010). *Chomatography: Ascience of discovery*. Canadá: Editorial Wiley.

GLOSARIO

Absorción.- Incorporación de un líquido en un sólido.

Aerosol marino.- Se forma cuando el viento incide sobre la superficie del océano y se producen las olas. Es así, como se forman pequeñas burbujas de descargan en el aire partículas líquidas, en donde se encuentran residuos orgánicos procedentes de la descomposición de algas y plancton.

Adsorción.- Retención de líquidos o gases en la superficie de un sólido.

Anión.- Ión que dispone de carga negativa.

Catión.- Ión que dispone de carga positiva.

Contaminación.- Presencia en el ambiente de cualquier agente químico, físico o biológico nocivos para la salud o el bienestar de la población, de la vida animal o vegetal.

Convección.- Proceso natural en el que el calor se transfiere entre dos sustancias líquidas.

Eluyente.- Capacidad de una sustancia para limpiar o diluir.

Gradiente.- Variación de una magnitud en cantidad y dirección.

Inversión térmica.- Proceso natural que afecta a la circulación del aire en las capas bajas de la atmósfera. Aumenta los efectos de la contaminación atmosférica.

Ión.- Átomo o molécula que ha perdido su neutralidad por un defecto o exceso de su carga formal.

Latitud.- Distancia que hay desde un punto de la superficie terrestre al ecuador, contada por los grados de su meridiano

pH.- Potencial hidrógeno, es un parámetro muy usado en química para medir el grado de acidez o alcalinidad de las sustancias.

Pigmento.- Moléculas químicas que pueden reflejar la luz visible, transmitirla, o las dos cosas.

Saturación: Situación de equilibrio donde las velocidades de evaporación y condensación son iguales.

Tensión superficial.- Fuerzas cohesivas entre moléculas de un líquido.

Viscosidad.- Medida de la resistencia de los líquidos a fluir.

ANEXOS

ANEXO 1

Zonificación de acuerdo al TULAS. Mapa de ruido del área urbana de la ciudad de Cuenca. (IERSE-UDA, 2012). Tabla 46.

Nº	Punto medido (sector)	Clasificación según el TULAS
R_01	Estadio	Comercial
R_02	Gapal	Residencial Mixta
R_03	Aeropuerto	Comercial
R_04	Tres Puentes	Residencial Mixta
R_05	Frutillados (Remigio Crespo)	Comercial Mixta
R_06	Hospital Regional	Hospitalaria
R_07	Chaulabamba	Residencial
R_08	Lagunas de Oxidación	Residencial
R_09	Monumento a la familia	Residencial
R_10	Graiman	Industrial
R_11	Camal	Industrial
R_12	Camino a Ochoa Leon	Residencial
R_13	La Libertad	Residencial Mixta
R_14	Los Cerezos Alto	Industrial
R_15	Camino al Tejar	Residencial Mixta
R_16	Vía a Sinincay (Miraflores)	Residencial
R_17	El Cebollar	Residencial
R_18	Hospital del IESS	Hospitalaria
R_19	Plaza Bocatti	Residencial Mixta
R_20	Col. Sagrados Corazones	Educativa
R_21	Feria Libre	Comercial Mixta
R_22	Estación de servicio Trinita (Isabela Católica)	Educativa
R-23	Indurama	Residencial Mixta
R_24	Control Sur	Residencial Mixta
R_25	ETAPA (Gran Colombia)	Comercial
R_26	Cristo Rey	Residencial
R_27	Chola Cuencana	Comercial Mixta
R_28	Vía Baños	Residencial
R_29	Bajada Centenario	Comercial Mixta
R_30	Totoracocha	Residencial

ANEXO 2

CONCENTRACIÓN DE IONES NITRATO (NO₃)⁻¹ EN EL AGUA LLUVIA, ppm								
CÓDIGO	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8
<i>PI</i>	0,843	0,1759	0,701	0,0347	1,115	0,2567	0,192	0,0054
<i>UPS</i>	1,004	0,8837	0,5635	0,0182	1,742	0,2368	0,6043	1,7712
<i>GS</i>	0,1138	0,1236	0,9634	0,671	2,871	2,913	1,2278	0,2449
<i>PC</i>	2,418	0,8762	1,652	3,21	4,213	2,1465	3,921	2,0081
<i>HC</i>	2,314	0,3554	2,641	0,916	2,513	0,776	3,8106	0,9658
<i>TP</i>	0,516	0,7263	0,503	0,987	0,841	1,658	1,2263	1,9302
<i>RC</i>	0,09	0,6483	0,746	1,012	0,0241	0,1504	1,0356	2,5255
<i>ARC</i>	0,0778	0,5861	1,842	1,238	1,4782	1,339	1,9734	0,806
<i>LDB</i>	0,1395	0,1218	0,0429	1,3512	2,442	0,1914	1,003	1,221
<i>CS</i>	0,113	1,082	0,3966	1,964	0,957	0,1133	0,3072	1,6553

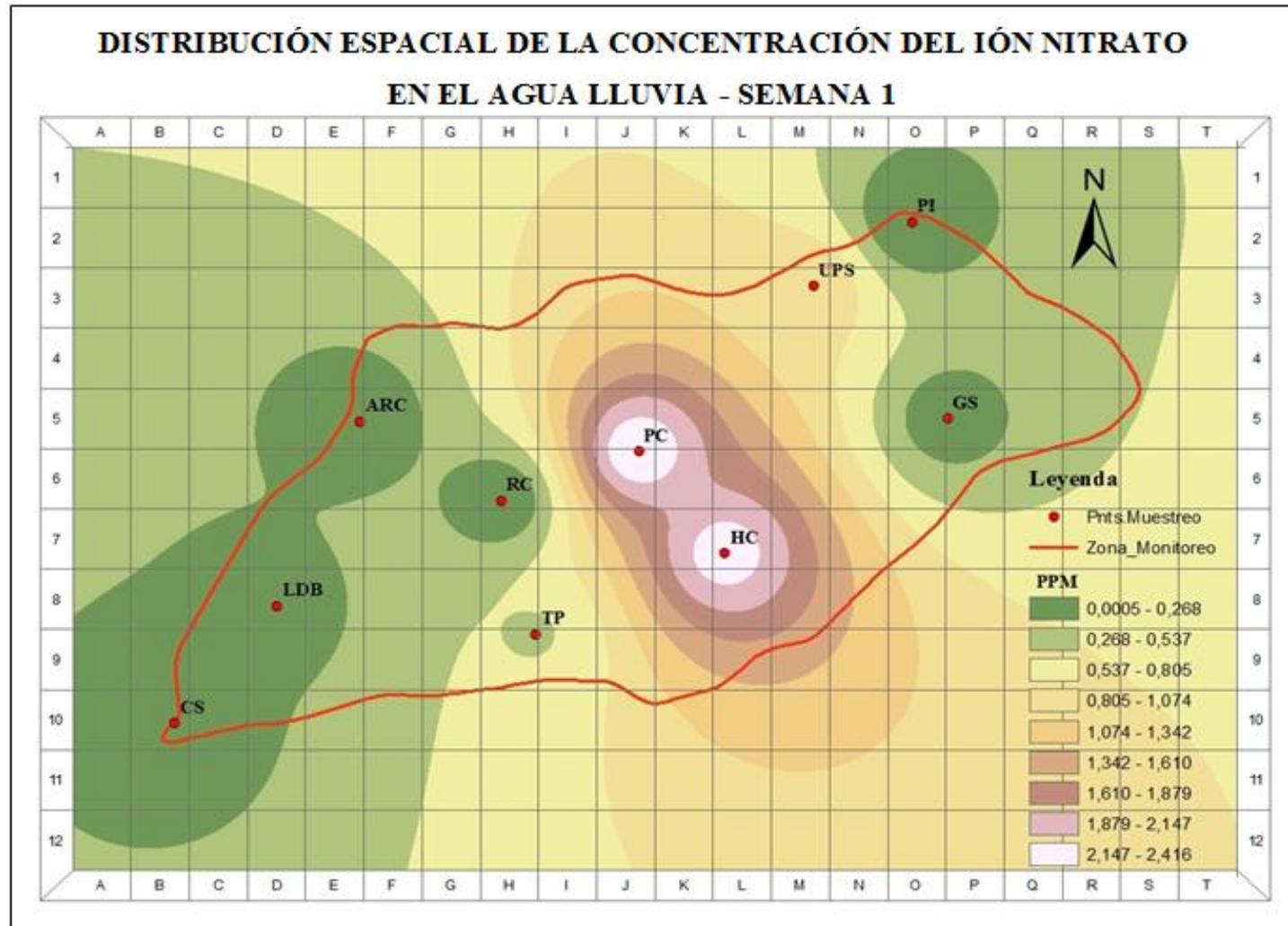
Fuente: La Autora.

ANEXO 3

CONCENTRACIÓN DEL ION SULFATO (SO₄)⁻² EN EL AGUA LLUVIA, ppm								
CÓDIGO	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8
<i>PI</i>	0,915	0,8918	0,0236	0,751	0,661	0,3602	0,799	0,446
<i>UPS</i>	0,0397	0,723	1,391	0,048	0,758	0,5777	0,988	0,5547
<i>GS</i>	0,6112	0,7303	1,1376	0,8072	0,7524	0,6547	1,1177	1,417
<i>PC</i>	2,174	0,2832	1,3541	3,581	3,982	1,3689	3,9185	1,8874
<i>HC</i>	1,113	0,5591	3,652	0,5741	0,9814	0,931	1,982	2,6411
<i>TP</i>	1,897	1,623	1,323	2,0166	0,987	0,4161	1,403	2,631
<i>RC</i>	1,679	0,5864	2,513	1,904	2,932	3,1161	2,716	2,2632
<i>ARC</i>	1,175	3,9251	3,4599	1,469	4,982	1,4085	2,5969	3,2014
<i>LDB</i>	0,5543	0,7962	0,546	0,419	1,097	1,0426	1,4269	3,4896
<i>CS</i>	1,497	0,1642	0,8918	0,762	1,7292	0,995	0,6573	1,738

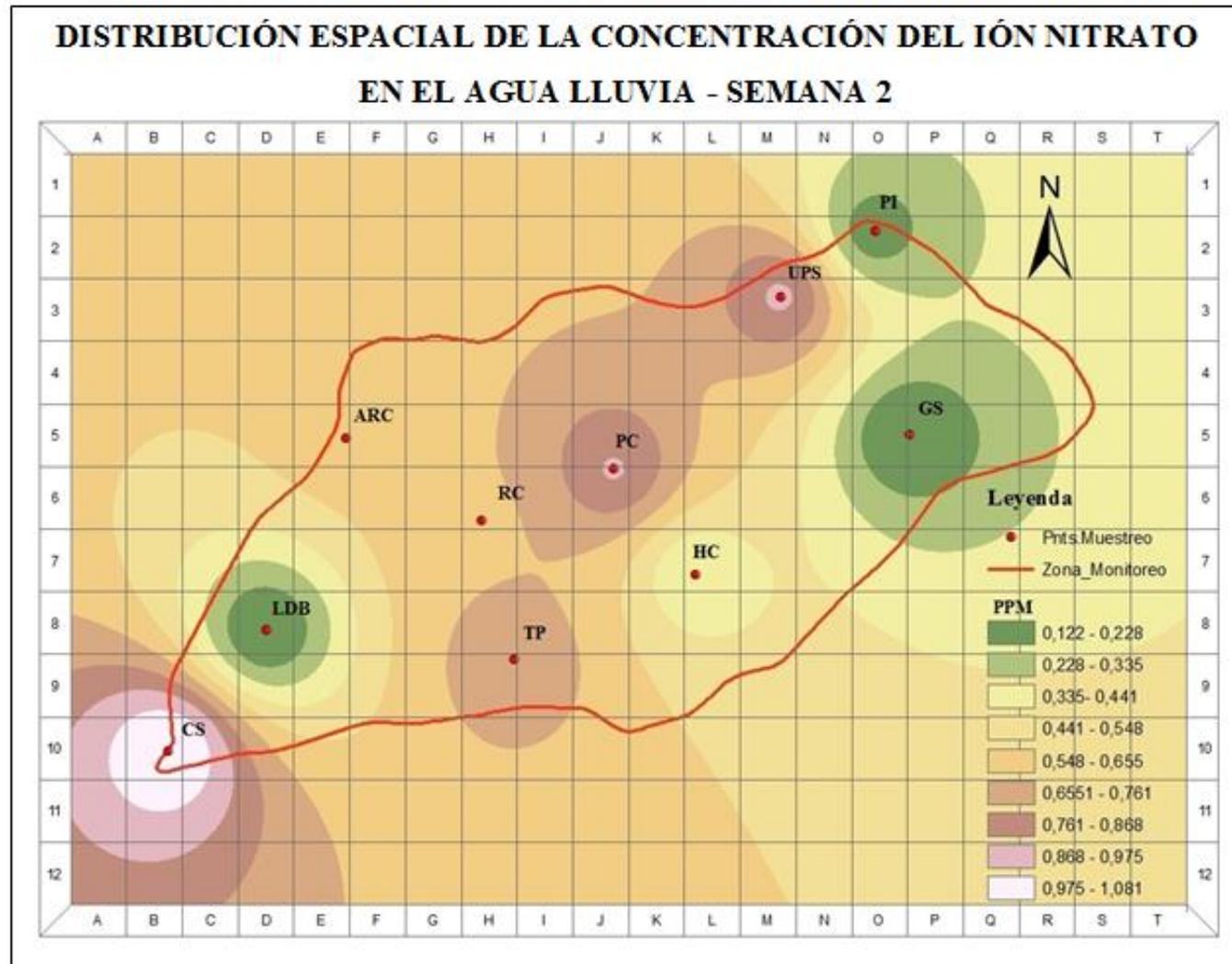
Fuente: La Autora.

ANEXO 4



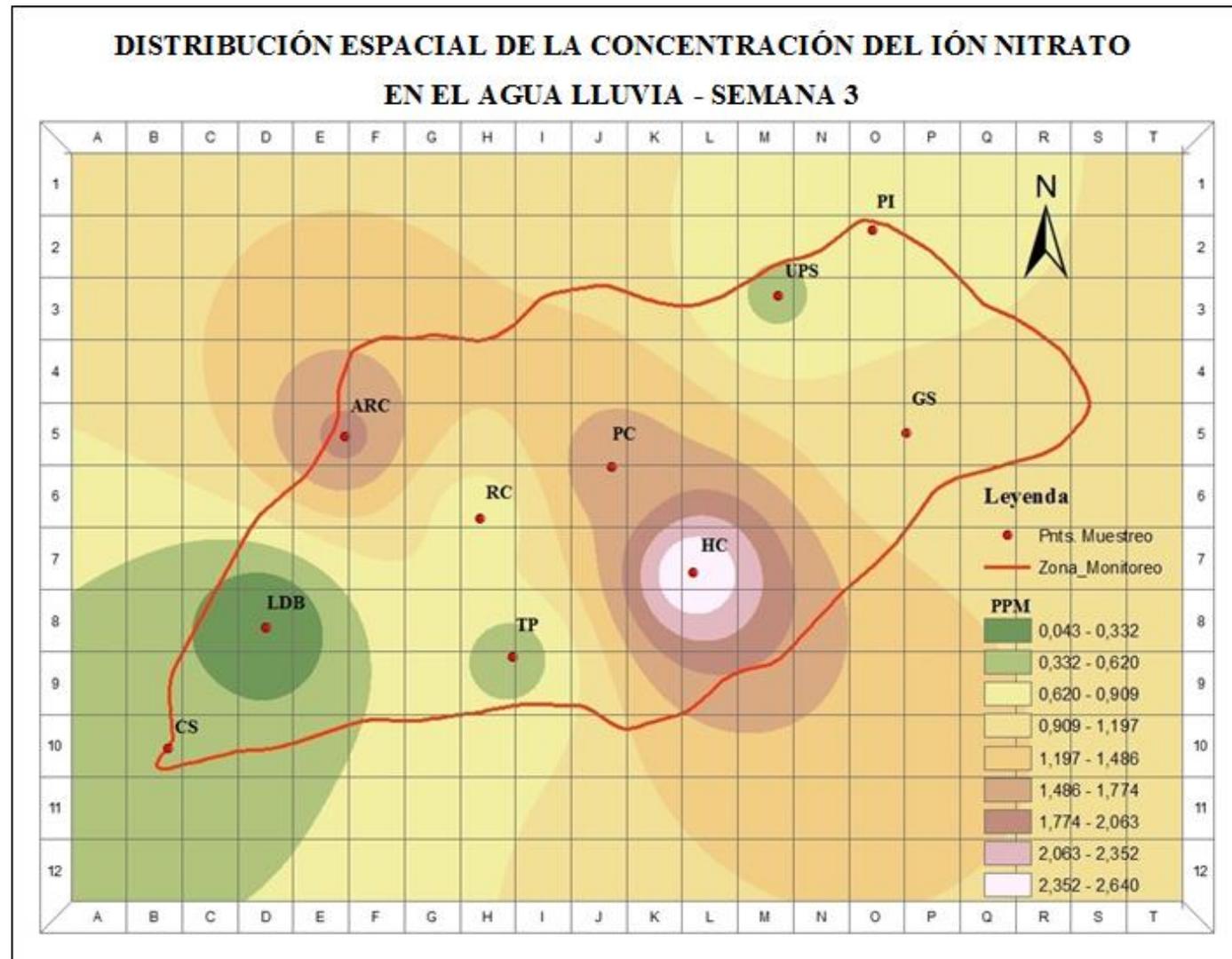
Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

ANEXO 5



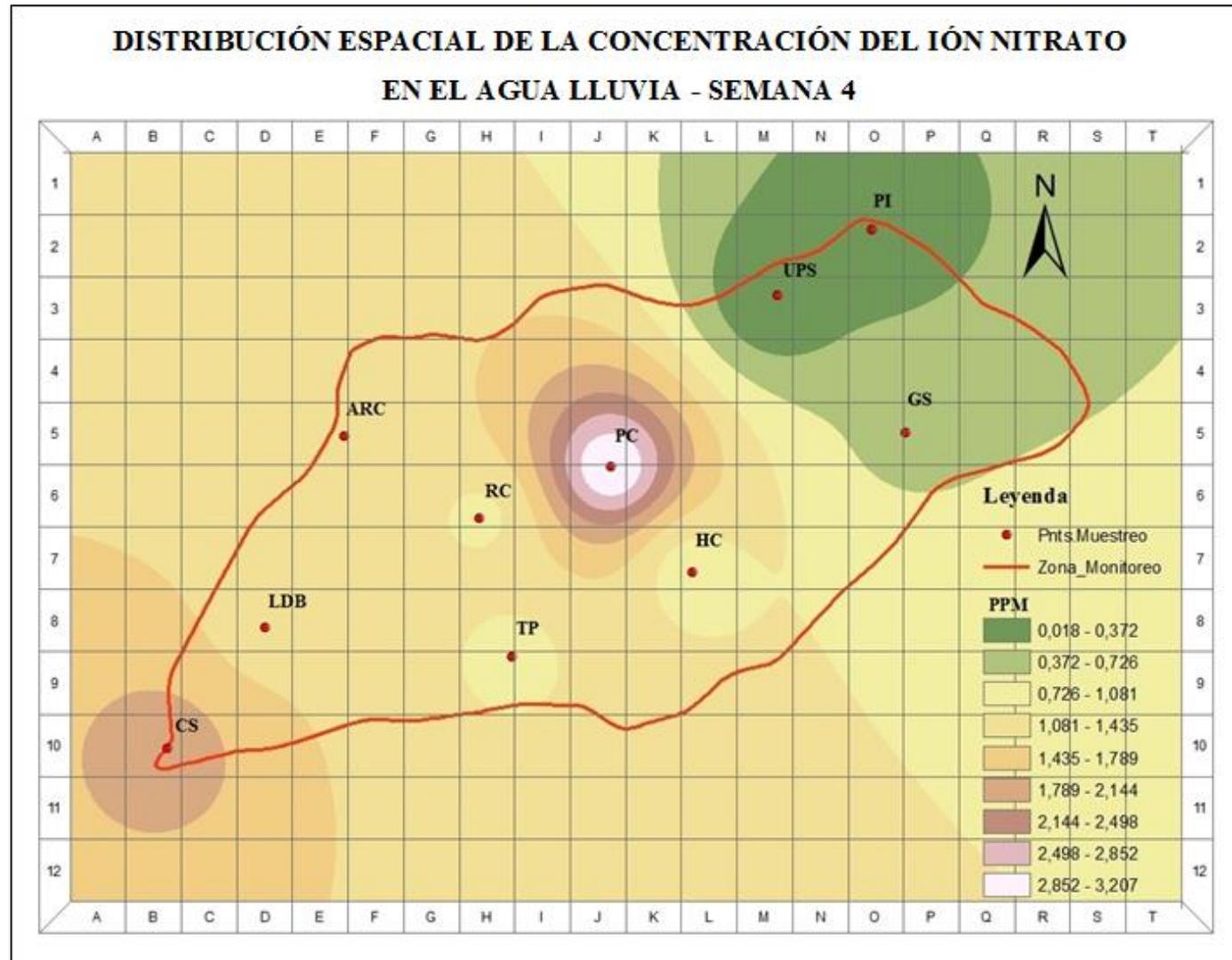
Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

ANEXO 6



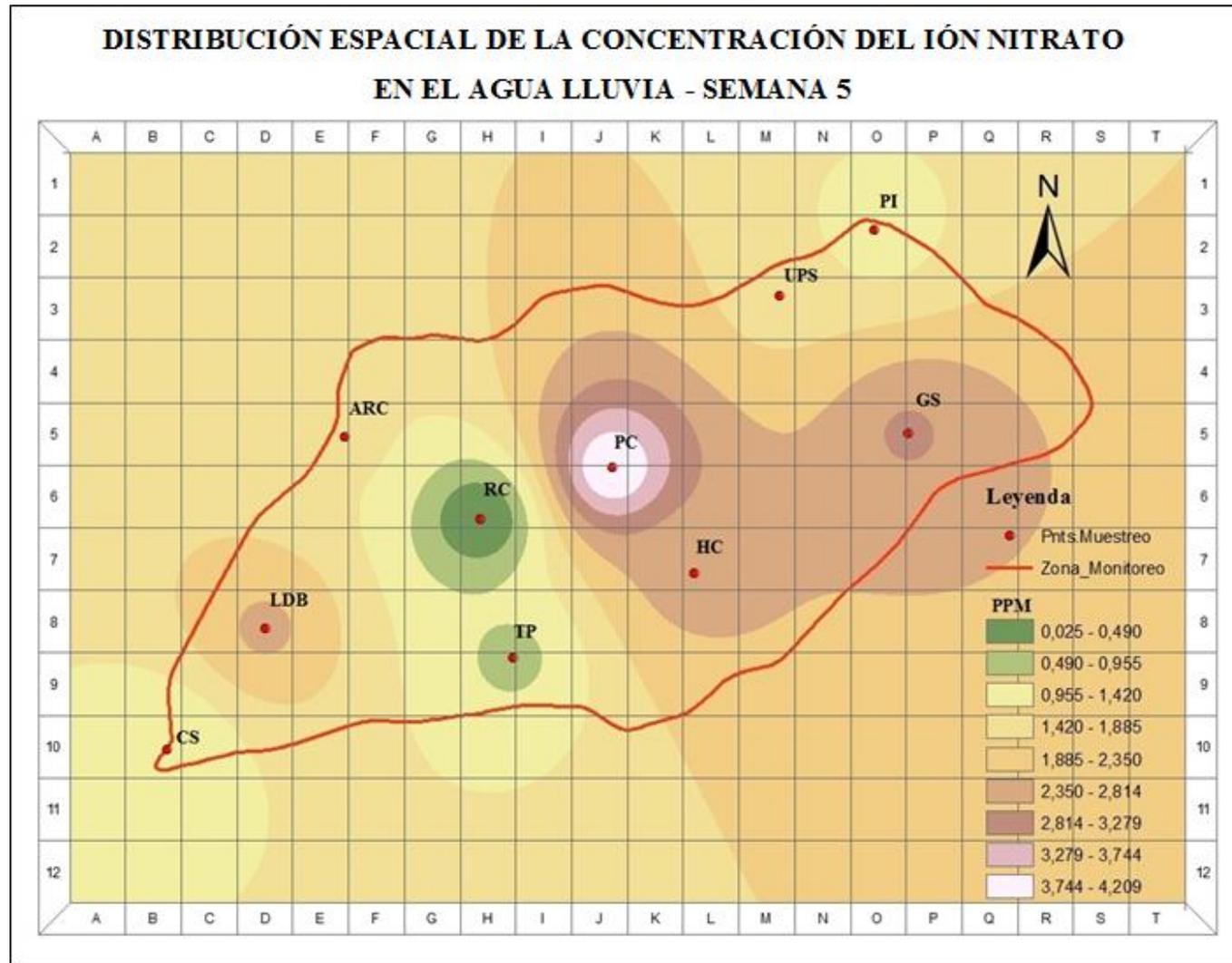
Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

ANEXO 7



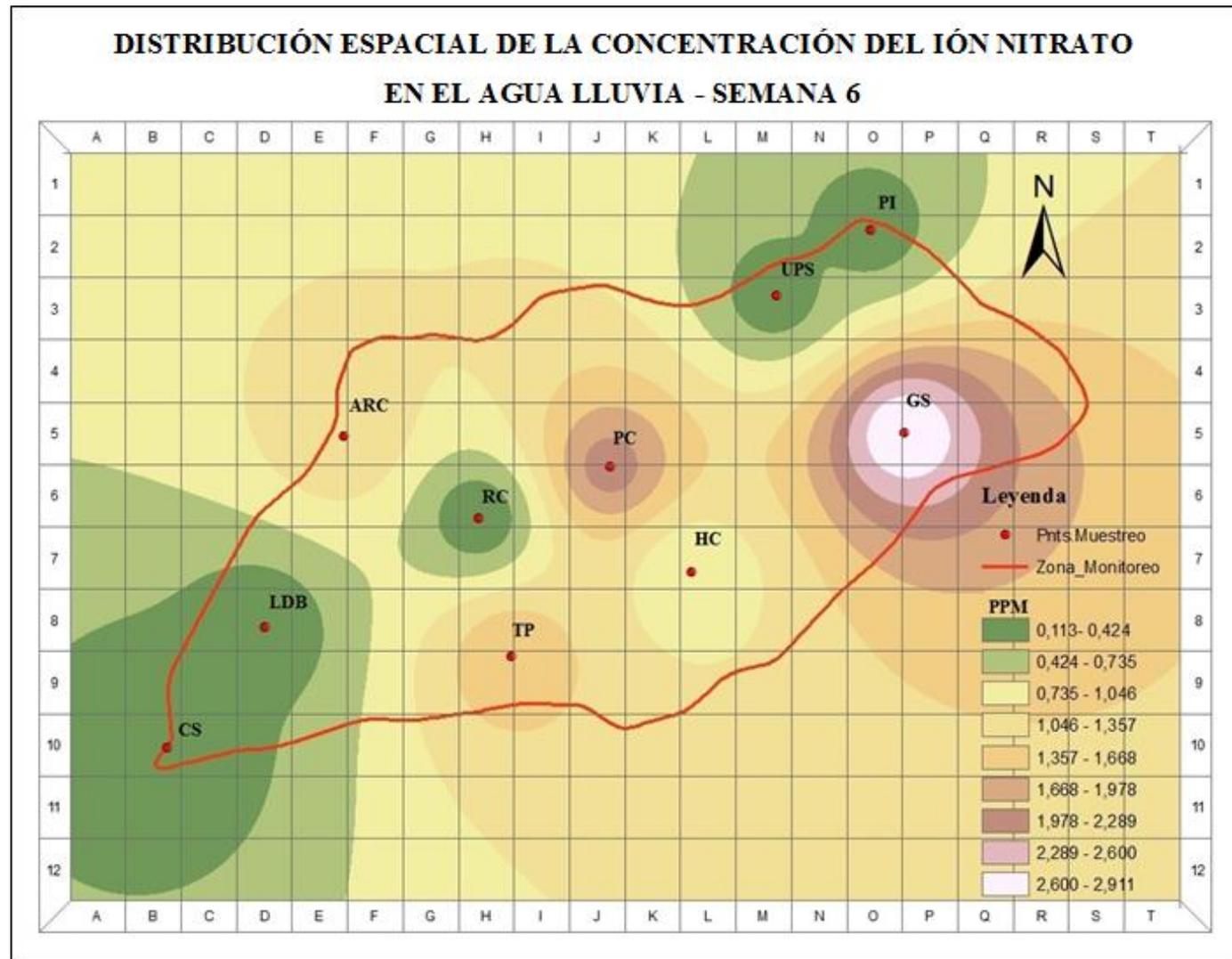
Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

ANEXO 8



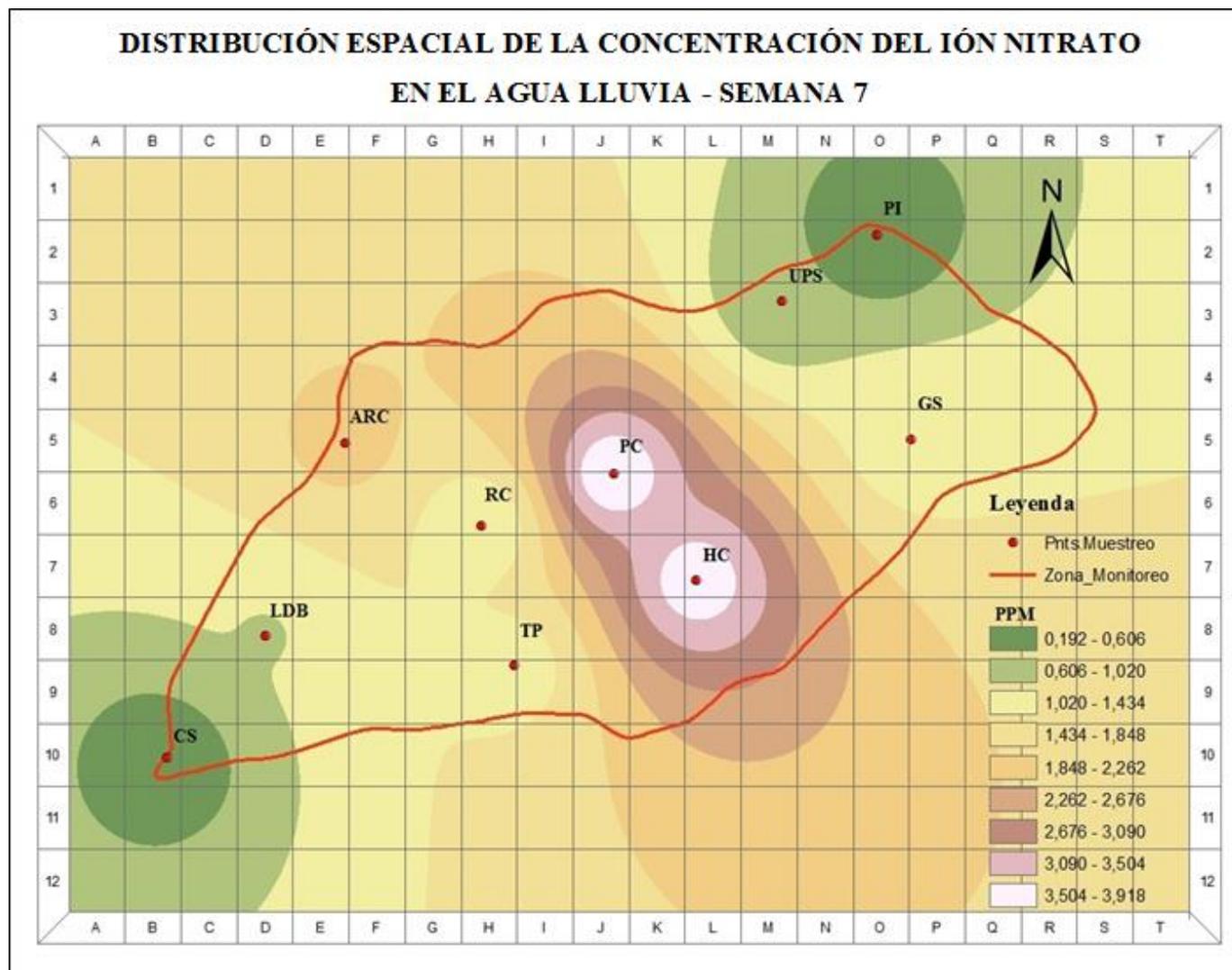
Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

ANEXO 9



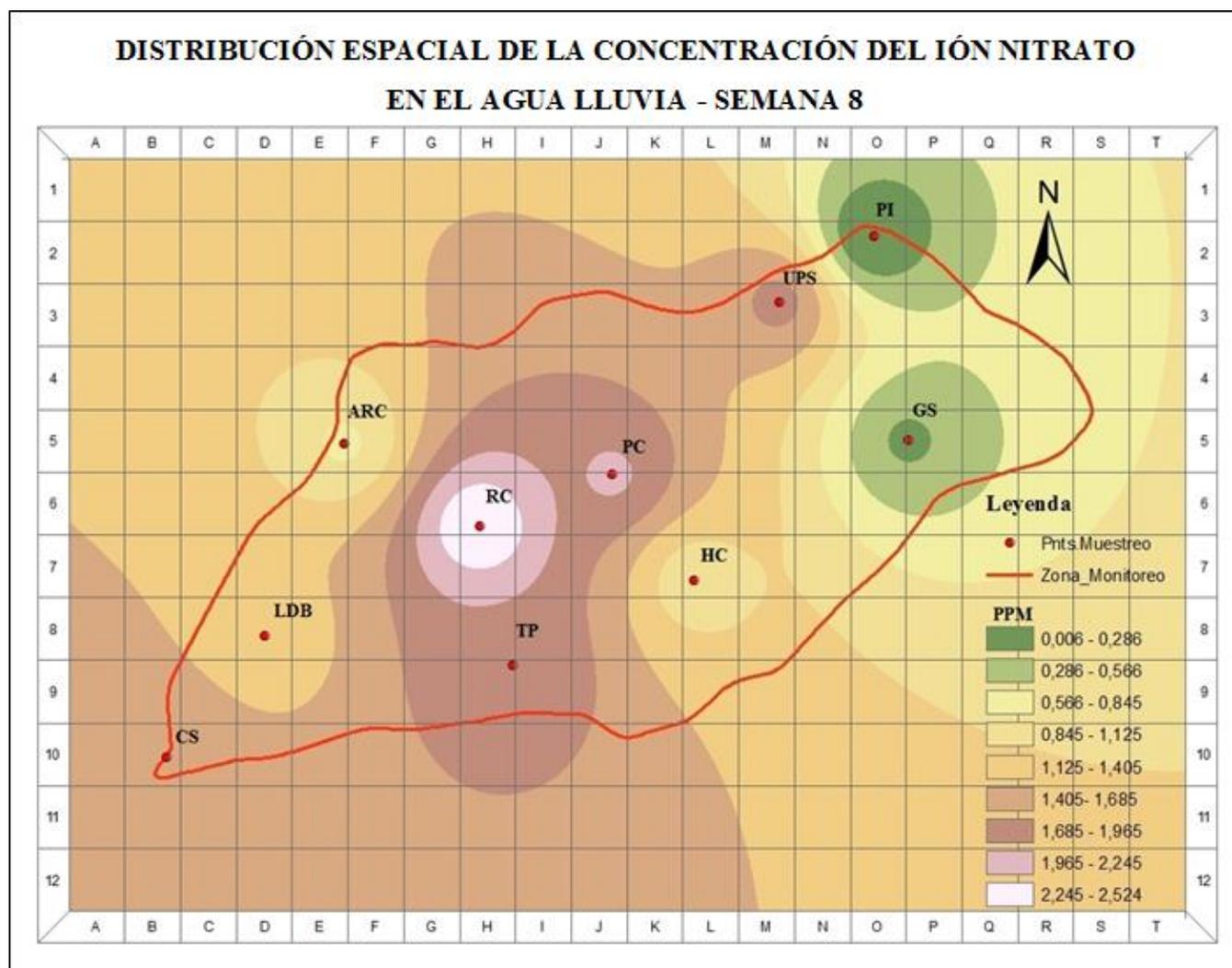
Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

ANEXO 10



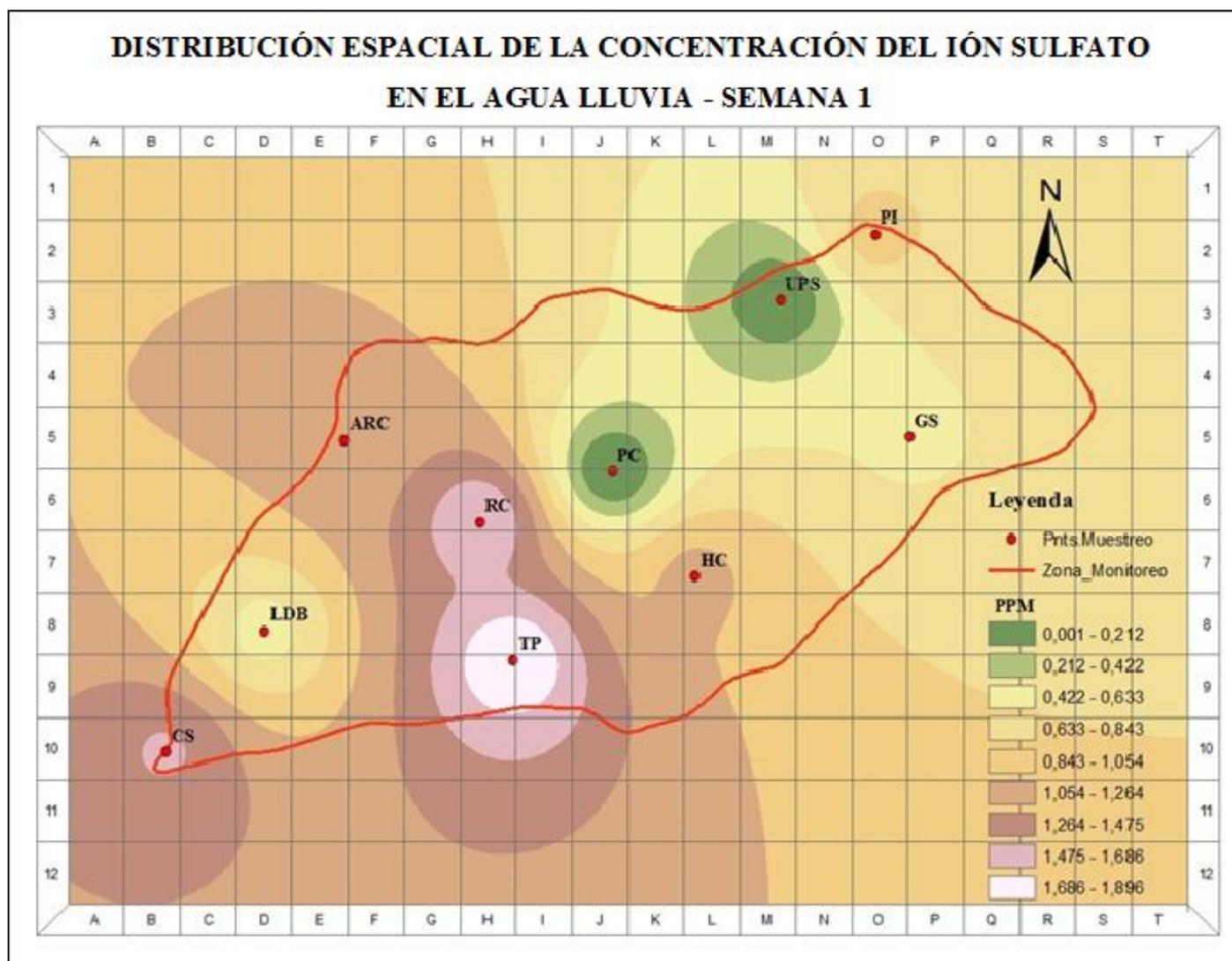
Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

ANEXO 11



Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

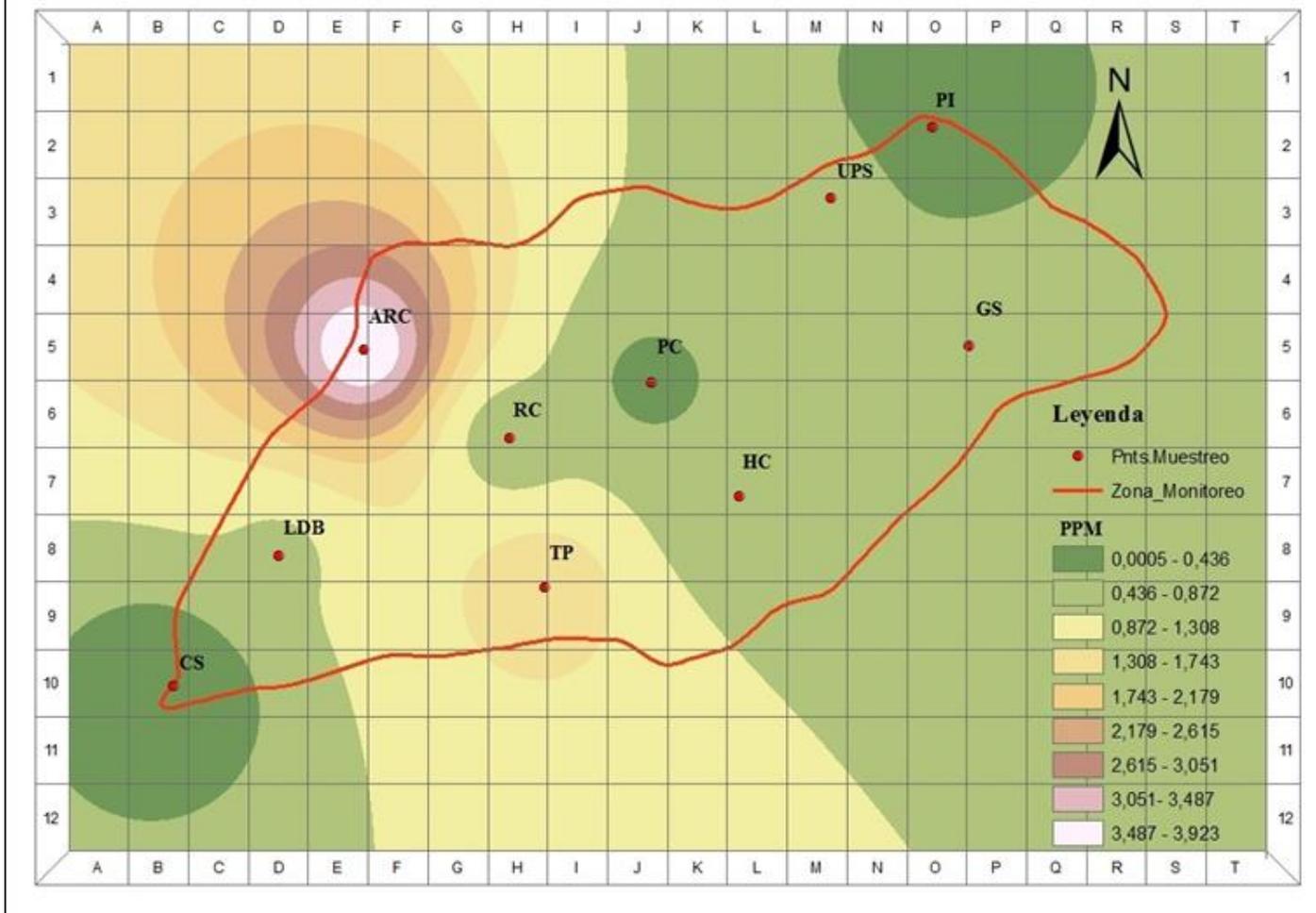
ANEXO 12



Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

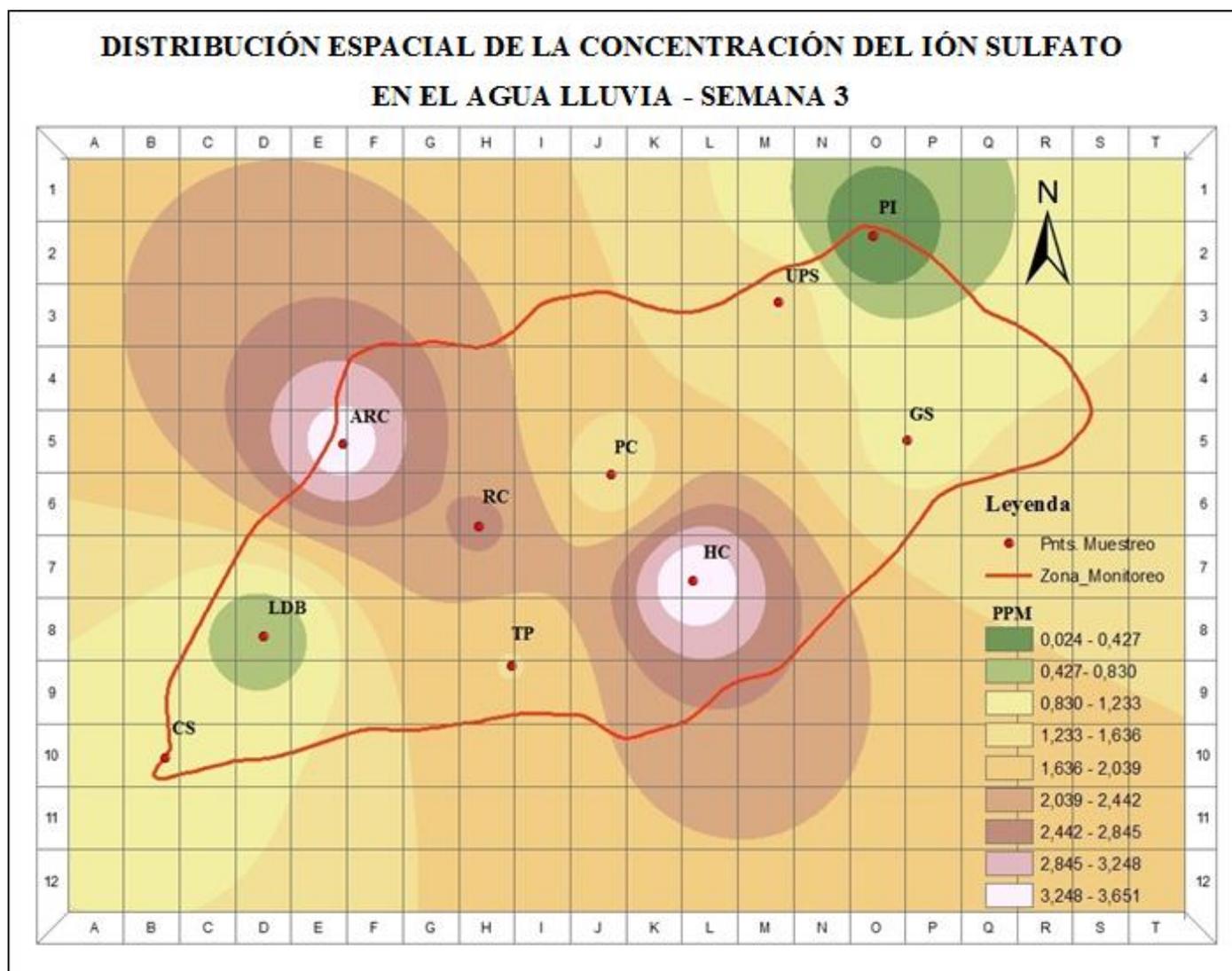
ANEXO 13

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CONCENTRACIÓN DEL IÓN SULFATO EN EL AGUA LLUVIA - SEMANA 2



Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

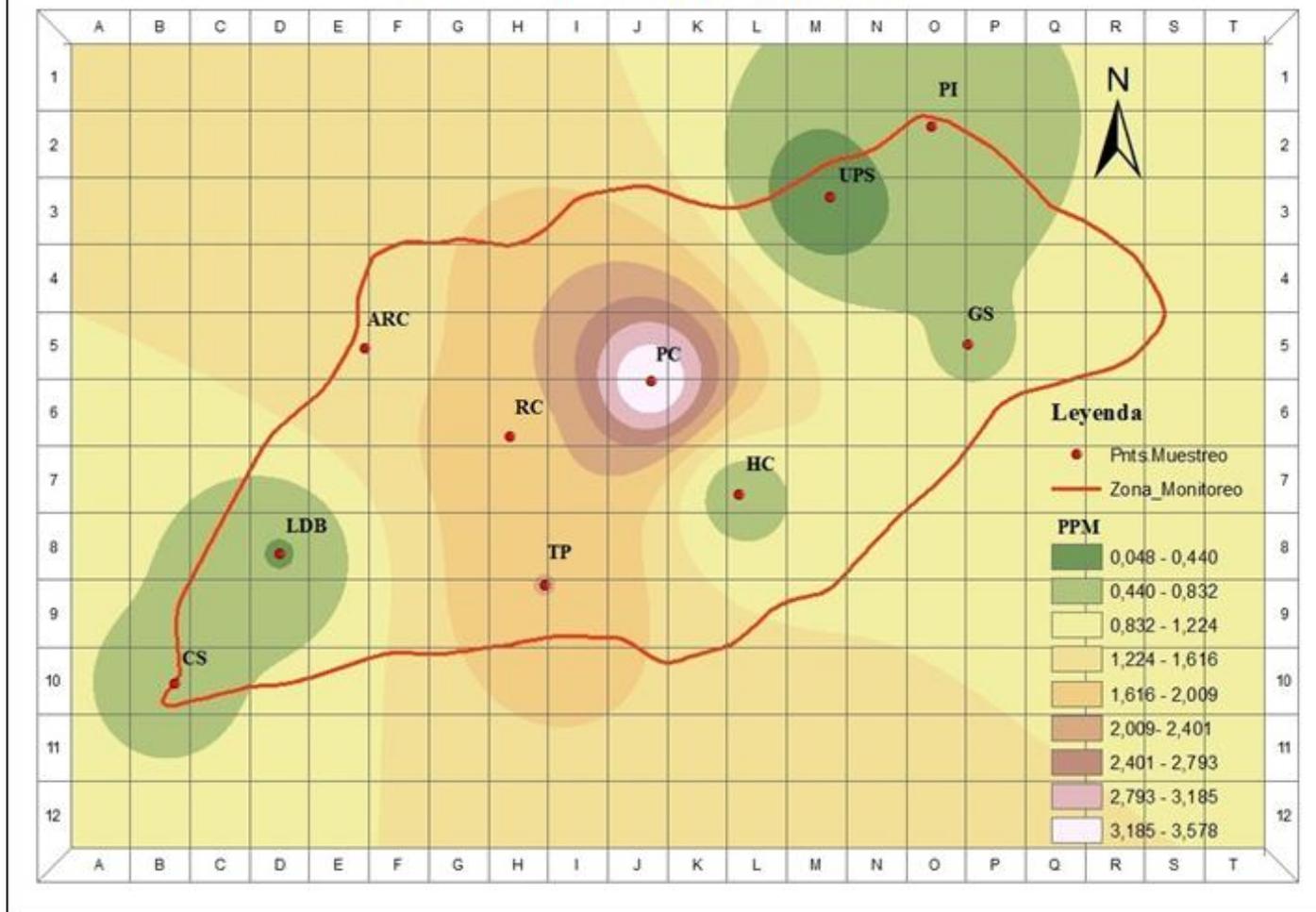
ANEXO 14



Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

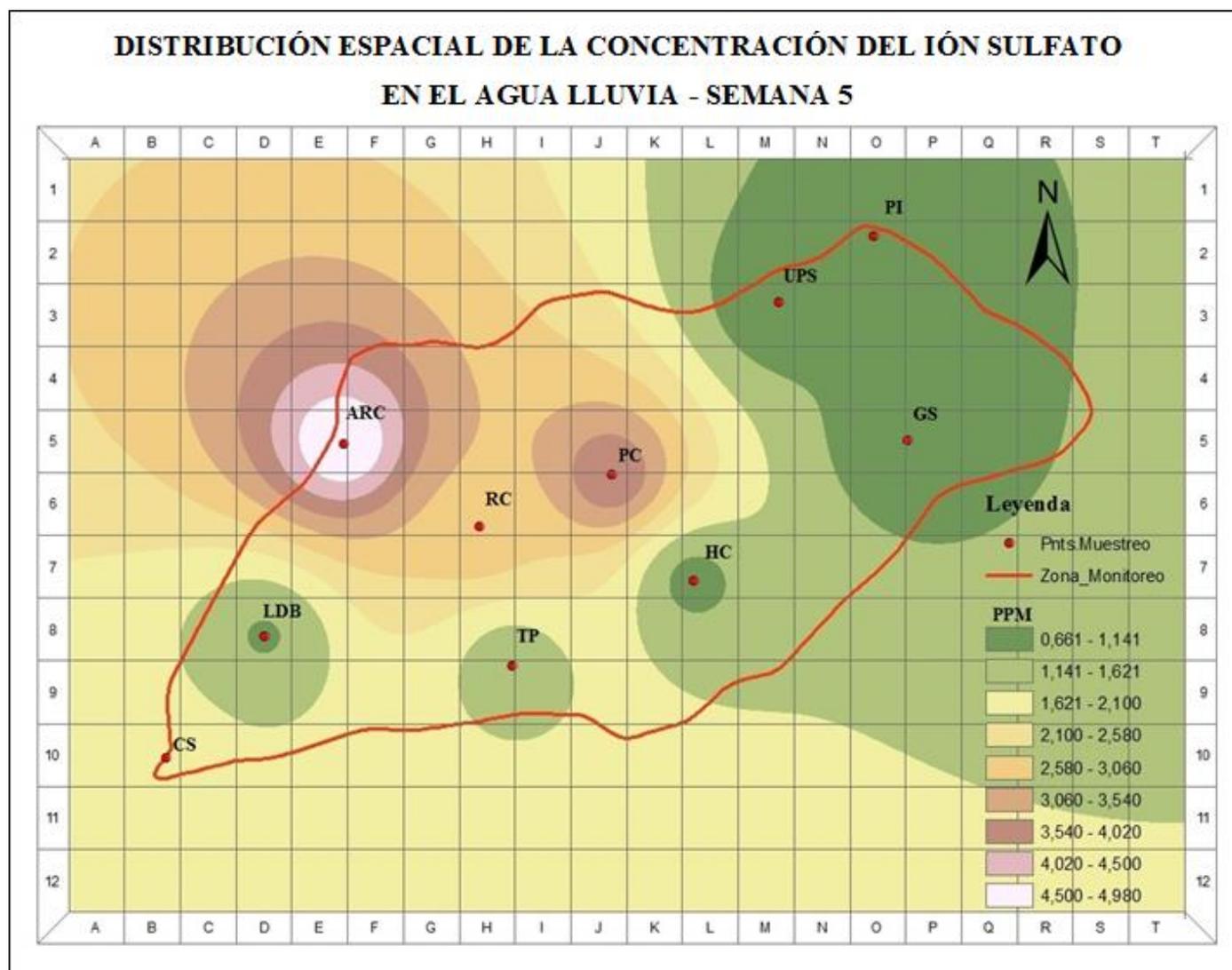
ANEXO 15

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA CONCENTRACIÓN DEL IÓN SULFATO
EN EL AGUA LLUVIA - SEMANA 4**



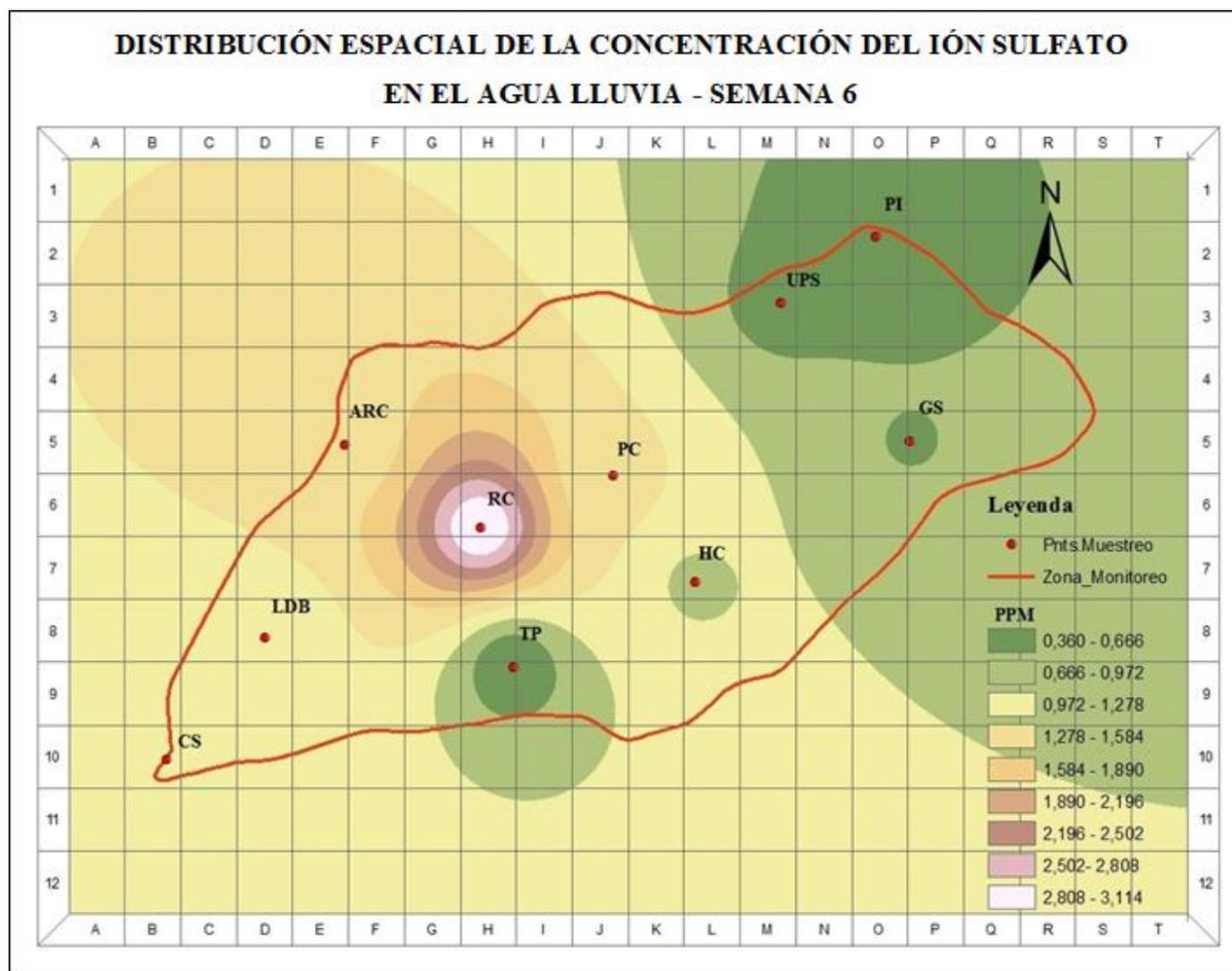
Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

ANEXO 16



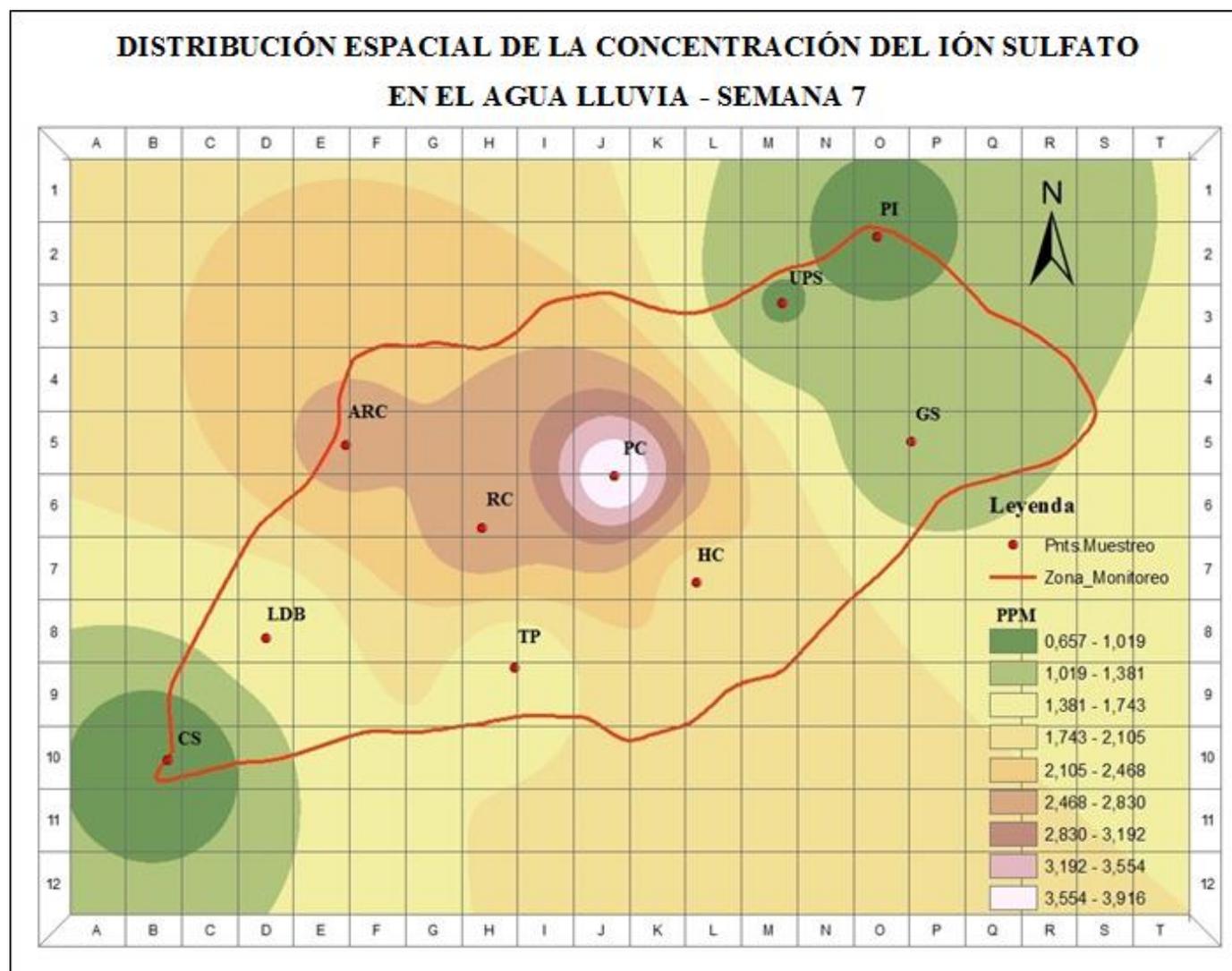
Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

ANEXO 17



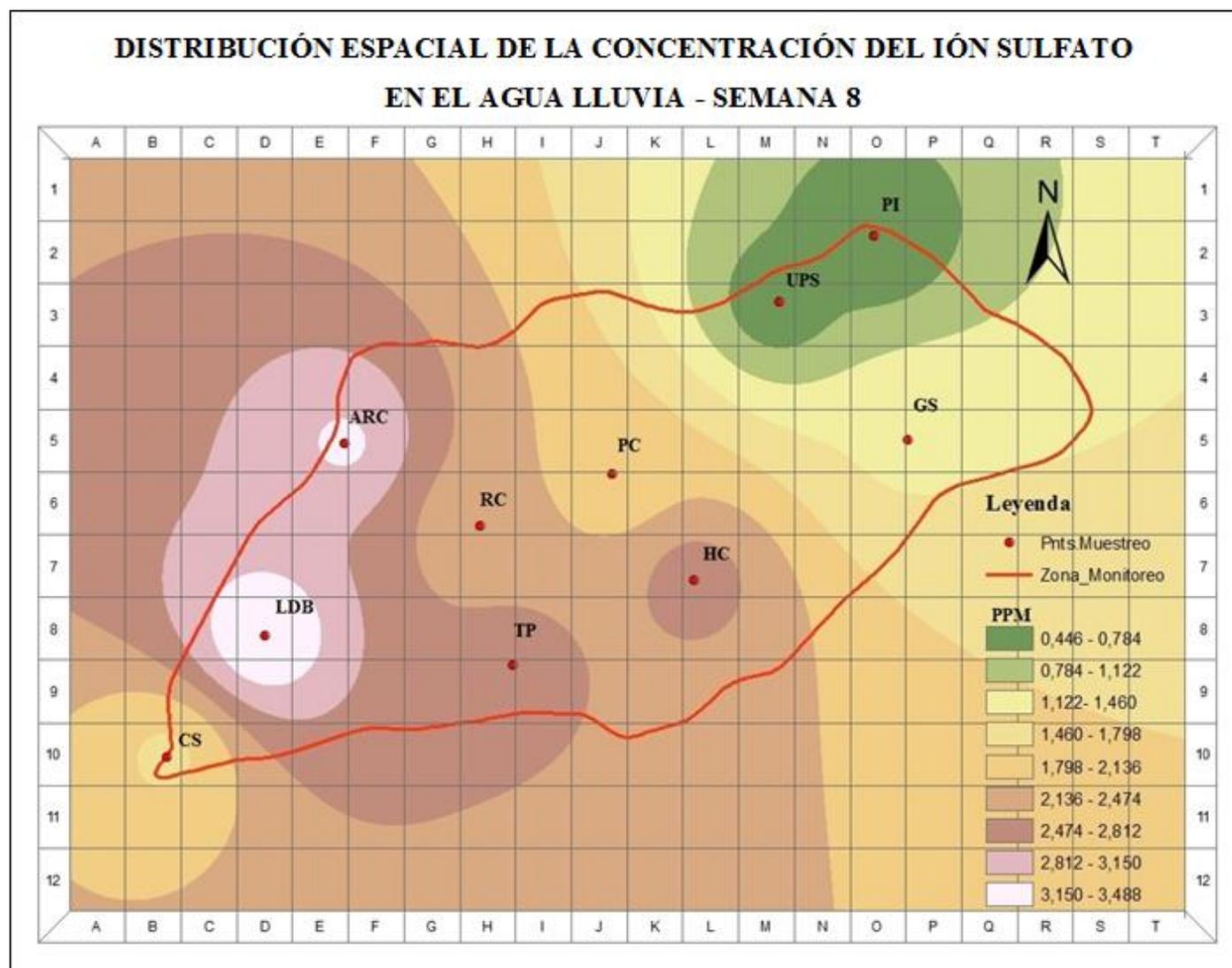
Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

ANEXO 18



Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

ANEXO 19



Fuente: La Autora. ArcGIS 9.3

