

**RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN RELACIÓN CON PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS EN AGUA Y CONDICIONES HIDROMETEOROLÓGICAS EN
UNA SECCIÓN DE LA CUENCA RÍO PALACÉ, MUNICIPIO DE TOTORÓ –
CAUCA**



XIOMARA MARCELA LEÓN CALAMBAS

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
POPAYÁN, CAUCA
2021**

**RESIDUOS DE PLAGUICIDAS EN RELACIÓN CON PARÁMETROS
FISICOQUÍMICOS EN AGUA Y CONDICIONES HIDROMETEOROLÓGICAS EN
UNA SECCIÓN DE LA CUENCA RÍO PALACÉ, MUNICIPIO DE TOTORÓ –
CAUCA**



Uniautónoma
DEL CAUCA

Autora: XIOMARA MARCELA LEÓN CALAMBAS

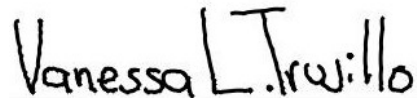
**Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO**

**Directora: Esp. VANESSA TRUJILLO ARZAYUS
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO**

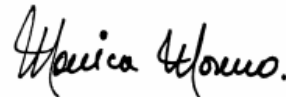
**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
POPAYÁN, CAUCA
2021**

NOTA DE ACEPTACIÓN

El presente trabajo de grado titulado en modalidad de investigación denominado ***“Residuos de plaguicidas en relación con parámetros fisicoquímicos en agua y condiciones hidrometeorológicas en una sección de la cuenca río Palacé, municipio de Totoró – Cauca”*** ha sido evaluado y aprobado por la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, como requisito para optar por el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario.



Vanessa Trujillo Arzayus, Esp.
Directora



Mónica A. Moreno Ruano, Ph.D.
Jurado



Cesar Julián Muños de la Rosa, M.Sc.
Jurado

Popayán – Cauca, Diciembre 2021

DEDICATORIA

Deseo dedicar el presente trabajo de investigación a mi familia como el pilar fundamental que, a pesar de las adversidades en diferentes etapas de nuestras vidas ha buscado la manera de solventar cualquier situación, con quienes hemos comprendido que la vida no es lineal y que cada experiencia viene a fortalecer nuestra mente y corazón en aras de un presente pleno, haciendo lo que haga feliz nuestro tránsito en este lapsus de tiempo que compartamos juntos.

Quienes han guiado mi camino y apoyado mi formación académica enseñándome que con esfuerzo y dedicación se puede lograr cada meta que se trace con amor, pero sobre todo contribuyendo a mi formación como persona con el ejemplo de una mujer perseverante, verraca, trabajadora e independiente pero a la vez amorosa, diligente, amable y servicial como lo es mi Abuelita Gerardina Tombe, a ella como la luz que nos une cada día y nos enseña a ser mejores nietas (os), hijas (os), hermanas (os), sobrinas (os) actuando cada día con perseverancia, serenidad y sabiduría, dedico el esfuerzo que dentro de este trabajo está plasmado.

AGRADECIMIENTO

Yo, Xiomara León Calambas, quiero agradecer a Dios y la vida por cada experiencia que he vivido durante la culminación de mi carrera junto a cada reto académico y personal que durante ejecución de este trabajo ha contribuido a mi formación profesional, como el punto de partida a partir del cual le di un alto a mi vida y así tomar fuerza con sentido en cada decisión y seguir adelante.

Al Ingeniero Ronald Cerón, como el puente entre el deseo de realizar mi idea de investigación y el GEA – Grupo de Estudio Ambientales de la Universidad el Cauca junto a su apoyo académico e infinitos agradecimiento como mi primer tutor en el aula de clase y laboralmente, enseñándome a ser paciente y humilde a pesar del conocimiento que se posea, en búsqueda de la excelencia profesional en equilibrio con la personal.

Doy las gracias a la Ingeniera Tatiana por permitirme desarrollar la presente investigación dentro del GEA – Grupo de Estudio Ambientales de la Universidad del Cauca, que bajo su codirección he aprendido a buscar calidad e integridad personal, dándole importancia a cada aspecto de la vida.

Académicamente al Ingeniero Mauricio y al docente Jorge Manrique, pues son un gran ejemplo de que la docencia se hace con vocación, gracias por su asesoría además de su gran disposición de enseñar y guiar mi trabajo de investigación cuando todo se veía complejo.

A los docentes Mónica Moreno, Julián Muños de la Rosa, Vanessa Trujillo Arzayus e Ingeniera Aura Molano, por brindarme su apoyo, respaldo, asesoría académica y personal ante la adversidad, destacando su profesionalismo junto a su vocación, brindándome su voto de confianza y respaldo, infinitas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	CAPÍTULO I: PROBLEMA	2
2.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
2.2	JUSTIFICACIÓN	3
2.3	OBJETIVOS	4
2.3.1	Objetivo general.....	4
2.3.2	Objetivos específicos.....	4
3.	CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO O REFERENCIAS CONCEPTUALES	5
3.1	ESTADO DEL ARTE	5
3.2	BASES TEÓRICAS	8
3.2.1	<i>Plaguicidas</i>	8
3.2.2	<i>Procesos de los plaguicidas en el ambiente</i>	8
3.2.2.1	Características de los plaguicidas que contribuyen a su movilidad o transporte	9
3.2.2.2	Características o propiedades toxicológicas: toxicidad aguda y crónica de los plaguicidas	9
3.2.2.3	Características en evaluación de riesgo y normatividad por exposición a los plaguicidas	10
3.2.3	<i>Condiciones hidrometeorológicas</i>	11
3.2.4	<i>Características fisicoquímicas del recurso hídrico que influyen en comportamiento de los plaguicidas</i>	11
3.3	BASES DE DATOS	13
3.4	BASES LEGALES	14
3.5	HIPÓTESIS	17
4.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	18
4.1	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	18
4.2	FASE I: PRIORIZACIÓN DE PLAGUICIDAS MEDIANTE PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP)	19
4.2.1	<i>ETAPA I: Valoración de criterios por expertos mediante el proceso de análisis jerárquico</i>	20
4.2.1.1	Actividad I: Desarrollo proceso de análisis jerárquico – AHP por expertos	21
4.2.1.2	Actividad II: Base matemática proceso de análisis jerárquico (AHP)	22

4.2.2	<i>ETAPA II: Valoración de subcriterios por “rúbrica o matriz de valoración”</i>	23
4.3	FASE II: DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS, RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN, CONCENTRACIÓN DE PLAGUICIDAS EN EL RÍO PALACÉ	24
4.3.1	<i>ETAPA I: Determinación de parámetros fisicoquímicos sobre la fuente hídrica río Palacé</i>	25
4.3.1.1	Actividad 1: Medición de parámetros fisicoquímicos <i>in situ</i> sobre la fuente hídrica río Palacé	25
4.3.1.2	Actividad 2: Medición de parámetros fisicoquímicos en laboratorio de la fuente hídrica río Palacé	25
4.3.2	<i>ETAPA II: Recolección, evaluación de calidad y cantidad de datos de precipitación y caudal en la cuenca del río Palacé</i>	26
4.3.2.1	Actividad 1: Estimativo de datos de precipitación faltantes	26
4.3.2.2	Actividad 2: Área de influencia de precipitación mediante polígonos de Thiessen	27
4.3.3	<i>ETAPA III: Evaluación de calidad más síntesis de concentraciones de plaguicidas y parámetros fisicoquímicos</i>	28
4.3.3.1	Actividad 1: Síntesis de concentraciones de plaguicidas	28
4.3.3.2	Actividad 2: Estimativo concentraciones de plaguicidas y parámetros fisicoquímicos por debajo del límite de detección	29
4.4	FASE III: MÉTODOS DE CORRELACIONES PARA PRECIPITACIÓN vs. VARIABLES Y RELACIÓN ENTRE MEDIAS PARA TIEMPOS BIMODALES Y DÍAS DE MONITOREO	30
4.4.1	<i>ETAPA I: Pruebas estadísticas de correlaciones</i>	31
4.4.2	<i>ETAPA II: Relación de medias por Wilcoxon</i>	34
5.	CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	36
5.1	FASE I: PRIORIZACIÓN DE PLAGUICIDAS MEDIANTE PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP)	36
5.1.1	<i>ETAPA I: Valoración de criterios por expertos mediante el proceso de análisis jerárquico</i>	36
5.1.1.1	Actividad 1: Desarrollo proceso de análisis jerárquico – AHP por expertos	37
5.1.1.2	Actividad 2: Base matemática proceso de análisis jerárquico - AHP por expertos	37
5.1.1.2.1	Ratio de consistencia de las encuestas de expertos - CR	37
5.1.1.2.2	Cálculo de vector propio y proceso para sintetizar juicios	38

5.1.2	<i>ETAPA II: Valoración de subcriterios por “rúbrica o matriz de valoración”</i>	39
5.1.2.1	Actividad 1: Propiedades fisicoquímicas de los plaguicidas – movilidad y transporte en el ambiente	40
5.1.2.2	Actividad 2: Propiedades toxicológicas: toxicidad aguda y crónica	45
5.1.2.3	Actividad 3: Evaluación de riesgo y normatividad	48
5.1.3	<i>ETAPA III: Selección de plaguicidas a estudiar</i>	51
5.2	FASE II: DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS, RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN, CONCENTRACIÓN DE PLAGUICIDAS EN EL RÍO PALACÉ	52
5.2.1	<i>ETAPA I: Determinación de parámetros fisicoquímicos sobre la fuente hídrica río Palacé</i>	52
5.2.1.1	Actividad 1: Comportamiento parámetros fisicoquímicos humedal de Calvache	53
5.2.1.2	Actividad 2: Comportamiento parámetros fisicoquímicos Siberia	54
5.2.1.3	Actividad 3: Comportamiento parámetros fisicoquímicos Hatico	55
5.2.2	<i>ETAPA II: Recolección, evaluación de calidad de datos de precipitaciones en la subcuenca del río Palacé</i>	56
5.2.2.1	Actividad 1: Desarrollo método de estimación de precipitaciones faltantes	56
5.2.2.2	Actividad 2: Determinación área de influencia de precipitación mediante polígonos o Thiessen	57
5.2.3	<i>ETAPA III: Evaluación de calidad más síntesis de concentraciones de plaguicidas y parámetros fisicoquímicos</i>	59
5.2.3.1	Actividad I: Síntesis de concentraciones de plaguicidas	60
5.2.3.2	Actividad II: Estimativo concentraciones plaguicidas y parámetros fisicoquímicos por debajo del límite de detección	61
5.3	FASE III: CORRELACIONES DE PRECIPITACIÓN VS VARIABLES Y RELACIÓN ENTRE TIEMPOS BIMODALES	62
5.3.1	<i>ETAPA I: Pruebas estadísticas de correlaciones entre Precipitaciones vs Plaguicidas y Parámetros fisicoquímicos en tiempo de bajas y altas lluvias</i>	63
5.3.1.1	Actividad I: Síntesis y clasificación de precipitación	63
5.3.1.2	Actividad II: Correlación precipitaciones vs concentración de plaguicidas medidos en el río Palacé	64
5.3.1.2.1	Correlación precipitación vs Lindano	65

5.3.1.2.2	Correlación precipitación vs α -BHC	68
5.3.1.2.3	Correlación precipitación vs β -BHC	71
5.3.1.2.4	Correlación precipitación vs Clorpirifos	73
1.1.1.1	Actividad III: Correlación precipitaciones vs comportamiento de parámetros fisicoquímicos del río Palacé	78
5.3.1.2.5	Correlación precipitación vs Conductividad y Sólidos totales	78
5.3.1.2.6	Correlación precipitación vs Potencial Redox y Potencial de hidrógeno pH	81
5.3.1.2.7	Correlación precipitación vs Oxígeno disuelto, % saturación de oxígeno y temperatura.	83
5.3.1.2.8	Correlación precipitación vs DQO – Demanda química de oxígeno.	85
5.3.2	<i>ETAPA II: Relación de tiempos bimodales mediante Wilcoxon</i>	88
5.4	FASE IV: RELACIÓN ENTRE MONITOREO Y CORRELACIÓN DE CONCENTRACIONES DE PLAGUICIDAS VS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	91
5.4.1	<i>ETAPA I: Relación de caudal medio diario por Wilcoxon</i>	91
5.4.2	<i>ETAPA II: Correlación de Parámetros fisicoquímicos vs concentración de Plaguicidas</i>	92
5.4.2.1	Actividad I: Correlaciones Punto N°1 Humedal concentración de Plaguicidas – Parámetros fisicoquímicos	93
5.4.2.2	Actividad II: Correlaciones Punto N°2 Siberia concentración de Plaguicidas – Parámetros fisicoquímicos	95
5.4.2.3	Actividad III: Correlaciones Punto N°3 Hatico concentración de Plaguicidas – Parámetros fisicoquímicos	97
6.	CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	99
6.1	ANÁLISIS DE PENDIENTE SUBCUENCA DEL RÍO PALACÉ – MUNICIPIO DE TOTORÓ	99
6.2	ANÁLISIS DE VARIACIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE PLAGUICIDAS EN RELACIÓN A LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL RÍO PALACÉ	102
7.	CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
7.1	CONCLUSIONES	105
7.2	RECOMENDACIONES	107
8.	BIBLIOGRAFÍA	108
9.	ANEXOS	116

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de mayor incidencia en el comportamiento de los plaguicidas	11
Tabla 2. Bases legales nacionales e internacionales que rigen o regulan comportando de los plaguicidas	14
Tabla 3. Criterios y subcriterios de valoración para la selección de plaguicidas	20
Tabla 4. Plaguicidas detectados estudio “Amenaza por micro contaminantes”	20
Tabla 5. Matriz AHP adaptada	21
Tabla 6. Porcentaje máximo del ratio de consistencia CR	22
Tabla 7. Ejemplo de rúbrica o matriz de valoración	23
Tabla 8. Coordenadas puntos de monitoreo por estudio “Amenaza por micro contaminantes en fuentes de abastecimiento de agua potable”	24
Tabla 9. Coordenadas geográficas de estaciones subcuenca Palacé - IDEAM	24
Tabla 10. Características estadísticas de datos hidrológicos	30
Tabla 11. Interpretación de Rho (ρ) o Fuerza de Correlación	32
Tabla 12. Clasificación de precipitaciones diarias (mm)	33
Tabla 13. Estructura del proceso de análisis jerárquico – AHP adaptada a la valoración de criterios	36
Tabla 14. Radio de consistencia de expertos encuestados	37
Tabla 15. Matriz de vectores propios para la valoración de criterios por expertos	38
Tabla 16. Vectores porcentuales para criterios de selección de plaguicidas	39
Tabla 17. Subcriterios de valoración de plaguicidas en función de su movilidad y transporte en el ambiente	40
Tabla 18. Descripción y escala de valoración de propiedades que influyen en la movilidad y transporte en el ambiente de los plaguicidas	41
Tabla 19. Valoración de propiedades que influyen en la movilidad y transporte en el ambiente de los plaguicidas	44
Tabla 20. Subcriterios de valoración de plaguicidas en función de la toxicología	45
Tabla 21. Descripción y escala de valoración de propiedades toxicológicas de los plaguicidas	46
Tabla 22. Valoración de propiedades toxicológicas de los plaguicidas	47
Tabla 23. Subcriterios de valoración de plaguicidas en función del riesgo y normatividad	48
Tabla 24. Descripción y escala de valoración de riesgo y normatividad de los plaguicidas	49
Tabla 25. Valoración de riesgo y normatividad de los plaguicidas	50
Tabla 26. Selección de plaguicidas de estudio	51
Tabla 27. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos en el río Palacé sobre humedal de Calvache	53
Tabla 28. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos en el río Palacé sobre Siberia	54
Tabla 29. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos en el río Palacé sobre Hatico	55

Tabla 30. Datos de precipitación y cálculo de datos faltantes de la estación meteorológica de Gabriel López (mm)	57
Tabla 31. Relación estaciones meteorológicas y puntos de monitoreo	59
Tabla 32. Evaluación medidas de tendencia central para α -BHC, β -BHC, Lindano y Clorpirifos en el punto humedal de Calvache	60
Tabla 33. Estadística descriptiva estación meteorológica de Gabriel López	62
Tabla 34. Clasificación precipitación monitoreo de plaguicidas estación meteorológica Gabriel López	64
Tabla 35. Fuerza de correlación de Spearman entre precipitaciones vs. concentración de plaguicidas	64
Tabla 36. Fuerza de correlación entre precipitaciones vs. comportamiento de Parámetros fisicoquímicos por Spearman	76
Tabla 37. Resultados Humedal: Correlación Pearson – Spearman Plaguicidas vs. Parámetros	91
Tabla 38. Resultados Siberia: Correlación Pearson – Spearman Plaguicidas vs. Parámetros	93
Tabla 39. Resultados Hatico: Correlación Pearson – Spearman Plaguicidas vs. Parámetros	95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Factores y procesos que afectan al comportamiento de los plaguicidas	8
Figura 2. Esquema general del “Proceso de análisis jerárquico (AHP)”	19
Figura 3. Escala de referencias numérica proceso de análisis jerárquico AHP	21
Figura 4. Método Polígonos o Thiessen	28
Figura 5. Resultado SPSS prueba de rangos signados de Wilcoxon estación meteorológica de Gabriel López	86
Figura 6. Resultado SPSS prueba de rangos signados de Wilcoxon promedio estaciones Gabriel López - Polindara	87
Figura 7. Resultado SPSS prueba de rangos signados de Wilcoxon estación meteorológica de Polindara	88
Figura 8. Resultado SPSS prueba de rangos signados de Wilcoxon para caudal medio diario en estación hidrológica de Malvasa	89
Figura 9. Estructura del proceso de análisis jerárquico (AHP) adaptada para la valoración de criterios de selección de plaguicidas	116

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Línea de regresión, calculo de datos faltantes para estación A	27
Gráfica 2. Correlación Pearson – Spearman	31
Gráfica 3. Comportamiento de parámetros fisicoquímicos en el río Palacé sobre Humedal	53
Gráfica 4. Comportamiento de parámetros fisicoquímicos en el río Palacé sobre Siberia	54
Gráfica 5. Comportamiento de parámetros fisicoquímicos en el río Palacé sobre Hatico	55
Gráfica 6. Línea de regresión, cálculo de datos faltantes de la estación meteorológica de Gabriel López	56
Gráfica 7. Comportamiento concentración de β -BHC en relación a la precipitación para el punto humedal de Calvache	61
Gráfica 8. Comportamiento de DQO en relación a la precipitación para el punto humedal de Calvache	62
Gráfica 9. Comportamiento de Lindano sobre los puntos humedal de Calvache, Siberia y Hatico	65
Gráfica 10. Comportamiento Lindano Punto N°1: Humedal vs. precipitación estación meteorológica de Gabriel López	65
Gráfica 11. Comportamiento Lindano Punto N°2: Siberia vs. precipitación promedio estaciones Gabriel López - Polindara	66
Gráfica 12. Comportamiento Lindano Punto N°3: Hatico vs. precipitación estación meteorológica de Polindara	66
Gráfica 13. Comportamiento de α -BHC sobre los puntos humedal de Calvache, Siberia y Hatico	67
Gráfica 14. Comportamiento α -BHC Punto N°1: Humedal vs. precipitación estación meteorológica de Gabriel López	68
Gráfica 15. Comportamiento α -BHC Punto N°2: Siberia vs. precipitación promedio estaciones Gabriel López - Polindara	68
Gráfica 16. Comportamiento α -BHC Punto N°3: Hatico vs. precipitación estación meteorológica de Polindara	69
Gráfica 17. Comportamiento de β -BHC sobre los Puntos Humedal de Calvache, Siberia y Hatico	70
Gráfica 18. Comportamiento β -BHC Punto N°1: Humedal vs. precipitación estación meteorológica de Gabriel López	70
Gráfica 19. Comportamiento β -BHC Punto N°2: Siberia vs. precipitación promedio estaciones Gabriel López - Polindara	71
Gráfica 20. Comportamiento β -BHC Punto N°3: Hatico vs. precipitación estación meteorológica de Polindara	71
Gráfica 21. Comportamiento de Clorpirifos sobre los Puntos Humedal de Calvache, Siberia y Hatico	72
Gráfica 22. Comportamiento Clorpirifos Punto N°1: Humedal vs. precipitación estación meteorológica de Gabriel López	72

Gráfica 23. Comportamiento Clorpirifos Punto N°2: Siberia vs. precipitación promedio estaciones Gabriel López - Polindara	73
Gráfica 24. Comportamiento Clorpirifos Punto N°3: Hatico vs. precipitación estación meteorológica de Polindara	73
Gráfica 25. Comportamiento de la conductividad y ST sobre el río Palacé	77
Gráfica 26. Precipitación estación Gabriel López vs. SST humedal	77
Gráfica 27. Precipitación estación Gabriel López vs. conductividad humedal	77
Gráfica 28. Precipitación promedio Gabriel López - Polindara vs. SST Siberia	78
Gráfica 29. Precipitación promedio Gabriel López - Polindara vs. Conductividad Siberia	78
Gráfica 30. Precipitación estación Polindara vs. SST Hatico	78
Gráfica 31. Precipitación estación Polindara vs. conductividad Hatico	78
Gráfica 32. Comportamiento del Potencial Redox y pH sobre el río Palacé	79
Gráfica 33. Precipitación estación Gabriel López vs. pH – Potencial Redox Humedal	80
Gráfica 34. Precipitación promedio Gabriel López - Polindara vs. pH – Potencial Redox Siberia	80
Gráfica 35. Precipitación estación Polindara vs. pH – Potencial Redox Humedal	80
Gráfica 36. Comportamiento del OD, % Saturación de Oxígeno y Temperatura sobre el río Palacé	81
Gráfica 37. Precipitación estación Gabriel López vs. OD Redox Humedal	82
Gráfica 38. Precipitación promedio Gabriel López - Polindara vs. OD Siberia	82
Gráfica 39. Precipitación estación Polindara vs. OD Hatico	82
Gráfica 40. Comportamiento de la DQO sobre el río Palacé	83
Gráfica 41. Precipitación estación Gabriel López vs. DQO Humedal	83
Gráfica 42. Precipitación promedio Gabriel López - Polindara vs. DQO Siberia	83
Gráfica 43. Precipitación estación Polindara vs. DQO Hatico	84
Gráfica 44. Régimen precipitación estación Gabriel López Enero-Mayo vs Septiembre-Diciembre	86
Gráfica 45. Régimen precipitación promedio estación Gabriel López - Polindara Enero-Mayo vs. Septiembre-Diciembre	87
Gráfica 46. Régimen precipitación estación Polindara Enero-Mayo vs. Septiembre-Diciembre	88
Gráfica 47. Relación del comportamiento de caudal medio diario en estación hidrometeorológica Malvaza para Enero-Mayo y Septiembre-Diciembre	90

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Punto N° 1 Humedal, toma de parametros <i>in situ</i> por sonda multiparamétrica	138
Imagen 2. Punto N° 1 Humedal, medición parámetros fisicoquímicos <i>in situ</i>	138
Imagen 3. Punto N° 1 Humedal de Calvache, Monitoreo N° 3 Toma de muestra para análisis de laboratorio	138
Imagen 4. Punto N° 1 Humedal de Calvache, Monitoreo N° 3 muestras para análisis de laboratorio	138
Imagen 5. Entrega de muestras laboratorio CRC-Corporación Autónoma Regional del Cauca.	138
Imagen 6. Medición de SST - muestra de agua río Palace	139
Imagen 7. Evidencia medición por espectrofotómetro SST para cada punto	139
Imagen 8. Río Palacé Punto N° 1 Humedal de Calvache	139
Imagen 9. Río Palacé Punto N° 2 Siberia	139
Imagen 10. Río Palacé Punto N° 3 Hatico	139

LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 1. Ecuación de ajuste de regresión lineal	27
Fórmula 2. Media Aritmética	29
Fórmula 3. Media Armónica	29
Fórmula 4. Media Geométrica	29
Fórmula 5. Media Cuadrática	29
Fórmula 6 Desviación típica o standar	30
Fórmula 7 Varianza	30
Fórmula 8 Coeficiente de Varianza	30
Fórmula 9. Estadístico de prueba Wilcoxon	35

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Localización geográfica cuenca del río Palacé en el municipio de Totoró	18
Mapa 2. Delimitación subcuenca río Palacé, puntos de monitoreo de parámetros fisicoquímicos y estaciones meteorológicas e hidrológica	52
Mapa 3. Área de influencia de estaciones meteorológicas mediante polígono de Thiessen	58
Mapa 4. Pendientes subcuenca río Palacé dentro del municipio de Totoró	97

RESUMEN

El uso intensivo de plaguicidas en Colombia tiene una relación directa con la vocación agrícola del país generando una actividad de alto impacto ambiental al causar contaminación puntual y difusa, hecho que ha promovido el estudio de sus dinámicas en el ambiente. Razón por la cual, el estudio “Amenaza por microcontaminantes a fuentes de abastecimiento de agua potable” logró determinar la concentración de 12 plaguicidas dentro de la fuente hídrica río Palacé en el municipio de Totoró, lo que dio lugar a la presente investigación. En esta, el objetivo es correlacionar estadísticamente mediante Spearman o Pearson la variación de la concentración de los plaguicidas con algunas de las características fisicoquímicas que pueden definir su comportamiento dentro de una fuente hídrica natural. Además de ello, se analizó la variación del comportamiento climático en la cuenca, mediante datos de precipitación característica de su localización dentro de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) medida por estaciones meteorológicas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM); en relación a la concentración de plaguicidas y características fisicoquímicas de la fuente, comportamiento comprobado mediante la correlación de Spearman y la relación entre medias de Wilcoxon para el comportamiento entre dos regímenes de precipitación, análisis estadísticos ejecutados mediante el programa Statistical Package for Social Science (SPSS). Se comprenden dos relaciones de gran importancia; una en tiempo de alta precipitación donde el plaguicida se transporta fácilmente unido al sedimento, evidenciado con una correlación directa con ST – Sólidos Totales, pH neutro y baja temperatura, y la segunda en condiciones de baja precipitación con correlación inversamente proporcional al Potencial Redox como resultado en la liberación de la molécula de plaguicida desde el sedimento a la columna de agua, puesto que a potencial reductor (Potencial Redox Negativo) y directamente proporcional a la conductividad se miden los mayores niveles de contaminación sobre el río Palacé.

Palabras Clave: Contaminación difusa, Plaguicidas, Fisicoquímicas, Precipitación, Correlación.

ABSTRACT

The intensive use of pesticides in Colombia is directly related to the agricultural vocation of the country, generating an activity of high environmental impact by causing point and diffuse contamination, a fact that has promoted the study of its dynamics in the environment. For this reason, the study "Threat by micropollutants to drinking water supply sources" was able to determine the concentration of 12 pesticides in the Palacé river water source prior to the present research. Which aims to correlate statistically by Spearman or Pearson the variation of the concentration of pesticides with some of physicochemical characteristics that can define their behavior within a natural water source. In addition, the variation of climatic behavior in the basin was analyzed by means of pluviometric data of precipitation characteristic of its location within the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) measured by meteorological stations of the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM); in relation to the concentration of pesticides and physicochemical characteristics of the source, behavior tested by Spearman's correlation and Wilcoxon's relationship between means for the behavior between two precipitation regimes, statistical analysis performed using the Statistical Package for Social Science (SPSS) program. Two relationships of great importance are understood; One in times of high precipitation where the pesticide is easily transported attached to the sediment, evidenced by a direct correlation with ST - Total Solids, neutral pH and low temperature, and the second in conditions of low precipitation with correlation inversely proportional to the Redox Potential as a result in the release of the pesticide molecule from the sediment to the water column, since the reductive potential (negative Redox Potential) and directly proportional to the conductivity measure the highest levels of contamination on the Palacé river.

Keywords: Diffuse pollution, Pesticides, Physicochemical, Precipitation, Correlation.

1. INTRODUCCIÓN

Los plaguicidas liberados al medio ambiente con fines agrícolas y no agrícolas desde hace más de siete décadas ha generado una exposición a gran diversidad de compuestos químicos orgánicos sintéticos a la población mundial, los cuales dentro del ambiente se transforman en compuestos con mayor índice de toxicidad (PTI), persistencia, transporte y biocumulación [1], dinámica a razón de sus propiedades fisicoquímicas relacionadas directamente con las condiciones climáticas, geográficas y fisicoquímicas del compartimento sobre el que se encuentre [2].

La región andina Colombia sobre la cual se ubica el municipio de Totoró – Cauca, entre la franja alto-andina y altimontañosa tiene un contexto socioeconómico basado en la producción agrícola [3], sobre el cual se comprende el uso continuo, en alta concentración y diversidad de mezclas en plaguicidas realizadas por los agricultores. Generando una actividad de alto impacto ambiental, ratificada en la medición de doce plaguicidas en el estudio “Amenaza por microcontaminantes a fuentes de abastecimiento de agua potable” sobre el río Palacé [4], entre los cuales se encuentran compuestos orgánico persistentes (COP) prohibidos por el convenio de Estocolmo.

La presente investigación seleccionó cuatro plaguicidas mediante un ranking de peligrosidad, teniendo en cuenta las propiedades fisicoquímicas que influyen en movilidad y transporte, toxicología además de evaluación normativa. Si bien, se requiere de gran cantidad y diversidad de datos sobre los factores que influyen en el comportamiento de los plaguicidas en el ambiente [5] [6], es de interés evaluar la variación de su concentración con relación al pH, Potencial Redox, Conductividad, Sólidos Totales (ST), Oxígeno Disuelto (OD) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), como algunas de las características fisicoquímicas que pueden definir su comportamiento dentro de una fuente hídrica [7]. Además de ello, se realizó un estudio de variabilidad climática sobre la cuenca alta del río Palacé, entre los dos periodos de tiempo bimodal anual de Colombia al localizarse dentro de la ZCIT [8], mediante datos de precipitación medidos por estaciones meteorológicas del IDEAM.

Las anteriores variables de precipitación y parámetros fisicoquímicos como característica ambiental bajo un régimen de movimiento distintivo de la cuenca, junto al coeficiente de partición octanol/agua (Log Kow) y carbono orgánico agua (Log Koc) como propiedades fisicoquímicas de los plaguicidas que definen su movilidad entre fases ambientales [9]. Al correlacionarse estadísticamente brindan una base investigativa fundamental del comportamiento de los plaguicidas en relación a la variación de su concentración, con el cambio del régimen climático (baja y alta lluvia) y características fisicoquímicas del río Palacé como variables que influye directamente en su movilidad o transporte [6].

2. CAPÍTULO I: PROBLEMA

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La implementación de un modelo agrícola industrial basado en el empleo intensivo y extensivo de productos químicos sintéticos se introdujo en Latinoamérica desde el año 1945 con la denominada “revolución verde”, estableciéndose como una herramienta para disminuir el hambre y la pobreza [10]. Siendo los países en desarrollo quienes usan el 25 % de los plaguicidas que se producen mundialmente y padecen el 99 % de las muertes a causa de intoxicaciones agudas [11]; Colombia usa al año más de 17 millones de kg de plaguicidas, cifra que ubica al país como el tercer consumidor en Latinoamérica [5].

El uso intensivo de plaguicidas ha traído una sobre explotación de los recursos naturales creando las condiciones más “idóneas” de las que ofrece la naturaleza, para desarrollar la actividad agrícola como la más antigua y principal actividad económica del campo colombiano [12], influyendo en el deterioro de la calidad del agua, impacto potencializado al extender para el año 2021 la franja de explotación del cultivo de papa, cebolla y pastoreo en los 36 páramos delimitados del país [13]. Particularmente en el municipio de Totoró – Cauca, con un alto y continuo potencial de explotación del cultivo de papá en 75 % de su territorio de alta montaña contiguo al páramo [14], sobre el cual nace el río Cofre y Palacé; siendo este último el que mayor recorrido comprende dentro de las áreas más explotadas agrícolamente en el municipio.

Generando por tanto una actividad de alto impacto al medir sobre el río Palacé diferentes plaguicidas [15], entre los cuales se encuentran compuestos orgánico persistentes (COP), neurotóxicos, carcinogénicos, teratógenos, disruptores endocrinos y de efectos reproductivos, clasificados y/o prohibidos por el convenio de Estocolmo, Rotterdam, Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Red de acción de plaguicidas de EE.UU. y ASIA (PAN). La mayor problemática ambiental causada por estos compuestos se relaciona con sus propiedades fisicoquímicas, en alta afinidad hidrofílica, al carbono orgánico del suelo, liposolubilidad y elevado tiempo de vida media y como estas se relacionan con las características del medio (agua, aire, suelo) debido a su bajo poder de degradación que contribuye a su fácil transporte [16]. Influyendo por consiguiente en el deterioro del cuerpo de agua superficial río Palacé y generando una posible exposición a bajos niveles de concentración al ser tomada como fuente de abastecimiento de agua potable en los municipios de Totoró y Popayán.

2.2 JUSTIFICACIÓN

El recurso hídrico como fuente de abastecimiento y disposición de múltiples contaminantes es susceptible a continuos cambios en sus condiciones naturales, en donde la actividad agrícola ha contribuido en la contaminación ambiental y posibles problemas fitosanitarios al exponer la población al consumo de restos de plaguicidas en alimentos y posiblemente en agua potable [17], ya que se han encontrado trazas de plaguicidas a largas distancias de su lugar de aplicación. Como consecuencia, esto conlleva a una difícil asociación de las enfermedades en la población aguas abajo pues el periodo de latencia entre la exposición y la aparición de los síntomas es a “largo plazo” [11].

Razón por la cual se han realizado diversos estudios sobre la cuenca del río Palacé con relación al uso y manejo de residuos peligrosos de plaguicidas por la Universidad Autónoma del Cauca y de modelación de concentración de plaguicidas en la fuente hídrica y compartimentos ambientales mediante el uso de modelos o programas como Level III o RAIDAR por el “Grupo de Estudios Ambientales (GEA)” de la Universidad del Cauca. Sin embargo, estos programas se rigen bajo un comportamiento lineal en la concentración o de características ambientales definidas en laboratorio [18], que no exhiben una relación específica de los plaguicidas bajo condiciones ambientales no controladas.

Por ello, la relación entre el plaguicida y las condiciones naturales dadas por las características fisicoquímicas del medio en el cual son aplicados y por el cual serán transportados (suelo, agua y aire) como quienes facilitan o no el intercambio iónico de dichas sustancias es de vital importancia [5]. Razón por la cual al medir la concentración de doce plaguicidas en el río Palacé, la presente investigación analiza las características fisicoquímicas de la fuente hídrica junto a la variación en la precipitación en la cuenca, como características que potencializan la variación en la concentración de los plaguicidas dentro de la fuente hídrica [6] [7].

Proporcionando con la relación entre las anteriores variables mayor información sobre la ruta de contaminación en los cuerpos de agua superficial, al ofrecer una base investigativa más completa en la dinámica de los plaguicidas, bajo las condiciones de variabilidad en la precipitación y fisicoquímicas de la cuenca río Palacé, que se puede aplicar en entornos con condiciones similares; creando posibles alertas de contaminación y por tanto exposición de la población a concentraciones de plaguicidas o sus compuestos de degradación, pues existen zonas donde se desconoce cuál es fue la principal fuente de exposición a estos contaminantes [19] [20].

2.3 OBJETIVOS

2.3.1 Objetivo general

Evaluar la variación de concentración de los plaguicidas en relación con los parámetros fisicoquímicos y condiciones hidrometeorológicas en una sección de la cuenca río Palacé en el municipio de Totoró - Cauca.

2.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Priorizar los plaguicidas a estudiar según sus características fisicoquímicas que influyen en su transporte, toxicología y cumplimiento normativo.
- ✓ Determinar los parámetros fisicoquímicos y comportamiento de las precipitaciones que influyen en la variación de la concentración de plaguicidas.
- ✓ Establecer la correlación entre concentraciones de plaguicidas y parámetros fisicoquímicos con la variación de la precipitación junto a la relación entre tipos bimodales de la cuenca río Palacé.
- ✓ Comparar estadísticamente la variación de la concentración de plaguicidas ligada a los parámetros fisicoquímicos del cuerpo hídrico.

3. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO O REFERENCIAS CONCEPTUALES

3.1 ESTADO DEL ARTE

Los plaguicidas son productos químicos diseñados para mitigar plagas, incluidos insectos (insecticidas), malezas (herbicidas) y hongos (fungicidas), usados para el control en plantas o cultivos [21]. Condición agravada cuando el empleo de plaguicidas es continuo y en zonas de monocultivos, generando un escenario de alto riesgo con numerosos episodios de contaminación; al producir directamente un depósito en la planta e indirectamente otro depósito en el suelo [6]. Siendo este último el medio en el cual se tiene la mayor interacción; relacionado directamente con la concentración de materia orgánica, al favorecer en muchos casos la adsorción de plaguicidas y metabolitos derivados de su degradación parcial, comprobado estudios cuyo uso de enmiendas orgánicas evitan la pérdida de estos compuestos por escorrentía o lixiviación [22].

No obstante; el uso intensivo de plaguicidas junto a las mezclas realizadas para su aplicación, como los contaminantes de origen antrópico usados con mayor frecuencia, han influido en el deterioro constante del medio natural contaminando los arroyos, lagos, aguas superficiales y subterráneas cercanas a zonas destinadas para la producción agrícola, caracterizando estas fuentes por el elevado contenido de residuos químicos sintéticos de tipo organoclorados, organofosforados y carbamatos o sus compuestos de transformación [23].

Afectando la salud pública al exponer a la población a diferentes picos de concentración y gran diversidad de compuestos orgánicos persistentes (COP) o mezcla de contaminantes químicos, relación ratificada al medir 289 analitos orgánicos únicos (indicadores farmacéuticos, pesticidas, de aguas residuales orgánicas) en 305 corrientes de cabecera dentro de cuatro regiones contiguas de los Estados Unidos (EE. UU.) durante los años 2014 - 2017, por el estudio "*Multi-region assessment of chemical mixture exposures and predicted cumulative effects in USA wadeable urban/agriculture-gradient streams*" realizado por *The U.S. Geological Survey (USGS)* [24].

Razón por la cual, para conocer el comportamiento de un plaguicida es importante analizar también sus compuestos de transformación, al demostrar mediante el estudio "*Pesticide transformation products (TPs) may be a critical missing piece of the toxicity puzzle for aquatic life in small U.S. streams*" por *USDS - Science for a changing world* realizado durante los años 2013 – 2017, la medición de estos contaminantes en el 90 % de 442 pequeños arroyos de EE. UU., con concentraciones que superan las del plaguicida original además de ser detectados con mayor frecuencia. Siendo el principal resultado del estudio el déficit de información sobre la toxicidad y por consiguiente los efectos acuáticos y de exposición crónica a diferentes compuestos de transformación detectados [9].

El panorama para Latinoamérica específicamente Colombia como un país con vocación agrícola en vía de desarrollo, no es favorable. Pues en el informe “*Estadísticas de comercialización de plaguicidas químicos de uso agrícola 2015*” realizado por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), la producción y ventas de plaguicidas químicos de uso agrícola en kg igual a 24.580.413,86 millones y en Litros igual 50.925.132,48 millones, se llevó a término del 100 % [25]. Lo cual evidencia la producción agrícola dependiente y de alto impacto por el uso no regulado de plaguicidas.

Por ende; a nivel nacional el Caribe colombiano es una muestra del impacto de los plaguicidas, evidenciado al medir altas concentraciones de heptacloro, lindano, aldrin y menores en DDTs y sus metabolitos (pp'DDE, pp'DDD, pp'DDT), en el ecosistema laguno-estuarino Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM); categorizándolo como trampa de sustancias orgánicas pues al ingreso de diferentes afluentes que han transitado por zonas agrícolas, transportan y depositan diferentes plaguicidas y sus compuestos de transformación sobre este ecosistema [26]. Condición dada por las características persistentes, baja solubilidad en agua y elevada liposolubilidad que contribuye a su biomagnificación en la cadena trófica además del impacto acumulativo a largas distancias de donde fueron aplicados [20]

El departamento del Cauca comprende como principal actividad económica rural la agricultura, principalmente para el municipio de Totoró realizada en la zona de alta montaña con modelo altamente productivo e intensivo asociados al cultivo de papa en un 75 % y ganadería en un 25 %, en el cual se emplea una amplia gama de agroquímicos además de establecer áreas de monocultivo sin rotación [27], afectando directamente las diversas fuentes hídricas secundarias y primarias que transitan por el territorio, siendo el caso de estudio la fuente hídrica río Palacé sobre la cual mediante el estudio “*Amenaza por micro contaminantes en fuentes de abastecimiento de agua potable*” se monitorearon un total de 31 contaminantes entre plaguicidas y metabolitos, de los cuales se determinó la concentración en 12 de ellos referenciados en la FASE I: PRIORIZACIÓN DE PLAGUICIDAS, obteniendo la mayor concentración para el primer compuesto de transformación del lindano, α -BHC igual a 1170,2 ng/L y la menor para heptacloro con 0.1 ng/L [28].

Sin embargo, es de conocimiento por diferentes estudios que la estructura de estos contaminantes se expone a diferentes cambios ya sea por factores abióticos o bióticos una vez entra en la naturaleza, siendo los procesos de adsorción, transporte, transformación o degradación, determinantes para definir su posterior destino ambiental [29]. El cual depende de las características físicas, químicas y microbiológicas del medio por el cual se dan reacciones de oxidación o reducción, hidrólisis, fotólisis y biodegradación, además de las propiedades químicas del contaminante Coeficiente de partición octanol/agua (Log Kow), Coeficiente de adsorción carbono orgánico (Log Koc), Coeficiente de partición aire/agua (Ley de Henry), siendo esta interacción junto a las condiciones geomorfológicas de los suelos y la incidencia directa de la variabilidad climática o el comportamiento de la

precipitación en el área, quienes definen la ruta que siguen los mismos en el ambiente [30] [23]. Por lo cual, a continuación, se señalarán diferentes estudios que pueden brindar una mayor perspectiva a la importancia del estudio a realizar.

Según Jaramillo, el plaguicida en interacción directa en primera instancia en el suelo se ve influenciado por la alta temperatura y humedad de la zona, primero al ser propenso a una mayor transformación en estas condiciones, lo que conlleva a un mayor impacto generado por los compuestos de degradación o transformación parcial y por otro lado, en los procesos de lixiviación o transporte desde suelo a las fuentes hídricas en el que influyen directamente el contenido de arcilla, materia orgánica, pH cercanos a la neutralidad y condiciones de saturación del plaguicida [22].

Ello en conjunto con la intensidad y frecuencia de la lluvia, poco después del proceso de aplicación inciden en la cantidad de plaguicida lavado, ya que la retención aumenta progresivamente con el tiempo de residencia; por tanto, según Rojas, esta condición influye en el proceso de lixiviación ligado con la capacidad de infiltración del suelo o en el proceso de escorrentía donde el plaguicida puede perderse por disolución si es muy soluble en agua o el plaguicida junto a los coloides del suelo cuando sus características son poco solubles (liposolubles) [31]. Razón por la cual, la molécula de plaguicidas liposolubles o sus compuestos de transformación logran llegar a largas distancias de donde fueron aplicados [32].

De igual manera Escudero, en el proceso de tratamiento de aguas contaminadas por plaguicidas demuestra que estos contaminantes son de baja biodegradabilidad y su eliminación se da mediante Procesos Avanzados de Oxidación (PAOs), mediante un proceso espontáneo de oxidación y reducción de acuerdo con el potencial redox del adsorbato junto a las condiciones de pH como quien define la cantidad de iones OH^- como el principal agente oxidante del medio [33].

Así mismo, Agudelo et al. muestra que en el tratamiento de aguas residuales agrícolas contaminadas por plaguicidas, se obtiene un notorio incremento en la conductividad eléctrica debido al proceso de mineralización de los compuestos orgánicos junto a un comportamiento a fin a condiciones de potencial redox (Eh) reductoras favorecido por la disminución del oxígeno disuelto (OD). Comprobando que el OD, pH, conductividad eléctrica y potencial redox tienen relación directa con la remoción del plaguicida Clorpirifos, al influir en rutas de degradación, solubilidad, hidrólisis y población microbiana [7].

Por lo anterior, surge la necesidad de evaluar el comportamiento de los plaguicidas tanto en relación con la precipitación además de los sólidos totales (ST) de la fuente hídrica como quienes contribuyen en el proceso de movilidad. Además de las propiedades fisicoquímicas del pH, potencial Redox, OD y conductividad como quien provee de estabilidad o movimiento de la molécula dentro de la fase ambiental y por tanto la variación en la concentración de estos contaminantes en el ambiente donde no se tiene condiciones controladas de laboratorio.

3.2 BASES TEÓRICAS

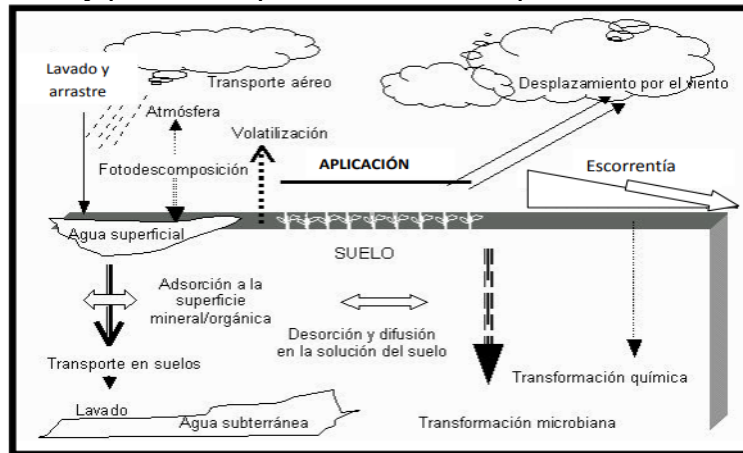
3.2.1 Plaguicidas

El Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas (FAO, 1990) define los plaguicidas como “cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y sus productos, o administrados a animales para combatir insectos, arácnidos u otras plagas en o sobre sus cuerpos” [34]

3.2.2 Procesos de los plaguicidas en el ambiente

La presencia de plaguicidas en el suelo y las aguas guarda relación directa con su aplicación continuada en campos de cultivo intensivos. Una vez aplicadas, estas sustancias se ven afectadas por distintos procesos que determinan su dinámica y destino final. Estos procesos, que pueden ser de tipo físico, químico y biológico se dividen en dos grupos, mencionados a continuación e ilustran según su dinámica entre fases ambientales en la Figura 1 [22].

Figura 1. Factores y procesos que afectan al comportamiento de los plaguicidas



Fuente: [22]

✓ Procesos de transferencia o transporte de plaguicidas

Aquel donde el compuesto se desplaza de un medio a otro o dentro de un mismo medio sin experimentar cambio en su estructura y, por tanto, sigue siendo potencialmente contaminante. Entre ellos se destacan: adsorción-desorción, volatilización, lixiviación, escorrentía, absorción y difusión.

✓ **Procesos de transformación de plaguicidas**

Son aquellos por los que el compuesto se transforma o degrada originando nuevos compuestos que pueden ser de igual, menor o mayor toxicidad. Entre ellos cabe destacar: degradación química, degradación y fotodegradación.

3.2.2.1 Características de los plaguicidas que contribuyen a su movilidad o transporte

El destino ambiental de los plaguicidas se define por sus propiedades fisicoquímicas, pues es la naturaleza química del compuesto quién determina el comportamiento junto con la persistencia de este dentro de la fase ambiental en la cual se encuentre [2]. Dentro de la presente investigación se evalúan un total de 12 propiedades de plaguicidas, entre las cuales se comprende:

- ✓ Familia y naturaleza química
- ✓ Coeficiente de Partición Octanol/agua $Log K_{ow}$
- ✓ Coeficiente de adsorción de carbono orgánico $Log K_{oc}$
- ✓ Presión de vapor (Pa) 25°C
- ✓ Ley de Henry (H) atm-m³/mole
- ✓ Potencial de lixiviación
- ✓ Solubilidad en agua (mg/l)
- ✓ Vida media (Días) (Hidrólisis, Suelo, Sedimento)
- ✓ Potencial contaminación de agua subterránea

Estas propiedades fisicoquímicas son definidas y consultadas para cada plaguicida para el cual se midió concentración dentro del río Palacé, para determinar la importancia de su relación en la variación de concentración en el medio ambiente [35]. Propiedades calculadas por medio del modelo EPI SUIT de la EPA especificado en la sección BASE DE DATOS y base teórica desarrollada en CAPITULO IV: RESULTADOS, FASE I: Priorización de plaguicidas, Etapa II.

3.2.2.2 Características o propiedades toxicológicas: toxicidad aguda y crónica de los plaguicidas

Los plaguicidas son clasificados como sustancias altamente tóxicas; dada su capacidad de producir efectos adversos de tipo agudo por exposición en corto tiempo a altas concentraciones, generando efectos sistémicos o localizados en el cuerpo o crónicos por la exposición constante a bajas concentraciones, produciendo efectos carcinogénicos, teratogénicos y mutagénicos además de reproductivos en la salud humana [30]. Cada compuesto comprende dentro de su naturaleza química diferentes propiedades, que pueden afectar a la población al ser NO SELECTIVOS; por consiguiente, este criterio estará definido por varias de las características y clasificación toxicológica de cada plaguicida [36]. Se evalúa un total de 11 propiedades toxicológicas las cuales se nombran a continuación:

- ✓ Dosis letal 50 (DL50) (mg kg⁻¹)
- ✓ Concentración letal 50 (CL50) (mg L⁻¹)
- ✓ Concentración letal 50 Agua peces 96 h (CL50) (mg L⁻¹)
- ✓ Categoría toxicológica
- ✓ Toxicidad aguda
- ✓ Carcinogénico
- ✓ Inhibidor acetilcolinesterasa
- ✓ Disruptor endocrino
- ✓ Efectos reproductivos/ desarrollo
- ✓ Neurotóxico
- ✓ N° Puerto seguro; NSRL-Nivel de riesgo no significativo (µg / día)

La información de cada propiedad utilizada para medir el posible efecto nocivo en la salud por exposición a los plaguicidas medidos sobre la fuente hídrica río Palacé, será categorizada según lo expuesto por entidades u organizaciones gubernamentales y no gubernamentales ampliadas en el CAPÍTULO IV: RESULTADOS, FASE I: Priorización de plaguicidas, Etapa II.

3.2.2.3 Características en evaluación de riesgo y normatividad por exposición a los plaguicidas

La exposición a plaguicidas puede afectar la salud humana de diversas formas; por ello, se evalúa el riesgo químico potencial de los plaguicidas encontrados en los monitoreos de plaguicidas, mediante datos de regulación normativa internacional vigente para la exposición a concentraciones de plaguicidas, también se comprenden el ámbito social dado por el manejo que la comunidad le da a los plaguicidas y su clasificación según el convenio de Estocolmo 1972, EPA – Agencia de protección ambiental de USA, PAN – Red de Acción de Plaguicidas en USA, Europa, Asia y Latinoamérica, CPR – Uso de pesticidas en California *además de límites máximos permisibles en agua superficial de Holanda.*

- ✓ Frecuencia de aplicación
- ✓ Cantidad de aplicación (Ha)
- ✓ Persistencia convenio de Estocolmo
- ✓ Condición (Norma)
- ✓ Límite permisible - Agua superficial (ng/L) Holanda
- ✓ PAP – Plaguicida Altamente Peligroso

Información consultada para cada plaguicida al igual que las características anteriores e información ampliada y referenciada en el CAPÍTULO IV: RESULTADOS, FASE I: Priorización de plaguicidas, Etapa II.

3.2.3 Condiciones hidrometeorológicas

Dado que para obtener más información del comportamiento de los plaguicidas en el ambiente es necesario conocer acerca diferentes condiciones ambientales como lo son la topografía, geología, tipos de suelo y ubicación, permeabilidad del suelo, cobertura del suelo, precipitación anual, condiciones de temperatura, dirección y flujo de aire y agua, entre otros, para poder estimar hacia donde pudiera desplazarse el plaguicida aplicado.

Si bien las condiciones hidrometeorológicas (estrechamente ligada a la meteorología, la hidrología y la climatología) que estudia el ciclo del agua en la naturaleza abarca el estudio de las fases atmosféricas (evaporación, condensación y precipitación) y terrestre (intercepción de la lluvia, infiltración y derramamiento superficial) del ciclo hidrológico y especialmente de sus interrelaciones. Comprende la observación, procesamiento y análisis del comportamiento de los elementos hídricos, fundamentalmente las descargas de los ríos y los volúmenes almacenados en embalses naturales y artificiales, así como de los factores meteorológicos [37].

Es de interés para la presente investigación analizar la relación de la precipitación como una de las condiciones hidrometeorológicas de la cuenca río Palacé que influye en la variación de la concentración de los plaguicidas medidos sobre la misma fuente. Bajo las condiciones bimodales dadas en Colombia, denominado así al comprender para un año dos periodos de lluvia y dos períodos de verano [38].

✓ Estaciones Meteorológicas (Redes)

Se entiende como Estación Meteorológica el sitio donde se hacen observaciones y mediciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos usando instrumentos apropiados, con el fin de establecer el comportamiento atmosférico en las diferentes zonas de un territorio [38]

3.2.4 Características fisicoquímicas del recurso hídrico que influyen en comportamiento de los plaguicidas

Según la diferente literatura consultada los parámetros fisicoquímicos que se presentan a continuación en la Tabla 1 los cuales fueron medidos sobre la fuente hídrica río Palacé, pueden cambiar el comportamiento de los plaguicidas en el medio (agua) influenciados por los posibles procesos de biodegradación, fotodegradación e hidrólisis química, siendo la primera y tercera la más tratada en el estudio mediante la reorganización y ruptura de enlaces de los compuestos en estudio, si bien no son los únicos parámetros son los de mayor relación [5] [39] [36] [26].

Tabla 1. *Parámetros fisicoquímicos de mayor incidencia en el comportamiento de los plaguicidas*

PARÁMETROS	SIGNIFICADO	DESCRIPCIÓN
Oxígeno Disuelto (OD)	Es un parámetro indicativo de la calidad de un agua, ligado con la temperatura.	Los niveles de oxígeno disuelto en el agua, son determinantes en la ruta de degradación, vía metabólica y vida media debido a los procesos aerobios o anaerobios de la fuente hídrica [5]
pH	Medida de la acidez o basicidad de una solución [40].	Estos parámetros definen la alteración iónica de numerosos compuestos, afectan su estabilidad química y por tanto afinidad al medio, el fácil transporte o no de los plaguicidas es definido por estas tres condiciones [5]
Potencial Redox	Es una reacción de tipo químico que implica la transferencia de electrones entre distintos reactivos [41].	
Conductividad	La conductividad es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica [40].	
DBO (Demanda Biológica de Oxígeno)	La DBO es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aerobias [41].	La concentración de estos parámetros puede definir la degradación o no de estos compuestos pues dada su naturaleza química pueden ser o no biodegradables, además de oxidables.
DQO (Demanda Química de Oxígeno)	La DQO determina la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo [41].	
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	El agua puede contener tanto partículas en suspensión como compuestos solubilizados, definiendo la suma de ambos como Sólidos Totales (ST) [41].	Debido a las características de los COP como compuestos químicos resistentes a la degradación fotolítica, biológica y química además de su baja presión de vapor y baja solubilidad en agua [42]. Presentan una alta afinidad a los sólidos al adherirse a su superficie, siendo fácilmente transportables en el medio [26].

3.3 BASES DE DATOS

EPI SUITE™: PROGRAMA DE ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS

EPI (Estimation Programs Interface) Suite™ es un conjunto basado en Windows® de programas de estimación de propiedades físicas/químicas y de destino ambiental desarrollada por la Oficina de Prevención de Poluciones y Tóxicos de la Agencia de Protección Ambiental - EPA de los Estados Unidos y Syracuse Research Corp. (SRC). Utilizando una sola entrada para ejecutar 13 programas que calculan propiedades fisicoquímicas de productos químicos orgánicos como los plaguicidas; ya que los productos químicos inorgánicos y organometálicos generalmente están fuera del dominio además de 4 modelos de destino que estiman ecotoxicidad [43].

SPSS - STATISTICAL PACKAGE FOR SOCIAL SCIENCE

SPSS es un programa estadístico creado en 1968 por Norman H. Nie, C Hadlai (Tex) Hull y Dale H. Bent, como un software para editar y analizar todo tipo de datos de manera estadística. Estos datos pueden provenir básicamente de cualquier fuente sea investigación científica o una base de datos, los cuales se manipulan mediante una amplia biblioteca de algoritmos de aprendizaje automático, análisis de texto, extensibilidad de código abierto, integración con big data y una implementación perfecta de una serie de módulos que proveen pruebas estadísticas mediante de regresión, modelos avanzados (reducción de datos, clasificación, pruebas no paramétricas), tablas, tendencias, categorías, análisis, conjunto entre otras pruebas que facilitan el estadístico de datos [44].

3.4 BASES LEGALES

En la Tabla 2 se presentan los documentos normativos, bases legales o bases de datos de carácter nacional e internacional que comprenden dentro de sus funciones el estudio o regulación del comportamiento de los plaguicidas, dadas sus características de riesgo para el medio ambiente y la salud humana.

Tabla 2. Bases legales nacionales e internacionales que rigen o regulan comportamiento de los plaguicidas

NORMA/ MÉTODO/ BASE DE DATOS	CONCEPTO	REGULACIÓN	FUENTE
NORMATIVA INTERNACIONAL			
Directrices para el control de Plaguicidas	Directrices para el control de Plaguicidas	Control de la contaminación por sustancias peligrosas (plaguicidas)	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)
Ley de Cumplimiento del Agua Potable y Tóxicos de California de 1986	Único estado que regula de manera completa todos los posibles impactos que puedan generar los plaguicidas.	Sustancias químicas que causan cáncer o malformaciones en fetos, efectos y/o alteraciones al sistema reproductivo, mediante la implementación de un nivel de puerto seguro, niveles de exposición admisible de concentraciones de plaguicidas	PAN-Red de Acción de Pesticidas de EE.UU. [45]
Método empleado y avalado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para medir la toxicidad	Dosis Letal 50 (DL50)	Es la cantidad mínima ingerida por vía oral de una sustancia que es capaz de matar al 50 % de una población de animales de prueba, generalmente durante un corto periodo de tiempo.	Organización Mundial para la Salud - OMS [17]
	Concentración Letal 50 (CL50)	Es la concentración del químico en el aire que mata el 50 % de los animales de ensayo en un tiempo determinado (usualmente 4 horas).	
	Concentración Letal 50 Agua peces 96 h (CL50)	Se usa cuando se hace referencia a la toxicidad de un plaguicida para los organismos (peces) expuestos en el agua	

PPDB – Base de datos de plaguicidas	Base de datos que relaciona la identidad química de pesticidas, datos fisicoquímicos, salud humana y ecotoxicológicos. Desarrollada por la Unidad de Investigación Agrícola y Ambiental (AERU) de la Universidad de Hertfordshire (Reino Unido).	Mediante monografías utilizadas producidas en el proceso de examen de la UE la PPDB, etiqueta los datos con un código que permite identificar la fuente de los datos que incluye un puntaje de calidad, que va de 1 (bajo) a 5 (alto), y refleja la confianza de los administradores. Datos actualizados cuando se encuentra información nueva.	Universidad de la Hertfordshire [46]
Convenio de Basilea	Acuerdo Multilateral sobre Medio Ambiente (AMUMA) por medio del cual 170 países dentro del sistema de Naciones Unidas convinieron proteger el medio ambiente y la salud humana de los efectos nocivos provocados por la generación, manejo, movimientos transfronterizos y eliminación de desechos peligrosos.	Regula estrictamente el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y su eliminación junto a criterios para el manejo ambiental adecuado de estos residuos. Se enfoca en tratados de minimización en la generación de residuos peligrosos definiendo obligaciones a las Partes para asegurar el manejo ambientalmente racional de los mismos, particularmente su disposición final, aplicando el procedimiento del “consentimiento fundamentado previo”.	Organización de las Naciones Unidas – ONU
Convenio de Rotterdam	Para la aplicación del procedimiento de consentimiento fundamentado previo a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional	Promueve la responsabilidad compartida y los esfuerzos conjuntos de las partes en la esfera del comercio internacional de ciertos productos químicos peligrosos a fin de proteger la salud humana y el medio ambiente y contribuir a su utilización ambientalmente racional, estableciendo un proceso nacional de adopción de decisiones sobre su importación y exportación.	Secretaría para el Convenio de Róterdam Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO) Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente (PNUMA)

Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)	El objetivo del presente Convenio es proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los contaminantes orgánicos persistentes - COP.	Su propósito es eliminar o restringir el uso y la producción de COP a nivel internacional Minimizar la generación de los contaminantes producidos de manera no intencional (Dioxinas y Furanos)	Secretaría del Convenio de Estocolmo Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) International Environment House (IEH) I
Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos a Nivel Internacional - SAICM	SAICM - Sistema marco internacional de acción dirigido a la formulación de políticas que fomenten la gestión racional de sustancias químicas en todo el ciclo de vida de las mismas.	Representa un compromiso de los gobiernos del mundo para lograr en los países la gestión racional de estas sustancias, de manera que la exposición a productos químicos de uso agrícola o industrial no cause daños significativos a la salud humana y al medio ambiente.	Red Internacional para la eliminación de los contaminantes orgánicos persistentes - IPEN
Código conducta de la FAO sobre plaguicidas	Código internacional de conducta sobre la distribución y utilización de plaguicidas Directrices para el desarrollo de políticas de manejo de plagas y plaguicidas.	El propósito del IOMC es promover la coordinación de las políticas y las actividades, para alcanzar el manejo seguro de los productos químicos en relación con la salud humana y al medio ambiente.	Programa Inter-Organizaciones para el Manejo Seguro de Productos Químicos - IOMC
NORMATIVA NACIONAL			
Resolución 2115 de 2007	“Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”	Características químicas relacionadas con los plaguicidas y otras sustancias	Ministerio de la Protección Social Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
Resolución 0631 de 2015	“Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”	Parámetros de ingredientes activos de plaguicidas de la categoría toxicológica IA, IB, Y II y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas ARD a cuerpos de aguas superficiales y al alcantarillado público	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

3.5 HIPÓTESIS

¿Existe relación entre los parámetros fisicoquímicos y la precipitación sobre la variación de la concentración de plaguicidas en la fuente hídrica río Palacé, ubicado en el Municipio de Totoró - Cauca?

4. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El municipio de Totoró ubicado en el departamento del Cauca, Colombia sobre la cordillera central de los Andes, dentro del cual se localiza la subcuenca del río Palacé con coordenadas entre $5^{\circ} 29' 22.07''$ latitud norte y $79^{\circ} 5' 50.84''$ de longitud oeste como zona de estudio. Limita al norte con la cuenca del río Cofre y el municipio de Silvia, al oriente con el municipio de Inzá con límite natural divisoria subcuenca Ullucos – Negro, al occidente con la parte baja - media del municipio de Totoró y norte de Popayán y al sur con el municipio de Puracé con límite natural divisoria subcuenca río las Piedras. Dentro de este territorio se compren una amplia actividad agrícola basada el cultivo de papa (75 %) y ganadería extensiva (25 %), en suelos de origen volcánico con baja densidad aparente (0,5 g/cc), alta retención de fosfato (7,6 mg P/kg) y alta humedad (41 %). El clima presenta una temperatura entre los 10 y 15 °C afectado por heladas y fuertes vientos, precipitación media anual de 1082 a 2750 mm [3], condiciones dadas dentro del valle de Malvaza como lugar donde se ha desarrollado esta elevada afectación antrópica dentro de un territorio de gran importancia ecosistémica, pues si bien la cadena de páramo de la cordillera central se encuentra en altitudes entre los 3200 a 3400 m.s.n.m, están condiciones varían de manera espacial donde las condiciones típicas de páramo inician a 2900 m.s.n.m para la subcuenca del río Palacé [47]. Siendo la anterior mencionada la zona de estudio de la presente investigación, por lo cual es delimitada y presentada en el siguiente Mapa 1.

Mapa 1. Localización geográfica cuenca del río Palacé en el municipio de Totoró



Fuente: Propia

4.2FASE I: PRIORIZACIÓN DE PLAGUICIDAS MEDIANTE PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP)

Dado al amplio número plaguicidas detectados en el estudio ya referenciado anteriormente, se desea ajustar a un número menor de plaguicidas el alcance de la investigación; por consiguiente, para realizar una correcta selección de alternativas (plaguicidas) estas serán evaluadas por medio de tres criterios que a su vez serán divididos en subcriterios, los cuales se valorarán por dos métodos diferentes, optado para el desarrollo del primer caso (criterios) por el “Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)” y para el segundo (subcriterios) por medio de una Rúbrica o Matriz de Valoración. Si bien dentro del esquema se comprende una variable dentro de la otra como se enseña en la Tabla 3. Criterios y subcriterios de valoración para la selección de plaguicidas, cada una tiene un desarrollo metodológico independiente planteada en la Etapa I y II, respectivamente.

Tabla 3. Criterios y subcriterios de valoración para la selección de plaguicidas

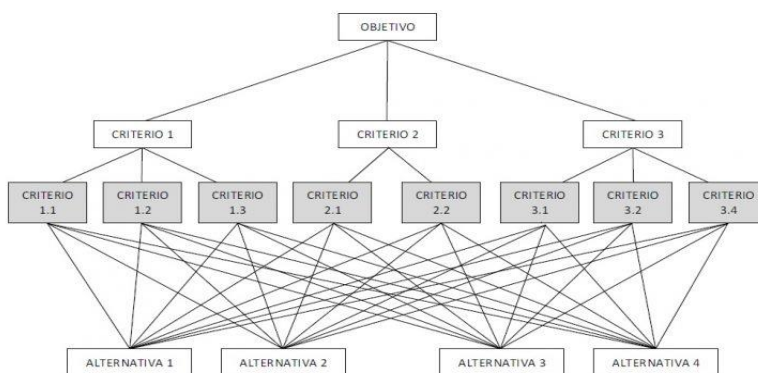
MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	Familia y naturaleza química		
	EPI Log Kow		
	EPI Log Koc		
	EPI Presión de vapor (pa) 25°C		
	EPI Ley de Henry (H) atm-m ³ /mol		
	Potencial de lixiviación Gus		
	Concentración pico (µg/L)		
	EPI Solubilidad en agua (mg/L)		
	Vida media(h)	Hidrólisis acuosa DT50 20°C	
		Suelo Aéreo	
Sedimentos			
Potencial contaminación de agua subterránea			
TOXICOLOGÍA: TOXICIDAD AGUDA Y EFECTOS A LARGO PLAZO	Dosis letal 50 (DL50) (mg kg ⁻¹)		
	Concentración letal 50 (CL50) (mg L ⁻¹)		
	Concentración letal 50 Agua peces 96 h (CL50) (mg l ⁻¹)		
	Categoría toxicológica		
	Toxicidad aguda		
	Carcinogénico		
	Inhibidor acetilcolinesterasa		
	Disruptor endocrino		
	Efectos reproductivos/ desarrollo		
	Neurotóxico		
	Toxina de abejas		
	N° puerto seguro	Nivel de riesgo no significativo (µg / día)	
	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMATIVIDAD	Nombre comercial	
Frecuencia de aplicación			
Cantidad de aplicación (ha)			
Persistencia convenio de Estocolmo			
Condición (norma)			
Límite permisible Agua superficial (ng/L) Holanda			
PAP - Plaguicida altamente peligroso			
Pan-mal actor			

Fuente: Propia

4.2.1 ETAPA I: Valoración de criterios por expertos mediante el proceso de análisis jerárquico

El “PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP)” es un método multinivel conformado por aspectos y/o variables construidas respecto a un problema, al cual se le da solución mediante su descomposición y análisis por partes como se enseña en la Figura 2 [48] y definidos consecutivamente; los cuales son adaptados para la valoración de criterios de selección de plaguicidas mediante la calificación por expertos.

Figura 2. Esquema general del “Proceso de análisis jerárquico (AHP)”



Fuente: [48]

✓ Variables del proceso de análisis jerárquico – AHP

El presente método multinivel requiere definir aspectos como: la identificación del problema, el objetivo de la matriz y metodológicamente los criterios, alternativas, junto a una escala de valoración.

Criterios y subcriterios para la selección de plaguicidas: Dentro de estos se comprende una situación de selección de alternativas (plaguicidas) en función de tres criterios de valoración (características de plaguicidas) estos subdivididos en sus subcriterios (propiedades de plaguicidas), enseñados en la Tabla 3. Identificación de alternativas: Se tiene 12 principios activos de agroquímicos detectados en el monitoreo a la fuente hídrica río Palacé presentados en la Tabla 4, los cuales son el objetivo de estudio de la matriz a realizar por el método AHP.

Tabla 4. Plaguicidas detectados estudio “Amenaza por micro contaminantes”

α -BHC	Endosulfan 1	Metalaxil-M	Lambda-cialotrina
Lindano (γ -BHC)	DDT	Metoxicloro	4,4 DDD
β -BHC	Clorpirifos	4,4´-DDE	Heptacloro

Fuente: [51]

Escala de valoración: Para establecer la prioridad de cada criterio se usará la comparación de pareadas como base fundamental del AHP, señalada como una

comparación binaria entre cada una de las alternativas (Criterios), para ello se contraponen cada una de ellas como se evidencia en la Tabla 5.

Tabla 5. Matriz AHP adaptada

(x)	(y)	MOVILIDAD Y TRANSPORTE	TOXICIDAD O IMPACTO A LA SALUD	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMATIVIDAD
MOVILIDAD Y TRANSPORTE				
TOXICIDAD O IMPACTO A LA SALUD				
EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMATIVIDAD				

Fuente: Propia

Se referencia la escala numérica según Thomas L. Saaty Figura 3, con la cual se da valor a la comparación pareada entre criterios [48]; sin embargo, para una mayor facilidad en el desarrollo del método y según las necesidades del estudio se realiza una adaptación de esta presentada en el ANEXO N°1, mediante valores asignados según el objetivo de la priorización, por el juicio de expertos cuya experiencia o relación con el tema brinde un mayor espectro de confianza.

Figura 3. Escala de referencias numérica Proceso de análisis jerárquico AHP

Planteamiento verbal de la preferencia	Calificación Numérica
Extremadamente preferible	9
Entre muy fuertemente y extremadamente preferible	8
Muy fuertemente preferible	7
Entre fuertemente y muy fuertemente preferible	6
Fuertemente preferible	5
Entre moderadamente y fuertemente preferible	4
Moderadamente preferible	3
Entre igualmente y moderadamente preferible	2
Igualmente preferible	1

Fuente: [48]

4.2.1.1 Actividad I: Desarrollo proceso de análisis jerárquico – AHP por expertos

La valoración de importancia para cada criterio dada por la comparación pareada entre los mismos Tabla 5. Matriz AHP adaptada en función del objetivo referenciado en la Tabla 13 en la cual se desarrolla la *estructura del proceso de análisis jerárquico – AHP adaptada a la valoración de criterios*; se realizó mediante encuestas online en Google Forms enviada a 25 expertos, compilados de diferentes bases de datos institucionales de grupos de investigación en agroquímica, calidad de agua, agroquímicos o afines de la Universidad del Cauca y Autónoma del Cauca, también suministrados por el GEA – Grupo de Estudios Ambientales de la Universidad del Cauca en el desarrollo de diferentes estudios en fuentes de agua potable con

expertos de la Universidad del Valle, Corporaciones Autónomas Regionales y la Federación Nacional de Cafeteros – CENICAFÉ. Se referenciados en el ANEXO N°1 la lista de expertos para valoración de plaguicidas cuyo ámbito profesional se encuentra en el campo de interés.

✓ **Encuesta a expertos para la valoración de criterios de selección de plaguicidas por el Proceso de análisis Jerárquico (AHP)**

La encuesta fue dividida en dos secciones con un total de 10 preguntas realizadas de 9 a 12 min por encuestado; en los cuales se incluyen la explicación de la metodología además de un video para dar claridad en la ejecución del método AHP. Su formato general se expone en el ANEXO N° 1.

4.2.1.2 Actividad II: Base matemática proceso de análisis jerárquico (AHP)

Una vez desarrollado el formulario por cada experto se requirió de un proceso de síntesis y análisis de datos mediante hojas de Excel, para lo cual se toma dicha información y se adapta a la calificación en forma de cociente y está normalizada en número decimal. Este proceso llevado a cabo mediante matrices de comparación pareada de forma 3x3, las cuales tiene una serie de fórmulas y/o Tablas de referencia para dar solución a la base matemática comprendida como el análisis de consistencia y vector propio (valoración de cada criterio) [49], por cada experto que dio respuesta a la priorización al igual que la ratio de consistencia de la Tabla 6 en relación a la uniformidad en el juicio de calificación.

✓ **Fórmulas cálculo de consistencia AHP [49]:**

Fórmula 1. Índice de consistencia (Consistency Index, CI)

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

λ_{max}	máximo autovalor
n	Dimensión de la matriz de decisión

Fórmula 2. Proporción de consistencia (Consistency Ratio, CR)

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Donde RI es el índice aleatorio, que indica la consistencia de una matriz aleatoria

Tamaño de la matriz	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice aleatorio	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Tabla 6. Porcentaje máximo del ratio de consistencia CR

Tamaño de la matriz (n)	Ratio de consistencia
3	5%
4	9%
5 o mayor	10%

✓ **Cálculo De Vector Propio [49]:**

El vector propio se comprende, como el valor final otorgado por la calificación a cada criterio dentro de la matriz de comparación pareada o la importancia de cada criterio valorado por cada experto. Este se calcula mediante la multiplicación de la matriz normalizada por sí misma, donde al sumar individual sus filas y posterior a ello dividir las una a una por la suma total de la mismas se obtiene el Vector propio; el anterior procedimiento se realiza hasta que la columna “vector Propio” coincida con el producto de la multiplicación anterior.

4.2.2 ETAPA II: Valoración de subcriterios por “rúbrica o matriz de valoración”

Se comprende como “subcriterios” a todas las propiedades fisicoquímicas de los plaguicidas comprendidos dentro de los criterios de selección (movilidad y transporte, toxicología y evaluación de riesgo y normatividad), jerarquizados por el anterior método que al ser desarrollado evidencia un total de 30 subcriterios Figura 9 presente en el ANEXO N° 1. Por lo anterior, se emplea el método denominado como “Rúbrica o matriz de valoración” puesto que para evaluar cada subcriterio, se requiere plantear descriptores junto con varios tipos de escalas, al comprender tanto una escala dicotómica (dos valores) o múltiple (más de dos valores), con características cualitativas y cuantitativas que requieren ser medidas en una misma matriz de evaluación [50].

La Tabla 7 se toma como una guía por medio de la cual se describió y valoro el sustento metodológico de cada subcriterio, obtenido mediante la búsqueda de información bibliográfica de artículos, libros y bases de datos o entidades científicas cuya fuente sea verídica, que contribuyeron a la comprensión de cada propiedad de plaguicida, las cuales se referencian dentro de su desarrollo dado que se tuvieron en cuenta diferentes entidades y bases de datos según el criterio al que correspondan; por tanto, se tendrán tres líneas de valoración una por cada criterio (características de plaguicida) jerarquizado en la ETAPA I.

Tabla 7. Ejemplo de rúbrica o matriz de valoración

Criterio	Escala			
	3 Puntos	2 Puntos	1 Puntos	0 Puntos
Ubica la zona en el mapa			Si	No
Principal problemática ambiental de la zona protegida.	La nota, explica y ejemplifica correctamente.	La anota y explica o la anota y ejemplifica correctamente.	La anota correctamente.	No fue anotada o es incorrecta.

Fuente: [50]

4.3FASE II: DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS, RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN, CONCENTRACIÓN DE PLAGUICIDAS EN EL RÍO PALACÉ

La zona de interés se delimita mediante el programa ArcGis (ArcMap 10.5), este método requiere el uso de bases de datos geográficas para la descarga de imágenes satelitales, hojas de cálculo, coordenadas geográficas, entre otras herramientas, para generar el mapa de delimitación de la cuenca del río Palacé dentro del municipio de Totoró mediante el uso del Sistema de Información Geográfica - SIG de la zona. En el cual se localizan dos variables:

Primero los puntos de monitoreo de parámetros físicoquímicos donde se ubicaron los muestreadores de medición de plaguicidas. Siendo inicialmente 4 puntos denominados como; Humedal de Calvache, Siberia, Hatico y Bocatoma; sin embargo, dado que el objetivo del presente trabajo va encaminado al estudio del comportamiento en la variación de las concentraciones de plaguicidas en relación con los parámetros, junto a la variación de precipitaciones sólo se tomarán los tres primeros puntos. Puesto que en estos se encuentran las concentraciones más representativas de los plaguicidas sobre el río Palacé tanto por las elevadas concentraciones como por la cantidad de datos que obtuvieron medición por encima del límite de detección LDD con coordenadas geográficas en la Tabla 8 [51].

Tabla 8. Coordenadas puntos de monitoreo por estudio “Amenaza por micro contaminantes en fuentes de abastecimiento de agua potable”

N°	IDENTIFICACIÓN	COORDENADAS
1	HUMEDAL:	2°30'11.81" N - 76°17'2.14" O
2	SIBERIA	2°27'46.56" N - 76°21'15.21" O
3	HATICO:	2°28'45.34" N - 76°25'54.98" O

Fuente: [51]

Segundo, las estaciones meteorológicas activas en la cuenca Palacé son Totoró, Polindara y Gabriel López para la medición de precipitación además de la estación hidrológica de Malvaza para el caudal de la fuente hídrica con coordenadas geográficas en la Tabla 9 [52].

Tabla 9. Coordenadas geográficas de estaciones subcuenca Palacé - IDEAM

N°	ESTACIÓN/CÓDIGO	TIPO DE ESTACIÓN	COORDENADAS
1	GABRIEL LÓPEZ [26025070]	Meteorológica	2°30'36.00" N - 76°17'24.00" O
2	POLINDARA [26020460]	Meteorológica	2°29'24.00" N - 76°24'0.00" O
3	TOTORÓ [26020130]	Meteorológica	2°32'30.59" N - 76°25'7.72" O
4	MALVAZA [26027240]	Hidrológica	2°27'42.13" N - 76°20'24.00" O

Fuente: [52]

4.3.1 ETAPA I: Determinación de parámetros fisicoquímicos sobre la fuente hídrica río Palacé

Para la medición de los parámetros fisicoquímicos sobre la fuente hídrica río Palacé fueron señalados en la Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de mayor incidencia en el comportamiento de los plaguicidas, se utilizó la guía de “TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS SUPERFICIALES PARA LA RED DE CALIDAD DEL IDEAM” para el método de muestreo puntual, pues la toma de muestras se da en lugar representativo, para un determinado momento.

Se tiene un total inicial de 16 muestras para los cuatro puntos, cantidad disminuida al definir tres puntos a estudiar y por tanto dos tramos siendo estos: humedal de Calvache, Siberia y Hatico, con un total final de 12 muestras tomadas durante 4 meses entre septiembre – diciembre del año 2019 en los 3 puntos referenciados, para un total de 4 muestras por punto, número dado por el presupuesto disponible para el análisis de las muestras, utilizando dos tipos de análisis enseñados seguidamente:

4.3.1.1 Actividad 1: Medición de parámetros fisicoquímicos *in situ* sobre la fuente hídrica río Palacé

Para los parámetros cuya inestabilidad requieren de una medición en campo, pues sus comportamientos se ven afectado por temperatura (T), oxidación química/biológica, conservación además de transporte, se realizó su medición mediante sonda multiparamétrica compuesta por un cuerpo medidor, tres sondas con sus respectivos electrodos, con el objetivo de obtener una lectura representativa de datos relacionados con su comportamiento dentro del cuerpo hídrico río Palacé en las concentraciones de OD-Oxígeno disuelto, % saturación de oxígeno, Potencial Redox, conductividad, pH además de la temperatura, pues así se obtendrá una relación con la concentración de plaguicidas desde las condiciones más aproximadas a la realidad en función de las condiciones naturales del medio.

4.3.1.2 Actividad 2: Medición de parámetros fisicoquímicos en laboratorio de la fuente hídrica río Palacé

Los parámetros de DBO – Demanda Biológica de Oxígeno, DQO – Demanda Química de Oxígeno y ST - Sólidos Totales, se midieron en laboratorio por lo cual las condiciones en la toma de muestras debieron ser óptimas, para su correcto análisis por el laboratorio de la Corporación Autónoma Regional del Cauca-CRC, Certificado por el IDEAM a través de la resolución 0013 de enero de 2013 [53] para los dos primeros parámetros y por espectrofotometría para los ST en el laboratorio de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca.

✓ **Condiciones de Toma de muestras**

Al realizarse las mediciones en dos laboratorios diferentes, se tomaron dos muestras de la misma matriz (agua) en dos recipiente o botella de tipo plástico con una capacidad de 1L y 500 mL; las cuales fueron rotuladas, recolectadas, almacenadas y transportadas con su respectiva cadena de custodia estipuladas por la guía de “TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS SUPERFICIALES PARA LA RED DE CALIDAD DEL IDEAM” (Nevera plástica con bolsas de hielo para mantener una temperatura cercana a 5 °C) con evidencia fotográfica en ANEXOS [54].

✓ **Medición por espectrofotometría de ST - Sólidos Totales**

Para los cuatro monitoreos se realiza la medición de sólidos totales (ST) que incluyen sólidos disueltos (materia disuelta) y sólidos suspendidos (no disueltos) para cada muestra; por tanto, su medición se realizó por medio de espectrofotometría dado el equipo disponible dentro del laboratorio (HACH DR 2700), realizando la calibración del blanco (cero, agua destilada) para cada prueba a realizar y así obtener el resultado de ST atribuido a cada muestra, con evidencia fotográfica en ANEXOS.

4.3.2 ETAPA II: Recolección, evaluación de calidad y cantidad de datos de precipitación y caudal en la cuenca del río Palacé

Las condiciones hidrometeorológicas para evaluar en la sección de estudio serán la precipitación de la cuenca río Palacé y caudal, ambas variables se obtuvieron mediante la página de consulta y descarga de datos hidrometeorológicos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), específicamente para los meses de enero a mayo (Monitoreo Agroquímicos) y septiembre a diciembre (Parámetros Físicoquímicos) del año 2019.

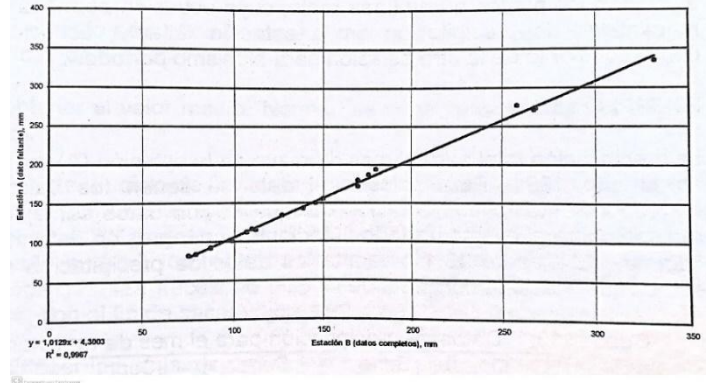
4.3.2.1 Actividad 1: Estimativo de datos de precipitación faltantes

Antes de utilizar los registros y proceder a su análisis se considera en primera instancia la longitud de los datos que se van analizar para ambos periodos, datos que al ser comparados a las fechas según cada periodo y de manera diaria presentan series completas para la estación hidrológica de Malvaza y las estaciones meteorológica de Polindara y Totoró; no obstante, la estación meteorológica de Gabriel López durante el según periodo (septiembre – diciembre) presenta un lapsus de tiempo de 12 días consecutivos entre el 19 y 31 de Diciembre, sobre la cual no se reporta por el IDEAM el registro de precipitaciones, no como una ausencia de la misma sino como un no registro por el equipo medidor.

Para calcular la serie diaria de datos incompleta en el tiempo y estación señalada anteriormente, se utilizó el método de “Estimación de Datos Faltantes” presente en la sección 13.5.2 del Libro Hidrología del autor Luis Jorge González suscrito al departamento de Hidráulica de la Universidad del Cauca, método que consiste en establecer una relación de manera gráfica entre dos variables una independiente y

otra dependiente (eje x, y) según corresponda, obteniendo mediante ello una correlación estadística lineal Gráfica 1, la cual arroja la Fórmula 3 que debe tener un grado de correlación lo más cercano uno posible [55].

Gráfica 1. Línea de regresión, cálculo de datos faltantes para estación A



Fuente: [55]

Fórmula 3. Ecuación de ajuste de regresión lineal

$$(y = mx + b)$$

Donde: $m =$ Pendiente

$b =$ Punto de inserción

$x =$ Precipitación conocida

$y =$ Precipitación estimada

Esta relación de datos se realiza mediante dos estaciones cercanas una de las cuales carece de información de precipitación y la otra debe contar con los registros completos para el mismo periodo, siendo las estaciones de Gabriel López y Polindara respectivamente, además de un registro histórico de mínimo 5 años para ambas estaciones con el fin de que la estimación de las precipitaciones faltantes sea lo más acorde a la realidad según el comportamiento de la zona de estudio; por lo cual, se tomaron los Datos desde el 01 de Enero del 2015 hasta 30 de Abril de 2020 como los datos más actualizados.

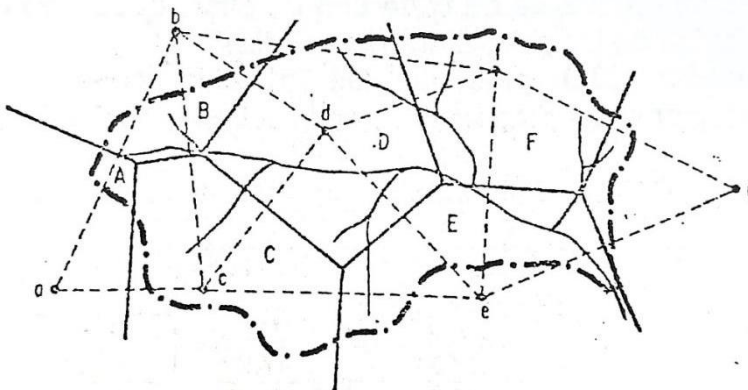
4.3.2.2 Actividad 2: Área de influencia de precipitación mediante polígonos de Thiessen

Una vez evaluada la calidad y cantidad de precipitaciones para cada estación de influencia directa sobre la subcuenca del río Palacé, se debe tener en cuenta que para realiza una correlación directa entre precipitación y variables, ya sea la concentración de plaguicidas o parámetros fisicoquímicos medidos en el mismo punto de monitoreo, se debe verificar que estación o estaciones corresponden al área de influencia parcial o total donde se ubicaron los puntos de monitorio.

Para ello, el área de influencia de cada pluviómetro se evaluó mediante el método de los polígonos o Thiessen, utilizado al tener una distribución no uniforme de los

mismo, el cual pondera el dato de cada estación en proporción a su separación, mediante la formación de los polígonos de una manera absolutamente subjetiva, al trazar mediatrices (perpendiculares en el punto medio) de los segmentos que unen las diferentes estaciones como se ve en el ejemplo Figura 4 y se realizará en el área de estudio (cuenca del río Palacé) dentro del municipio de Totoró.

Figura 4. Método Polígonos o Thiessen



Fuente: [55]

Método desarrollado mediante el programa ArcGis (ArcMap 10.5), con la herramienta de cálculo de Thiessen, el cual requiere para dicho cálculo la localización de las estaciones en coordenadas planas UTM - Universal Transverse Mercator y altitud, junto con la precipitación media anual de cada estación meteorológica; valores calculados a partir de los datos de precipitación diaria obtenidos en el IDEAM, tomando únicamente los días y meses correspondiente al año 2019 para calcular su precipitación media mensual y finalmente anual según la estación a la cual corresponda, también se utilizó la delimitación de la cuenca y localización de puntos de estaciones hidrometeorológicas realizada anteriormente.

4.3.3 ETAPA III: Evaluación de calidad más síntesis de concentraciones de plaguicidas y parámetros fisicoquímicos

4.3.3.1 Actividad 1: Síntesis de concentraciones de plaguicidas

Obtenidos los 4 plaguicidas a analizar una vez desarrollada la FASE I: PRIORIZACIÓN DE PLAGUICIDAS MEDIANTE PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP), se debe tener en cuenta que cada compuesto detectado en cada monitoreo según al punto que correspondan tiene dentro del análisis realizado por el laboratorio de la Universidad del Valle una respectiva réplica de concentración. A partir lo dicho con anterioridad al analizar cuatro plaguicidas se tendrían 64 concentraciones de los cuatro plaguicidas por punto y un total de 192 concentraciones para los tres puntos en los meses monitoreados en la fuente hídrica, datos que por su cantidad requirieron de una reducción estadística.

Para realizar la síntesis de las concentraciones de plaguicidas se toma como base las dos concentraciones de cada compuesto por monitoreo, estas se reducirán estadísticamente empleando las medidas de tendencia central como lo son media Aritmética, Geométrica, Armónica y Cuadrática referenciadas consecutivamente.

<p style="text-align: center;"><i>Fórmula 4. Media Aritmética</i></p> $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$	<p style="text-align: center;"><i>Fórmula 5. Media Armónica</i></p> $H = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i}} = \frac{n}{\frac{1}{x_1} + \dots + \frac{1}{x_n}}$
<p style="text-align: center;"><i>Fórmula 6. Media Geométrica</i></p> $\bar{x} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n x_i} = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n}$	<p style="text-align: center;"><i>Fórmula 7. Media Cuadrática</i></p> $\bar{x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i^2}{n}} = \sqrt{\frac{a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2}{n}}$

Donde: X_i = cada uno de los datos de la serie

\bar{x} = la media de los datos

n = número de datos

4.3.3.2 Actividad 2: Estimativo concentraciones de plaguicidas y parámetros fisicoquímicos por debajo del límite de detección

Obtenidas las concentraciones de plaguicidas y parámetros fisicoquímicos finales dentro de ambas variables se evidencian valores por debajo del Límite de Detección (LDD), con los cuales dado el carácter correlacional del estudio no se podría realizar una relación uno a uno entre concentraciones de Precipitaciones vs. Variables o Concentraciones de plaguicidas vs. Parámetros fisicoquímicos; por lo cual, para estimar las concentraciones faltantes se tomó la metodología utilizada en el estudio “Valoración del riesgo en salud en un grupo de población de Cali, Colombia, por exposición a plomo, cadmio, mercurio, ácido 2,4 - diclorofenoxiacético y diuron, asociada al consumo de agua potable y alimentos” de la Universidad del Valle [56], en el cual también se presentaron concentraciones de plaguicidas por debajo del LDD, entendiendo que este resultado no quiere decir que no hay concentración, sino que el método por el cual se midió no tiene la capacidad de medir concentraciones posteriores al mismo.

Método que asume tres situaciones para tres valores de concentración de cada contaminante: 1. el valor del límite de detección como la máxima concentración, 2. la mitad del límite de detección y 3. un cuarto del límite de detección, evaluando para cada uno de los casos el valor de riesgo cancerígeno y no cancerígeno. Para este estudio se empleó de igual forma la inferencia en las tres posibles situaciones de concentración tanto para los plaguicidas como del parámetro fisicoquímico, según el monitoreo al cual corresponda la ausencia del dato. Estas relaciones se realizaron mediante gráfica de cuadro combinado, en las cuales se comprende bajo el Eje Y, la concentración sea de Plaguicida o Parámetro con las tres posibles situaciones de concentración por debajo del LDD y como estas se relacionan con el

comportamiento de la precipitación, en función del Eje X como el periodo en Días en que se monitorearon las variables (Plaguicidas o Parámetros) y por ende la precipitación.

4.4 FASE III: MÉTODOS DE CORRELACIONES PARA PRECIPITACIÓN vs. VARIABLES Y RELACIÓN ENTRE MEDIAS PARA TIEMPOS BIMODALES Y DÍAS DE MONITOREO

En esta fase metodológica se presentarán los dos métodos por los cuales se dio respuesta a la pregunta de investigación:

1. Las correlaciones entre Precipitaciones vs. Variables (Plaguicidas y Parámetros) y correlación entre variables concentraciones de Plaguicidas vs. Parámetros físicoquímicos;
2. Por el cual se hizo una relación entre medias de Tiempos Bimodales Precipitación Enero – Mayo vs. Precipitación Septiembre – Diciembre, seguida de la relación entre medias de caudales puntuales.

Pues la metodología utilizada para las correlaciones y relación de medias es la misma; no obstante, en el CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS se dividen en dos fases siendo la Fase III para la primera correlación y relación de medias entre tiempos bimodales, seguida de la Fase IV para la correlación entre variables y relación entre medias de caudales, lo anterior para darle mayor claridad al porqué de las relaciones ejecutadas.

Antes de desarrollar los métodos se realizó un estudio exploratorio mediante estadísticas descriptiva siendo estas las medidas de tendencia central y dispersión de datos hidrológicos señalados en la Tabla 10 del Libro “Hidrología” del Autor Luis Jorge Gonzales Muñoz [55] a los datos de precipitación, con el objetivo de determinar su comportamiento o distribución y elegir de manera acertada la prueba estadística por la cual se realizó las correlaciones entre precipitaciones y variables.

Tabla 10. Características estadísticas de datos hidrológicos

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL	MEDIDAS DE DISPERSIÓN
Se toma la Fórmula 4. Media Aritmética Se toma Fórmula 5. Media Geométrica	<i>Fórmula 6 Desviación típica o estándar</i> $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$
MEDIANA: Corresponde a la observación de la mitad cuando una serie de datos se arregla en orden de magnitud, también es empleada para elegir la Media Aritmética o Geométrica.	<i>Fórmula 7 Varianza</i> $\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}$

MODA: Se identifica como el dato que más en una serie estadística.

Fórmula 8 Coeficiente de Varianza

$$C_v = \frac{\sigma}{X}$$

4.4.1 ETAPA I: Pruebas estadísticas de correlaciones

Una vez realizado el anterior tratamiento de datos se exponen dos posibles situaciones para determinar la prueba estadística por la cual se hicieron las relaciones, una en la cual el comportamiento de las variables tenga una tendencia definida o comportamiento normal - tendencia paramétrica y otra donde su comportamiento no se ajuste a ninguna distribución - tendencia no paramétrica. Tratamiento de datos realizado mediante el programa de cómputo Statistical Package for Social Science (SPSS) dada la amplia cantidad de correlaciones. A continuación, se exponen las dos pruebas estadísticas utilizadas para las dos situaciones anteriores, siendo la primera paramétrica seguida de su equivalente no paramétrico.

1. CORRELACIÓN PEARSON

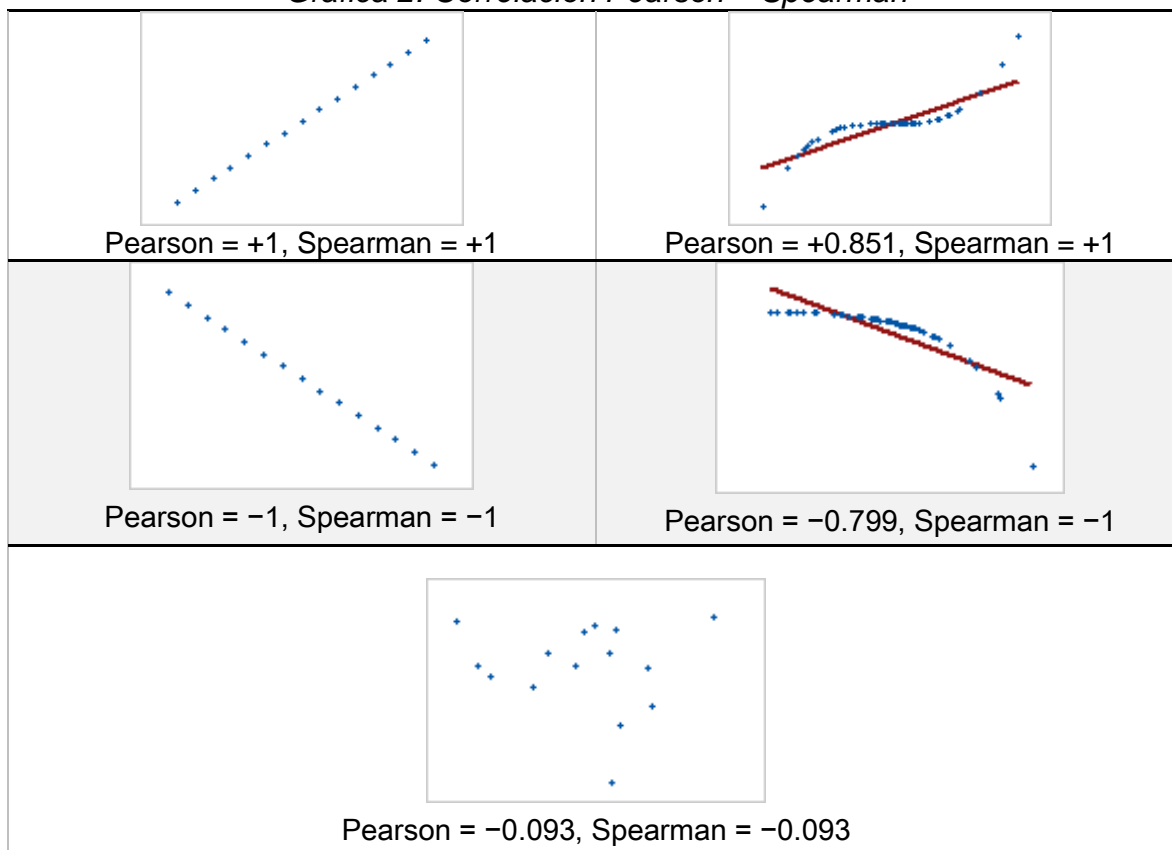
- La correlación de Pearson evalúa la relación lineal entre dos variables continuas.
- La relación es lineal cuando un cambio en una variable se asocia con un cambio proporcional en la otra variable.

2. CORRELACIÓN SPEARMAN

- La correlación de Spearman evalúa la relación monótona entre dos variables continuas u ordinales.
- En una relación monótona, las variables tienden a cambiar al mismo tiempo, pero no necesariamente a un ritmo constante.

Al comprender las dos formas en la que se pueden mover correlacionalmente dentro de un plano dos variables, cualquiera puede ser la variable independiente (Eje X) y dependiente (Eje Y) al estudiar cómo cambia una en función de la otra o cómo se comportan juntas de forma lineal (paramétrica) o monótona (no paramétrica); según corresponda a los datos de estudio mediante una asociación uno a uno ordenada, ejemplificadas a continuación, que otorgan como resultado el grado de asociación o interdependencia de dos variables a cambiar al mismo tiempo, medida por el coeficiente o fuerza de correlación (ρ - Rho) [57].

Gráfica 2. Correlación Pearson – Spearman



Fuente: [57]

La escala para interpretar los valores de Rho arrojados por el programa SPSS, se referencia en la Tabla 11 pues esta ofrece una calificación no excluyente a datos amplios en la fuerza de correlación, al aclarar que correlaciones casi perfectas encontradas en condiciones naturales en el cual influyen diversas variables ambientales en el comportamiento de los datos es casi imposible [58].

Tabla 11. Interpretación de Rho (ρ) o Fuerza de Correlación

CORRELACIÓN POSITIVA	CORRELACIÓN NEGATIVA	RANGO
1 a 0.5	-1 a -0.5	Fuerte
0.49 a 0.30	-0.49 a -0.30	Moderada
< 0.29	< 0.29	Débil

Fuente: [58]

La interpretación de los anteriores valores se comprende entre -1 y +1. Valores de rho (ρ) próximos a +1 son indicadores de una fuerte asociación lineal positiva: a medida que aumentan los valores de una variable, aumentan los de la otra. Valores de rho (ρ) próximos a -1 indican fuerte asociación lineal negativa: a medida que aumentan los valores de una variable, disminuyen los valores de la otra. Valores de ρ próximos a 0 indicarán no asociación lineal [59].

Se plantean las Hipótesis nulas y alternativas para los dos casos en los cuales se utilizará la prueba estadística de correlación, las cuales se deberían afirmar o refutar según el nivel de confianza dado al aplicar la prueba de correlación, con un valor usado por SPSS correspondiente a 95% o nivel de significancia de 0.05; sin embargo, dado que se tienen un número de datos menores 25 este valor crítico no tendría relevancia pues la muestra no es fuertemente representativa, por tanto no se tomará en cuenta su resultado y la asociación para la aprobación o no de la hipótesis se llevará a cabo mediante la fuerza de correlación.

Planteamiento de Hipótesis:

$$H_0: \rho = 0$$

$$H_A: 0 < \rho < 1 \text{ ó } -1 > \rho > 0$$

Caso N° 1: Planteamiento de Hipótesis correlación Precipitaciones vs. Variables

1. No existe correlación entre la variación precipitación (bajas y altas lluvias) vs concentración de las variables (plaguicidas – parámetros fisicoquímicos).
2. Existe una correlación sea directa o inversamente proporcional según el signo, en el comportamiento de la Precipitación en condiciones de bajas y alta lluvias vs las concentraciones de Plaguicidas y Parámetros fisicoquímicos.

Caso N° 2: Planteamiento de Hipótesis correlación entre la concentración Plaguicidas vs. Parámetros fisicoquímicos

1. No existe correlación entre la variación de la concentración de plaguicidas vs concentración parámetros fisicoquímicos medidos sobre la fuente hídrica río Palacé.
3. Existe una correlación sea directa o inversamente proporcional según el signo, en la variación de la concentración de plaguicidas vs las concentraciones de Parámetros fisicoquímicos medidos dentro de la fuente hídrica río Palacé.

En consideración puesto que los métodos de correlación comprenden una relación uno a uno entre variables; para lograr la relación entre Precipitación vs. Variable (Plaguicidas – Parámetros), se tuvo en cuenta la diferencia en el tipo de muestreo para las concentraciones de plaguicidas y parámetros fisicoquímicos. Por tanto, los valores de la precipitación objeto de comparación entre estas dos variables se toman de la manera siguiente:

- ✓ Precipitación puntual (Diaria) vs. Parámetros fisicoquímicos
- ✓ Relación quincenal de precipitación vs. Plaguicidas.

Al tener una única concentración (plaguicidas) vs. una serie quincenal de datos de precipitación, esta última es evaluada por la Tabla 10. Características estadísticas

de datos hidrológicos. Con el fin de elegir la medida estadística que define adecuadamente el comportamiento del régimen de precipitación, obteniendo un sólo dato para la comparación y su posterior clasificación del tipo de precipitación en altas o bajas, según la escala Tabla 12 del Consejo Nacional de Aguas de la República Mexicana (CONAGUA) [60] como la que mejor se adapta al régimen de precipitación de la subcuenca del río Palacé, puesto que en Colombia al presentarse diversos regímenes de precipitación la escala es más general y menos específica.

Tabla 12. Clasificación de precipitaciones diarias (mm)

Clasificación	Rango (mm)
Lluvia nula (LL _N)	0
Lluvias Ligeras (LL _L)	0 - 5
Lluvias Moderadas (LL _M)	5 - 20
Lluvias Fuertes (LL _F)	20 - 70
Lluvias Intensas (LL _I)	70 - 150
Lluvias Torrenciales (LL _T)	> 150

Fuente: [60]

4.4.2 ETAPA II: Relación de medias por Wilcoxon

Una vez comprobada o refutada las hipótesis de las anteriores relaciones entre Precipitaciones vs. Parámetros y Plaguicidas, al tomar las condiciones climáticas (precipitación) de la subcuenca del río Palacé como el principal factor que contribuye al transporte y/o variación de la concentraciones de ambas variables, siendo estas las que se desean relacionar entre sí; se tuvo en cuenta que los monitoreos de las concentraciones de plaguicidas y parámetros fisicoquímicos se realizaron en dos periodos diferentes, pero con condiciones climáticas similares para los meses de Enero – Mayo y Septiembre – Diciembre respectivamente, tomando el régimen de precipitación como el factor independiente pero similar entre periodos, al ser regidas mediante el comportamiento bimodal presentado en países subtropicales como Colombia dada su ubicación dentro de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) del Ecuador donde convergen los vientos alisios provenientes de ambos hemisferios que por los Andes colombianos pasan dos veces, generando un ciclo anual con temporadas lluviosas y otras relativamente secas [8].

De igual manera así se compruebe que las precipitaciones se mueven bajo un régimen similar, para garantizar que los monitoreos puntuales en ambos periodos se hayan realizado bajo el mismo orden y condiciones climáticas diarias dada la alta variabilidad presente dentro de la subcuenca del río Palacé, se relacionan de manera correcta los monitoreos entre ambos periodos por el caudal medio diario medido en cada monitoreo dentro de la fuente hídrica por la estación Hidrológica de Malvaza con coordenadas geográficas en la Tabla 9. Coordenadas geográficas de estaciones subcuenca Palacé - IDEAM.

Para afirmar o refutar que los dos periodos señalados anteriormente al igual que los monitoreos puntuales se mueven bajo un régimen de precipitación similar, se toma

una relación uno a uno por la prueba estadística entre medianas de WILCOXON para “Muestras relacionadas”, al presentarse un régimen No Paramétrico en tendencia no lineal o definida de las precipitaciones y caudales, siendo este método el que permite comparar las medias de dos series de medición realizadas sobre la misma unidad, como es el caso el río Palacé (unidad estadística) en el que se comparan los regímenes de precipitación dados por las estaciones meteorológicas y caudal para la estación hidrológica.

Planteamiento de hipótesis:

$$H_0: Me_{h1} = Me_{h2}$$

$$H_A: Me_{h1} \neq Me_{h2}$$

- ✓ En condiciones Hidrometeorológicas (precipitación y caudal) iguales, para el primer, según semestre del año y entre monitoreos puntuales.
- ✓ En condiciones hidrometeorológicas (precipitación y caudal) diferentes, para el primer y segundo semestre del año. En este caso una vez recolectados los datos se debe tener en cuenta si $\mu_{h1} < \mu_{h2}$ o $\mu_{h1} > \mu_{h2}$, ya que depende de esta relación cuál hipótesis se rechaza.

Este tratamiento de dato se realizó de igual manera por medio del programa SPSS, el cual comprende el estadístico de prueba con las características en la Fórmula 9 a $Z_\alpha = 1.96$, apta para un tamaño muestral $n > 25$ datos para un nivel de confianza del 95 % o crítico de 0,05 con el cual se afirma el riesgo de aprobación o rechazo de la hipótesis nula [61].

Fórmula 9. Estadístico de prueba Wilcoxon

$Z = \frac{T - n(n + 1)/4}{\sqrt{n(n + 1)(2n + 1)/24}} = N(0, 1)$	<p style="text-align: center;">Donde: $Z < Z_\alpha \Rightarrow$ se acepta H_0</p> <p style="text-align: center;">$Z > Z_\alpha \Rightarrow$ se Rechaza H_0</p>
---	---

Fuente: [61]

Para el caso de estudio en particular, se busca comprobar la hipótesis nula dado que con ella no se tendría diferencias significativas entre los regímenes de precipitación sobre los cuales se midieron las concentraciones de plaguicidas y los parámetros fisicoquímicos, haciendo posible la relación entre las variables medidas sobre dichos periodos.

5. CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 FASE I: PRIORIZACIÓN DE PLAGUICIDAS MEDIANTE PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP)

5.1.1 ETAPA I: Valoración de criterios por expertos mediante el proceso de análisis jerárquico

La adaptación gráfica del PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP) caracteriza como un método multinivel donde todos sus elementos van ligados uno a otro se evidencia en el ANEXO N° 1. Proceso de valoración aplicado para los Criterios de Selección (características de plaguicidas) evidenciados en la Tabla 13, dado que el número de subcriterios (propiedades fisicoquímicas) que comprende cada criterio al igual que el número de variables (plaguicidas) es superior a 7, cantidad recomendada para evitar una comparación pareada excesiva [49]; estos se evaluarán por medio del método “Rúbrica o matriz de valoración” en la ETAPA II.

Tabla 13. Estructura del proceso de análisis jerárquico – AHP adaptada a la valoración de criterios

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
PROBLEMA	Se tienen 12 plaguicidas (Alternativas) medidos en el río Palacé, los cuales se evaluarán según tres criterios de valoración (características de plaguicidas), estos a su vez se subdividen en subcriterios (Propiedades de plaguicidas).
OBJETIVO DE LA MATRIZ	Proporcionar el grado de importancia o peso porcentual a tres criterios dados por las características de plaguicidas, para la selección de cuatro de plaguicidas (Alternativas).
CRITERIOS DE SELECCIÓN	Se tienen tres criterios para la selección de alternativas (plaguicidas): 1. Características de los plaguicidas que contribuye a su movilidad y transporte en el ambiente 2. Características de los plaguicidas por su toxicidad o impacto a la salud 3. Evaluación de riesgo y normatividad
SUBCRITERIOS	Dado al amplio número de subcriterios (Figura 9) que constituye cada criterio, este ítem se valorará por medio del método denominado como “Rúbrica o Matriz de valoración”, la cual se especificará en la ETAPA II.
ALTERNATIVAS	Se comprenden como 12 plaguicidas detectados en el estudio “Amenaza por micro contaminantes en fuentes de abastecimiento de agua potable”, señalados en el CAPÍTULO III: METODOLOGÍA, FASE I de interés para el desarrollo de la presente investigación.

5.1.1.1 Actividad 1: Desarrollo proceso de análisis jerárquico – AHP por expertos

Una vez recopiladas las respuestas diligenciadas en el cuestionario de Google Forms enviadas a 25 expertos, referenciados en la Tabla 40. Lista de expertos para valoración de plaguicidas, el total de respuestas obtenidas fue de ocho que. Aunque estadísticamente no represente un valor significativo; no se descarta puesto que el “PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP)” no necesita de una representatividad de los integrantes de una población, sino de una selección de elementos o personas con ciertas particularidades relacionadas con el objetivo del estudio [62]. Los resultados obtenidos a partir de su desarrollo se presentan en el ANEXO N° 1, pero su base matemática a partir de la cual se obtiene la jerarquización de criterios para la selección de plaguicidas se presenta seguidamente.

5.1.1.2 Actividad 2: Base matemática proceso de análisis jerárquico - AHP por expertos

Una vez realizada la comparación binaria entre criterios (características de plaguicidas) por cada experto, se referencian dos tipos de análisis uno cualitativo dado por la experiencia del decisor, adecuado a una escala cuantitativa para hacer medibles los datos asociados a la importancia de criterios, haciendo posible la asignación de pesos, formatos evidenciados en el ANEXO N°1 [63].

5.1.1.2.1 Ratio de consistencia de las encuestas de expertos - CR

Posterior a lo anterior se realizó el análisis del “Ratio de consistencia CR o Consistencia” de cada matriz diligenciada, garantizando que la información introducida por los expertos a la decisión es correcta o no [49]; procedimiento calculado dentro del ANEXO N°1 y resultados agrupados en la Tabla 14.

Tabla 14. Radio de consistencia de expertos encuestados

N°	EXPERTO	CR	CR%
1	Roman Stechauner Rohringer	0,01761	2%
2	Adriana Lorena Sánchez Vergara	0,00000	0%
3	Natalia Samboni Ruiz	0,01482	1%
4	Andrés Mauricio Zapata Rivera	0,05180	5%
5	Edier Humberto Pérez	0,05198	5%
6	FABIO ALONSO PRADO CERON	0,00000	0%
7	Fernando Andrés Muñoz	0,00000	0%
8	Juan Carlos García López	0,00885	1%

Fuente: Propia

En la Tabla 14 como resultado final se tiene una consistencia plena (100%), al obtener de las matrices de decisión diligenciada por cada experto ratios de consistencia CR <5%, valor idóneo para el tamaño de la matriz pareada de 3x3 [64].

5.1.1.2.2 Cálculo de vector propio y proceso para sintetizar juicios

El vector propio o valor de importancia otorgado a cada criterio de selección de plaguicidas (características de plaguicidas) fue realizado de forma grupal; sin embargo, la opinión es individual para cada experto, generando ranking o jerarquías de criterios diferentes. Así de la misma forma que la consistencia se calcula el vector propio proporcionado según el juicio de cada experto [65], jerarquías en referenciadas en el ANEXO N°1.

Para realizar la síntesis de los juicios aportados se definen un total de ocho vectores propios o valoraciones de criterios aportados por las prioridades individuales de cada experto, juicios que se integrarán mediante el proceso matemático del promedio geométrico fijado por el Proceso de análisis jerárquico (AHP) para determinar la prioridad de un grupo heterogéneo (similitud en formación académica, lugar de trabajo y objetivo de su trabajo) [1], puesto que este comprende la ponderación de porcentajes sin desfazar los valores, logrando una solución única de prioridades para criterios generales.

Tabla 15. Matriz de vectores propios para la valoración de criterios por expertos

	Vectores propios por número de experto								Vector Propio	Vector agregado
	1	2	3	4	5	6	7	8	Agregado	Normalizado
MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	0,5499	0,4444	0,5502	0,5469	0,6608	0,5000	0,3333	0,4161	0,4909	0,5112
TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	0,2098	0,4444	0,2094	0,3445	0,2081	0,2500	0,3333	0,4579	0,2924	0,3045
EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMATIVIDAD	0,2402	0,1111	0,2404	0,1085	0,1311	0,2500	0,3333	0,1260	0,1769	0,1842
Sumatoria									0,9602	1

Fuente propia

La Tabla 15 presenta el resultado final para la valoración de los criterios de selección de plaguicidas dada por el grupo de expertos, mediante un ambiente de certidumbre, pues los expertos involucrados en el estudio tienen conocimiento previo sobre los temas manejados como se evidenció en la Gráfica 6, logrando una jerarquización de criterios entorno al objetivo final del estudio, al seleccionar alternativas (plaguicidas) cuyas características provee de mayor importancia su análisis según el grado de impacto ambiental y a la salud humana a corto o largo plazo, dada su relación de variación en concentración con a las características físicoquímicas de la fuente hídrica (río Palacé).

Dando como resultado una mayor prioridad para el Criterio 1: Movilidad y transporte en el ambiente (0,5112), seguido por Criterio N°2: Toxicóloga o impacto a la salud (0,3045) y finalizando con Criterio N°3: Evaluación de riesgo y normatividad

(0,18429), como se evidencia en la Tabla 16 en sus respectivos valores porcentuales.

Tabla 16. Vectores porcentuales para criterios de selección de plaguicidas

	Vector agregado Normalizado	Vector Porcentual %
MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	0,5112	51,12
TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	0,3045	30,45
EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMATIVIDAD	0,1842	18,42
Sumatoria	1	100

Fuente: Propia

5.1.2 ETAPA II: Valoración de subcriterios por “rúbrica o matriz de valoración”

La valoración de cada Subcriterio (Propiedad de plaguicida) requiere de un sustento metodológico para su valoración, dentro de esta Etapa II se realizaron dos actividades continuas para dar secuencialidad al método, una en la cual realizó la búsqueda de los valores estimados para cada propiedad fisicoquímica por medio diferentes entidades encargadas del estudio, investigación y regulación de plaguicidas, que serán ampliadas dentro de la descripción de cada matriz según las características de estudio (Movilidad y transporte, Toxicología además de Riesgo y Normatividad) para los 12 plaguicidas medidos dentro de la fuente hídrica río Palacé.

Inmediatamente, se relacionarán las matrices elaboradas para cada criterio (características de plaguicidas) en función de los Subcriterios o propiedades fisicoquímicas de cada plaguicida además de su base o descripción teórica adaptada a la escala de valoración (Rúbrica) y finalmente su calificación en relación a la interpretación de cada propiedad según al criterio que corresponda.

5.1.2.1 Actividad I: Propiedades fisicoquímicas de los plaguicidas – movilidad y transporte en el ambiente

Los valores de las propiedades de destino ambiental referenciadas con la palabra EPI anterior a su nombre ilustradas en la Tabla 17, fueron calculados mediante el modelo EPI SUIT™ de la EPA garantizando el cálculo de las propiedades no desde la fase experimental, sino lo más acercadas a su comportamiento en el medio ambiente bajo condiciones de temperatura, pH y demás propiedades que se complementan dentro del software del programa [43], la clasificación de “Familia y Naturaleza química” por la OMS-Organización Mundial De La Salud, el “Potencial de lixiviación Gus” mediante “Catálogo de plaguicidas de centro América” [66], la “Concentración Pico” como la concentración más alta encontrada durante los monitoreos de plaguicidas [28] y el “Potencial De Contaminación De Agua Subterránea” por PAN-Red de Acción de Pesticidas de E.E.U.U [45]. Para dar mayor claridad la descripción de cada propiedad fisicoquímica se expondrá de manera detallada además de referenciada en la Tabla 18 y la valoración de cada propiedad en la Tabla 19.

Tabla 17. Subcriterios de valoración de plaguicidas en función de su movilidad y transporte en el ambiente

CRITERIO PLAGUICIDA	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE											
	Columna 1 FAMILIA Y NATURALEZA QUIMICA	Columna 2 EPI LOG Kow	Columna 3 EPI LOG Koc	Columna 4 EPI PRESION DE VAPOR (Pa)	Columna 5 EPI LEY DE HENRY (H) atm- m3/mole	Columna 6 POTENCIAL DE LIXIVIACIÓN GUS	Columna 7 CONCENTRACIÓ N PICO (µg/l)	Columna 8 EPI SOLUBILIDAD EN AGUA (m g/l)	VIDA MEDIA(h)			Columna 12 POTENCIAL CONTAMINACIÓN DE AGUA SUBTERRANEA
									Hidrólisis acuosa	Suelo Areobico	SEDIMENTOS	
<i>α-BHC</i>	Organoclorado	4,26	3,298	0,128	2,56E-04	1,62	1170,2	2,28	140	175	2292	ESTUDIOS INSUFICIENTES
<i>Lindano (γ-BHC)</i>	Organoclorado	4,26	3,228	0,0411	2,56E-04	2,87	594,7	7,366	732	708	394	NO ENLISTADO
<i>β-BCH</i>	Organoclorado	4,26	3,28	0,0351	2,56E-04	1,62	144,1	0,0894	180	360	2292	ESTUDIOS INSUFICIENTES
<i>Heptacloro</i>	Organoclorado	5,86	4,747	0,265	1,76E-04	-0,93	5,6	0,0953	23	250	229	NO ENLISTADO
<i>Endosulfan 1</i>	Organoclorado	3,5	3,205	0,00253	9,03E-08	5,28	142,1	1,487	180	360	1621	NO ES PROBABLE
<i>DDT</i>	Organoclorado	6,79	5,997	0,00014	1,53E-05	-3,89	44,9	0,00534	229	708	2292	NO ENLISTADO
<i>Clorpirifos</i>	Organofosforado	5,11	3,898	0,00399	2,52E-06	0,58	680,7	1,656	53,5	27,6	71	NO ES PROBABLE
<i>Metalaxil-M</i>	Fenilamida	1,7	1,634	0,00213	8,05E-10	2,42	931,5	560	1000	75	32,1	POTENCIAL
<i>Metoxicloro</i>	Organoclorado	5,67	3,847	0,0219	9,75E-08	-1,88	393,63	0,302	7	71	229	NO ENLISTADO
<i>4,4'-DDE</i>	Organoclorado	6,00	5,65	0,00344	3,52E-05	-3,89	2,3	0,0228	2292	2292	2292	NO ENLISTADO
<i>Lambda-cialotrina</i>	piretroide	6,85	5,069	1,000E-06	1,35E-05	-2,09	10,3	0,000853	180	360	15,1	ESTUDIOS INSUFICIENTES
<i>4,4 DDD</i>	Organoclorado	5,87	5,224	0,00123	4,34E-05	-2,46	2,9	0,0433	180	360	1621	NO ENLISTADO

Fuente: Propia

Tabla 18. Descripción y escala de valoración de propiedades que influyen en la movilidad y transporte en el ambiente de los plaguicidas

SUBCRITERIO	DESCRIPCIÓN	ESCALA DE VALORACIÓN		
		1	2	3
FAMILIA Y NATURALEZA QUÍMICA	Cada plaguicida comprende diferentes propiedades fisicoquímicas, toxicológicas según su estructura química y por tanto su familia; clasificando a los organoclorados como compuestos altamente bioacumulables, residuales además de carcinogénicos y mutagénicos, seguidos de los Organofosforados como compuestos sistémicos, inhibidores hormonales con exposiciones cortas, ambos compuestos utilizados desde el año 1940, hasta llegar a los recientes fenilaminas y piretroides, que aunque no causan impactos a esa magnitud igualmente son valorados [30]. por tanto, se asignan puntajes de 3 a los compuestos organoclorados, 2 a los compuestos organofosforados y 1 a las fenilaminas y piretroides.	Piretroides	Organofosforado	Organoclorado
		Fenilaminas		
LOG Kow	El coeficiente de partición n-octanol/agua (Log Kow) comprende la liposolubilidad o hidrosolubilidad de un compuesto químico (plaguicidas), definiendo en cierto porcentaje el destino ambiental del mismo [2]. Un valor bajo de log Kow <2,7 indica “Baja” bioacumulación, por consiguiente probable movilidad y transporte por su baja liposolubilidad al no fijarse a la MO del suelo, consecutivamente un valor de log Kow entre 2,7 -3 comprende una “Moderada” bioacumulación y por tanto afinidad a la matriz suelo, finalmente los valores de log Kow >3,0 “Alto” indican un plaguicida fuertemente bioacumulable y altamente liposoluble, fijándose con firmeza a la MO, sedimento o biota, logrando una biomagnificación en la cadena trófica al acumularse fácilmente	Bajo log Kow <2,7	Medio log Kow 2,7 – 3,00	Alto log Kow > 3,00

	en los tejidos grasos, por tanto una escasa movilidad del suelo. No obstante, plaguicidas con valores >3,0 también se pueden transportar fácilmente por escorrentía sobre la capa superficial del suelo [46, 2].			
LOG Koc	El coeficiente adsorción de carbono orgánico como la tendencia de un compuesto (plaguicida) a ser retenido por el suelo o sedimento, con influencia directa de alteración por algunas propiedades fisicoquímicas del medio ambiente, que influyen en la liberación y transporte de los mismos [5]. Cuanto menor sea el valor de Koc, mayor será la concentración del plaguicida en el agua. Es más probable que los plaguicidas con un valor alto de Koc tengan mayor afinidad por el suelo, empero en ambos casos se evidencia la tendencia a moverse a las fuentes de agua superficiales [2]. Clasificación según la FAO,2000.	Log Koc Alto (afinidad al suelo) > 4,00	Log Koc medio 2,00 – 4,00	Log Koc Bajo (fácil transporte) <2,00
EPI PRESIÓN DE VAPOR (Pa) 25°C	La presión de vapor es un determinante importante de la velocidad de volatilización desde el suelo o cuerpos de agua superficiales contaminados a aire. Un plaguicida con presión de vapor alta tiene menor afinidad por el suelo o el agua ya que tiene alto potencial de pasar a estado gaseoso (vaporizarse), mientras que un plaguicida con baja presión de vapor tiende a conservarse en las condiciones que fue aplicado [2]. Se considera una presión de vapor [67]:	Alta Vaporización = Baja Afinidad por el agua o suelo > 1,0 *10-5	Media Vaporización = Media Afinidad por el agua o suelo 5,0 *10-6 – 1,0 *10-5	Baja Vaporización = Alta Afinidad por el agua o suelo < 5,0 *10-6
LEY DE HENRRY (H) atm-m3/mole	La tendencia de un plaguicida a volatilizarse del agua o suelo húmedo a la atmosfera depende la solubilidad en agua, la presión de vapor y el peso molécula del compuesto. Un valor alto de la ley de Henry (Hc) indica que un plaguicida tiene un potencial elevado de volatilización del suelo, mientras un valor bajo predice un mayor potencial de lixiviación del plaguicida [2]	Volátil del suelo al Aire > 2,5 x 10-5	Moderado volatilidad 2,5 x 10-7 - 2.5 x 10-5	No volátil, alto potencial de lixiviación <2,5 x 10-7

POTENCIAL DE LIXIVIACIÓN GUS		Los compuestos aplicados al suelo tienden a desplazarse con el agua y lixiviar a través del perfil, alcanzando las aguas subterráneas, que en consecuencia resultan contaminadas. Un Índice de potencial de lixiviación GUS confirma el alto riesgo de contaminación de los cuerpos de agua subterráneos. De acuerdo con Gustafson, DI (1989), el potencial de lixiviación se define así [68]:	Baja Lixiviación < 1.8	Valores entre 2.8 y 1.8 son intermedio	Alta posibilidad de lixiviación > 2.8
SOLUBILIDAD EN AGUA (mg/l)		Los plaguicidas con alta solubilidad en agua (Hidrosolubles) tienden a tener baja afinidad al suelo y por tanto son fácilmente transportables a las fuentes de agua tanto superficiales como subterráneas o por lo contrario alta bioacumulación y afinidad al sedimento; sin embargo, este parámetro es sensible al pH y también se han encontrado plaguicidas con baja solubilidad en ambos tipos de fuente de agua [2]. Se clasifican de acuerdo al manual de referencia de la FAO sobre la evaluación de la contaminación del suelo como lo indica su parámetro, pero se tiene en cuenta su análisis comparativo con el Log Kow.	Prácticamente insolubles <0.10	Mediana Solubles 0,1 - 10	Solubles Mayor afinidad por el Agua >10
VIDA MEDIA (Días)	Hidrólisis acuosa DT50 20°C	La persistencia de cada plaguicida está definida por el tiempo que requiere después de su aplicación para degradar la mitad de su concentración sea por hidrólisis, fotólisis o biodegradación. Este proceso puede tardar días, meses o años; como lo es en la mayoría de los casos de los plaguicidas medidos, considerándose altamente persistentes en el ambiente y con mayor potencial de lixiviación [5]. Su valoración se realizará mediante la escala del Manual De Plaguicidas De Centroamérica [66]	No persistente <30 Días	Persistente 30 - 365 Días	Muy persistente > 365 Días
	Suelo Aéreo				
	Sedimentos				
POTENCIAL CONTAMINACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA		PAN-Red de Acción de Pesticidas de E.E.U.U, estudia el potencial peligro por contaminación de las aguas subterráneas según solubilidad en agua, capacidad de adherirse al suelo y vida media de cada plaguicida, datos cuantitativos analizados cuya clasificación en la base de datos de PAN es cualitativa	No es probable O No enlistado	Probable	Conocido O Estudios insuficientes

	de tres formas: Conocido, Probable e Estudios insuficientes o No enlistados [45], esta última clasificación es dada para plaguicida cuyo uso esté prohibido hace décadas en California; por tanto, no se agrega a lista pero comprende un mayor análisis de interés pues estos plaguicidas aparecen en el monitoreo de plaguicidas de la fuente hídrica río Palacé.			
--	--	--	--	--

Fuente: Propia

Tabla 19. Valoración de propiedades que influyen en la movilidad y transporte en el ambiente de los plaguicidas

CRITERIO PLAGUICIDA	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE											
	Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 8	Columna 9	Columna 10	Columna 11	Columna 12	SUBTOTAL 1
	FAMILIA Y NATURALEZA QUIMICA	EPI LOG Kow	EPI LOG Koc	EPI PRESION DE VAPOR (Pa) 25°C	EPI LEY DE HENRY (H) atm·m ³ /mole	POTENCIAL DE LIXIVIACIÓN GUS	EPI SOLUBILIDAD EN AGUA (mg/l)	VIDA MEDIA(Días)			POTENCIAL CONTAMINACIÓN DE AGUA SUBTERRANEA	
							Hidrólisis acuosa	Suelo Areobico	SEDIMENTOS			
<i>α</i> -BHC	3	3	2	1	1	2	2	2	2	3	3	24
Lindano (<i>γ</i> -BHC)	3	3	2	1	1	3	2	3	3	3	1	25
<i>β</i> -BCH	3	3	2	1	1	2	1	2	3	3	3	24
Heptacloro	3	3	1	1	1	1	1	1	2	2	1	17
Endosulfan 1	3	3	2	1	3	3	2	2	3	3	1	26
DDT	3	3	1	1	2	1	1	2	3	3	1	21
Clorpirifos	2	3	2	1	2	1	2	2	1	1	1	18
Metalaxil-M	1	1	3	1	3	2	3	3	2	2	2	23
Metoxicloro	3	3	2	1	3	1	2	1	2	2	1	21
4,4'-DDE	3	3	1	1	1	1	1	3	3	3	1	21
Lambda-cialotrina	1	3	1	2	2	1	1	2	3	1	3	20
4,4 DDD	3	3	1	1	1	1	1	2	3	3	1	20

Fuente: Propia

5.1.2.2 Actividad 2: Propiedades toxicológicas: toxicidad aguda y crónica

Cada plaguicida comprende diferentes características toxicológicas además de riesgo por exposición dependiendo de su estructura química (columna 1, Tabla 17). Por lo cual, para realizar una evaluación del posible peligro por la exposición de los ingredientes activos de plaguicidas encontrados en la fuente hídrica río Palacé, se realiza la agrupación de tantas propiedades como impactos a la salud, se registren en la entidades gubernamentales y/o institucionales como la Organización Mundial De La Salud (OMS), Red de Acción de Pesticidas (PAN) de E.E.U.U, La PROPOSICIÓN 65 y Base de datos de propiedades de plaguicidas (PPBD) Universidad Hertfordshire. La Tabla 20 presenta la matriz de propiedades fisicoquímicas relacionadas a toxicología y posteriormente en la Tabla 21 descripción junto con la escala de valoración “Rúbrica” de cada propiedad.

Tabla 20. Subcriterios de valoración de plaguicidas en fusión de la Toxicología

CRITERIO PLAGUICIDA	TOXICOLOGIA: TOXICIDAD AGUDA Y EFECTOS A LARGO PLAZO											
	Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6	Columna 7	Columna 8	Columna 9	Columna 10	Columna 11	Columna 12
	DOSIS LETAL 50 (DL50) (mg kg ⁻¹)	CONCENTRACION LETAL 50 (CL50) (mg l ⁻¹)	CONCENTRACION LETAL 50 Agua peces 96 h (CL50) (mg l ⁻¹)	CATEGORIA TOXICOLOGICA	TOXICIDAD AGUDA	CARCINOGENICO	INHIBIDOR ACETILCOLINESTERASA	DISRUPTOR ENDOCRINO	EFFECTOS REPRODUCTIVOS/ DESARROLLO	NEUROTOXICO	TOXINA DE ABEJAS	Nº PUERTO SEGURO NSRL - Nivel de riesgo no significativo (µg / día)
α-BHC	177	0.013	>0,820	NL (no listado)	ESTUDIOS INSUFICIENTES	SI	NO	ESTUDIOS INSUFICIENTES	ESTUDIOS INSUFICIENTES	POSIBLEMENTE	NO ENLISTADO	0,3
Lindano (γ-BHC)	163	1,56	0,0029	II (Moderadamente peligroso)	SI	SI	NO	SI	ESTUDIOS INSUFICIENTES	SI	SI	0,6
β-BCH	38	0.013	>0,820	II (Moderadamente peligroso)	ESTUDIOS INSUFICIENTES	SI	NO	SOSPECHADO	ESTUDIOS INSUFICIENTES	POSIBLEMENTE	ESTUDIOS INSUFICIENTES	0,5
Heptacloro	147	2,00	0,007	II (Moderadamente peligroso)	SI	SI	NO	SOSPECHADO	SI	SI	NO ENLISTADO	0,2
Endosulfan 1	38	0,013	0,002	II (Moderadamente peligroso)	SI	NO	NO	SI	SI	SI	NO ENLISTADO	NO APARECE
DDT	113	0,01	>2,5	II (Moderadamente peligroso)	MODERAR	SI	NO	SI	SI	SI	NO ENLISTADO	0,2
Clorpirifos	66	0,1	0,025	II (Moderadamente peligroso)	MODERAR	NO	SI	SOSPECHADO	SI	SI	SI	0,58
Metaxil-M	375	2,29	>100	Extremadamente tóxicos NL (no listado)	MODERAR	NO	NO	ESTUDIOS INSUFICIENTES	ESTUDIOS INSUFICIENTES	NO	NO ENLISTADO	NO APARECE
Metoxicloro	6000	0.015	0,052	probable que presente un peligro	LEVE	INCLASIFICABLE	NO	SI	ESTUDIOS INSUFICIENTES	NO	NO ENLISTADO	NO APARECE
4,4-DDE	880	0,01	0,032	NL (no listado)	ESTUDIOS INSUFICIENTES	SI	NO	SOSPECHADO	SI	SI	NO ENLISTADO	0,2
Lambda-cialotrina	56	0,066	0,00021	II (Moderadamente peligroso)	MODERAR	NO	NO	SOSPECHADO	ESTUDIOS INSUFICIENTES	NO	SI	NO APARECE
4,4 DDD	113	0,01	>0,07	O (sustancia obsoleta)	ESTUDIOS INSUFICIENTES	SI	NO	SOSPECHADO	ESTUDIOS INSUFICIENTES	NO	NO ENLISTADO	0,2

Fuente: Propia

Tabla 21. Descripción y escala de valoración de propiedades toxicológicas de los plaguicidas

SUBCRITERIO	DESCRIPCIÓN	ESCALA DE VALORACIÓN			
		0	1	2	3
DOSIS LETAL 50 (DL50) (mg kg⁻¹)	El método más comúnmente empleado y avalado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para medir la toxicidad es la Dosis Letal 50 (DL50), definida como la cantidad mínima ingerida por vía oral de una sustancia que es capaz de matar al 50% de una población de animales de prueba, generalmente durante un corto periodo de tiempo, un valor bajo de DL50 indica alta toxicidad, La clasificación de la OMS es la siguiente [69].	NA	DL ₅₀ > 500 mg/l Ligerament e peligrosa	DL ₅₀ 50 – 500 mg/l Moderada mente peligrosa	DL ₅₀ < 50 mg/l Altamente peligrosa
CONCENTRACIÓN LETAL 50 (CL50) (mg/l⁻¹)	El valor de LC50 es la concentración del químico en el aire que mata el 50% de los animales de ensayo en un tiempo determinado (usualmente 4 horas), Se tiene en cuenta en la priorización ya que algunos plaguicidas son altamente volátiles, de acuerdo a guías de la OMS 2004 [69]	NA	CL ₅₀ > 1 mg/l Nocivo	CL ₅₀ 0,25 – 1 mg/l Tóxico	CL ₅₀ < 0,25 mg/l Muy Tóxico
CONCENTRACIÓN LETAL 50 Agua peces 96 h (CL50) (mg l⁻¹)	Este valor generalmente se usa cuando se hace referencia a la toxicidad de un plaguicida para los organismos (peces) expuestos a través de una matriz como el agua [69]. Teniendo en cuenta que en la subcuenca se desarrollan actividades piscícolas importantes para el sustento de familias cercanas a la subcuenca, este criterio es muy importante.	NA	Peligrosida d Baja > 100	Peligrosida d Moderada 0.1 y 100	Peligrosidad Alta <0,1
EFECTOS AGUDOS Y CRÓNICOS	Los plaguicidas se consideran como sustancias químicas capaces de producir efectos adversos a la salud humana a corto, mediano y largo plazo; efectos que pueden ser durante un corto periodo de tiempo (agudos) y acumulativos (crónicos) por exposiciones a bajas concentraciones de plaguicidas [30]. Dado que los plaguicidas medidos dentro de la fuente hídrica río Palacé tienen uno o más características agudas y/o crónicas (Carcinogénicas, Inhibidores de la acetilcolinesterasa, disruptor endocrino Efectos reproductivos/Desarrollo, Neurotóxicos), se	No Probable Evidencia que no lo clasifica	Posible Razones para clasificarlo	Sospechos o Hay evidencia para su clasificación	SI Reconocido por la EPA Y la proposición 65 o Estudios insuficientes

	clasifica de manera Cualitativa por PAN-Red de Acción de Pesticidas de E.E.U.U y PPDB-Base de datos de plaguicidas de la Universidad de la Hertfordshire, adaptada a la escala cuantitativa para realizar la valoración de cada compuesto.				Plaguicida prohibido, pero aparece en los Monitoreos.
N° PUERTO SEGURO NSRL-Nivel de riesgo no significativo (μg / día)	La Proposición 65 de California como único estado que regula de manera completa todos los posibles impactos que pueda generar los plaguicidas, ha implementado un Nivel de puerto seguro, Niveles de exposición admisible de concentraciones de plaguicidas hasta los cuales no causaría ningún efecto negativo sobre la salud humana [70]. Por ello, se comparan las concentraciones Pico de los plaguicidas Columna 9, Tabla 17 con NLRS para evaluar la exposición de estos en la subcuenca del río Palacé y su posible impacto sobre la población de influencia de la fuente hídrica.	NO REGISTRADA	Si Cumple		No Cumple

Fuente: Propia

Tabla 22. Valoración de propiedades toxicológicas de los plaguicidas

CRITERIO PLAGUICIDA	TOXICOLOGIA: TOXICIDAD AGUDA Y EFECTOS A LARGO PLAZO											SUBTOTAL 2
	COLUMNA 1	COLUMNA 2	COLUMNA 3	COLUMNA 4	COLUMNA 5	COLUMNA 6	COLUMNA 7	COLUMNA 8	COLUMNA 9	COLUMNA 10	COLUMNA 11	
	DOSIS LETAL 50 (DL50) (mg kg ⁻¹)	CONCENTRACION LETAL 50 (CL50) (mg l ⁻¹)	CONCENTRACION LETAL 50 Agua peces 96 h (CL50) (mg l ⁻¹)	CATEGORIA TOXICOLOGICA	TOXICIDAD AGUDA	CARCINOGENICO	INHIBIDOR ACETILCOLINESTERASA	DISRUPTOR ENDOCRINO	EFFECTOS REPRODUCTIVOS/DESARROLLO	NEUROTOXICO	N° PUERTO SEGURO NSRL-Nivel de riesgo no significativo (μg / día)	
α -BHC	2	3	2	3	3	3	0	3	3	1	3	26
Lindano (γ -BHC)	2	1	3	2	3	3	0	3	3	3	3	26
β -BCH	3	3	2	2	3	3	0	2	3	1	3	25
Heptaclo	2	1	3	2	3	3	0	2	3	3	3	25
Endosulfan 1	3	3	3	2	3	0	0	3	3	3	3	26
DDT	2	3	2	2	2	3	0	3	3	3	3	26
Clorpirifos	2	3	3	2	2	0	3	2	3	3	3	26
Metalaxil-M	1	1	1	3	2	0	0	3	3	0	3	17
Metoxicloro	1	3	3	1	1	0	0	3	3	0	3	18
4,4'-DDE	1	3	3	3	3	3	0	2	3	3	3	27
Lambda-cialotrina	2	3	3	2	2	0	0	2	3	0	3	20
4,4 DDD	2	3	3	3	3	3	0	2	3	0	3	25

Fuente: Propia

5.1.2.3 Actividad 3: Evaluación de riesgo y normatividad

En la regulación de normatividad internacional vigente para la exposición a concentraciones de plaguicidas, se tiene a Holanda como el único país encontrado que comprende dentro de su normatividad límites máximos permisibles específicos de concentraciones de plaguicidas en agua superficial [66], también el convenio de Estocolmo entrado en vigor desde el año 2004 el cual regula los COP-Compuestos orgánico persistentes [71] además de PAN ASIA que clasifica a los PAP-Plaguicidas altamente peligrosos.

Tabla 23. Subcriterios de valoración de plaguicidas en fusión del riesgo y normatividad

CRITERIO PLAGUICIDA	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMATIVIDAD					
	Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4	Columna 5	Columna 6
	FRECUENCIA DE APLICACIÓN	CANTIDAD DE APLICACIÓN (Ha)	PERSISTENCIA COMBENIO DE ESTOCOLMO	CONDICIÓN (Norma)	LIMITE PERMISIBLE Agua superficial (ng/L) Holanda	PAP - Plaguicida altamente prligroso
<i>α-BHC</i>	NO APLICA	NO APLICA	COP	prohibido	prohibido sin LMR	SI
<i>Lindano (γ-BHC)</i>	NO APLICA	NO APLICA	COP	prohibido	0,92	SI
<i>β-BCH</i>	NO APLICA	NO APLICA	COP	prohibido	prohibido sin LMR	SI
<i>Heptacloro</i>	NO APLICA	NO APLICA	COP	prohibido	0,0005	NO ENLISTADO
<i>Endosulfan 1</i>	NO APLICA	NO APLICA	COP	prohibido	0,01	SI
<i>DDT</i>	NO APLICA	NO APLICA	COP	prohibido	0,0009	SI
<i>Clorpirifos</i>	7 aplicaciones	400-500 cm ³	NO-COP	vigente	0,01	SI
<i>Metalaxil-M</i>	17 aplicaciones	1 kg	NO-COP	vigente	9,7	NO ENLISTADO
<i>Metoxicloro</i>	4 aplicaciones	200-300 cm ³	COP	vigente	no registra	SI
<i>4,4'-DDE</i>	NO APLICA	NO APLICA	COP	prohibido	prohibido sin LMR	NO ENLISTADO
<i>Lambda-cialotrina</i>	4 aplicaciones	500-400 cm ³	NO-COP	vigente	no registra	SI
<i>4,4 DDD</i>	NO APLICA	NO APLICA	COP	prohibido	prohibido sin LMR	NO ENLISTADO

Fuente: Propia

Tabla 24. Descripción y escala de valoración de riesgo y normatividad de los plaguicidas

SUBCRITERIO	DESCRIPCIÓN	ESCALA DE VALORACIÓN			
		0	1	2	3
FRECUENCIA DE APLICACIÓN	Teniendo en cuenta la asesoría de un ingeniero agrónomo experto, se determinó aproximadamente el número de aplicaciones de cada plaguicida durante toda la etapa de cultivo de papa, como el más representativo en la parte alta de la subcuenca del río Palacé. Nota: este criterio no aplica NA para los plaguicidas que se encuentran prohibidos	NA	Leve 1 vez Durante el cultivo	Moderad a 2-4 veces durante el cultivo	Severa >4 veces durante el cultivo
CANTIDAD DE APLICACIÓN (Ha)	Teniendo en cuenta la asesoría del ingeniero agrónomo experto y las etiquetas de cada plaguicida se determinó una escala de valoración para la cantidad de aplicación por Ha en la región de la misma forma que el subcriterio anterior. Nota: este criterio no aplica para los plaguicidas que se encuentran prohibidos	NA	Aplicación* Ha <200 cm ³	Aplicación*Ha entre 200 - 300cm ³	Aplicación*Ha >400 cm ³ o 1 kg
PERSISTENCIA CONVENIO DE ESTOCOLMO	Referenciado como el convenio adoptado por más 127 países, para prohibir o minimizar el uso de 12 sustancias altamente tóxicas, consideradas causantes de cáncer, y defectos congénitos en personas y animales, además de su alta persistencia, bioacumulación y biomagnificación en la cadena trófica [71]. Nota: El convenio clasifica a estos compuestos como COP-Compuestos orgánico Persistentes.	NA	NO-COP		COP
CONDICIÓN ACTUAL	Este criterio hace referencia a los plaguicidas que se encuentran vigentes o prohibidos en el mercado. Varios de los plaguicidas que referencian concentraciones dentro del río Palacé se encuentran prohibidos y no tienen registros en las casas comerciales, por sus amplias características físicas, químicas y toxicológicas capaces de causar daño al ambiente al igual que a la salud humana.	NA	Vigente		Prohibido

	Nota: Por lo anterior este parámetro tiene una escala cualitativamente adaptada a una cuantitativa.				
CONCENTRACIÓN PICO Y LÍMITE PERMISIBLE Agua superficial (ng/L) Holanda	Se define como la concentración máxima encontrada al final de los monitoreos de plaguicidas en la subcuenta del río Palace medida en (µg/l), estos valores se comparan con límites máximos permisibles para aguas superficiales de Holanda [66], encontrados en la Columna 5, Tabla 23; por lo ende, esta clasificación es dicotómica y cualitativa referenciada en si cumple o no.	NA	Si cumple		No cumple
PAP – PLAGUICIDA ALTAMENTE PELIGROSO	PAN-Red de acción de Plaguicidas de Asia, clasifica los pesticidas como altamente peligrosos si son conocidos por su alta toxicidad aguda, efectos tóxicos a largo plazo y son disruptores endocrinos. Los PAP también son plaguicidas que representan un peligro para los ecosistemas y son de gran preocupación ambiental [72].	NA	NO LISTADO		LISTADO

Fuente: Propia

Tabla 25. Valoración de riesgo y normatividad de los plaguicidas

CRITERIO PLAGUICIDA	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMATIVIDAD						SUBTOTAL 3
	Columna 1 FRECUENCIA DE APLICACIÓN	Columna 2 CANTIDAD DE APLICACIÓN (Ha)	Columna 3 PERSISTENCIA COMBENIO DE ESTOCOLMO	Columna 4 CONDICIÓN (Norma)	Columna 5 LÍMITE PERMISIBLE Agua superficial (ng/L)	Columna 6 PAP - Plaguicida altamente peligroso	
<i>α-BHC</i>	0	0	3	3	3	3	12
<i>Lindano (γ-BHC)</i>	0	0	3	3	3	3	12
<i>β-BCH</i>	0	0	3	3	3	3	12
<i>Heptacloro</i>	0	0	3	3	3	0	9
<i>Endosulfan 1</i>	0	0	3	3	3	3	12
<i>DDT</i>	0	0	3	3	3	3	12
<i>Clorpirifos</i>	3	3	1	1	3	3	14
<i>Metalaxil-M</i>	3	3	1	1	3	0	11
<i>Metoxicloro</i>	3	2	0	1	1	3	10
<i>4,4'-DDE</i>	0	0	0	3	3	0	6
<i>Lambda-cialotrina</i>	2	3	1	1	1	3	11
<i>4,4 DDD</i>	0	0	0	3	3	0	6

Fuente: Propia

5.1.3 ETAPA III: Selección de plaguicidas a estudiar

Realizada la jerarquización de los criterios de selección de plaguicidas y valoradas las propiedades fisicoquímicas del compuesto, mediante la gestión de datos de expertos y plaguicidas realizada anteriormente. Cada alternativa de selección (plaguicida) medido sobre la fuente hídrica río Palacé, dio como resultado la siguiente jerarquización, para lo cual la sumatoria de las Tabla 19, Tabla 22 y Tabla 25, se multiplicará por el nivel de importancia Tabla 16 de cada criterio dado por el método AHP.

Tabla 26. Selección de plaguicidas de estudio

CRITERIO PLAGUICIDA	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	TOXICOLOGIA: TOXICIDAD AGUDA Y EFECTOS A LARGO PLAZO	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMATIVIDAD	TOTAL
NIVEL DE IMPORTANCIA	51,12%	30,45%	18,43%	100%
<i>α-BHC</i>	12	8	2,2	22
<i>Lindano (γ-BHC)</i>	13	8	2,2	23
<i>β-BCH</i>	12	8	2,2	22
<i>Heptacloro</i>	9	7	1,7	17
<i>Endosulfan 1</i>	13	7	2,2	23
<i>DDT</i>	11	7	2,2	20
<i>Clorpirifos</i>	10	6	2,6	19
<i>Metalaxil-M</i>	12	5	2,0	19
<i>Metoxicloro</i>	11	5	1,8	18
<i>4,4'-DDE</i>	11	9	1,1	20
<i>Lambda-cialotrina</i>	11	6	2,0	19
<i>4,4 DDD</i>	10	8	1,1	19

Fuente: Propia

El objetivo final para el desarrollo de esta fase es seleccionar 4 plaguicidas cuya importancia por la peligrosidad de su posible consumo o exposición, además del destino ambiental al igual que su comportamiento en el medio; obteniendo como los plaguicidas con mayor puntuación evidenciada en la Tabla 26, el **Lindano** seguido de sus compuestos parentales **α-BHC** y **β-BHC**, se toman dichos compuestos al tener como base que estos tienen un mayor riesgo de transporte, peligrosidad a su exposición que su compuesto parental y con ello evaluar su proceso de interacción con las condiciones naturales (parámetros fisicoquímicos), al igual que las precipitaciones.

Finalmente, como cuarto plaguicida **Clorpirifos** seleccionado en el ANEXO N° 1 por el 50% de los expertos, dado su uso continuo y vigente dentro de diferentes cultivos, obteniendo así una selección de plaguicidas de importancia sobre los diversos campos que tengan acción estos compuestos.

5.2 FASE II: DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS, RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN, CONCENTRACIÓN DE PLAGUICIDAS EN EL RÍO PALACÉ

La delimitación del área de investigación dentro de la subcuenca del río Palacé localiza en el municipio de Totoró, comprendiendo la siguiente clasificación:

1. Bosque y suelo alto-andino con clima muy frío húmedo entre los 3000 a 3200 m;
2. Bosque fragmentado en suelo subandino alta montaña de clima frío húmedo entre los 2800 a 3000 m y
3. Bosque y suelo de montaña entre 2400 a 2800 m, en los cuales se localizan los puntos de humedal de Calvache, Siberia y Hatico respectivamente, al igual que tres estaciones meteorológicas de Gabriel López, Totoró y Polindara e Hidrológica de Malvaza ambas variables ilustradas en el Mapa 2.

Mapa 2. Delimitación subcuenca río Palacé, puntos de monitoreo de parámetros fisicoquímicos y estaciones meteorológicas e hidrológica



Fuente: Propia

5.2.1 ETAPA I: Determinación de parámetros fisicoquímicos sobre la fuente hídrica río Palacé

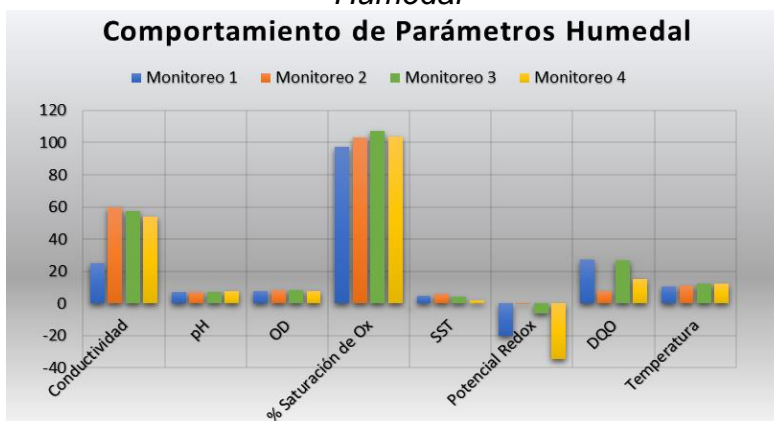
El comportamiento de la concentraciones de los nueve parámetros divididos en dos bloques cuantitativos: Datos físicos (Conductividad, Temperatura, SST, potencial Redox) y Datos químicos (pH, OD, DBO y DQO) medidos sobre el río Palacé, se relacionan mediante Gráficas realizando una contraposición de manera adimensional sobre el Eje (y) según el punto y monitoreo al cual corresponda, pues

solo se desea analizar su tendencia o comportamiento general, ya que la correlación de variación en concentración se realizará posteriormente en función al comportamiento climático (Etapa III) o a la concentración de plaguicidas (Etapa IV).

5.2.1.1 Actividad 1: Comportamiento parámetros fisicoquímicos humedal de Calvache

Este punto es localizado dentro del río Palacé aguas arriba al tránsito de la fuente hídrica por el humedal de Calvache en territorio alto andino, continuo al páramo sobre la subcuenca alta, tiene un régimen lineal con baja variabilidad en su características fisicoquímicas, comportamiento para el Potencial de hidrógeno pH con un rango entre 6.97 – 7.6, OD - Oxígeno Disuelto entre 7.62 – 8.1 mg/l, % Saturación de oxígeno 97.6 – 107% y la Temperatura 10.7°C – 12.1°C pero variable en potencial Redox -0.1 ; -34 mV, conductividad 25.2 – 59.9 $\mu\text{s/cm}$, DQO < 15 – 27.1 mg/l y SST 2.0 – 6.0 mg/l como se evidencia en la Tabla 27 y Gráfica 3, relacionado con el comportamiento natural de la fuente dada la alta cantidad de minerales, metales y ácidos húmicos atribuidos al lecho del Río característico de zonas de alta montaña.

Gráfica 3. Comportamiento de parámetros fisicoquímicos en el río Palacé sobre Humedal



Fuente: Propia

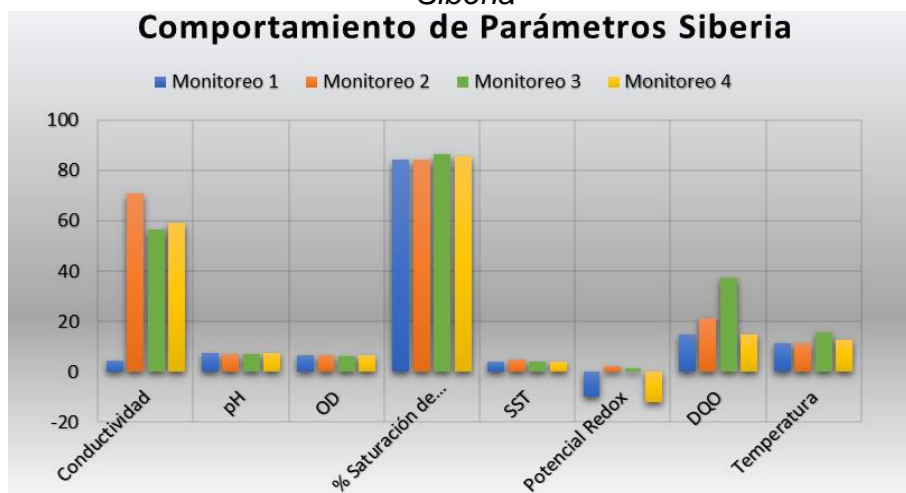
Tabla 27. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos en el río Palacé sobre humedal de Calvache

PUNTO		1. CONCENTRACIÓN HUMEDAL			
Parámetro	unidad	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4
Conductividad	$\mu\text{s/cm}$	25,2	59,9	57,5	53,7
pH		7,09	6,97	7,09	7,6
OD	mg/l	7,62	7,97	8,1	7,85
% Saturación de Ox	%	97,6	103	107	103,9
SST	mg/l	5	6	4	2
Potencial Redox	mV	-20	-0,1	-6,2	-34,4
DBO	mg/l	<10	<10	<10	<10
DQO	mg/l	27,1	<15	26,9	<15
Temperatura	°C	10,7	11,1	12,1	12

5.2.1.2 Actividad 2: Comportamiento parámetros fisicoquímicos Siberia

Punto intermedio de medición de las características físicas y químicas del río Palacé, dentro de la zona de mayor explotación agrícola y posterior a su recarga después del paso por ecosistema del humedal, localizado en el territorio de alta montaña posterior al páramo sobre la subcuenca alta; la Tabla 28 y Gráfica 4. Comportamiento de parámetros fisicoquímicos en el río Palacé sobre Siberia, similar al punto anterior muestra un comportamiento lineal para el Potencial de hidrógeno pH con un rango entre 6.96 – 7.6, OD - Oxígeno Disuelto entre 6.34 – 6.55 mg/l, %Saturación de oxígeno 84.3 – 86.5%, SST 2.0 – 6.0 mg/l y la Temperatura 11.2°C – 15.7°C, pero variable en conductividad 4.4 – 70.8 $\mu\text{s}/\text{cm}$, DQO < 15 – 37.4 mg/l y las dos condiciones de Potencial Redox tanto positivo 1.2; 2.4 mV como negativo –10; –12.2 mV además de una disminución en la calidad de la fuente dada la reducción del OD y aumento de la DQO.

Gráfica 4. Comportamiento de parámetros fisicoquímicos en el río Palacé sobre Siberia



Fuente: Propia

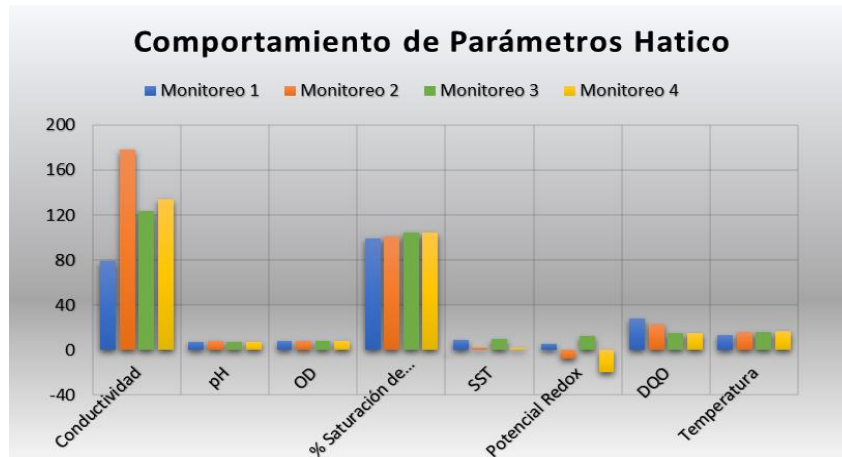
Tabla 28. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos en el río Palacé sobre Siberia

PUNTO		2. CONCENTRACIÓN SIBERIA			
Parámetro	unidad	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4
Conductividad	$\mu\text{s}/\text{cm}$	4,4	70,8	56,3	58,9
pH		7,6	7,11	6,96	7,22
OD	mg/l	6,55	6,47	6,34	6,38
% Saturación de Ox	%	84,3	84,3	86,5	85,6
SST	mg/l	4	5	4	4
Potencial Redox	mV	-10	2,4	1,2	-12,2
DBO	mg/l	<10	<10	<10	<10
DQO	mg/l	<15	21,5	37,4	<15
Temperatura	°C	11,2	11,5	15,5	12,7

5.2.1.3 Actividad 3: Comportamiento parámetros fisicoquímicos Hatico

Como último punto analizado localizado sobre la subcuenca intermedia del río Palacé, donde sus características geográficas, climáticas, lecho del río, comportamiento hidráulico y por tanto de los parámetros fisicoquímicos cambian al pasar de alta montaña a condiciones de montaña, en relaciones a los dos anteriores puntos comprende un aumento en el rango de medición para cada parámetro siendo los más notables la conductividad 79.2 – 178.4 $\mu\text{s}/\text{cm}$, % Saturación de oxígeno 99 – 104.6% regido por el OD - Oxígeno Disuelto entre 7.53 – 7.86 mg/l al compararse con la Temperatura 13.4°C – 17.0°C, se tiene un Potencial de hidrógeno pH con un rango neutro 7.03 – 7.58 y DQO < 15 – 27.5 mg/l al igual que los anteriores puntos. Por otro lado, aumenta el régimen de variabilidad en SST 2.0 – 10.0 mg/l y las dos condiciones de Potencial Redox tanto positivo 5.0 ; 12.5 mV como negativo –7.5; –20.2 mV para diferentes monitoreos en el punto y en comparación al anterior que presenta la misma condición, enseñados en la Tabla 29y Gráfica 5.

Gráfica 5. Comportamiento de Parámetros fisicoquímicos en el río Palacé sobre Hatico



Fuente: Propia

Tabla 29. Concentraciones de parámetros fisicoquímicos en el río Palacé sobre Hatico

PUNTO		3. CONCENTRACIÓN HATICO			
Parámetro	unidad	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4
Conductividad	$\mu\text{s}/\text{cm}$	79,2	178,4	123,3	134,2
pH		7,03	7,58	7,2	7,35
OD	mg/l	7,86	7,53	7,81	7,63
% Saturación de Ox	%	99	100,6	104	104,6
SST	mg/l	9	2	10	2
Potencial Redox	mV	5	-7,5	12,5	-20,2
DBO	mg/l	<10	<10	<10	<10
DQO	mg/l	27,5	22,5	<15	<15
Temperatura	°C	13,4	15,5	15,8	17

Si bien se plantearon 9 parámetros a medir se obtuvieron concentraciones de 8, pues en los análisis de DBO realizados por el laboratorio de la CRC-Corporación autónoma regional del Cauca no registró niveles representativos <10 mg/l en todos los monitoreos y puntos, además de ellos el % Saturación de oxígeno - PSO y la Temperatura se tienen como parámetros anexos para evaluar la calidad de la fuente hídrica, ya que el análisis comparativo solo se realizará con los parámetros expuesto en la Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de mayor incidencia en el comportamiento de los plaguicidas.

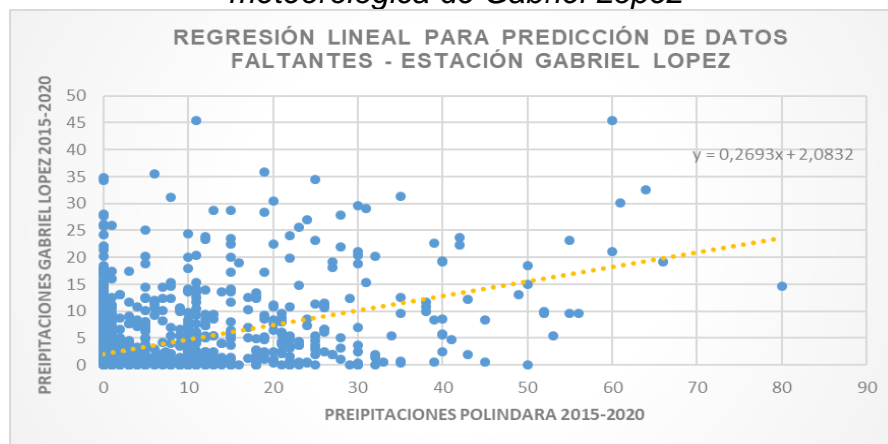
5.2.2 ETAPA II: *Recolección, evaluación de calidad de datos de precipitaciones en la subcuenca del río Palacé*

La información de precipitación y caudal de la subcuenca del río Palacé se obtuvo para las estaciones localizadas en el Mapa 2. Delimitación subcuenca río Palacé, puntos de monitoreo de parámetros fisicoquímicos y estaciones meteorológicas e hidrológica, para dos intervalos de tiempo con fechas del 11 de enero al 07 de mayo (medición de concentraciones de plaguicidas) contrapuesta al 01 de septiembre a 31 diciembre (mediciones puntuales de parámetros fisicoquímicos).

5.2.2.1 Actividad 1: *Desarrollo método de estimación de precipitaciones faltantes*

Puesto que las estimaciones requeridas son diarias y no mensuales o anuales como en otros casos para los cuales se puede tomar una precipitación media; los datos sintetizados son extensos. Por consiguiente, solo se presentará la fracción correspondiente a la sección que carece del registro de datos como se observa en la Tabla 30, teniendo en cuenta que esta proyección se realizó desde el 01 de enero del 2015 hasta 30 de abril de 2020, mediante la ecuación dada en la Gráfica 6. Línea de regresión, cálculo de datos faltantes de la estación meteorológica de Gabriel López.

Gráfica 6. *Línea de regresión, cálculo de datos faltantes de la estación meteorológica de Gabriel López*



Fuente: Propia

Tabla 30. Datos de precipitación y cálculo de datos faltantes de la estación meteorológica de Gabriel López (mm)

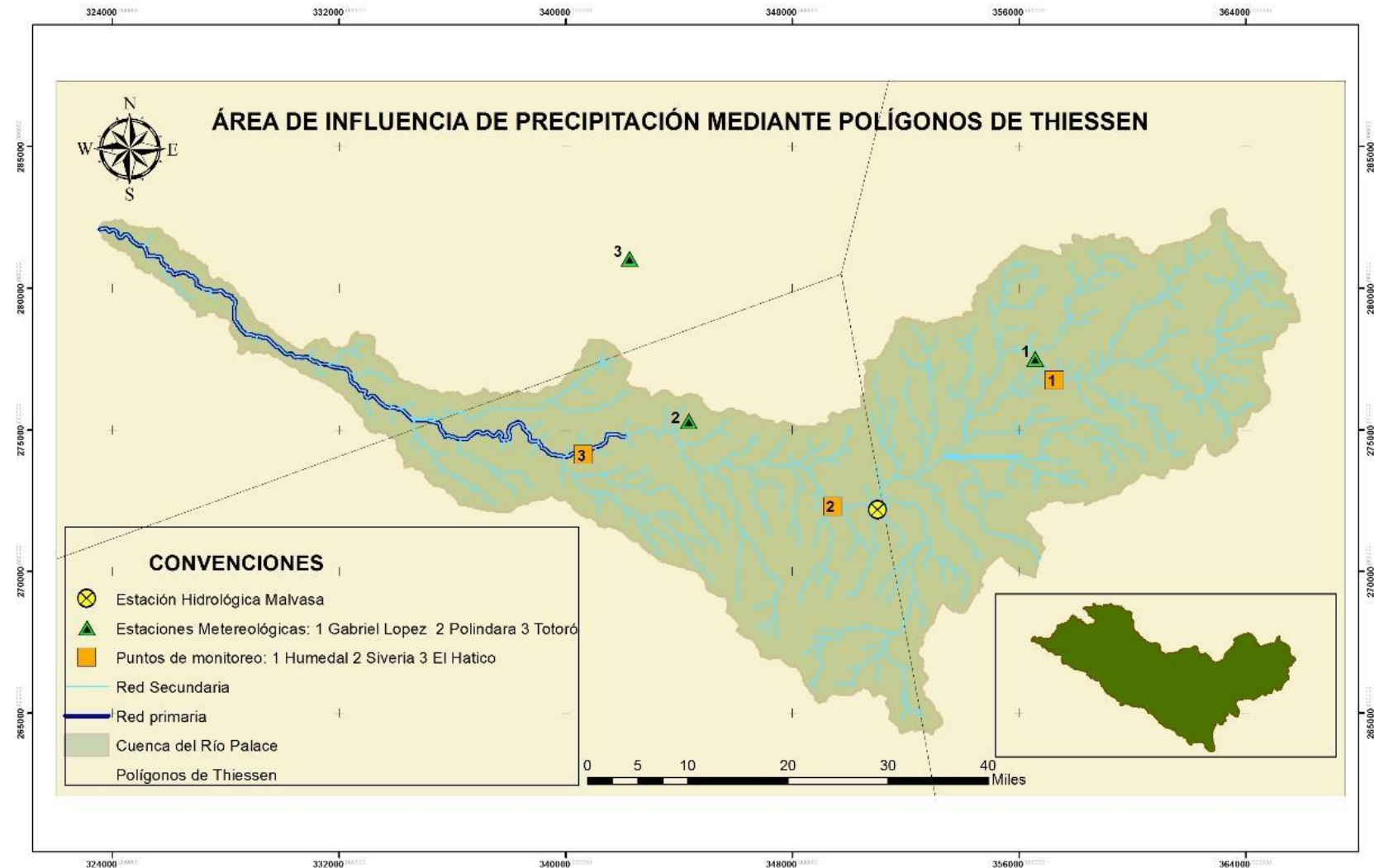
DÍAS	PRECIPITACIONES GABRIEL LÓPEZ 2015-2020	PRECIPITACIONES POLINDARA 2015- 2020	PRECIPITACIONES FALTANTES GABRIEL LÓPEZ 2019
14/12/2019	7,2	0	7,2
15/12/2019	0	0	0
16/12/2019	0	0	0
17/12/2019	2	0	2
18/12/2019	0	0	0
19/12/2019		1	2,352
20/12/2019		0	2,083
21/12/2019		0	2,083
22/12/2019		0	2,083
23/12/2019		0	2,083
24/12/2019		0	2,083
25/12/2019		1	2,352
26/12/2019		0	2,083
27/12/2019		0	2,083
28/12/2019		0	2,083
29/12/2019		1	2,352
30/12/2019		30	10,161
31/12/2019		35	11,508
1/01/2020	34,4	25	34,4
2/01/2020	4,1	0	4,1

Fuente: [55]

5.2.2.2 Actividad 2: Determinación área de influencia de precipitación mediante polígonos o Thiessen

El área de influencia de las estaciones meteorológicas, obtenida a partir de la aplicación de método de los polígonos o Thiessen mediante el programa ArcGis (ArcMap 10.5), con sus respectivos requerimientos de precipitación y coordenadas UTM encontradas en el ANEXO N° 3, se presentan en el Mapa 3; en el cual se pueden visualizar la ubicación de cada una de ellas junto al área aferente sobre la cual tiene influencia directa dentro de la subcuenca del río Palacé, comprendiendo que cada estación meteorológica se rodea de un polígono y se supone que según su ubicación cada área de influencia de ella recibe la misma precipitación que la estación central [55].

Mapa 3. Área de influencia de estaciones meteorológicas mediante polígono de Thiessen



Fuente: Propia

Una vez calculada el área de influencia de cada estación y localizados los puntos de monitoreo en el mapa, se observan dos relaciones directas siendo estas la estación meteorológica de Gabriel López y Polindara sobre los punto de monitoreo del Humedal de Calvache y Hatico, con una no incidencia directa en el área de estudio de la estación Totoró; no obstante, como se evidencia en el Mapa 3 el punto de monitoreo intermedio sobre la sección de la subcuenca denominado Siberia, se localiza muy cerca a la perpendicular que divide el áreas de la estación Gabriel López y Polindara o sección de influencia entre estas dos estaciones, siendo este punto más cercano y con una geografía acorde a la ubicación de la primera estación.

Por consiguiente, si bien este método pretende no solo calcular las áreas de influencia sino también la precipitación promedio de la subcuenca, para este caso en particular solo se utiliza para determinar el área de influencia de las estaciones, pues su ecuación sujeta por la precipitación anual, no permite el cálculo únicamente de una precipitación promedio para dos periodos de tiempo cortos o en días como es el caso.

Por consiguiente, una vez evidenciada la influencia de ambas estaciones sobre el punto de monitoreo N° 2 Siberia, se opta por la media aritmética de las precipitaciones puntuales de ambas estaciones como el método para determinar la precipitación promedio más aproximada a esta área de monitoreo [55], cálculo realizado tanto para el periodo de medición de las concentraciones de plaguicidas como de parámetros fisicoquímicos, valores con los cuales se tendrían las siguientes relaciones entre estaciones y puntos.

Tabla 31. Relación estaciones meteorológicas y puntos de monitoreo

N°	ESTACIÓN METEOROLÓGICA	N°	PUNTO DE MONITOREO
1	GABRIEL LÓPEZ [26025070]	1	HUMEDAL DE CALVACHE
2	PROMEDIOS ESTACIONES GABRIEL LÓPEZ - POLINDARA	2	SIBERIA
3	POLINDARA [26020460]	3	HATICO

Fuente: Propia

5.2.3 ETAPA III: Evaluación de calidad más síntesis de concentraciones de plaguicidas y parámetros fisicoquímicos

Seleccionados los plaguicidas a estudiar en la FASE I: PRIORIZACIÓN DE PLAGUICIDAS MEDIANTE PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP) y medidos los parámetros fisicoquímicos de la fuente hídrica río Palacé, se realizó un control de calidad de datos de los valores de ambas variables, con lo cual se identificaron concentraciones por debajo del límite de detección LDD y se observó el comportamiento básico de la distribución de las series.

5.2.3.1 Actividad I: Síntesis de concentraciones de plaguicidas

Dado que se presentan diferencias significativas en la medición de concentración y réplica de los plaguicidas, el estudio exploratorio sobre las cuatro medidas de tendencia central, evaluadas para los plaguicidas α -BHC, β -BHC, Lindano y Clorpirifos como objeto de estudio en los tres puntos de monitoreo arrojó como resultado la “Media Cuadrática” como la que define de manera central, con menor variabilidad o sesgo entre la mayor y menor concentración de cada plaguicida precisándola de manera óptima.

La Tabla 32 enseña los cálculos realizados para el punto de monitoreo humedal de Calvache durante los ocho monitoreos, para los 4 plaguicidas con su respectiva réplica y en el ANEXO N° 4 se encuentran los cálculos para los dos puntos restantes.

Tabla 32. Evaluación medidas de tendencia central para α -BHC, β -BHC, Lindano y Clorpirifos en el punto humedal de Calvache

SÍNTESIS DE CONCENTRACIONES DE PLAGUICIDAS PUNTO HUMEDAL																
PLAGUICIDA \ N° MONITOREO	Humedal01-1	Humedal01-2	Humedal02-1	Humedal02-2	Humedal03-1	Humedal03-2	Humedal04-1	Humedal04-2	Humedal05-1	Humedal05-2	Humedal06-1	Humedal06-2	Humedal07-1	Humedal07-2	Humedal08-1	Humedal08-2
Lindano	<LDD	<LDD	<LDD	<LDD	<LDD	<LDD	46,8	49,6	55,4	60,1	98,6	87,4	34,9	30,1	39,6	36,5
MEDIA ARITMETICA							48,2		57,75		93		32,5		38,05	
MEDIA GEOMETRICA							48,18		57,70		92,83		32,41		38,02	
MEDIA ARMÓNICA							48,16		57,65		92,66		32,32		37,99	
MEDIA CUADRÁTICA	# VALOR	# VALOR	# VALOR	# VALOR	# VALOR	# VALOR	48,22		57,80		93,17		32,59		38,08	
α-BHC	187,8	130,6	792,2	652,3	256,3	421,8	131,5	145,8	107,1	98,5	111,6	115,9	121,6	111,9	61,5	56,4
MEDIA ARITMETICA	159,2		722,25		339,05		138,65		102,8		113,75		116,75		58,95	
MEDIA GEOMETRICA	156,61		718,85		328,80		138,47		102,71		113,73		116,65		58,89	
MEDIA ARMÓNICA	154,06		715,48		318,85		138,28		102,62		113,71		116,55		58,84	
MEDIA CUADRÁTICA	161,75		725,63		349,00		138,83		102,89		113,77		116,85		59,01	
β-BHC	<LDD	<LDD	<LDD	<LDD	<LDD	<LDD	6,19	55,8	49,2	54,8			51,8	55,4	61,8	59,4
MEDIA ARITMETICA							30,995		52				53,6		60,6	
MEDIA GEOMETRICA							18,58		51,92				53,57		60,59	
MEDIA ARMÓNICA							11,14		51,85				53,54		60,58	
MEDIA CUADRÁTICA	# VALOR	# VALOR	# VALOR	# VALOR	# VALOR	# VALOR	39,70		52,08		0,00		53,63		60,61	
Clorpirifos	202,9	225,6	184,6	220,5	128,9	198,5	69	62,1	59,9	65,2	36,4	38,9	62,7	58,2	62,8	61,2
MEDIA ARITMETICA	214,25		202,55		163,7		65,55		62,55		37,65		60,45		62	
MEDIA GEOMETRICA	213,95		201,75		159,96		65,46		62,49		37,63		60,41		61,99	
MEDIA ARMÓNICA	213,65		200,96		156,30		65,37		62,44		37,61		60,37		61,99	
MEDIA CUADRÁTICA	214,55		203,34		167,36		65,64		62,61		37,67		60,49		62,01	

Fuente: Propia

5.2.3.2 Actividad II: Estimativo concentraciones plaguicidas y parámetros fisicoquímicos por debajo del límite de detección

Dentro de los plaguicidas priorizados que obtuvieron concentraciones por debajo del límite de detección (LDD) se tiene: el β -BHC en los tres puntos Humedal para el monitoreo N° 6, Siberia en el monitoreo N° 7 y Hatico en los monitoreos N° 6 y 8, y el α -BHC únicamente para el punto Siberia en el monitoreo N° 7. Esta situación se presentó al igual en la medición de Demanda Química de Oxígeno (DQO) para los tres puntos Humedal para el monitoreo N° 2 y 4, Siberia en el monitoreo N° 1 y 4, Hatico en los monitoreos N° 3 y 4. En el desarrollo de la metodología para estimar las concentraciones faltantes, se tuvieron las siguientes situaciones al asumir tres posibles concentraciones para el parámetro y cada contaminante:

1) asumiendo la concentración como el valor del límite de detección (15 *mg/l* para la DQO, 48.1 $\mu\text{g/L}$ el β -BHC y 46.1 $\mu\text{g/L}$ para el α -BHC).

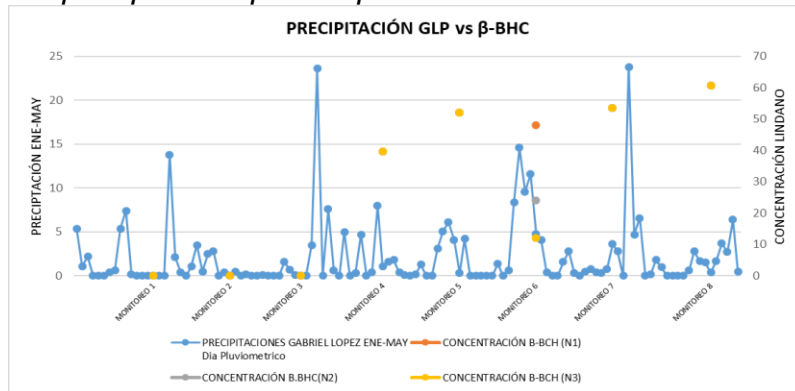
2) asumiendo la concentración como la mitad del límite de detección (7.5 *mg/l* para la DQO, 24.05 $\mu\text{g/L}$ el β -BHC y 23.05 $\mu\text{g/L}$ para el α -BHC).

3) asumiendo la concentración como un cuarto del límite de detección (3.75 *mg/l* para la DQO, 12.03 $\mu\text{g/L}$ el β -BHC y 11.53 $\mu\text{g/L}$ para el α -BHC).

Gráficamente se obtuvo una relación directa (aumentan las dos variables al mismo tiempo) o inversamente proporcional (una aumenta y otra disminuye) de la concentración de β -BHC, α -BHC o DQO, en relación con las altas o bajas precipitaciones, como se presenta a continuación para una relación de β -BHC y DQO según el punto y estación meteorológica a la cual corresponda, y las relaciones restantes se encuentran en el ANEXO N° 5.

✓ Estimativo de concentración para los plaguicidas β -BHC

Gráfica 7. Comportamiento concentración de β -BHC en relación a la precipitación para el punto humedal de Calvache

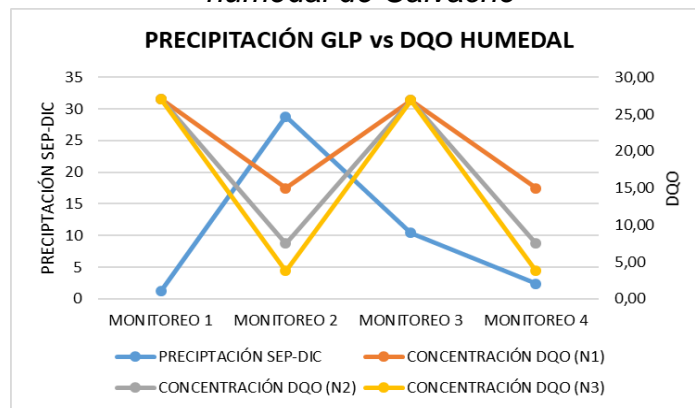


Fuente: Propia

Se presenta un comportamiento inversamente proporcional entre precipitaciones y concentración de β -BHC por lo cual la concentración para el monitoreo N°6 será igual a $12.03 \mu\text{g/L}$.

✓ **Estimativo de concentración para DQO – Demanda química de oxígeno**

Gráfica 8. Comportamiento de DQO en relación a la precipitación para el punto humedal de Calvache



Fuente: Propia

La Gráfica enseña una relación inversamente proporcional muy marcada, al aumento de la precipitación disminuyen los niveles de DQO sobre el punto N° 1 Humedal, dadas las precipitaciones puntuales se toma para el monitoreo N° 2 la concentración N° 2 de DQO igual a 7.5 mg/L con un nivel intermedio y para el monitoreo N° 4 el valor de 15 mg/L como el que mejor lo define.

5.3FASE III: CORRELACIONES DE PRECIPITACIÓN VS VARIABLES Y RELACIÓN ENTRE TIEMPOS BIMODALES

El comportamiento de las precipitaciones, las concentraciones de plaguicidas y parámetros como tres variables dadas en condiciones naturales o no controladas, evidencian un comportamiento no paramétrico en su distribución y conducta. En el caso de las precipitaciones verificado por medio de la relación entre medias y

varianza, al no presentar resultados homogéneos o por lo menos similares que definen una distribución mediante una línea de tendencia, para cada estación meteorológica ya señalada. Se enseña el resultado del análisis enseñado para la estación meteorológica de Gabriel López en la Tabla 33 y en el ANEXO N° 6 para las dos restantes además del comportamiento en las gráficas de distribución de la *ETAPA II: Relación de tiempos bimodales mediante Wilcoxon.*

Tabla 33. Estadística descriptiva estación meteorológica de Gabriel López

ESTACIÓN METEOROLÓGICA GABRIEL LÓPEZ			
ENERO - MAYO		SEP-DIC	
MEDIA	2,177	MEDIA	4,516
MEDIANA	0,450	MEDIANA	2,083
MODA	0,000	MODA	0,000
DESVIACIÓN T	3,987	DESVIACIÓN T	8,372
VARIANZA	15,897	VARIANZA	70,091
COEFICIENTE VAR	1,831	COEFICIENTE VAR	1,854

Fuente: Propia

El anterior comportamiento se presenta igualmente en concentraciones de plaguicidas pero solo algunos de los parámetros fisicoquímicos; sin embargo, así algunos datos presente normalidad en su distribución al relacionarlos con otros que no presentan comportamientos normales o con una tendencia definida; la medida estadística por la cual se realiza la verificación o no de la relación entre el comportamiento de la precipitación vs las dos variables mencionadas, ya sea en una relación de dos variables no paramétricas o una paramétrica junto a una no paramétrica, fue mediante la prueba de correlación de Spearman, puesto que al no tener parámetros a estimar, se tienen distribuciones que comparar siendo el caso de estudio.

5.3.1 ETAPA I: Pruebas estadísticas de correlaciones entre Precipitaciones vs Plaguicidas y Parámetros fisicoquímicos en tiempo de bajas y altas lluvias

5.3.1.1 Actividad I: Síntesis y clasificación de precipitación

El resultado obtenido a partir de la evaluación quincenal de cada régimen de precipitación sobre el cual se midieron las concentraciones de plaguicidas dio como resultado la varianza, como la medida estadística que mejor define el comportamiento de las precipitaciones quincenales medidas por cada estación meteorológica, cálculo enseñado en el ANEXO N° 7 resultado de las precipitaciones con un régimen altamente variable o con una distribución no uniforme de baja y alta precipitación entre días y meses en la cuenca del río Palacé.

Si bien con esta referencia estadística no se mide la cantidad del evento quincenal si es viable utilizarla para fines comparativos pues mide la fluctuación del régimen

de precipitación en ese lapsus de tiempo, como resultado a mayor cantidad de precipitación aumenta la varianza y viceversa.

✓ **Nivel de precipitación según el monitoreo de plaguicidas y parámetros fisicoquímicos**

La clasificación del tipo y cantidad de precipitación registrada se realizó para los meses de enero a mayo y septiembre a diciembre en relación a los monitoreos de plaguicidas y parámetros fisicoquímicos respectivamente para las tres estaciones meteorológicas. Se obtuvo como resultado la siguiente clasificación para la estación de Gabriel López y en el ANEXO N° 7 se presenta para el Promedio Gabriel López - Polindara y Polindara.

Tabla 34. Clasificación precipitación monitoreo de plaguicidas estación meteorológica Gabriel López

N° MONITOREO	VARIANZA PRECIPITACIONES Ene-May	CLASIFICACIÓN PRECIPITACIÓN	TIPO DE PRECIPITACIÓN
MONITOREO 1	6,09552381	LLM	BAJA
MONITOREO 2	13,11631868	LLM	BAJA
MONITOREO 3	0,202197802	LLL	BAJA
MONITOREO 4	40,41362637	LLF	ALTA
MONITOREO 5	4,40552381	LLL	BAJA
MONITOREO 6	27,97692308	LLF	ALTA
MONITOREO 7	1,909010989	LLL	BAJA
MONITOREO 8	31,19075163	LLF	ALTA

Fuente: Propia

Según la anterior clasificación se tiene un régimen de precipitación dividido en alta y baja precipitación para la subcuenca río Palacé, los cuales se correlacionan mediante Spearman con las concentraciones de plaguicidas y parámetros fisicoquímicos registrados según el monitoreo al cual corresponda

5.3.1.2 Actividad II: Correlación precipitaciones vs concentración de plaguicidas medidos en el río Palacé

El análisis de comportamiento de las precipitaciones vs concentraciones de plaguicidas se divide para cada uno Lindano, α -BHC, β -BHC y Clorpirifos, según el punto de medición (Humedal, Siberia, Hatico) relacionado con su respectiva estación meteorológica (Gabriel López, Promedio Gabriel López - Polindara y Polindara). Al aplicar la prueba no paramétrica de Spearman, dividida para tiempo de bajas y altas lluvias según los monitoreos anteriormente señalados, a partir de la cual se obtienen los resultados de Tabla 35 por el programa SPSS.

Tabla 35. Fuerza de correlación de Spearman entre precipitaciones vs concentración de plaguicidas

PUNTO /PRECIPITACIÓN	PLAGUICIDA			
	Lindano	α -BHC	β -BHC	Clorpirifos
HUMEDAL: ALTA PRECIPITACIÓN GABRIEL LÓPEZ	-,500	0,500	-,500	1,000**
HUMEDAL BAJA PRECIPITACIÓN GABRIEL LÓPEZ	1,000**	0,300	1,000**	,600
SIBERIA: ALTA PRECIPITACIÓN PROMEDIO GABRIEL LÓPEZ - POLINDARA	-,500	1,000**	,500	,500
SIBERIA: BAJA PRECIPITACIÓN PROMEDIO GABRIEL LÓPEZ - POLINDARA	-,600	-,200	1,000**	-,300
HATICO: ALTA PRECIPITACIÓN POLINDARA	-,800	-,800	-,500	-1,000**
HATICO: BAJA PRECIPITACIÓN POLINDARA	-1,000**	-,500	-1,000**	,500

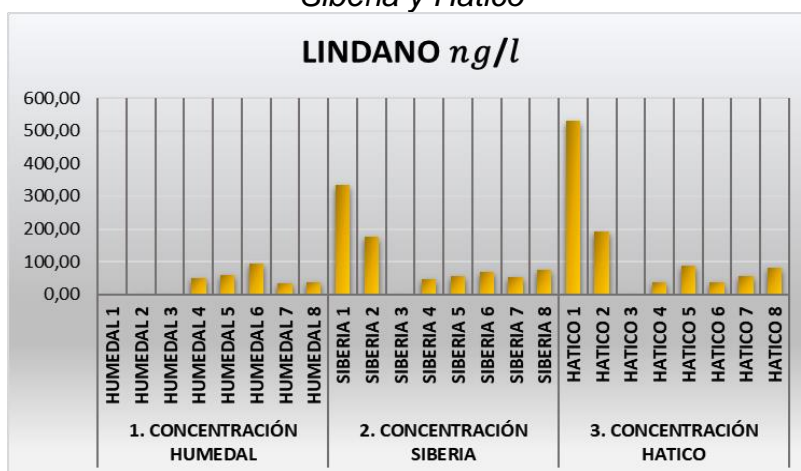
Fuente: Propia

Los resultados serán analizados mediante estadística descriptiva gráficamente en dos instancias. Primero según el comportamiento de las concentraciones de cada plaguicida para todos los monitoreos por cada punto, segundo al comparar la concentración de los mismos con el régimen de precipitación (alta o baja) para los meses de enero a mayo y finalmente mediante los resultados de la estadística reductiva por la fuerza de correlación entre -1 y 1.

5.3.1.2.1 Correlación precipitación vs Lindano

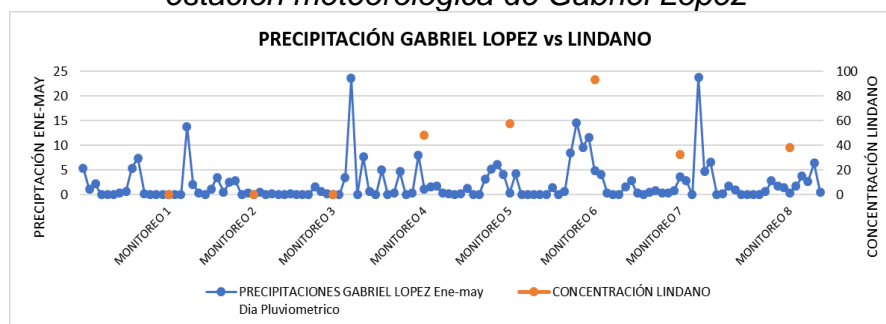
Las concentraciones de Lindano varían en medición para cada monitoreo y presentan magnitud ascendente para cada punto, así se tienen las concentraciones más bajas para el Punto N° 1: Humedal con un rango 32.59 – 93.17 *ng/L*, seguidas del Punto N° 2: Siberia entre 45.06 – 334.11 *ng/L* y las concentraciones más altas para el Punto N° 3: Hatico 36.96 – 531.16 *ng/L*, este comportamiento se relaciona según la precipitación para cada punto:

Gráfica 9. Comportamiento de Lindano sobre los puntos humedal de Calvache, Siberia y Hatico



Fuente: Propia

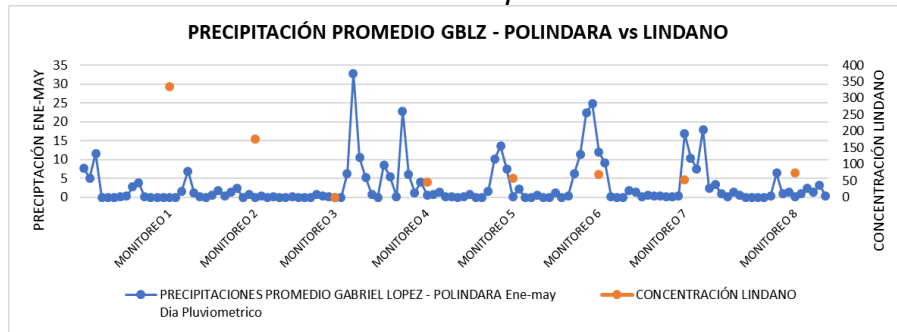
Gráfica 10. Comportamiento Lindano Punto N°1: Humedal vs Precipitación estación meteorológica de Gabriel López



Fuente: Propia

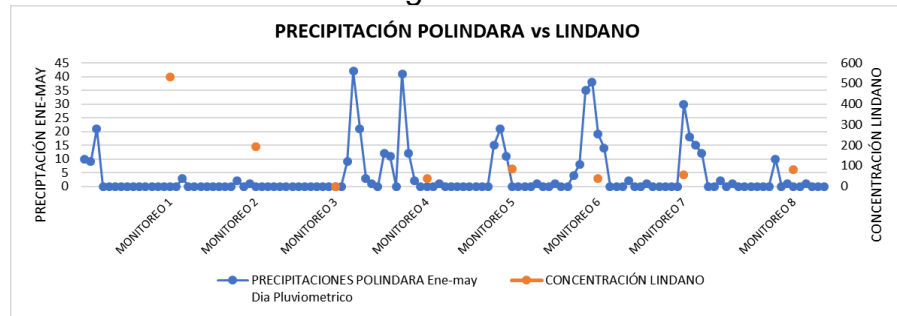
El Punto N°1: humedal a bajas precipitaciones muestra una relación directamente proporcional con alta fuerza de correlación igual a 1,00; que al presentar los niveles más bajos de precipitación no hay medición para los monitoreos 1, 2 y 3 o baja concentración de Lindano en los monitoreo 5 y 7 57.79 – 32.58 ng/l. Al igual se observa el aumento en la concentración al aumento del régimen de lluvia para los monitoreos 4, 6 y 8 de 48.22; 93.17 y 38.08 ng/l, que aunque con una relación directamente proporcional en la Gráfica 10 según su dirección negativa y fuerte correlación igual a -0.500 es inversamente proporcional, pues así aumente la concentración a medida que aumenta la precipitación, a su vez entre mayor sea la precipitación disminuye la concentración no como una dilución del mismo, ya que por su clasificación altamente persistente con elevada vida media, alta liposolubilidad al tener un log Kow 3.81 y por consiguiente baja hidrosolubilidad, no se degrada pero si se transporta dentro de la fuente hídrica al pasar de lluvia intensa a fuerte y por tanto disminuye la concentración de Lindano para este punto.

Gráfica 11. Comportamiento Lindano Punto N°2 Siberia vs Precipitación promedio estaciones Gabriel López - Polindara



Fuente: Propia

Gráfica 12. Comportamiento Lindano Punto N°3: Hatico vs Precipitación estación meteorológica de Polindara



Fuente: Propia

En relación al Punto N°1 el comportamiento Lindano cambia para los dos puntos posteriores Siberia y Hatico como se enseña en las Gráfica 12 y Gráfica 13, que evidencia un comportamiento similar para el régimen de precipitación pero diferente magnitud. Se presenta en ambos una relación inversamente proporcional, para tiempo de baja precipitación a diferencia del anterior, en el Punto N°2: Siberia y Punto N°3: Hatico para los monitoreos 1 y 2 presentan las mayores concentraciones de Lindano $334.11 - 175.68 \text{ ng/l}$ y $531.16 - 191.68 \text{ ng/l}$, seguido de los monitoreos 5 y 8 $56.57 - 74.54 \text{ ng/l}$ en Siberia y monitoreos 7 y 8 $57.03 - 80.26 \text{ ng/l}$ en Hatico, para el monitoreo 3 en ambos casos no se presentó concentración ni precipitación, ambas relaciones afirmadas por el signo negativo y fuerza de correlación para Siberia -0.600 y Hatico -1.00 , fuertemente validada por las diferencias pronunciadas entre bajo niveles de precipitación y alta concentración de Lindano. Seguidamente al aumento de la precipitación en ambos puntos disminuye la concentración de Lindano en Siberia para los monitoreos 4, 6 y 7 45.06 ; 69.41 y 52.00 ng/l , Hatico en los monitoreos 4, 5 y 6 37.66 ; 86.60 y 36.96 ng/l , ambas relaciones inversamente proporcionales ratificadas por la correlacional con signo negativo de -0.500 y -0.800 con fuerte correlación, lo que define el comportamiento altamente acumulativo al encontrar altas concentraciones en tiempo de bajas lluvias dada su afinidad por el sedimento con un valor de $\text{Log } K_{oc}$ 3.228 y un alta vida media; sin embargo, para

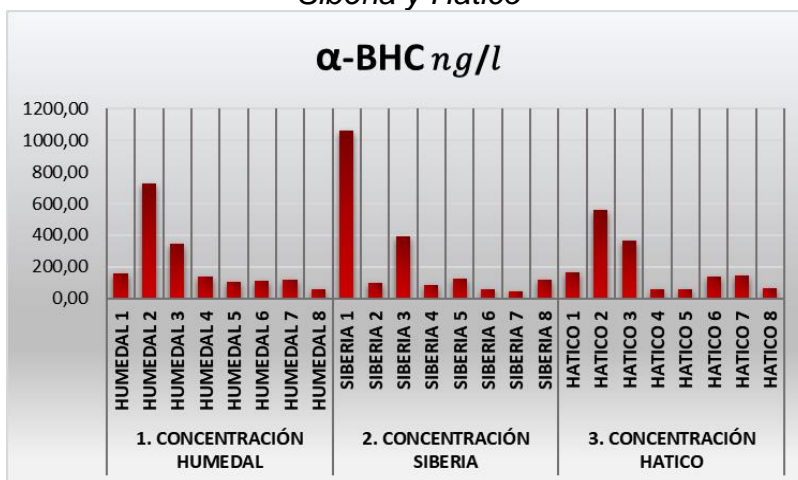
estos dos puntos al aumentar el régimen de precipitación unido al Potencial de lixiviación intermedio igual a 2.58 comprenden mayor transporte de Lindano desde perfil del suelo a la fuente hídrica, una vez dentro de ella dada su característica liposoluble *Log Kow* 4.26 y a pesar de tener la mayor solubilidad de 7.366 mg/l En relación a sus compuestos de degradación, se mantiene el potencial de transporte dentro del cuerpo de agua evidenciado al presentarse las mayores concentraciones sobre el Punto N°3: Hatico.

Por tanto, se atribuye para los tres puntos un comportamiento inversamente proporcional a la precipitación, pero directamente proporcional al transporte del Lindano sea por arrastre desde el suelo o viaje a través de la columna de agua.

5.3.1.2.2 Correlación precipitación vs α -BHC

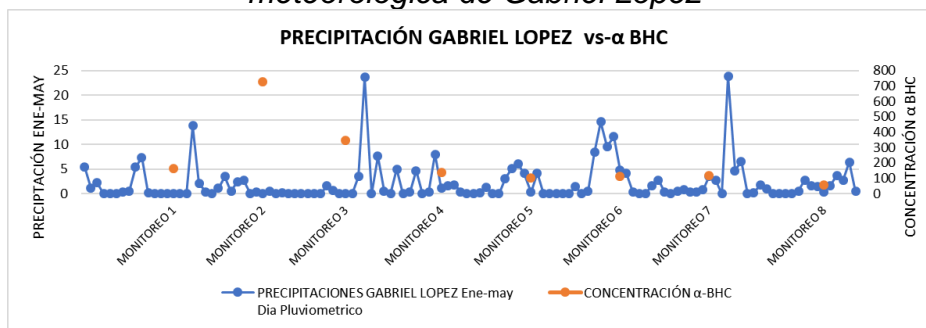
El plaguicida α -BHC se caracteriza por ser el primer compuesto de degradación del Lindano, el cual se presenta de manera continua durante todos los monitoreos y dentro de los tres puntos, que en comparación al anterior tiene una relación inversamente proporcional entre plaguicidas al encontrar la concentraciones más bajas en el Punto N°3: Hatico 54.88 – 558.13 ng/l, seguidas del Punto N°1: Humedal 59.01 – 725.63 ng/l y finalmente las más elevadas en el Punto N°2: siberia 46.10 – 1062.11 ng/l, además de ello este es el compuesto con las concentraciones más elevadas medidas dentro del río Palacé.

Gráfica 13. Comportamiento de α -BHC sobre los puntos humedal de Calvache, Siberia y Hatico



Fuente: Propia

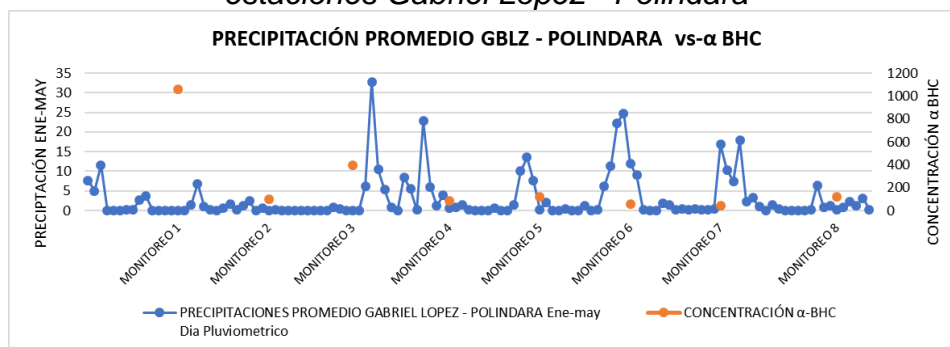
Gráfica 14. Comportamiento α -BHC Punto N°1: Humedal vs Precipitación estación meteorológica de Gabriel López



Fuente: Propia

De manera generalizada se presenta un comportamiento inverso en la relación de precipitación vs la concentración de α -BHC, pues en tiempo de baja lluvia no solo aumenta su concentración sino que se presentan en mayor cantidad, para el Punto N°1: Humedal en los monitoreos 1, 2 y 3 donde no se tuvo medición de Lindano se tiene las concentraciones más elevadas de α -BHC 161.75; 725.63 y 349.00 ng/l, seguidas de los monitoreos 5 y 7 con concentraciones de 102.88 y 116.85 ng/l; por otro lado a medida que aumenta la precipitación disminuye la concentración de α -BHC para los monitoreos 4, 6 y 8 iguales a 138.83; 113.77 y 59.00 ng/l comportamiento señalado en la Gráfica 14. Pero según la fuerza de correlación por el coeficiente de Spearman a baja precipitación se tiene una tendencia positiva de 0.300 con una moderada o baja correlación, en condición de alta precipitaciones se tiene al igual un coeficiente de correlación positivo o directamente proporcional igual 0.500 con una correlación entre moderada y fuerte. Estos dos comportamientos, uno inverso para todo el régimen (gráfica) pero directo para cada periodo bimodal se deben al movimiento del compuesto con el aumento de la baja o alta variabilidad climática sobre cada periodo independiente.

Gráfica 15. Comportamiento α -BHC Punto N°2 Siberia vs Precipitación promedio estaciones Gabriel López - Polindara

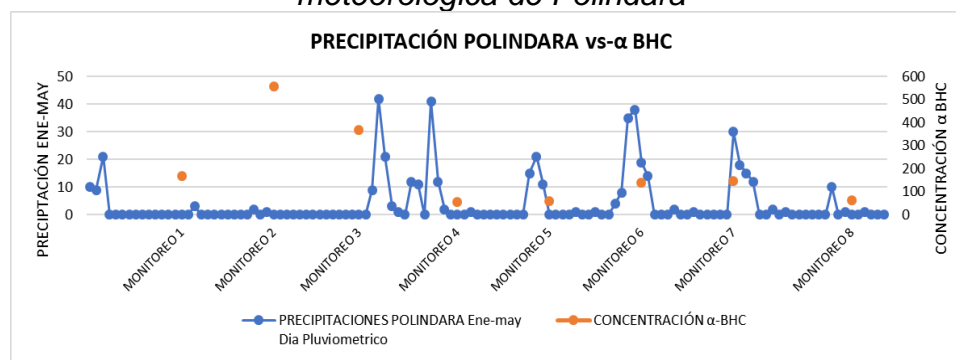


Fuente: Propia

Siberia como el punto intermedio de medición de plaguicidas dentro de la subcuenca del río Palacé, evidencia las mayores concentraciones en α -BHC tanto para el punto

como para todos los plaguicidas medidos, siendo el monitoreo N°1 con un valor de 1062.11 ng/l dado en tiempo de baja precipitación, consecutivamente se tienen los monitoreos 2, 3, 5 y 8 aunque aumente su régimen se sigue clasificando como baja precipitación con altas concentraciones de 99.12; 393.97; 122.69 y 118.36 ng/l , con correlacionalmente negativa pero débil -0.200 esto no como muestra de que no exista correlación sino que dada la linealidad en la concentración de plaguicidas y escasas o bajas precipitaciones no señalan un comportamiento lineal descendente fuerte y por tanto se mueve de manera central en el plano. Para el tiempo de altas precipitaciones en relación a la Gráfica 15 disminuye la concentración de plaguicidas, pero estadísticamente es directamente proporcional con una alta fuerza de correlación 1.00 pues dentro del régimen de alta precipitación para los monitoreos 4, 6 y 7 se ordena de menor a mayor variabilidad evidenciando aunque mínimo un aumentan en concentración de α -BHC igual a 87.83; 58.05 y 46.10 ng/l .

Gráfica 16. Comportamiento α -BHC Punto N°3: Hatico vs Precipitación estación meteorológica de Polindara



Fuente: Propia

El comportamiento del α -BHC en Hatico comprendido bajo un régimen inversamente proporcional entre periodos de alta y baja lluvia, para los monitoreos 2, 3, 7 y 8 con concentraciones de 558.13; 369.15; 145.76 y 64.28 ng/l y monitoreos 1, 4, 5 y 6 167.17; 54.88; 57.58 y 139.98 ng/l , se ratifica dada la dirección negativa para ambos con una fuerza de correlación igual a -0.500 en baja precipitación y -0.800 a alta precipitación, siendo este punto el que mejor define por el comportamiento inverso del α -BHC con una moderada y alta fuerza.

Este comportamiento se presenta de igual manera en los puntos anteriores, donde el α -BHC como el primer compuesto de degradación del Lindano a pesar de tener la mayor presión de vapor 0.128 y constante de Henry 2.56 * 10⁻⁴ como las características que contribuirían a una rápida volatilización, se observa un comportamiento contrario primero al ser el compuesto con mayores concentraciones además de medición a lo largo de los monitoreos, esto dado que el rango de Temperatura no mayor a 14 °C no permite que a condiciones naturales este lleguen a un estado gaseoso y por tanto se volatilice. por consiguiente, se debe tener en cuenta que en bajas precipitaciones al no haber movimiento de este por

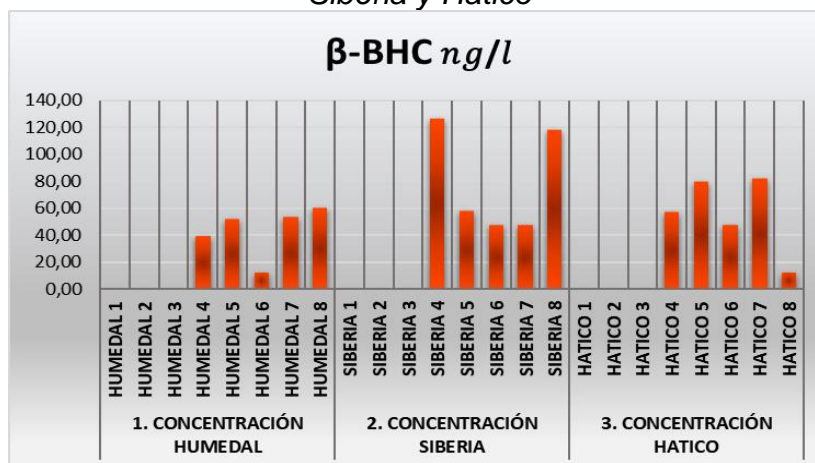
arrastré desde el suelo o un rápido transporte dentro de la fuente hídrica, se puede presentar una degradación del Lindano (compuesto parental) en el suelo que por escorrentía en época de altas lluvias llega al Río, se acumuló o transporto y en época de bajas lluvias dado al cambio en las condiciones naturales del medio se transforma α -BHC o libera desde el sedimento.

Por otro lado, en tiempo de altas lluvias se atribuye de manera directa por escorrentía dada la afinidad de este al suelo con un *Log Koc* de 3.29 llegando a la fuente y depositándose en el lecho del río por su elevada vida media 2292 h en sedimento, al igual que facilitando su transporte mas no dilución dentro de la fuente dada su alta afinidad lipídica *Log Kow* de 4.26 y disposición en punto lénticos con alta acumulación de sedimentos como es el caso de Punto N° 2: Siberia, donde se evidencian las mayores concentraciones de α -BHC 15 días después de ser descargado o liberado por el sedimento sobre la columna de agua, como se evidencia el comportamiento de cada punto. Esta relación se podrá definir con claridad en la relación de la concentración de plaguicida con el pH y Potencial Redox puesto que son los principales ayudantes a la especiación o liberación de un compuesto regido bajo el cambio de las condiciones climáticas.

5.3.1.2.3 Correlación precipitación vs β -BHC

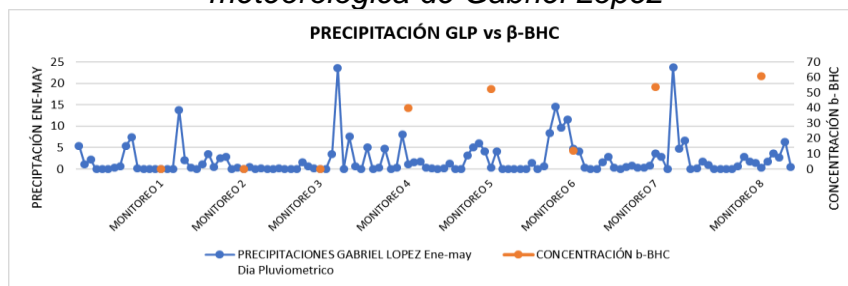
El β -BHC como último compuesto de degradación del Lindano presenta un comportamiento muy similar al mismo, no obstante las concentraciones de este para los tres puntos de medición son bajas, para el Punto N° 1 Humedal de 0.0 a 60.61 *ng/l*, seguida del punto N° 3: Hatico entre 0.0 y 82.36 *ng/l* y finalmente el Punto N° 2: Siberia con la mayor concentración entre 0.0 y 127.08 *ng/l*.

Gráfica 17. Comportamiento de β -BHC sobre los Puntos Humedal de Calvache, Siberia y Hatico



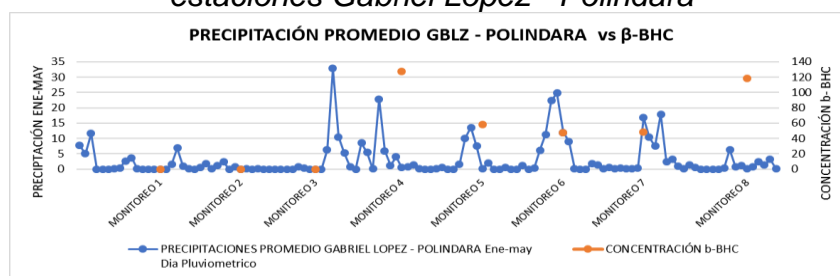
Fuente: Propia

Gráfica 18. Comportamiento β -BHC Punto N°1: Humedal vs Precipitación estación meteorológica de Gabriel López



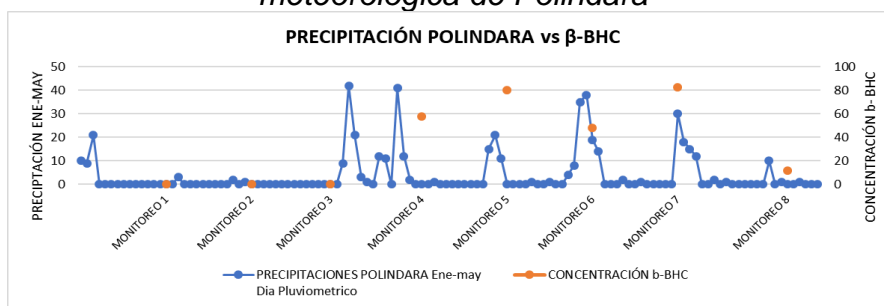
Fuente: Propia

Gráfica 19. Comportamiento β -BHC Punto N°2 Siberia vs Precipitación promedio estaciones Gabriel López - Polindara



Fuente: Propia

Gráfica 20. Comportamiento β -BHC Punto N°3: Hatico vs Precipitación estación meteorológica de Polindara



Fuente: Propia

Al caracterizar fisicoquímicamente el β -BHC como altamente liposoluble con un $Log Kow$ 4.26, directamente a ello se fija con firmeza a la MO del suelo con un $Log Koc$ 3.28 y por tanto se prevé que ahí se encontrarán sus mayores concentraciones, al ser el compuesto menos soluble de los derivados del Lindano 0.0894 mg/l ; esas mismas características contribuyen al transporte de la molécula bajo condiciones específicas en el aumento regular o en presencia de precipitaciones continuas como se enseña en la Gráfica 18, Gráfica 19 y Gráfica 20, al evidenciar un comportamiento directamente proporcional al aumento o disminución en el régimen de lluvia, pero correlacionalmente se presentan dos situaciones.

Para el Punto N° 2: Siberia como el de mayor concentración tiene una relación directamente proporcional con signo positivo entre moderado y fuerte con 0.500 para alta precipitación y fuerte o perfecta igual a 1.00 para bajas lluvias correspondiente a su ubicación en la zona de explotación agrícola, además de las condiciones hidráulicas con un régimen poco turbulento que permite para la primera situación el transporte de sedimentos desde las laderas de la montaña junto a su movimiento desde el lecho del río a la columna de agua y por tanto aumento en la concentración de β -BHC como a fin a los sólidos, misma condición por la cual en época de bajas precipitaciones al no haber transporte ni movimiento no se da ningún tipo de concentración de este.

En los Puntos N° 1 y 3 en tiempo de altas precipitaciones su correlación es inversamente proporcional igual a -0.500 para ambos casos, con un comportamiento similar al Lindano, pues si bien generalmente a medida que aumenta la lluvia aumenta la concentración entre mayor sea el régimen se facilita el transporte del mismo dentro del río Palacé y disminuyen las concentraciones medidas en los puntos, pues sus condiciones hidráulicas con un régimen turbulento en altas precipitaciones, un lecho rocoso junto al aumento de la pendiente promueven el fácil movimiento de la molécula. A su vez se evidencia una fuerte correlación inversa -1.00 en humedal y hatico en bajas precipitación; correlación dada al disminuir la lluvia después de un alto régimen de precipitación en el cual aumentaron las concentraciones y por tanto el transporte, generando un aumento directo de β -BHC.

5.3.1.2.4 Correlación precipitación vs Clorpirifos

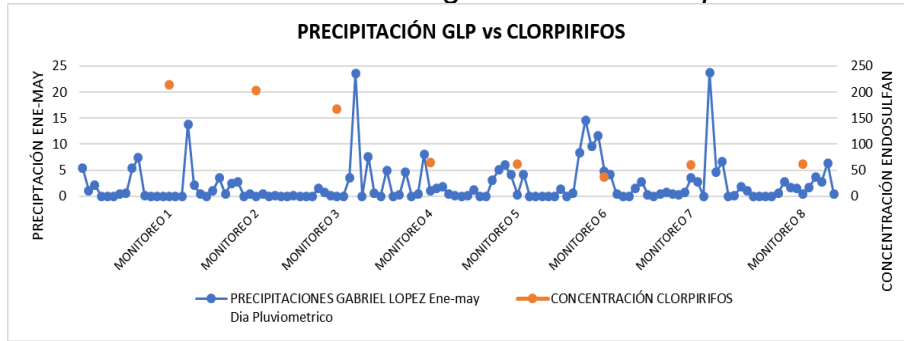
El plaguicida organofosforado Clorpirifos tiene un aumento considerable en su concentración a lo largo del tránsito en el río Palacé, al iniciar en el Punto N°1: Humedal con concentraciones de 37.67 a 214.55 ng/l, que aumentan en el Punto N°2: Siberia entre 36.10 y 471.00 ng/l y con las concentraciones más elevadas en el Punto N°3: Hatico de 35.53 a 637.11 ng/l.

Gráfica 21. Comportamiento de Clorpirifos sobre los Puntos Humedal de Calvache, Siberia y Hatico



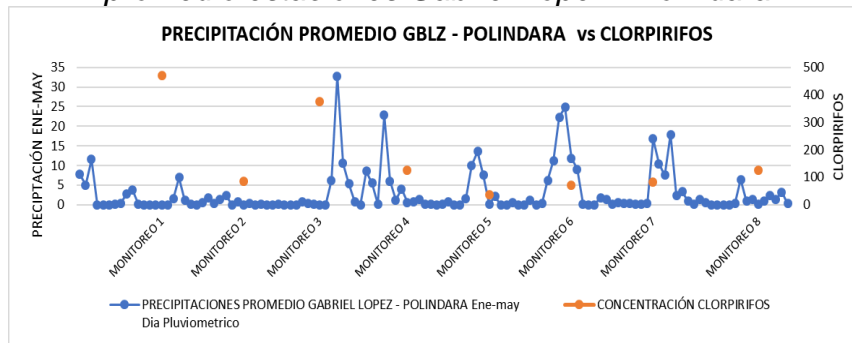
Fuente: Propia

Gráfica 22. Comportamiento Clorpirifos Punto N°1: Humedal vs Precipitación estación meteorológica de Gabriel López

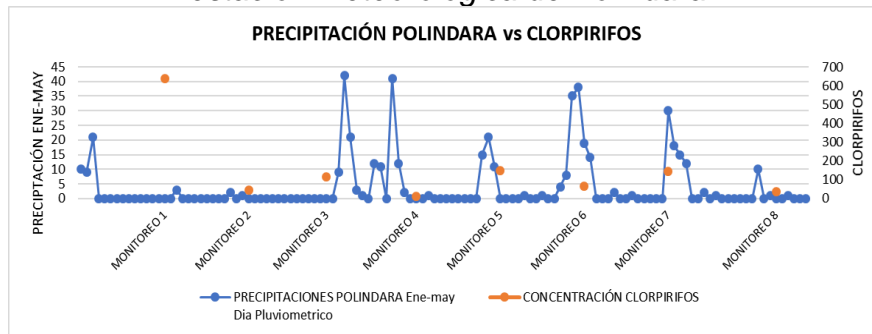


Fuente: Propia

Gráfica 23. Comportamiento Clorpirifos Punto N°2 Siberia vs Precipitación promedio estaciones Gabriel López - Polindara



Gráfica 24. Comportamiento Clorpirifos Punto N°3: Hatico vs Precipitación estación meteorológica de Polindara



El comportamiento de Clorpirifos a lo largo del régimen bimodal se presenta de manera inversamente proporcional con altas concentraciones en tiempo de bajas lluvias y viceversa en altas lluvias, no obstante dentro de ambos tiempo se presenta un comportamiento diferente, para el Punto N° 1: Humedal directamente proporcional con una correlación de Spearman Positiva y fuerte para alta lluvia igual a 0.100 y baja lluvia de 0.600, indicando que a mayores precipitaciones en cada uno de los regímenes aumenta las concentraciones del plaguicida dentro del río, el Punto N° 2: Siberia en altas precipitaciones se relaciona de manera directamente

proporcional en signo y fuerza de correlación con 0.500, pero se marca la diferencia en una correlación inversamente proporcional en época de bajas lluvias -0.300 pero débil, pues a medida que disminuyeron las precipitaciones aumentaron las concentraciones de Clorpirifos aunque no de manera marcada para todo los monitoreos, finalmente el Punto N° 3: Hatico con las mayores concentraciones se evidencia un relación inversa y fuerte igual a -1.00 en altas lluvias pues a medida que aumenta disminuye la concentración y directa 0.500 en época de baja precipitación que aunque con menor variabilidad provoca un aumento de concentración de Clorpirifos.

Este plaguicida a pesar de no ser catalogado como un Compuesto Orgánico Persistente COP, ni tampoco dentro de la familia de los organoclorados, si presenta características fisicoquímicas con mayor magnitud que los anterior que lo catalogan, con una extrema liposolubilidad $\log K_{ow}$ 5.11 además de fuerte afinidad al suelo $\log K_{oc}$ 3.898, con el más bajo potencial de lixiviación 0.58, siendo estas razones por las cuales se mantiene en la capa superficial del suelo que contribuye a un fácil arrastre por escorrentía superficial, comprobado al presentar concentraciones continuas además de un comportamiento inversamente proporcional en todos los puntos en época de alta precipitación comparado a las bajas precipitaciones como se ve en las Gráfica 22, Gráfica 23 y Gráfica 24, pues la disminución de su concentración dentro del río Palacé no se atribuye a la dilución del mismo, sino al transporte dentro de la columna de agua al ser escasamente soluble con 1.69 mg/l con fácil adhesión a la superficie del sedimento, evidenciado al encontrar las mayores concentraciones en el Punto N° 3: hatico como lugar de disposición de compuestos altamente liposolubles en época de baja lluvias y de fácil transporte a medida que aumenta la precipitación de la zona.

Análisis de variación en la concentración de plaguicidas en relación a la precipitación de la subcuenca río Palacé

Los cuatro plaguicidas analizados Lindano, α -BHC, β -BHC y Clorpirifos se cataloga como altamente persistentes dada su elevada vida media, fuerte y extremadamente liposolubles con $\log K_{ow}$ 4.26 a 5.11 relacionados directamente con su alta afinidad al carbono orgánico $\log K_{oc}$ 3.22 a 3.89, por tanto alta adhesión al suelo características que los harían de baja movilidad a la fuentes hídricas superficiales o subterráneas [2], situación probable para el momento de su aplicación y posiblemente varios años después con alta afinidad a los suelos de alta montaña cargados de elevado contenido de MO; sin embargo, al año 2019 para el cual se realizó el monitoreo de estos contaminantes dentro del río Palacé según el estudio a casas comerciales realizado por la Universidad del Cauca y encuestas directas del presente estudio a los productores más antiguos, ya habían pasado 40 años desde su posible última aplicación puesto que el Lindano se clasifica como un COP, según el convenio de Estocolmo y en lista de inclusión para su prohibición hace 49 años [71]; por consiguiente, para que el Lindano retenido por el suelo haya sido liberado o arrastrado por escorrentía hacia la columna de agua se deben haber

presentados diferentes procesos químicos, físicos o biológicos a lo largo de varios años que hayan roto su interacción.

Característica aún más persistente para sus metabolitos α -BHC como su primer compuesto de degradación y β -BHC como último, donde al relacionar tanto el parental como estos en función de la precipitación afirman una fuerte correlación directamente proporcional, comprobando su fácil transporte por escorrentía a través de perfil y capa superficial del suelo, hasta llegar a la columna de agua correspondiente a su alta persistencia en relación a sus propiedades fisicoquímicas. Ratificado al encontrar los mayores niveles de contaminación por ambos en el Punto N°2: Siberia localizado posterior al humedal de Calvache, en la zona intermedia de explotación agrícola antigua y actual que contrario al comportamiento del río con baja pendiente y un régimen poco turbulento, contribuyen a la precipitación de estos sobre el lecho del río adheridos a la partícula de sólidos y viaje de la molécula sobre la columna de agua en tiempo de altas lluvias, junto a su liberación desde el sedimento en tiempo de bajas lluvias aumentado su concentración dadas las características fisicoquímicas expuestas posteriormente.

Por otro lado, el Clorpirifos junto al Lindano, comprenden una relación inversamente proporcional al régimen de precipitación, localizados con altas mediciones en tiempo de bajas lluvias, pero una vez cambia el régimen disminuye su concentración aumenta con su transporte dentro de la columna de agua al acumularse a medida que transitan por el curso del río. Pues ambos a diferencia de los anteriores, al ser retenidos por el sedimento se depositan en lugares lejanos de donde fueron aplicados como el caso del punto N° 3: Hatico, con los niveles de contaminación más elevados por estos plaguicidas, tanto al localizarse consecutivamente o al final de toda el área de explotación agrícola. Características que afirman el fácil transporte de COP que junto al continuo y variable régimen de precipitación contribuye a una rápida erosión del suelo, además el aumento interno en la pendiente del río Palacé provocando un régimen turbulento, sumado a la continua y aún vigente aplicación del Clorpirifos debe haber provocado una saturación del suelo haciendo más probable la medición y arrastre por precipitación de este compuesto hasta la fuente hídrica río Palacé.

Se aprueba por tanto la hipótesis de influencia en la variación de la concentración de plaguicidas, regido por la variación de precipitación en la subcuenca del río Palacé como su principal mecanismo de transporte. Donde una vez depositados por escorrentía los plaguicidas Lindano, α -BHC, β -BHC y Clorpirifos desde la ladera de las montañas, se comprenden su segundo proceso de transporte, esté dentro de la columna de agua. Pues bajo el tiempo de altas precipitaciones disminuye la concentración de todos los plaguicidas a diferencia del tiempo de bajas precipitación donde se presentan los mayores niveles de concentración. Teniendo en cuenta las propiedades fisicoquímicas de cada contaminante ya expuestas junto a la alta variación de precipitación, no se comprende la degradación de los mismo al aumento de la precipitación al proporcionar posiblemente mayor estabilidad de la

molécula para ser transportada dentro de la columna de agua como está adherida al sedimento, comportamiento que se ratificado o no para la fuente hídrica según las correlaciones obtenida en la FASE IV: RELACIÓN ENTRE MONITOREO Y CORRELACIÓN DE CONCENTRACIONES DE PLAGUICIDAS VS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS, en la cual se analizará las características fisicoquímicas del río Palacé como quienes proveen o no de mayor estabilidad al plaguicida.

1.1.1.1 Actividad III: Correlación precipitaciones vs comportamiento de parámetros fisicoquímicos del río Palacé

La relación estadística por el coeficiente de correlación de Spearman entre el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos vs el comportamiento de las precipitaciones; a diferencia del anterior el cual fue dividido según las condiciones de altas y bajas lluvias, se tomará en función de todo el régimen de precipitación pues al analizar el comportamiento de los parámetros se tiene una tendencia directa o indirecta marcada, además según la cantidad de monitoreos (cuatro por punto) no sería estadísticamente viable dividir la relación, puesto que al unir dos monitoreos sería obvia la tendencia lineal más no se estudiaría el régimen de comportamiento.

Tabla 36. Fuerza de correlación entre precipitaciones vs comportamiento de Parámetros fisicoquímicos por Spearman

PARÁMETRO F. PUNTO - ESTACIÓN	pH	CONDUCTIVIDAD	OD	POTENCIAL REDOX	DQO	SST
HUMEDAL: ESTACIÓN METEOROLÓGICA GABRIEL LÓPEZ	-0,632	1,000**	0,800	0,800	-0,800	0,400
SIBERIA: PROMEDIO ESTACIONES GABRIEL LÓPEZ - POLINDARA	-0,800	0,800	-0,400	0,800	0,738	0,775
HATICO: ESTACIÓN METEOROLÓGICA POLINDARA	1,000*	1,000*	-1,000*	-0,500	0,866	-0,866

Fuente: Propia

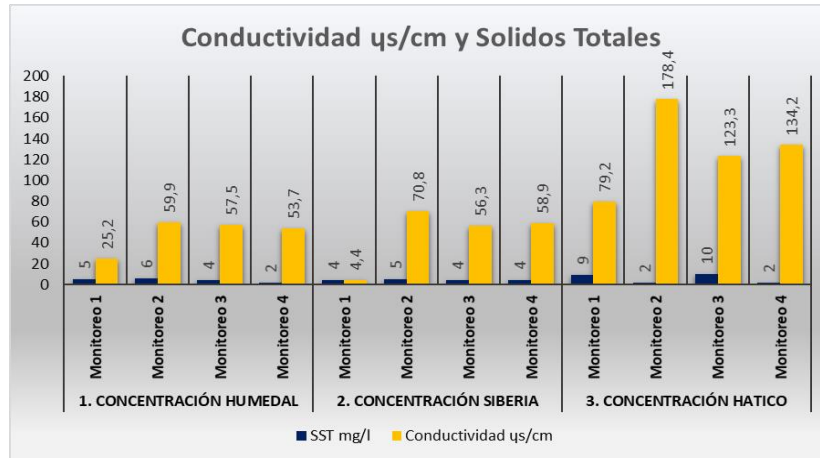
Los resultados de correlación obtenidos en la Tabla 36, se relacionarán de manera individual y grupal para algunos parámetros según la precipitación del punto de monitoreo, pues se desea evaluar el comportamiento directo e indirecto de uno en función del otro dentro, mediante su análisis en una misma gráfica, para lo cual se analiza su movimiento sobre el eje (Y) y no se toma en cuenta sus unidades de medida. Correlacionando así no únicamente el aumento o disminución de la precipitación en el análisis de cada parámetro, sino también las características que se complementan dentro de la fuente hídrica río Palacé.

5.3.1.2.5 Correlación precipitación vs Conductividad y Sólidos totales

Si bien estos parámetros no brinda un análisis preciso de la carga contaminante que pueda tener un cuerpo hídrico, para este caso dada la no medición por encima del LDD de DBO (Demanda biológica de Oxígeno) siendo la materia orgánica (MO) quien contribuye en el aumento de la conductividad, dejando por tanto una ventana abierta del comportamiento iónico de la fuente medido por los diferentes niveles de conductividad para cada uno de los puntos de medición, junto a ello siendo los sólidos totales - ST el parámetro que mide los sólidos disueltos - SDT cuya concentración define un indicador general de la calidad química de la fuente por los cationes y aniones presentes en ella, más los sólidos suspendidos totales – SST que miden la materia orgánica e inorgánica o partículas con un mayor diámetro.

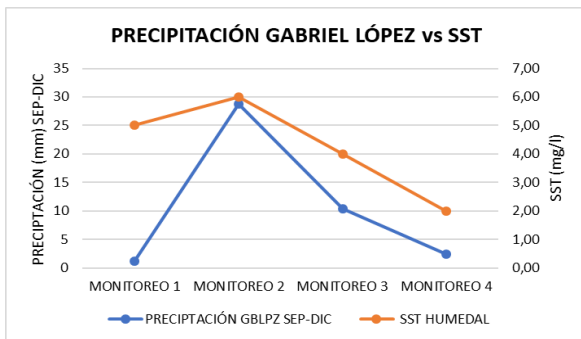
Teniendo en cuenta lo anterior se presenta el siguiente comportamiento al relacionar ambos parámetros, influenciados directamente por las precipitaciones pues bajo tiempo de altas o bajas lluvias, se presentan mayor o menor cantidad de sólidos suspendidos dada la remoción de sedimentos, con ello una dilución de lo sólidos disueltos y por tanto un cambio en el régimen conductor.

Gráfica 25. Comportamiento de la Conductividad y Sólidos Totales sobre el río Palacé

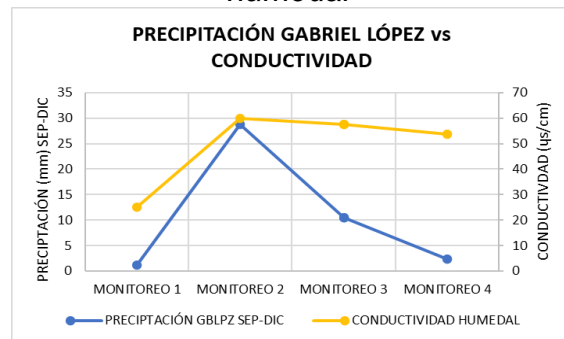


Fuente: Propia

Gráfica 26. Precipitación estación Gabriel López vs ST humedal



Gráfica 27. Precipitación estación Gabriel López vs Conductividad humedal

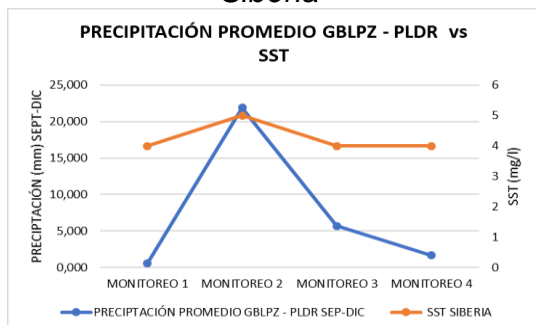


Fuente: Propia

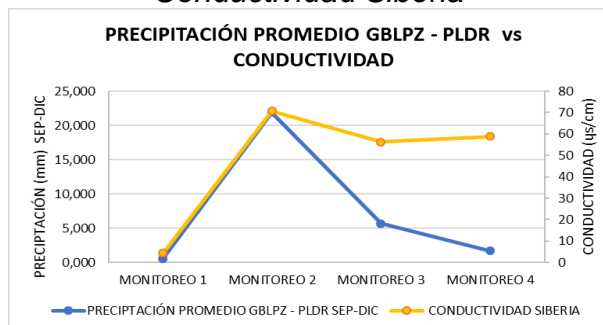
A partir de lo dicho anteriormente y como se ve en la Gráfica 25 se tiene un comportamiento diferente para ambos parámetros, al ser de manera regular y poco variable para las concentraciones de ST contrario al ascenso escalonado de la conductividad en función del recorrido del Río, iniciando con las concentraciones más bajas en el Punto N° 1 humedal, con un bajo potencial de conducción para el monitoreo N° 1 25.2 $\mu\text{s/cm}$ pero la segunda concentración más altas de sólidos 5.0 mg/l y un comportamiento con baja variabilidad pero de mayor conducción eléctrica para los tres monitoreos restantes 59.9 – 57.5 – 53.7 $\mu\text{s/cm}$ con un descenso sustancial de la cantidad de sólidos desde la concentración más alta a la

más baja medida 6.0 – 4.0 – 2.0 *mg/l* respectivamente, que al ser relacionados con su régimen de precipitación presentan un comportamiento directamente proporcional con alta fuerza de correlación para la conductividad 0.100 y moderada para SST 0.400, comprobando que aun aumento de la precipitación ambos parámetros aumentan o disminuyen proporcionalmente como se en las Gráfica 26 y Gráfica 27.

Gráfica 28. Precipitación promedio Gabriel López - Polindara vs. ST Siberia



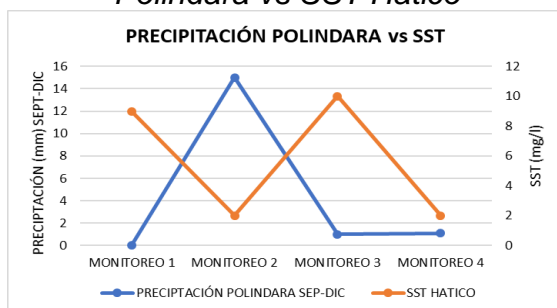
Gráfica 29. Precipitación promedio Gabriel López - Polindara vs. Conductividad Siberia



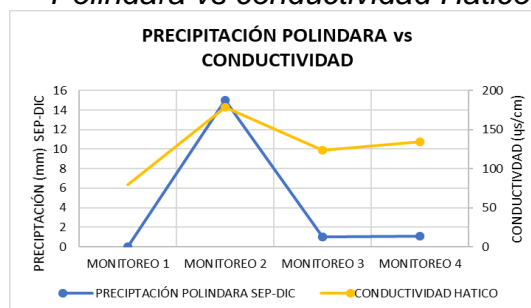
Fuente: Propia

Seguidamente a este se encuentra la relación del Punto N°2 Siberia con un valor mínimo de conductividad en el monitoreo N°1 4.4 $\mu\text{s/cm}$, un régimen poco variable para los monitoreos N°3 y 4 igual a 56.3 – 58.9 $\mu\text{s/cm}$ con una relación particular pues los tres presentan la misma cantidad de sólidos 4.0 *mg/l* como el más regular medido en este punto, el valor más alto de conductividad se tiene en el monitoreo N°2: 70.8 $\mu\text{s/cm}$ al igual que sólidos 5.0 *mg/l*, el comportamiento en relación al régimen de precipitación en ambos parámetros es directamente proporcional con una correlación positiva y fuerte entre precipitación vs conductividad de 0.800 y SST 0.775 junto a la Gráfica 28 y Gráfica 29 que aunque no muestran el cambio marcado al moverse linealmente, sí evidencian un régimen de SST como conductividad característico del Punto N°2 Siberia.

Gráfica 30. Precipitación estación Polindara vs SST Hatico



Gráfica 31. Precipitación estación Polindara vs conductividad Hatico



Fuente: Propia

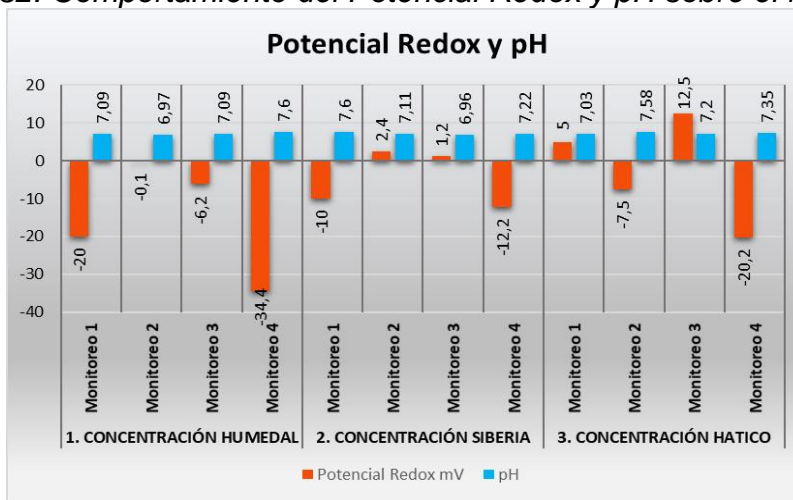
Finalmente para el Punto N°3 Hatico localizado sobre la subcuenca baja en la cual cambia el comportamiento hidráulico del río Palacé, climático y por tanto su

temperatura además de las condiciones geológicas, se presentan los valor más altos de conductividad eléctrica, no obstante si se evidencia un comportamiento inversamente proporcional para los ST acorde con el signo y fuerza de correlación de -0.866 (Gráfica 30), esto es posible si en la subcuenca alta aumenta el régimen de precipitación con ello aumenta directamente el caudal por consiguiente la concentración de SST que al ser relacionadas con las bajas precipitaciones del punto entre 0.00 – 15 mm se evidencia la anterior relación; a pesar de ello, la conductividad mantiene una correlación directamente proporcional y fuerte 1.00 con la precipitación, que muestra un comportamiento parámetro independiente a los ST y en función a las características del punto de medición. Obteniendo las siguientes relaciones, el análisis más Bajo de conductividad se tiene para el monitoreo N°1 con 79.2 $\mu\text{s}/\text{cm}$ pero el segundo en sólidos totales 9.0 mg/l, el monitoreo N°2 como el más alto para conductividad pero mínimo para sólidos totales con 178.4 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y 2.0 mg/l y aunque con una variabilidad baja entre los dos últimos monitoreos para conductividad, siendo el monitoreo N°3 123.3 $\mu\text{s}/\text{cm}$ y el monitoreo N°4 134.2 $\mu\text{s}/\text{cm}$, se evidencia la diferencia de sólidos totales siendo la más alta 10 mg/l y más baja 2.0 mg/l para cada monitoreo respectivamente.

5.3.1.2.6 Correlación precipitación vs Potencial Redox y Potencial de hidrógeno pH

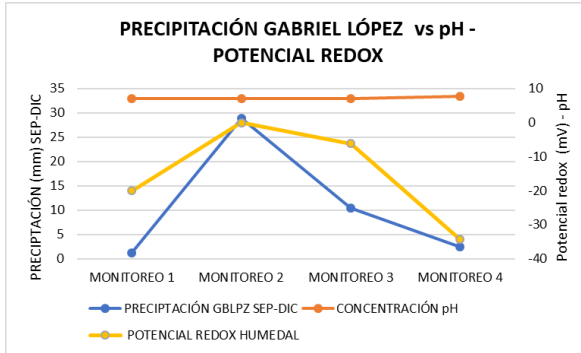
El pH como la cantidad de iones Hidrógeno presentes en el agua medido en la escala ácida, neutra o básica desde la mayor a la menor cantidad de los mismo, junto a la capacidad reductora u oxidativa de la fuente hídrica dada por el Potencial Redox, definen la ruta base de intercambio iónico para las diferentes especies presentes en el medio o fuente hídrica, según las características naturales de cada punto en concentraciones de cationes, aniones u otros compuesto susceptibles a ser oxidados o reducidos en función de las dos anteriores características, siendo estas muy marcadas en la fuente hídrica río Palacé como se ve en la Gráfica 32.

Gráfica 32. Comportamiento del Potencial Redox y pH sobre el río Palacé

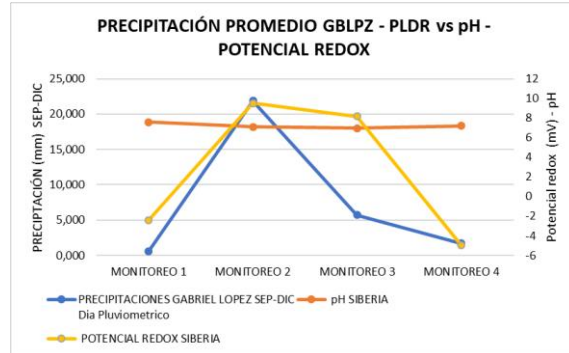


Fuente: Propia

Gráfica 33. Precipitación estación Gabriel López vs pH – Potencial Redox Humedal

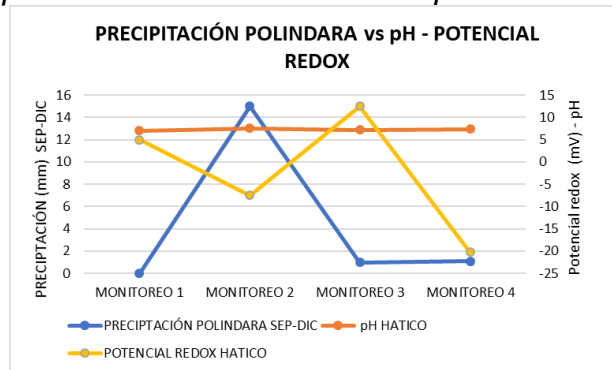


Gráfica 34. Precipitación promedio Gabriel López - Polindara vs pH – Potencial Redox Siberia



Fuente: Propia

Gráfica 35. Precipitación estación Polindara vs pH – Potencial Redox Humedal



Fuente: Propia

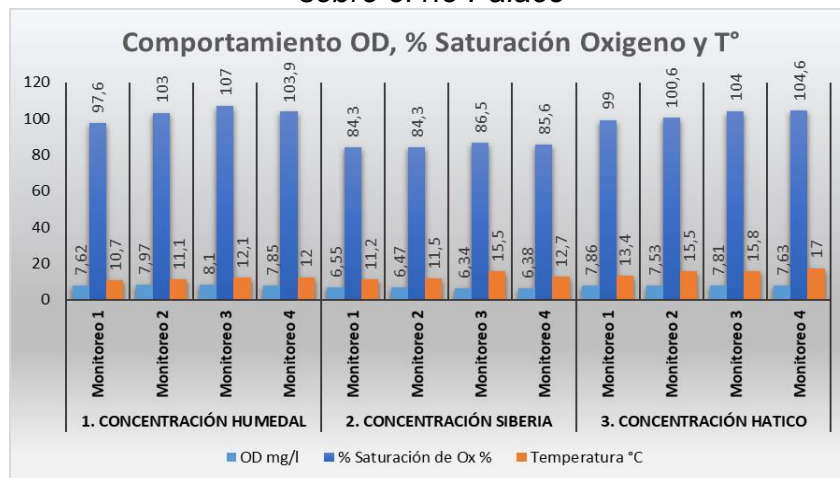
Según comportamiento correlacional entre el potencial de hidrogeno y el potencial Redox del medio estos se relacionarían de manera directamente proporcional bajo un rango de movimiento lineal; de lo cual se evidencia una baja variabilidad en el pH sobre los tres puntos de medición con valores entre 6.97 – 7.6 en Humedal, 6.96 – 7.6 en Siberia y 7.03 – 7.58 en Hatico clasificando esta característica química en régimen neutro como se ve en las Gráfica 33 - Gráfica 34 y aunque con baja variabilidad los Puntos N° 1 y 2, si muestran una correlación inversamente proporcional igual a -0.632 y -0.800 acorde al aumento o disminución de la precipitación con la concentración de carbonatos y bicarbonatos, por tanto la variación de pH entre neutro y ligeramente alcalino; no obstante, para el punto N°3: la relación es directamente proporcional con una fuerza de correlación perfecta igual a 1.00 y Gráfica 35 indicando que al aumento de la precipitación aumenta la alcalinidad de la fuente aunque de manera mínima al seguirse moviendo dentro de un régimen de pH neutro, característico de un curso de agua natural sin ningún tipo de contaminación industrial, por lo cual esté relacionado al potencial Redox con la interacción de los iones H⁺ y OH⁻ presentes, se localizaría en un régimen neutro pero de variabilidad reductiva u oxidativa.

El Punto N°1 humedal con valores de Potencial Redox negativos entre -0.1 ; -34 mV en todas sus mediciones, caracterizan este punto con un ambiente altamente reductor de manera uniforme para todos los monitoreos, tiene relación directamente proporcional a la precipitación con fuerza de correlación de 0.800; sin embargo, al realizar su interpretación se define entre menor sea la precipitación mayor es el potencial reductor. Por otro lado, los Puntos N° 2 y 3 Siberia y Hatico se mueven bajo los dos comportamientos siendo para el primer punto reductor para los monitoreos 1= -10 mV y monitoreo 4= -14 mV (baja precipitación) pero un ambiente oxidativo en los monitoreos 2= 2.4 mV y monitoreo 3= 1.2 mV (altas precipitación) comportamiento acorde a la fuerza de correlación de 0.800 directamente proporcional, el anterior comportamiento se presenta al igual para el Punto N°3 Hatico pero en diferentes orden con potencial Redox negativo o reductor en el monitoreo 2= -7.5 mV y monitoreo 4= -20.2 mV (alta precipitación) y positivo u oxidativo en los monitoreos 1= 5 mV y monitoreo 3= 12.5 mV (baja precipitación;) con una correlación inversa de -0.500, comportamiento inverso al Punto N°2: Hatico.

5.3.1.2.7 Correlación precipitación vs Oxígeno disuelto, % saturación de oxígeno y temperatura.

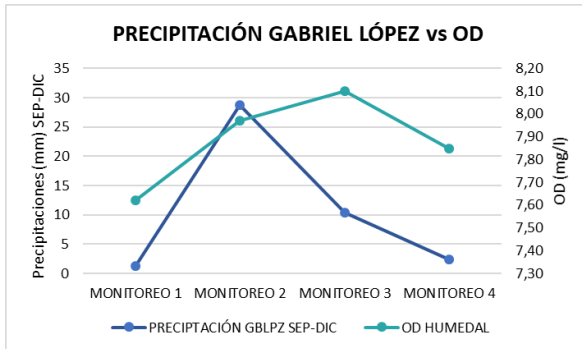
Se comprende el análisis entre estas tres variables dada su fuerte relación y dependencia una de otra pero correlación únicamente para OD, como parámetros directamente proporcionales a la calidad del agua, ya que dependen del comportamiento turbulento del río que permite el contacto con el oxígeno presente en el aire, la respiración animal y vegetal además de la demanda biológica o química para degradación de compuestos, lo cual se relacionaría con el aumento o disminución del % saturación, ligado a su vez a la temperatura de la fuente.

Gráfica 36. Comportamiento del OD, % Saturación de Oxígeno y Temperatura sobre el río Palacé

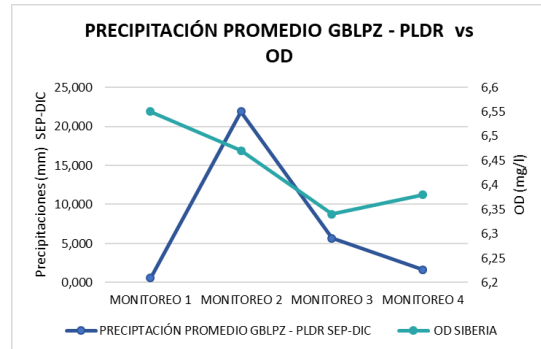


Fuente: Propia

Gráfica 37. Precipitación estación Gabriel López vs. OD Redox Humedal

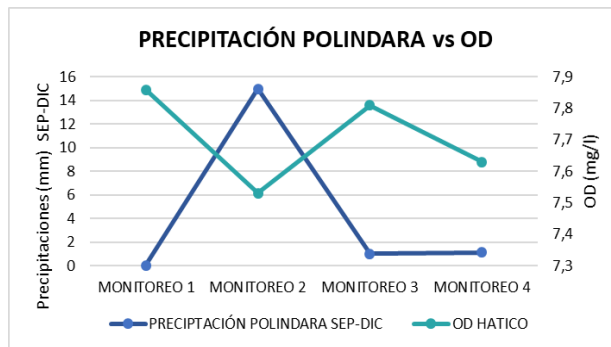


Gráfica 38. Precipitación promedio Gabriel López - Polindara vs. OD Siberia



Fuente: Propia

Gráfica 39. Precipitación estación Polindara vs. OD Hatico



Fuente: Propia

La Gráfica 36 evidencia una baja variabilidad para las concentraciones, el Punto N°1: Humedal comprende la mayor concentración de Oxígeno disuelto con un rango de $7.62 - 8.1 \text{ mg/l}$ al igual que sus %PSO entre $97.6 - 107\%$ y las T° más bajas $10.7^\circ\text{C} - 12.1^\circ\text{C}$ con una correlación totalmente acorde al aumento del régimen de precipitación directamente proporcional y fuerte de 0.800 , seguido del Punto N°3: Hatico donde a pesar de ser el punto con mayor temperatura $13.4^\circ\text{C} - 17.0^\circ\text{C}$ en el que habría una mayor expansión de las moléculas de agua y por tanto una menor retención de Oxígeno se presentan concentraciones similares al anterior entre $7.53 - 7.86 \text{ mg/l}$ y %PSO $99 - 104.6\%$ por lo contrario con una correlación inversamente proporcional fuerte igual a -1.00 , debido a las bajas precipitaciones en el punto que no son acordes al OD, el cual aumenta dado comportamiento turbulento del río además del evidente cambio de pendiente; por consiguiente, el constante contacto del agua con el material rocoso permite una alta oxigenación; ambos puntos de monitoreo presentan las concentraciones máximas de OD que a esa temperatura del Río reflejada los mayores % PSO.

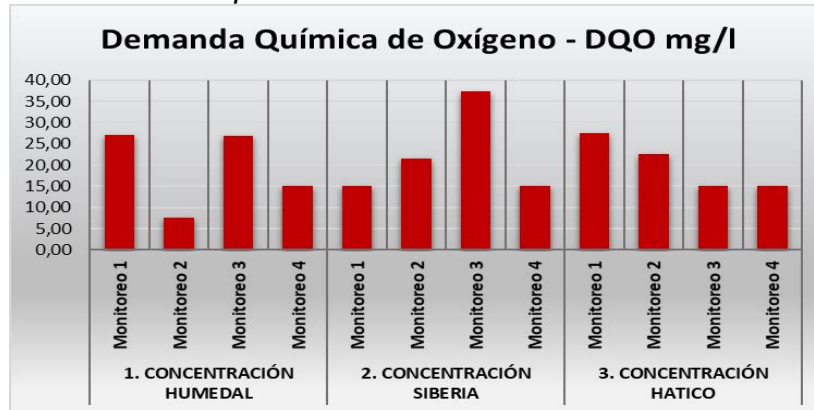
Las condiciones para el Punto N°2 a pesar de no presentarse las mismas calidad de agua entorno al valor de OD $6.34 - 6.55 \text{ mg/l}$ y por tanto %PSO $84.3\% - 86.5\%$ contrariamente a la baja temperatura $11.2^\circ\text{C} - 15.5^\circ\text{C}$ y comportamiento de la

precipitación reflejado en una relación inversa con moderada fuerza de correlación de -0.400; se atribuyen a dos condiciones, una el régimen de flujo laminar dado por la baja pendiente sobre el lecho del río que no permiten un fácil contacto de las moléculas de agua con el aire y por tanto una mayor acción microbiológica que contribuye al consumo del mismo además de ser el punto con mayor turbiedad evidenciado en los ST.

5.3.1.2.8 Correlación precipitación vs DQO – Demanda química de oxígeno.

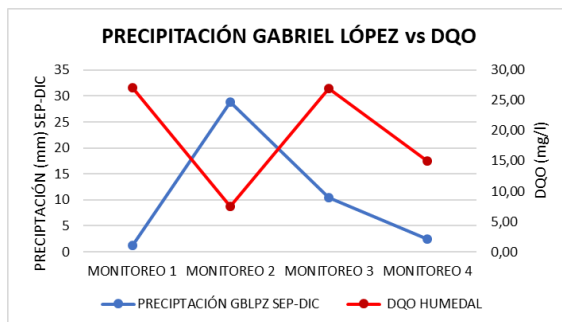
Dado la no medición de DBO por encima de su LDD además de las óptimas condiciones hidráulica y bajos niveles de contaminación puntual con alta carga contaminante que proveen al Río de una excelente calidad dado el OD evidenciado; en contraposición a la medición y cambio en el comportamiento de la DQO dentro de la subcuenca, al igual que en los monitoreos, al presentar valores por debajo del límite de detección LDD estimados como se enseñó en la anterior FASE II y representados en la Gráfica 40, comprenden el siguiente comportamiento en relación a la precipitación.

Gráfica 40. Comportamiento de la DQO sobre el río Palacé

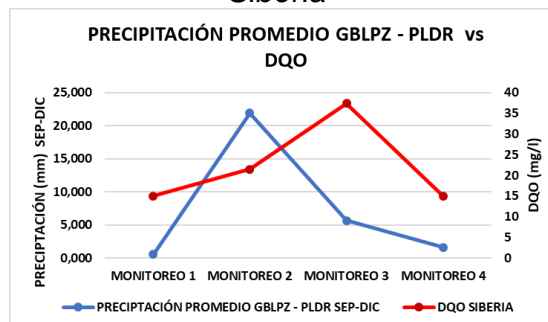


Fuente: Propia

Gráfica 41. Precipitación estación Gabriel López vs DQO Humedal

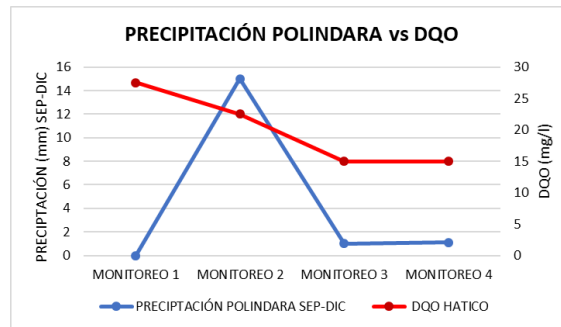


Gráfica 42. Precipitación promedio Gabriel López - Polindara vs DQO Siberia



Fuente: Propia

Gráfica 43. Precipitación estación Polindara vs DQO Hatico



Fuente: Propia

El Punto N°1 Humedal comprende valores entre $7.5 - 27.1 \text{ mg/l}$ con una relación inversamente proporcional a la precipitación evidente en la Gráfica 41 y correlación fuerte negativa -0.800 , para el Punto N°2 Siberia su concentración entre $15 - 37.4 \text{ mg/l}$ aunque inversa a la precipitación como se evidencia en la Gráfica 42, tiene por correlación directamente proporcional fuerte 0.738 , para el Punto N°3 Hatico con rangos entre $15 - 27.5 \text{ mg/l}$ muestra para los monitoreos 1 y 2 en condiciones climáticas marcada un comportamiento inverso pero lineal para los dos últimos, cuya precipitación es muy similar como se ve en la Gráfica 43 que al igual que el anterior comprende una correlación fuerte directa 0.866 en escala de Spearman; en ambos casos no se marca la relación inversa al medir la misma concentración de 15 mg/l para dos monitoreos que al bajo aumento de la precipitación dan como resultado dicha correlación, esto a causa del número de datos que no permiten una relación con mayor precisión.

Pese a ello, el cambio en la concentración de DQO a alta precipitación genera incertidumbre si esta medida puede ser acorde a la mayoría de compuestos químicamente oxidables con el aumento de la precipitación y por tanto el caudal, pero a condiciones de baja precipitación aumenta su concentración esto no solo dados los minerales presentes en la fuente pues en este tiempo aumenta la concentración de diversos COP-compuestos orgánico persistentes como se evidencia en la Actividad II: Correlación precipitaciones vs concentración de plaguicidas medidos en el río Palacé y al igual que las mayores concentraciones de plaguicidas en el Punto N°2: Siberia.

Análisis comportamiento de parámetros fisicoquímicos en el río Palacé

La fuente hídrica río Palacé al ser un curso de agua natural y estar en contacto con diferentes agentes como el aire, suelo, vegetación tanto en la rivera del Río como cobertura a lo largo de las montañas, subsuelo, lecho del río entre otras variables que junto a la influencia directa por las condiciones climáticas otorgan por disolución o arrastre diferentes características a la fuente, medidas directamente por el comportamiento de los parámetros físicos, químicos y biológicos, siendo este caso de estudio los dos primeros medidos dentro del río Palacé. Aunque no analizados

de manera continua se tiene una significativa baja variabilidad en el comportamiento de los mismos, con el cual se puede evidenciar el cambio o régimen de variación de sus concentraciones dado que la fuente de medición no cambia (río Palacé), ni tampoco sus condiciones naturales y características de la zona.

Además dentro de la subcuenca no se comprenden fuentes de contaminación antrópica de gran magnitud que puedan aportar elevadas concentraciones de carga contaminante, pues dentro de su recorrido no se comprenden zonas industriales o grandes poblaciones que aporten elevado contenido de materia orgánica a la fuente hídrica comprobado al no obtener valores de DBO por encima del límite de detección >15 mg/l, esto junto al comportamiento turbulento y régimen climático altamente variable con precipitaciones continuas en tiempo de altas lluvias y localizadas para un momento del día en época de bajas lluvias, e influye por tanto directamente en el caudal de la fuente hídrica, comprueba la relación directamente proporcional a las altas concentración de OD y un pH neutro en todo el recorrido de la fuente.

Por otro lado, se comprenden características específicas en el potencial Redox situando como una zona altamente reductora el Punto N°1 localizado anterior al humedal de Calvache; pero con condiciones reductoras y oxidativas para los dos posteriores puntos de medición, ambos en función del régimen de precipitación como se especificó en su correlación. Además de un aumento escalonado en la conductividad sobre el recorrido del Río, se caracteriza el Punto N°3: Hatico como altamente conductor al encontrar los mayores niveles de este parámetro, puesto que a mayor precipitación en la subcuenca alta mayor será el arrastre de ST desde el suelo y el lecho del Río ricos en minerales, depositados sobre la subcuenca intermedia lo que conlleva al aumento de la conductividad eléctrica, relacionado de igual forma con el bajo régimen de precipitación del punto que contribuye a mantener este comportamiento que solo cambia a condiciones superiores de precipitación dadas en la alta montaña

Por consiguiente, tanto los minerales como contaminantes biodegradables u oxidables con facilidad que pasan por este curso de agua en las condiciones de temperatura, pH, conductividad y Potencial Redox adecuadas, se verían sometidos a diferentes procesos de intercambio iónico relacionado al cambio constante entre un régimen reductivo y oxidativo. No solo en función de la precipitación sino del punto en relación a las características hidráulicas además catiónicas, aniónicas junto a las acumulativas de diferentes compuestos, al evidenciar un comportamiento característico fisicoquímicamente para cada punto de medición en la fuente hídrica río Palacé.

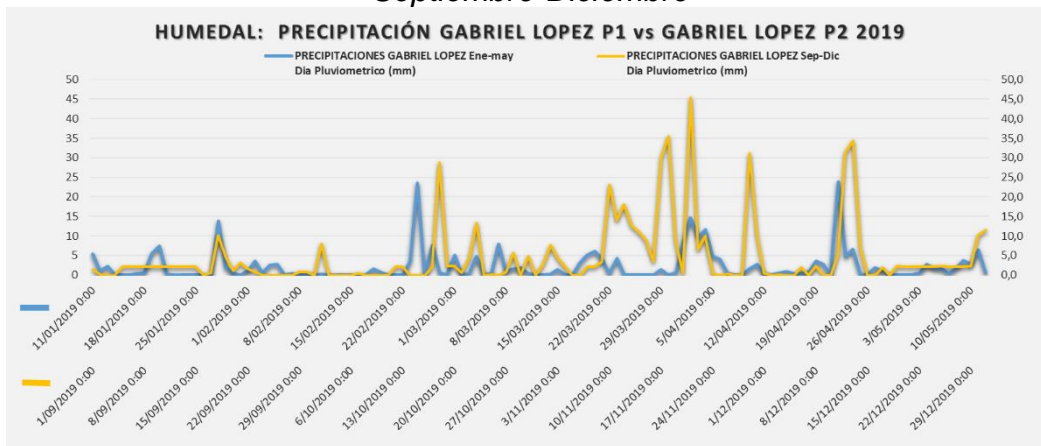
5.3.2 ETAPA II: Relación de tiempos bimodales mediante Wilcoxon

Una vez comprobada la relación anterior donde las concentraciones de plaguicidas y parámetros fisicoquímicos obedecen al comportamiento climático variable entre la baja y alta precipitación de la subcuenca del río Palacé, se procedió a comparar si el régimen bimodal de Enero – Mayo y Septiembre – Diciembre, determinando si las precipitaciones son similares y se mantiene en dicho régimen variable. Mediante la comparación de medianas para los dos periodos de tiempo por medio de WILCOXON, se obtuvieron los siguientes resultados tomando esta similitud como la base para lograr la relación entre periodos.

✓ Relación de medianas por Wilcoxon para estación meteorológica de Gabriel López

El pluviograma obtenido en la Gráfica 44 de comportamiento bimodal, señala un régimen similar bajo condiciones altamente variables, que comparados mediante la prueba de Wilcoxon se obtiene la Figura 5.

Gráfica 44. Régimen precipitación estación Gabriel López Enero-Mayo vs Septiembre-Diciembre



Fuente: Propia

Figura 5. Resultado SPSS prueba de rangos signados de Wilcoxon estación meteorológica de Gabriel López

		N	Rango promedio	Suma de rangos
PPG_SepDic - PPG_EneMay	Rangos negativos	46 ^a	45,95	2113,50
	Rangos positivos	61 ^b	60,07	3664,50
	Empates	15 ^c		
	Total	122		

- a. PPG_SepDic < PPG_EneMay
- b. PPG_SepDic > PPG_EneMay
- c. PPG_SepDic = PPG_EneMay

Estadísticos de contraste^a

	PPG_SepDic - PPG_EneMay
Z	-2,411 ^b
Sig. asintót. (bilateral)	,016

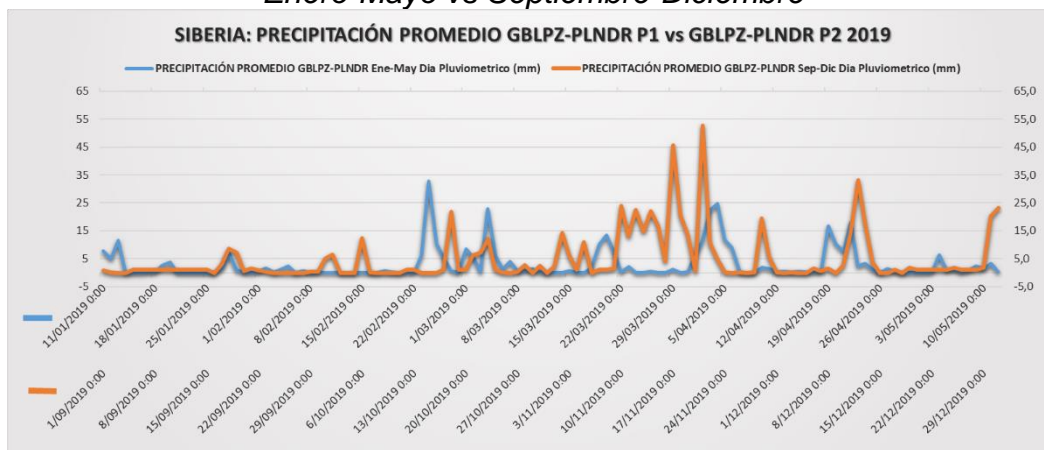
Al relacionar ambos periodos aunque bajo un régimen de comportamiento similar se evidencia el aumento en la publicidad para el segundo periodo que corresponde al segundo tiempo bimodal anual, al presentar el pico más alto de precipitación igual

a 45 mm durante el mes de Noviembre, análisis verificado mediante los resultados de la prueba de Wilcoxon realizada en SPSS afirmando un valor de $Z = -2.411^b$ y $\alpha = 0.016$ que aprueba la hipótesis alternativa donde según su signo negativo se presentan las mayores precipitaciones para el periodo de Septiembre-Diciembre con un rango de datos negativos igual a 2113 datos.

✓ **Relación de medianas por Wilcoxon para promedio entre estación meteorológica de Gabriel López - Polindara**

En la relación de la precipitación que influye dentro del punto de Siberia, se obtuvo el pluviograma de la Gráfica 45 junto a los resultados de relacionar ambos tiempos en la Figura 6

Gráfica 45. Régimen precipitación promedio estación Gabriel López - Polindara Enero-Mayo vs Septiembre-Diciembre



Fuente: Propia

Figura 6. Resultado SPSS prueba de rangos signados de Wilcoxon promedio estaciones Gabriel López - Polindara

		N	Rango promedio	Suma de rangos
PPS_SepDic - PPS_EneMay	Rangos negativos	47 ^a	56,88	2673,50
	Rangos positivos	66 ^b	57,08	3767,50
	Empates	9 ^c		
	Total	122		

- a. PPS_SepDic < PPS_EneMay
- b. PPS_SepDic > PPS_EneMay
- c. PPS_SepDic = PPS_EneMay

	PPS_SepDic - PPS_EneMay
Z	-1,567 ^b
Sig. asintót. (bilateral)	,117

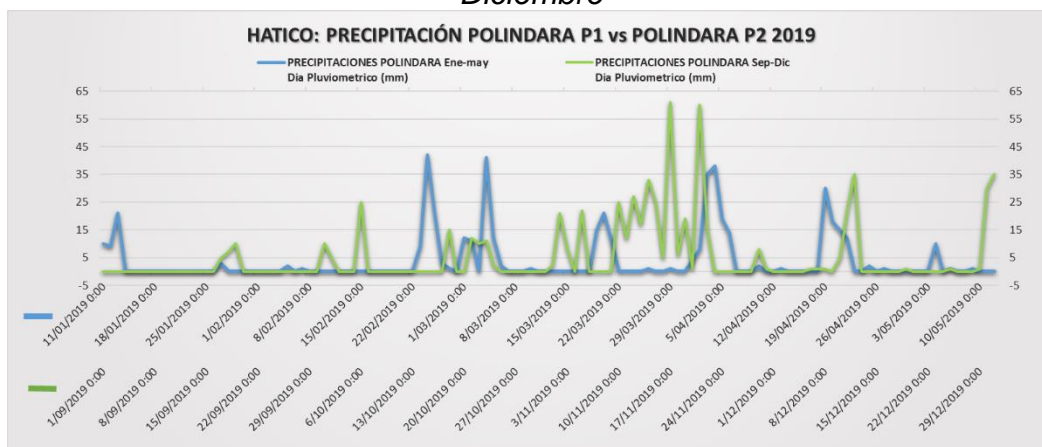
El comportamiento entre el promedio de estaciones para ambos tiempos de estudio, si muestra un régimen de precipitación similar con la disminución y aumento de precipitación, pero no exactamente en la relación uno a uno o día con día, al igual que un aumento de precipitación para el segundo periodo con el pico más alto igual a 52.8 mm. La relación entre medias obtenida por SSPS verifica este aumento en al ser el periodo de Sep-Dic > Ene-May como se ve en $Z = -1.567^b$ pero $\alpha = 0.117$ que aunque con ese comportamiento al tener $\alpha > 0.05$ al igual que $Z < 1.96$ se

aprueba la hipótesis Nula, por tanto se obtendría que ambos tiempos se mueven bajo el mismo intervalo de alta o baja lluvia.

✓ **Relación de medias por Wilcoxon para estación meteorológica de Polindara**

El punto hatico al relacionarse con la estación meteorológica de Polindara caracterizan este punto como el de menor precipitaciones, dado la amplia cantidad de datos igual a 0.00mm, pero al igual que los dos anteriores tiene alta variabilidad climática como se ve en la Gráfica 46 y al comparar ambos tiempos se obtienen la Figura 7.

Gráfica 46. Régimen precipitación estación Polindara Enero-Mayo vs Septiembre-Diciembre



Fuente: Propia

Figura 7. Resultado SPSS prueba de rangos signados de Wilcoxon estación meteorológica de Polindara

		N	Rango promedio	Suma de rangos
PPH_SepDic - PPH_EneMay	Rangos negativos	30 ^a	31,25	937,50
	Rangos positivos	34 ^b	33,60	1142,50
	Empates	58 ^c		
	Total	122		

- a. PPH_SepDic < PPH_EneMay
- b. PPH_SepDic > PPH_EneMay
- c. PPH_SepDic = PPH_EneMay

Estadísticos de contraste^a

	PPH_SepDic - PPH_EneMay
Z	-.686 ^b
Sig. asintót. (bilateral)	.493

Para ambos periodos se comprende el régimen con mayor aumento y disminución de la precipitación, al pasar un día pluviométrico con 0.00 mm a otro de 42 mm para el primer periodo y de 0.00mm a 35 mm en el segundo, con el pico más alto de 61 mm en el mes de noviembre contrapuesto al más alto en el mes de Abril de 38 mm así se caracteriza esta zona de montaña como altamente variable climáticamente, con las precipitaciones más altas para el segundo periodo bimodal de Sep-Dic > Ene-May como se evidencia en $Z = -0.686^b$ pero $\alpha = 0.493$, que al igual al anterior siendo $\alpha > 0.05$ al igual que $Z < 1.96$ se aprueba la hipótesis Nula

donde aunque hay diferencia en el comportamiento de la precipitación, esta no es significativa entre este periodo de tiempo bimodal anual.

Con los anteriores resultados se tiene que el ciclo hidroclimático anual dentro de la subcuenca del río Palacé, evidencia una alta variabilidad junto al aumento y disminución constante en la precipitación de manera mensual; comportamiento representativo al relacionar cada estación con su punto de monitoreo respectivo (humedal de Calvache, Siberia y Hatico) y tener tres zonas de geografía marcada dentro de la subcuenca, siendo estas un valle de alta montaña con piso altoandino, zona de alta montaña con piso altimontañoso y de montaña consecutivo a su piso climático.

Se señala por consiguiente un marcado comportamiento bimodal anual con dos temporadas de baja lluvia o secas y dos de alta lluvia una para cada periodo, que al compararse mediante la precipitación Promedio *Gabriel López - Polindara* y estación meteorológica de Polindara por Wilcoxon aprueban la hipótesis nula y aunque con diferencia para la estación de Gabriel López dado el aumento de precipitación diaria, para el periodo de Sep-Dic esté al moverse bajo el mismo régimen de variabilidad que Ene-May como se ve en el pluviograma de la Gráfica 44 no presentan diferencia significativas; haciendo posible la relación entre periodos y finalmente entre las concentraciones de Plaguicidas medidos entre los meses de Enero-Mayo y Parámetros fisicoquímicos en los meses de Septiembre-Diciembre.

5.4FASE IV: RELACIÓN ENTRE MONITOREO Y CORRELACIÓN DE CONCENTRACIONES DE PLAGUICIDAS VS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

5.4.1 ETAPA I: Relación de caudal medio diario por Wilcoxon

Se calculó la menor diferencia entre el caudal medio diario medido por la estación hidrológica de Malvaza al relacionar los monitoreo de parámetros fisicoquímicos y plaguicidas, dando como resultado la mayor relación posible entre monitoreos cálculos evidenciados en el ANEXO N° 8 y presentados en la Tabla 44, los cuales son relacionados estadísticamente mediante la prueba de rangos signados de WILCOXON con resultado en la Figura 8.

Figura 8. Resultado SPSS prueba de rangos signados de Wilcoxon para caudal medio diario en estación hidrológica de Malvaza

	N	Rango promedio	Suma de rangos
CAUDAL_PARÁMETROS - CAUDAL_PLAGUICIDAS Rangos negativos	2 ^a	2,00	4,00
Rangos positivos	2 ^b	3,00	6,00
Empates	0 ^c		
Total	4		

- a. CAUDAL_PARÁMETROS < CAUDAL_PLAGUICIDA
- b. CAUDAL_PARÁMETROS > CAUDAL_PLAGUICIDA
- c. CAUDAL_PARÁMETROS = CAUDAL_PLAGUICIDA

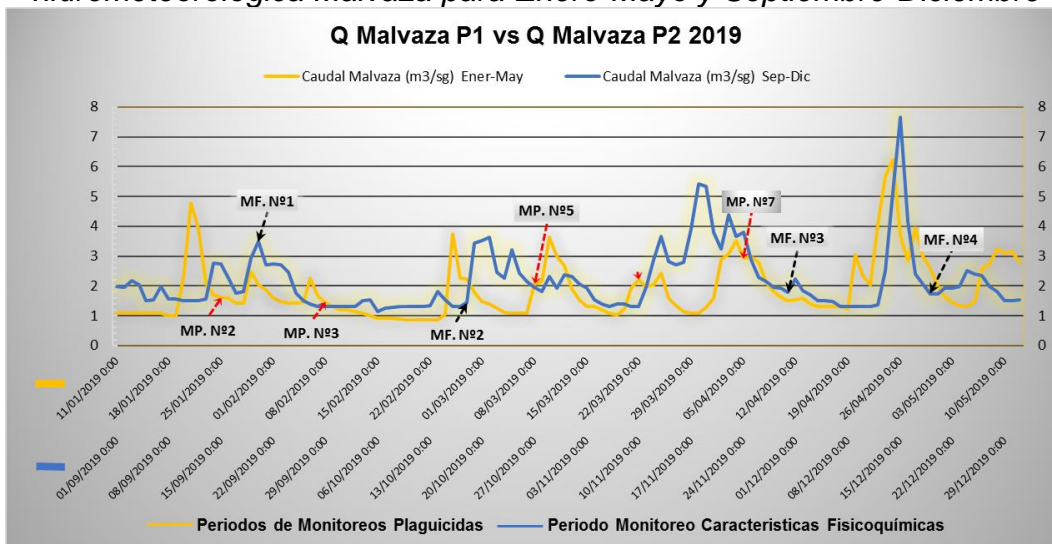
Estadísticos de contraste^a

	CAUDAL_PA RÁMETROS - CAUDAL_PLA GUICIDAS
Z	-,365 ^b
Sig. asintót. (bilateral)	,715

Al relacionar las menores diferencia de caudales para los días en los cuales se realizaron los monitoreos de plaguicidas y parámetros fisicoquímicos, se tiene $Z = -0.365^b$ un nivel crítico $\alpha = 0.493$ que en este caso igual a la correlación de Spearman al tener un número de datos < 25 no sería significativo para $\alpha < 0.05$; por tanto, se aprueba la hipótesis nula a obtener una $Z < 1.96$ determinando que no existe diferencia significativa entre el caudal medio diario de los monitoreos, lo cual hace estadísticamente viable la realización entre la concentración de plaguicidas y parámetros fisicoquímicos medidos en el río Palacé para esos monitoreos.

A continuación, en la Gráfica 47 se muestra la relación entre los periodos de Enero-Mayo y Septiembre-Diciembre, a la vez que se localizan los monitoreos a relacionar según el comportamiento del caudal medio diario de la estación hidrológica de Malvaza.

Gráfica 47. Relación del comportamiento de caudal medio diario en estación hidrometeorológica Malvaza para Enero-Mayo y Septiembre-Diciembre



Fuente: Propia

5.4.2 ETAPA II: Correlación de Parámetros fisicoquímicos vs concentración de Plaguicidas

Si bien la correlación entre la concentración de los plaguicidas Lindano, α -BHC, β -BHC y Clorpirifos y parámetros fisicoquímicos pH, Potencial Redox, Conductividad, SST, OD y DQO se planteó mediante la prueba estadística no paramétrica de Spearman, al obtener un comportamiento paramétrico de algunas características de la fuente de hídrico río Palacé como se evidencio en la anterior FASE III, ETAPA I, Actividad III: Correlación precipitaciones vs comportamiento de parámetros fisicoquímicos del río Palacé, dicha correlación también se realizó mediante Pearson tomando entre ambas pruebas el resultado cuya fuerza de correlación sea mayor.

Por lo tanto, se presentan únicamente el valor cuya correlación es más fuerte en magnitud y dirección arrojado por el programa SPSS, que se podrán corroborar en los Documentos Anexos PDF-Resultados SPSS Correlación Plaguicidas y Parámetros, el resumen en ANEXO N° 9 junto al Excel Gráficas de correlación entre parámetros y concentraciones de plaguicidas por punto.

5.4.2.1 Actividad I: Correlaciones Punto N°1 Humedal concentración de Plaguicidas – Parámetros fisicoquímicos

Siendo este el punto donde menores niveles de plaguicidas se midieron que al relacionar con las características fisicoquímicas, no presentan en algunos casos un comportamiento marcado; por consiguiente, correlaciones no tan fuertes, pero si posibles.

Tabla 37. Resultados Humedal: Correlación Pearson - Spearman Plaguicidas vs Parámetros

PARÁMETRO F PLAGUICIDA	pH	Potencial Redox	Conductividad	SST	OD	DQO
CONCENTRACIÓN LINDANO _ HUMEDAL	-0,366	-0,105	-0,84	0,252	-0,316	0,949
CONCENTRACIÓN α -BHC _ HUMEDAL	-0,467	0,4	0,496	0,634	0,4	-1,000*
CONCENTRACIÓN β -BHC _ HUMEDAL	-0,397	-0,105	-0,658	0,200	-0,316	0,949
CONCENTRACIÓN CLORPIRIFOS _ HUMEDAL	0,443	-0,2	0,642	-0,245	0,200	-0,800

Fuente: Propia

✓ Correlación pH, Potencial Redox vs Plaguicidas

Para el punto N° 1 Humedal como punto de carácter netamente reductor (Potencial Redox negativo) con pH neutro característico de una fuente de agua natural, presenta las menores correlaciones para Lindano y β -BHC en relación a ambos parámetros siendo -0.366; -0.105 para el primer plaguicida y -0.397; -0.105 para el segundo, esto debido que ambos compuestos no presentaron concentración en tiempo de baja lluvias donde el pH aumenta su concentración por consiguiente la relación de su comportamiento solo se realizó para los monitoreos cuya concentración es mayor a 0.0 ng/l, dada en tiempo de alta lluvia donde el pH disminuye, obteniendo por consiguiente una relación inversamente proporcional. Características que contribuye a su transporte dentro de la fuente hídrica, puesto que a condiciones neutras se provee una mayor estabilidad iónica de la fuente; por tanto, mayores concentraciones de estos plaguicidas, misma correlación para pH vs α -BHC de -0.467 como primer metabolito del Lindano.

Seguidamente, pH vs Clorpirifos tienen una correlación directamente proporcional igual a 0.443 siendo una relación contradictoria a la literatura, pues su hidrólisis se da entre pH neutros y alcalino [73], empero es aquí donde se refleja mayor

estabilidad al aumentar su concentración a medida que el pH es más básico al moverse de 6.97 – 7.6 en este punto, al mismo tiempo la baja temperatura sobre la zona entre 10.7; 12.1 °C no es un coadyuvante que facilite las reacciones; por lo contrario, si una mayor compactación de las moléculas de agua y por consiguiente menor contacto de los compuestos que contiene.

La relación inversamente proporcional entre Lindano, β -BHC vs Potencial Redox muestra a bajos niveles reductivos mayores concentraciones, ya que al disminuir el potencial reductivo al aumento de la precipitación aumenta la concentración de estos plaguicidas, pues a bajas precipitaciones no hubo medición en los dos primeros y la relación aunque inversa para Clorpirifos -0.200 es débil ya que al aumento del Potencial reductivo aumenta la concentración significativamente, para el α -BHC tiene relación directa moderada 0.400 pues este compuesto se midió a lo largo de todos los monitoreos donde a mayor potencial Redox mayores son las concentraciones, por tanto al aumento de OH^- se afirma su liberación desde el sedimento en condiciones de baja precipitación al igual que para Clorpirifos.

✓ **Correlación Conductividad, SST vs Plaguicidas**

La conductividad y SST como dos parámetros relacionados entre sí, en correlación con los plaguicidas Lindano y β -BHC tienen una fuerte relación inversa -0.840; -0.658 para conductividad que no representa el comportamiento de ambos, ya que en relación a los SST siendo aunque débil directa 0.252; 0.200 ambos casos no presentaron medición de concentración de plaguicidas en dos ocasiones lo que no contribuye a representar un conducta acorde a sus características, pues si bien se comparan con el comportamiento del α -BHC medido en todos los monitoreos con relación fuertemente directa para ambos parámetros 0.496; 0.634 aprueba la afinidad de este junto a su compuesto parental y último metabolito por el sedimento transportándose dentro de la columna de agua adherido a su superficie y depositándose en el lecho del río en época altas lluvias.

El Clorpirifos con una correlación directa positiva en la conductividad 0.642 sería el contaminante que más se puede encontrar de forma disuelta al tener una relación inversa para SST -0.245, pues al medir las partículas de mayor diámetro que disminuyen junto a la precipitación la concentración de Clorpirifos aumenta siendo en este régimen climático donde todos los contaminantes presentan mayor concentración dada la liberación de los mismos hacia la columna de agua.

✓ **Correlación OD, DQO vs Plaguicidas**

Por último, la relación inversa del OD para Lindano y β -BHC igual a -0.316 no representa una degradación, ya que la disminución o aumento del OD se mantienen altas concentraciones en ambos, constatado al obtener correlaciones directa para α -BHC y Clorpirifos 0.400; 0.200 ya que en este punto las mayores concentraciones de OD se presentan a baja precipitación donde aumentan las concentraciones de plaguicidas, además sus correlaciones de DQO 0.949 para los primeros y -0.100; -

0.800 en los segundos, no representan el comportamiento real de los compuestos al presentarse las mayores concentraciones en las DQO más bajas.

5.4.2.2 Actividad II: Correlaciones Punto N°2 Siberia concentración de Plaguicidas – Parámetros fisicoquímicos

Punto donde se midieron las mayores y continuas concentraciones de los metabolitos α -BHC, β -BHC además de un cambio marcado en las características de la fuente hídrica al tránsito por la mayor zona de explotación agrícola, obteniendo alta fuerza en la mayoría de las correlaciones.

Tabla 38. Resultados Siberia: Correlación Pearson - Spearman Plaguicidas vs Parámetros

PARÁMETRO F PLAGUICIDA	pH	Potencial Redox	Conductividad	SST	OD	DQO
CONCENTRACIÓN LINDANO _ SIBERIA	0,4	-0,469	0,600	0,258	-0,23	-0,565
CONCENTRACIÓN α -BHC _ SIBERIA	-0,2	-0,643	0,800	0,258	-0,409	-0,439
CONCENTRACIÓN β -BHC _ SIBERIA	-0,316	0,36	-0,738	-0,544	-0,388	0,832
CONCENTRACIÓN CLORPIRIFOS _ SIBERIA	-0,4	-0,609	0,400	-0,258	-0,496	-0,347

Fuente: Propia

✓ Correlación pH, Potencial Redox vs Plaguicidas

El Punto N°2: Siberia en el cual si bien se presentan los dos comportamientos de energía potencial reductiva u oxidativa, ambos se dan bajo un régimen de potencial de hidrógeno pH neutro y ligeramente básico del río Palacé que en relación a la concentración de Lindano directamente proporcional al pH 0.400, para α -BHC, β -BHC y Clorpirifos aunque con relaciones inversas -0.200; -0.316; -0.400 no hace referencia a una disminución de su concentración sino lo contrario pues al régimen neutro de pH tienen un ascenso sustancial con las mayores concentraciones medidas lo que evidencia alta estabilidad a mayor concentración de OH^- , pero en relación al Potencial Redox con relación inversa de Lindano, α -BHC y Clorpirifos - 0.469;-0.643; -0.643 que directa para β -BHC 0.360 tiene su mismo comportamiento, ya que esta correlación se da al no presentar medición para uno de los monitoreos lo que lleva la dirección hacia otro rumbo pero de manera gráfica su comportamiento es miliar a los demás compuesto.

Esta relación es de gran importancia para este punto al sustentar las mayores concentraciones de plaguicidas en época de bajas precipitaciones que se relaciona con el potencial reductivo y la afinidad lipofílica además de adherencia a la superficie del sedimento de los contaminantes que al depositarse en el lecho del Río afirma su afinidad a esa carga química eléctrica negativa, liberando bajo esas condiciones químicas y climáticas los contaminantes hacia la columna de agua, al igual que aun potencial oxidativo disminuyen las concentraciones no como una oxidación de los

compuestos sino en relación a su transporte pues esta seda en época de altas precipitaciones donde se presentan los menor niveles de contaminación.

✓ **Correlación Conductividad, SST vs Plaguicidas**

La relación directamente proporcional a la conductividad para Lindano, α -BHC y Clorpirifos 0.600; 0.800; 0.400 al igual que para SST 0.258 en los dos primeros y aunque inversa para el último -0.258 dado que el nivel del compuesto para una de sus mediciones sobrepasa el de SST, pero inversa para β -BHC en conductividad -0.738 y SST -0.544 no representan el comportamiento real del plaguicida, que comprende las mismas propiedades fisicoquímicas de los anteriores afines al sedimento y liposolubles $> \text{Log } k_{oc}$ y $\text{Log } k_{ow}$.

Estos COP al ser directamente proporcionales a la conductividad y los SST conjuntamente a las características topográficas de la subcuenca expuestas posteriormente, se depositados con facilidad en esta sección del río Palacé comprobado al medir las mayores concentraciones en α -BHC 46.10 – 1062.11 ng/l y β -BHC 48.10 – 127.08 ng/l además de continuas para Lindano y Clorpirifos, exhibiendo los mayores niveles de contaminación a bajas precipitaciones, relación directa al aumento de la conductividad eléctrica bajo dicho régimen climático, afirmando su liberación desde el lecho del río encontrándose dentro de la columna de agua de manera disuelta al elevado potencial conductor, relación constatada en el párrafo anterior. Al igual que la disminución en sus concentraciones en época de alta lluvia al aumento del régimen de precipitación viajan por la columna de agua adheridos a los SST a los cuales se correlaciona de manera directa.

✓ **Correlación OD, DQO vs Plaguicidas**

Al relacionar la concentración los cuatro plaguicidas Lindano, sus metabolitos (α -BHC, β -BHC) y Clorpirifos con los parámetros OD y DQO se obtienen correlaciones inversas y solo una directa iguales a -0.230; -0.409; -0.388; -0.496 y -0.565; -0.439; 0.832; -0.347 respectivamente, que de manera unánime no exponen el comportamiento de los plaguicidas pues estos al no ser oxidables con facilidad no consumirá de manera acelerada el oxígeno disuelto de la fuente, por consiguiente estas relaciones inversamente proporcionales se da ya que al aumento de la precipitación aumenta el caudal y por tanto el OD pero bajo este régimen disminuyen las concentraciones de los plaguicidas: Al igual que no son medidos por la DQO al señalar bajo las menores medidas las mayores concentraciones de plaguicidas, por lo cual en este punto no solo se depositan estos contaminantes sino diferentes compuestos característicos de la zona de alta montaña como minerales o ácidos húmicos y fúlvicos a los cuales se les atribuye el comportamiento de los anteriores parámetros.

5.4.2.3 Actividad III: Correlaciones Punto N°3 Hatico concentración de Plaguicidas – Parámetros fisicoquímicos

Al relacionar las concentraciones de plaguicidas a los parámetros fisicoquímicos medidos sobre la sección media de la subcuenca del río Palacé en el Punto N°3 Hatico, se obtuvieron las correlaciones con mayor fuerza siendo:

Tabla 39. Resultados Hatico: Correlación Pearson - Spearman Plaguicidas vs Parámetros

PARÁMETRO F PLAGUICIDA	pH	Potencial Redox	Conductividad	SST	OD	DQO
CONCENTRACIÓN LINDANO _ HATICO	0,8	-0,800	0,80	-0,738	-0,80	-0,632
CONCENTRACIÓN α -BHC _ HATICO	0,8	-0,800	0,80	-0,949	-0,80	0,325
CONCENTRACIÓN β -BHC _ HATICO	-0,738	0,949	-0,738	1,000**	0,93	0,126
CONCENTRACIÓN CLORPIRIFOS _ HATICO	0,16	-0,800	0,067	-0,632	-0,336	-0,481

Fuente: Propia

✓ Correlación pH, Potencial Redox vs Plaguicidas

El último punto de medición Hatico sobre el cual se depositan las mayores concentraciones de los plaguicidas Lindano y Clorpirifos al igual que una medición consecutiva de α -BHC, comprende correlaciones similares en función a todos los parámetros fisicoquímicos con relaciones directamente proporcionales al pH 0.800; 0.800; 0.160 pues al igual movimiento de iones H^+ y/o OH^- en un rango 7.03; 7.58 se comportan las concentración de los contaminantes, características que según la literatura deberían contribuir a su degradación y ser a fin a esta característica dentro del río Palacé; sin embargo, a condiciones ambientes con un leve aumento de la temperatura entre 13.4; 17 °C se da el comportamiento contrario al proveer de estabilidad a las moléculas.

El punto de Hatico al igual que Siberia presenta un comportamiento oxidativo al aumento de la precipitación que lejos de contribuir a la hidrólisis de los COP solo influye en los compuestos orgánicos biodegradables, pero al cambio a un potencial reductor dado en bajas precipitación influye sobre el sedimento proporcionando las condiciones adecuadas para la liberación de los tres plaguicidas en cuestión sobre la columna de agua, comportamiento ratificado en las correlaciones inversamente fuertes según la correlación de Spearman -0.800; situación que en el β -BHC gráficamente comprende la misma tendencia aunque no similares correlaciones siendo -0.738 para pH; 0.949 para Potencial Redox como resultado a la ausencia de datos al presenta concentración únicamente en época de altas lluvias; caracterizando este compuesto al igual que Lindano y Clorpirifos como 100% transportables al solo presenta concentración en época de altas lluvias y evidenciar las mayores concentraciones sobre este punto en Lindano y Clorpirifos, que sumado

la ausencia de datos no se da la correlación similar a los anteriores pero se puede tomar de igual manera dada la similitud en sus propiedades físicoquímicas.

✓ **Correlación Conductividad, ST vs Plaguicidas**

Siendo Hatico el punto con los mayores niveles de conductividad, pero con las concentraciones más bajas de ST como se evidencia en la Gráfica 25. Comportamiento de la Conductividad y Sólidos Totales sobre el río Palacé, en relación a las los mayores niveles de plaguicidas Lindano, Clorpirifos y los segundos para α -BHC, se obtuvo para la conductividad relaciones directamente fuertes para el Lindano y α -BHC 0.800 pero débil para Clorpirifos 0.016, no obstante al igual que la relación entre parámetros (conductividad – ST) no reflejó un comportamiento directamente relacionado; ya que al correlacionar estos tres plaguicidas con la concentración de ST se tienen relaciones inversas -0.738; -0.949; -0.632, pues este punto dada sus características geográficas se caracteriza por promover el fácil transporte de los plaguicidas con el rápido y continuo movimiento de los ST más no su acumulación dentro de la zona, además se abre una ventana fuerte en la relación de concentraciones de plaguicidas y los altos niveles de conductividad característicos en esta sección del Río teniendo en cuenta dos instancias, primero la disposición de minerales provenientes de la subcuenca alta que elevan el potencial conductor de la fuente y segundo teniendo presente que la mayoría de contaminantes medidos son de tipo Organoclorado de carga elevada, potencialmente conductores dado sus enlaces, los cuales sujetos al material disuelto o de su molécula dentro de la columna de agua contribuyen al aumento de este parámetro correlacionándose por consiguiente de manera directa como es el caso.

✓ **Correlación OD, DQO vs Plaguicidas**

La fuente hídrica río Palacé en relación a su calidad de agua con el OD y DQO presenta óptimos niveles, en particular para este punto pues sus características turbulentas al aumento de la pendiente y amplio lecho del río contribuyen a la aireación del mismo, condiciones aisladas en las que no influye al aumento en la concentración de diferentes plaguicidas en particular los relacionados en la presente investigación, pues no afectan este parámetro al presentar el mismo comportamiento poco representativo a la medición fuerte e inversa de los anteriores puntos aunque directo solo para β -BHC es débil -0.80; -0.80; 0.93; -0.336 en OD y -0.632; 0.325; 0.125; -0.481 para DQO que de manera moderada a débil según su fuerza de correlación también comprueban la alta persistencia de los mismos y la baja degradación o hidrólisis dentro la fuente pues los niveles de DQO no representan las concentraciones de los contaminantes.

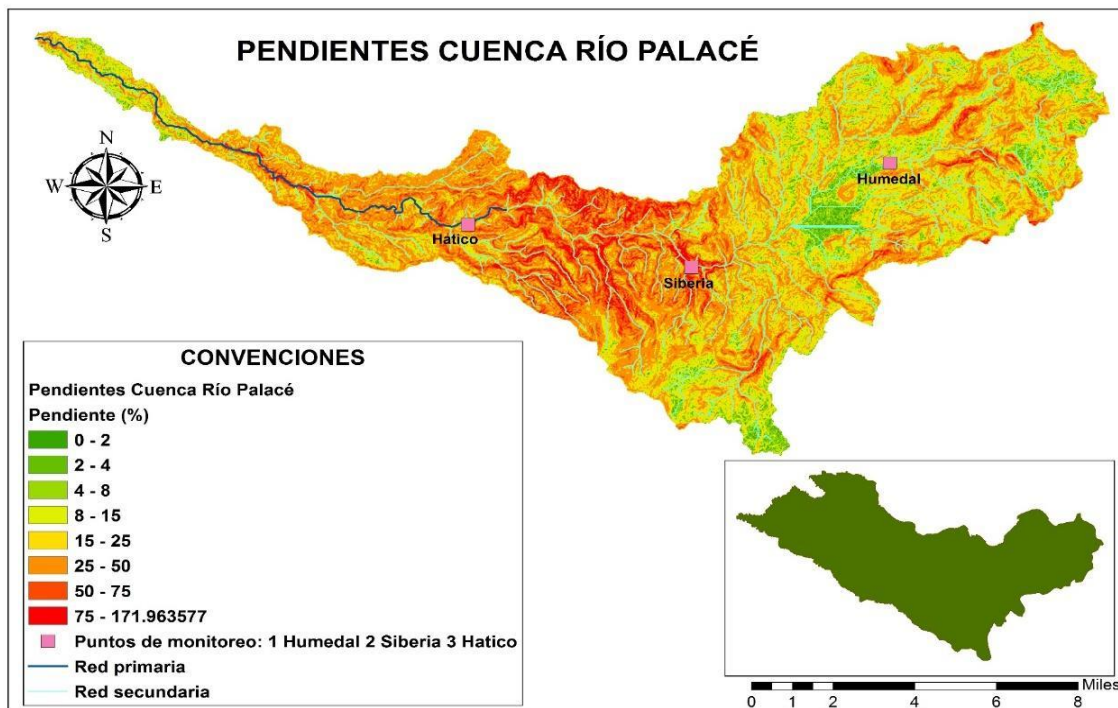
6. CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 ANÁLISIS DE PENDIENTE SUBCUENCA DEL RÍO PALACÉ – MUNICIPIO DE TOTORÓ

Si bien el fin de la presente investigación va encaminado al estudio del comportamiento de los plaguicidas en relación a los parámetros fisicoquímicos y variación de la precipitación dentro de la subcuenca y por consiguiente fuente hídrica río Palacé, también se consideran la pendiente como una de las características geográficas de la zona que se relaciona directamente con el proceso de transporte de los plaguicidas, junto a la importancia de analizar el comportamiento de la fuente posterior a su transición por el denominado humedal de Calvache. Se tiene 3 puntos de monitoreo que conforman dos secciones con diferente pendiente, forma y comportamiento de régimen en cada una.

Se realizó completamente Anexo al estudio la caracterización de las pendientes enseñadas en el Mapa 4. Pendientes subcuenca río Palacé dentro del municipio de Totoró donde se exhibe una forma diferente a la convencional, característica de zona de gran altitud siendo el caso dentro de la cordillera central, puesto que en su inicio o cuenca alta se ubica una gran extensión del páramo “Guanacas, Coconuco, Puracé” con pendientes entre 25 – 50% que al ser una zona delimitada y preservada sólo se menciona, pero no entra en el estudio.

Mapa 4. Pendientes subcuenca río Palacé dentro del municipio de Totoró



Fuente: Propia

La subcuenca Piedra con la cual colinda la subcuenca Palacé por el costado sur, comprende una baja vulnerabilidad al cambio climático y la actividad productiva agrícola pues lleva un proceso de más de 20 años de conservación, contrario a la subcuenta Michicao al Norte de la subcuenca río Cofre donde su terreno escarpado con reducción en la cobertura vegetal disminuyen la calidad de agua por el aumento en los procesos de erosión y sedimentación en la cuenca [74], ambas colindantes con el municipio de Totoró, Cauca; que a diferencia de la subcuenca Palacé donde su actividad productiva principalmente del cultivo de papa con alrededor de 2050 hectáreas sembradas según MINAGRICULTURA, 2014 [75], se localiza en la sección media alta dentro de un amplia área clasificada como valle alto andino con un terreno de extensa ondulación y baja pendiente intermedia entre 2 – 25%, junto a ello la agresividad de la precipitación en la subcuenca propia de una masa de aire frío y seco de tipo continental tropical, han generado vulnerabilidad al cambio de las condiciones climáticas en relación directa a la actividad agrícola que ahí se desarrolla.

Pues estas características geológicas y climáticas favorecen el tiempo de concentración del plaguicida, resultados que en comparación al análisis por (Davila, Tatiana et al., 2020); afirmar esta hipótesis dada la relación directamente proporcional que existe entre el número de curva de la cobertura vegetal y el tiempo de concentración de plaguicidas, que con llevando a una menor movilidad superficial o impacto sobre la ladera de las montañas, contribuyendo a su acumulación e infiltración en el área [15], lo que con lleva a una disposición con mayor facilidad de los contaminantes sobre el ecosistema léntico del humedal de Calvache y a su vez retenidos durante un largo periodo de tiempo relación verificada dada su mínima pendiente interna entre 0 – 8%, además del aumento en la concentración de COP posterior al tránsito del río, condiciones que lo catalogan como trampa de contaminantes logrando su saturación y probablemente dadas las condiciones anaerobias, con microorganismos que usan el carbono como fuente de energía y la acumulación de diferentes metales, que contribuyen al intercambio iónico en condiciones reductivas (Potencial redox negativas) como se evidencia en Actividad I: Comportamiento parámetros fisicoquímicos humedal de Calvache sea el ecosistema donde ocurre con mayor facilidad la degradación o transformación de estos compuestos orgánicos sintéticos.

En la subcuenca media se localizan los puntos N°2 y 3 Siberia y Hatico el primero dentro de la zona de explotación agrícola en el territorio de alta montaña que comprende pendientes 15, 25, 75% y el segundo posterior a toda el área de explotación agrícola dentro del municipio en el territorio de montaña con pendiente entre 25, 75, 171.69%, puntos donde se comprende el mayor nivel de contaminación por Compuestos orgánico persistentes (COP) con dos regímenes diferentes del río, un comportamiento léntico y poco turbulento en Siberia con gran acumulación de sólidos por tanto turbiedad como se ve en la Imagen 9. Río Palacé Punto N°2 Siberia, que al aumento progresivo en el desnivel sobre el lecho del río Palacé para

Hatico se tiene un comportamiento turbulento de gran velocidad Imagen 10. Río Palacé Punto N° 3 Hatico aunque regido por las condiciones climáticas de la subcuenca alta pues esta zona no comprende altas precipitaciones, lo anterior sumado al arado o labranza de la tierra en zonas de alta pendiente entre los tramos Humedal – Siberia y Siberia Hatico de manera continua al transcurrir periodos de 4 a 6 meses como tiempo de siembra, producción y cosecha de los cultivos de papa, ciclo productivo definido según la información proporcionada por los agricultores en la Actividad III: Evaluación de riesgo y normatividad de plaguicidas; son condiciones que potencializa en gran medida la degradación del suelo por erosión hídrica, generando una relación negativa no solo por la pérdida de la biomasa, nutrientes y microorganismos sino el aumento en el potencial contaminante de la fuente hídrica a causa de COP adheridos al sedimento.

por consiguiente, las anteriores variables que relacionadas al aumento y disminución de los niveles en ST – Conductividad dada la afinidad de los plaguicidas al carbono orgánico del sedimento como se comprueba en correlaciones directas y fuertes a la variación en su concentración en la *ETAPA II: Correlación de Parámetros fisicoquímicos vs concentración de Plaguicidas*, que relacionadas a las condiciones de pendiente promueven tanto la acumulación en su subcuenca media – alta como también el fácil transporte de plaguicidas en sección la media – baja, y aunque la presente investigación no tiene como objetivo evaluar las dinámicas de los plaguicidas con el suelo dada la amplia cantidad de datos requeridos, al relacionar sus concentraciones con el régimen climático, la pendiente de la subcuenca y las características fisicoquímicas en el río Palacé, se demuestra que estas variables tienen gran importancia en la dinámica de los plaguicidas aplicados cerca a fuentes hídricas dentro de zonas de explotación agrícola, que a su vez desembocan en fuentes primarias o de mayor magnitud, contribuyendo a su desplazamiento sobre la columna de agua a largas distancias del lugar donde fueron aplicados.

6.2 ANÁLISIS DE VARIACIÓN EN LA CONCENTRACIÓN DE PLAGUICIDAS EN RELACIÓN A LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL RÍO PALACÉ

Al evaluar la especiación química del Lindano mediante la concentración de sus metabolitos α -BHC y β -BHC de características más persistentes y tóxicas, se evidencia mayor fuerza en la primera fase de degradación de este compuesto al detectar mayor nivel de contaminación, liberación y por consiguiente medición de α -BHC y mínimos niveles de su último metabolito medible β -BHC, los cuales interactúan con diferentes componentes ambientales, aunque no medidos dentro de esta investigación en los compartimentos suelo y sedimento, se asocian al fenómeno de adsorción de estos plaguicidas hidrofóbicos al enlazarse directamente con la MO, en la cual influye la calidad y cantidad que contiene el medio, al comprenderse una relación directamente proporcional entre ambos (Alta MO – Alta adherencia Plaguicida) [76], que proveniente en suelos húmicos asociados directamente con el carbono orgánico del suelo altoandino en el municipio de Totoró, sobre el cual se realiza una intensa actividad agrícola de continua aplicación de abonos granulados y/o líquidos [3], contribuyendo a la retención de COP enlazados al suelo, por consiguiente es ahí donde el Lindano ha sido retenido por décadas, pues (Robles González Et. al), comprobó que la liberación de su molécula a temperatura controlada 25°C presenta una desorción mínima y no lineal [76], por consiguientes en condiciones ambientales de baja temperatura como el caso se provee de estabilidad térmica.

El Lindano en condiciones ambientales bajo la acción continua de microorganismo, oxidación o reducción, fotólisis y erosión hídrica localizada, como mecanismos de acción directa sobre el suelo han promovido aunque lenta la degradación de este [2], sin embargo, su primer compuesto de degradación α -BHC tiene una menor solubilidad en agua 2.28 mg/l 20°C mayor afinidad y vida media en sedimento *Log Kow* 3.298; 2292 hr, que conlleva a una menor posibilidad de desorción desde la molécula de suelo que su compuesto parental, comportamiento aún más persistente para su último metabolito β -BHC de solubilidad 0.0894 mg/l 20°C, *Log Kow* 3.28; vida media 2292 hr; no obstante, a pesar de conferirse un histéresis parcial o irreversible al Lindano [76] que sería irreversible en sus metabolitos, comportamiento similar para Clorpirifos de características altamente persistentes muy baja solubilidad 1.656 20°C, *Log Kow* 5.11; y vida media sedimento 71 hr son fuertemente adsorbidos por la capa superficial del suelo, pero bajo la acidificación del terreno por acción de la desnitrificación junto a la erosión hídrica como consecuencia de la continua actividad agrícola, la geografía de la subcuenca y su variabilidad climática han facilitado su transportables a la fuente hídrica río Palacé.

Plaguicidas que depositados dentro de la columna de agua en altas precipitaciones relación dada su correlación de Spearman fuerte y directa, una vez en la fase acuosa adheridos al sedimento y precipitados sobre el lecho del río, al cambio del

régimen climático en baja precipitación se presenta la mayor variación en su concentración con un aumento sustancial en todos los contaminantes, no relacionado al pH del río Palacé que mantiene un comportamiento neutro entre 7.00 – 8.00 para los tres puntos con muy leve cambio ante la variabilidad climática, por tanto no habría una acción de catálisis como ácido o base que coadyuven a su degradación por hidrólisis, pero al cambio de compartimento ambiental (Suelo – Agua) la fuerza de interacción de los enlaces entre el sorbente - MO y el sorbato - plaguicidas liposoluble dada en la ladera de las montañas se debilita al cambio en el potencial Redox (ORP), ya que a esas condiciones de pH simultáneamente a las altas concentración de oxígeno disuelto, liberado con mayor facilidad por las moléculas de agua al aumento aunque mínimo de la temperatura $12.7^{\circ}C - 17^{\circ}C$ en época de baja precipitación, actúa como principal oxidante en un medio básico $O_2 + 2H_2O \rightarrow 4OH^-$ [77] confiriéndole un potencial reductivo (potencial Redox negativo) a la fuente con el aumento en iones hidroxilo como electrones fácilmente disponibles, medio en el cual se da el procedimiento de extracción sucesiva basado en la interacción reactiva o reactividad del sedimento provocando la liberación de los plaguicidas de comportamiento similar al Hierro y Manganese pasando al cuerpo de agua en zonas donde el sedimento se encuentra en condiciones reductivas [78] [5]. comprobado por la fuerte correlación inversamente proporcional, entre la concentración de los plaguicidas Lindano, α -BHC, β -BHC y Clorpirifos vs el potencial Redox en los tres puntos de medición, al presentarse bajo condiciones reductivas los mayores niveles de contaminación que relacionados de manera directamente proporcional a la conductividad se encuentran de manera disuelta dentro de la fuente hídrica río Palacé.

Complementariamente la adsorción entre la MO - Plaguicida se da generalmente exotérmicamente lo que las hace termodinámicamente inestables en condiciones anóxicas [43], que retenidas dentro del ecosistema Humedal de Calvache como un medio con alta concentración de sustancia iónicas naturales de alta montaña ricos en minerales, ácidos húmicos, fúlvicos y metales además de microorganismos anaerobios presentes en condiciones de aceptación (potencial Redox negativo) contribuyen a la degradación de los COP comportamiento medido en este caso mediante la especiación del Lindano, que posterior a este ecosistema aumenta los niveles en la concentración de sus metabolitos en los siguientes puntos de monitoreo, con dos relaciones de gran importancia la primera para el α -BHC y β -BHC al evidenciar el aumento consecutivo además de acumulativo en el punto N° 2 Siberia que al tener un régimen laminar con mayor precipitación del sedimento tiene el mayor niveles por contaminación en ambos, mismas condiciones que influyen en su transporte a hacia lugares de mayor pendiente aumentando la concentración como lo es para el caso de Hatico donde se presentan los mayores niveles de contaminación en Lindano y Clorpirifos.

Posterior a esta interacción del sedimento se consideran moléculas potencialmente móviles, lo que ostenta un alto riesgo de contaminación debido a la liberación sobre

la columna de agua en condiciones naturales, que bajo un régimen de precipitación variable y el aumento de la pendiente del río Palacé, siguen transportándose posiblemente hacia lugares lénticos, donde las condiciones reductivas u oxidativas además de microbiológicas permitan una mayor degradación, o en el peor de los casos dada su alta persistencia acumulación y biomagnificación en la cadena trófica, pues en condiciones naturales requieren de diferentes procesos químicos, físicos y biológicos, que ocurran de manera continua en condiciones óptimas para una posible degradación, que a bajas temperaturas y elevado contenido de MO como en la subcuenca Palacé, tardan demasiado tiempo al no actuar como catalizador; evidenciado al encontrar posterior a más de cuatro décadas aún moléculas intactas de compuestos parentales, altamente persistentes y en fase inicial de su degradación, como el Lindano y DDT ambos organoclorados altamente ecotoxicológicos para organismos acuáticos y abejas, además de toxicológicos para la salud humana [33] [79], que a una posible exposición a bajas concentraciones en el río Palacé, tomado como fuente de abastecimiento de agua potable en el municipio de Totoró y Popayán por sus excelentes características fisicoquímicas, en el cual aunque medidas bajas concentraciones de plaguicidas, no se exhibe la problemática a una exposición crónica de COP – Compuestos orgánico persistentes, catalogados para los organoclorados Lindano, α -BHC y β -BHC como carcinogénicos, disruptores endocrinos, neurotóxicos y sospechosos en efectos reproductivos por la OMS – Organización Mundial De La Salud y la PROPOSICIÓN 65, para el Clorpirifos se comprende como un organofosforado de alto impacto al ser inhibidor de la acetilcolinesterasa, neurotóxico, sospechoso disruptor endocrino e influye en efectos reproductivos. Los cuatro plaguicidas según sus mediciones se encuentran por debajo del N° Puerto seguro (Nivel de riesgo no significativo) de PAN – PESTICIDE ACTION NETWORK EU pero para los plaguicidas Lindano y Clorpirifos superan los límites máximos permisibles para agua superficial en Holanda y prohibidos para α -BHC y β -BHC además de caracterizarse como PAP plaguicidas altamente peligroso por PAN – ASIA, se debe tener en cuenta que dichas concentraciones se realizaron de manera quincenal mediante muestreadores ubicados únicamente en una pequeña sección transversal del río donde se supondría este tendría mayor contacto con la corriente de agua, dejando por fuera posibles concentraciones pico diarias y por consiguiente la potencial exposición aguda o crónica de la población generando preocupación pues esta es tomada como suministro de agua para consumo humano o actividad piscícola desarrollada en la subcuenca media generando dadas las propiedades de estos plaguicidas una posible biomagnificación al acumularse en el tejido graso de plantas o animales.

7. CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- ✓ La variabilidad climática en la subcuenca del río Palacé estudiada para los meses de Enero – Mayo y Septiembre – Diciembre, ratifica su comportamiento bimodal al moverse dentro de un regímenes climáticos similar pues dada la localización dentro de zona de páramo se evidenció aumento en la precipitación en el segundo periodo, como se pudo comprobar mediante la relación estadística no paramétrica de Wilcoxon, al relacionar los índices de precipitación entre las estaciones meteorológicas de Gabriel López, Polindara y su promedio, pero bajo el comportamiento bimodal de la zona dominado por su localización dentro de la ZCIT- Zona de Convergencia Intertropical en la cual influyen periódicamente los vientos alisios del sureste del continente sobre el océano y el sector continental contiguo.
- ✓ La calidad del agua en el río Palacé en relación con los parámetros fisicoquímicas medidos, lo clasifican como un curso de agua natural con buen índice de calidad al no obtener valores de DBO por encima del límite de detección >15 mg/l, un comportamiento lineal en pH, OD, % PSO, con mínima variabilidad en la conductividad y comportamiento directo al régimen climático para el Potencial Redox y SST. Conjunto de parámetros que a pesar de clasificar a la fuente hídrica en óptimas condiciones como fuente de abastecimiento de agua potable según la RES 2115 de 2007, esta no es representativa dado que no tiene en cuenta la presencia de microcontaminantes a bajas concentraciones como los plaguicidas que tienen acción carcinogénica, son disruptores endocrinos, neurotóxicos y causan efectos reproductivos por exposición crónica a la población.
- ✓ El transporte de los plaguicidas está relacionado directamente con la variabilidad climática de la subcuenca sumado a sus propiedades fisicoquímicas, como su primer procesos de transporte entre compartimentos suelo – agua, donde si bien no se midió el porcentaje de lixiviación de la molécula, en la cual interfieren diferentes procesos, al obtener correlaciones directamente proporcional según el coeficiente correlación de Spearman entre la precipitación vs concentración de plaguicidas evidencian que su transporte a la fuente hídrica tiene una relación directa a la precipitación.
- ✓ Se comprueba la afinidad de los plaguicidas al suelo y por tanto al sedimento como principal medio de transporte en el medio ambiente, pues estos depositados en la fuente hídrica río Palacé relacionados a los niveles de SST, tienen correlación directa al aumento de la precipitación por el coeficiente de correlación de Spearman, aprobando que un régimen de alta precipitación se

facilitan el transporte de COP con elevados coeficientes de *Log Kow* y *Log Koc*, como propiedades que influye en la adsorción de sus moléculas por suelos ricos en MO – Materia orgánica, por consiguiente al aumento en la turbulencia del río por precipitación y por ende el caudal promueven el movimiento de la partícula de sedimento dentro de este compartimento en la columna de agua.

- ✓ La correlación de mayor importancia entre parámetros fisicoquímicos y la variación en la concentración de plaguicidas, se obtuvo en tiempo climático de baja precipitación donde la fuente hídrica tiene un potencial reductor (potencial Redox negativo) y un aumento de manera sustancial las concentraciones de los cuatro plaguicidas en estudio, al presentarse mediante la interacción reactiva del río Palacé y el sedimento su liberación hacia la columna de agua. Relacionado inversamente proporcional por la fuerza de correlación de Spearman, al presentar las mayores concentraciones en potencial redox negativo y menores a potencial redox positivo u oxidativo.
- ✓ La topográficas de la subcuenca en relación a la concentración de plaguicidas influye en dos tipos de transporte, uno directamente proporcional al aumento de la pendiente para Lindano y Clorpirifos, pues a medida que transitan por la fuente hídrica elevan su concentración como se evidencia para el punto N°3 Hatico, pero acumulativo para α -BHC, β -BHC en lugares con baja pendiente y elevada turbiedad o mayor concentración en sólidos, siendo este el punto N°2 Siberia, donde se midieron las mayores concentraciones de estos metabolitos caracterizándolos como altamente acumulativos en zonas con estas características geográficas.
- ✓ Las continuas además de diversas concentraciones de Lindano, α -BHC, β -BHC y Clorpirifos además de diferentes COP medidos dentro del estudio “Amenaza por microcontaminantes a fuentes de abastecimiento de agua potable” en la fuente hídrica río Palacé, no solo degradan la calidad de la misma, sino que la convierten en un foco de contaminación proporcional a la facilidad con la cual se transportan, comprobado al obtener una correlación directamente proporcional por el coeficiente de Spearman entre la variación en la concentración de los plaguicidas vs la precipitación, SST como adheridos al sedimento y a la conductividad como estos de manera disuelta en la columna de agua, como características que contribuyen a su desplazamiento a largas distancias de donde fueron aplicados.

7.2 RECOMENDACIONES

- ✓ La característica agrícola presente en la subcuenca alta del río Palacé no solo de gran importancia productiva, sino investigativa requiere de la transferencia y aplicación de tecnología que mitigue el uso excesivo e inadecuado de agroquímicos al ser compuestos de gran impacto ambiental y alta toxicología, que probablemente acumulados en el suelo requieren de procesos como la fitorremediación o biorremediación que disminuyan los niveles de COP como foco de contaminación que no sólo reducirían su transporte sino también aumentarían la seguridad alimentaria de la población.
- ✓ Se requieren de medidas encaminadas al uso eficiente de los recursos naturales que promuevan la protección, ordenamiento y uso integral de los recursos suelo-agua específicamente dentro de la subcuenca alta del río Palacé, donde se da de manera intensiva actividad agrícola y ganadera extensiva.
- ✓ La mayoría de plaguicidas medidos por el estudio “amenaza por micro contaminantes en fuentes de abastecimiento de agua potable”, son compuestos orgánicos persistentes muy adsorbibles y bioacumulables de carácter hidrofóbico que al medirse únicamente en la columna de agua, no se percibe la verdadera concentración a la cual se tendría exposición posterior a la liberación de los plaguicidas adheridos a la MO del suelo y sedimento, a lo cual de ser el caso en posteriores investigaciones dentro de la fuente río Palacé o en zonas con características similares se sugiere la medición de COP en este compartimento constituyendo una excelente fuente de información en la acumulación y/o transporte de estos compuestos.
- ✓ También se podría realizar un balance para determinar si las concentraciones de los plaguicidas medidos en la fuente hídrica son representativas o no, a los niveles de acumulación en el sedimento; por tanto, de contaminación y consecutiva exposición a bajas pero continuas concentraciones de plaguicidas, acumulativos en lípidos de los organismos vivos al ser no selectivos, que comprenden bajo esta exposición efectos crónicos o agudos según las propiedades del plaguicida.
- ✓ El sistema productivo agrícola basado en uso de plaguicidas como insumos para garantizar el éxito de un cultivo, han generado una actividad de alto impacto ambiental y dependiente para la producción de alimentos, control de plagas en animales y hasta para su transporte a un alto costo, haciéndola mínimamente rentabilidad en países como Colombia donde no hay control de los precios, baja exportación y elevada importación de alimentos, en el que ahora sumada el dominio de las casas comerciales, generan la necesidad de cambio que beneficie realmente al productor agrícola.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Aznar Bellver y F. Guijarro Martínez, Nuevos métodos de valoración: Modelos Multicriterio, Valencia: Universitat Politècnica de València, 2020.
- [2] Corporación Autónoma Regional del Cauca CRC, «Características físico-químicas de los plaguicidas y su transporte en el ambiente,» *Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC)*, pp. 1-12.
- [3] F. A. Muñoz y E. H. Pérez, «Conflictos de uso de suelo en la frontera agrícola y áreas del páramo del municipio de Totoró, Cauca,» *Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo*, vol. 47, nº 1 y 2, pp. 9 - 15, 2016.
- [4] E. L. Fierro Pencue, *Estudio de la amenaza por agroquímicos en una cuenca de abastecimiento de agua potable*, Popayán, 2019.
- [5] J. F. Narváez Valderrama, J. A. Palacio Baena y F. J. Molina Pérez, «Persistencia de Plaguicidas en el ambiente y su ecotoxicidad: Una revisión de los procesos de degradación natural,» *Gestión y Ambiente Universidad Nacional de Colombia*, vol. 15, nº 3, pp. 2-13, 2012.
- [6] A. N. Pila, «“Estudio cinético y de transporte de herbicidas en agua y suelo utilizados en los cultivos de arroz”,» *Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura - Universidad Nacional del Nordeste*, pp. 20-130, 2018.
- [7] R. M. Agudelo, P. G y M. L. Jaramillo, «Tratamiento de aguas residuales agrícolas contaminadas con clorpirifos utilizando humedales construidos de flujo subsuperficial,» de *Congreso internacional y del caribe en salud ambiental y ocupacional: salud, trabajo y ambiente*, Barranquilla, 2010.
- [8] J. . J. Vélez Upegui, M. Orozco Alzate, N. D. Duque Méndez y B. . H. Aristizábal Zuluaga, Entendimiento de fenómenos ambientales mediante análisis de datos, Manizales: Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales, 2015.
- [9] USDS - Science for a changing world, «Pesticide transformation products are nearly ubiquitous in small U.S. streams,» 11 Marzo 2021. [En línea]. Available: https://www.usgs.gov/center-news/pesticide-transformation-products-are-nearly-ubiquitous-small-us-streams?qt-news_science_products=1#qt-news_science_products. [Último acceso: 11 Junio 2021].
- [10] S. Teodoro, M. Buteler y D. K. Weaver, «Nanoinsecticidas: Nuevas perspectivas para el control de plagas,» *Revista de la Sociedad Entomológica*, vol. 69, nº 3-4, p. 33, 2010.

- [11] P. Benítez-Díaz y C. Miranda, «Contaminación de aguas superficiales por residuos de plaguicidas en Venezuela y otros países de Latinoamérica,» *Leticia Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 29, pp. 3-15, 2013.
- [12] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO, «Enseñanzas de la revolución verde: hacia una nueva revolución verde.,» Roma. Italia, 1996.
- [13] s. asmar soto, «Agronegocios,» *Lr La República*, 09 09 2021. [En línea]. Available: <https://www.agronegocios.co/agricultura/cultivos-de-papa-y-cebolla-tienen-luz-verde-para-sembrarse-en-los-paramos-del-pais-3230215>. [Último acceso: 10 09 2021].
- [14] Ministerio de agricultura, «Agronet MinAgricultura,» Agronet, 22 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <http://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/El-Ministro-de-Agricultura-entrega-primer-centro-de-acopio-de-papa-para-Totor%C3%B3,-Cauca---22-de-septiembre-de-2016.aspx>. [Último acceso: 6 Agosto 2019].
- [15] T. A. Dávila Martínez, «Metodología para estimar amenaza por presencia de agroquímicos en cuencas hidrográficas de abastecimiento utilizando múltiples fuentes de información heterogénea,» CALI, 2020.
- [16] A. Hernández–Antonio Y A. M. Hansen, «Uso de plaguicidas en dos zonas agrícolas de México y evaluación de la contaminación de agua y sedimentos,» *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. 27, nº 2, 2011.
- [17] OMS organización mundial de la Salud, «OMS,» 2018. [En línea]. Available: https://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/pesticides/es/. [Último acceso: 11 Agosto 2019].
- [18] R. A. Tepud y J. Valencia Astaiza, «Modelación del destino y evaluación de riesgo de agroquímicos en la parte alta de la subcuenca del río palacé,» Universidad del Cauca, Popayán, 2020.
- [19] . M. I. Silveira-Gramont, M. L. Aldana-Madrid, J. Piri-Santana y et al, «Plaguicidas agrícolas: un marco de referencia para evaluar riesgos a la salud en comunidades rurales en el estado,» *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 34, nº 1, p. 11, 2018.
- [20] B. B. Corredor, N. Pino, A. Peñuel y et al, «Biorremediación de suelo contaminado con pesticidas: caso DDT,» *Gestión y Ambiente*, vol. 16, nº 3, pp. 4-10, 2013.
- [21] USDS - Science for a changing world, «Pesticides and Water Quality,» U.S. Department of the Interior, [En línea]. Available: <https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/pesticides-and-water-quality?qt->

science_center_objects=2#qt-science_center_objects. [Último acceso: 10 09 2021].

- [22] M. G. Jaramillo Rodríguez, «Aplicación de enmiendas orgánicas y biochars derivados de la industria oleícola en el cultivo del arroz: influencia en la dinámica de plaguicidas y en propiedades agronómicas,» *Universidad de Sevilla*, pp. 7 - 80, 2015.
- [23] A. C. Caprile, «Residuos de plaguicidas en la cuenca del arroyo Pergamino: contribución de los sistemas de producción agrícola,» *INTA DIGITAL Repositorio Institucional Biblioteca Digital*, pp. 2-6, 2019.
- [24] The U.S. Geological Survey (USGS), «Multi-region assessment of chemical mixture exposures and predicted cumulative effects in USA wadeable urban/agriculture-gradient streams,» *Science of the Total Environment*, vol. 773, 2021.
- [25] Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, «Estadísticas de comercialización de plaguicidas químicos de uso agrícola 2015,» *PRODUMEDIOS*, Bogotá DC, 2016.
- [26] L. F. Espinosa, G. Ramírez y . N. Hernando Campos, «Análisis de residuos de organoclorados en los sedimentos de zonas de manglar en la ciénaga grande de santa marta y la bahía de Chengue, caribe Colombiano,» *Boletín de investigaciones Marinas y Costeras*, vol. 24, nº 1, 1995.
- [27] D. M. Ruiz, . J. . P. Martínez y A. Figuero, «Agricultura sostenible en ecosistemas de alta montaña,» *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 13, nº 1, 2015.
- [28] E. L. Fierro Pencue , *Estudio de la amenaza por agroquímicos en una cuenca de abastecimiento de agua potable*, Popayán, 2019.
- [29] N. De la Rosa Cruz, E. Sánchez-Salinas y M. L. Ortiz-Hernández, «Biosurfactantes y su papel en la biorremediación de suelos contaminados con plaguicidas,» *Revista Latinoamericana de Bioteología Ambiental y Algal*, vol. 5, nº 1, pp. 2-8, 2014.
- [30] A. del Puerto Rodríguez, S. Suárez Tamayo y D. Palacio Estrada, «Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud,» *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, vol. 52, nº 2, pp. 2-13, 2014.
- [31] R. Rojas Rodríguez, «Desarrollo de métodos para la reducción de la contaminación por plaguicidas en aguas subterráneas mediante la adición de residuos orgánicos a los suelos,» *Universidad De Sevilla*, Sevilla, 2020.

- [32] M. J. Calderón Reina, «Diferentes estrategias para minimizar la contaminación por plaguicidas de aguas superficiales y subterráneas en zonas olivareras.» *Depósito de Investigación Universidad de Sevilla*, 2017.
- [33] J. Á. Escudero García, «Regeneración de aguas contaminadas por plaguicidas (sustancias prioritarias y preferentes), con elevado potencial de lixiviación, mediante fotocátalisis solar heterogénea,» *Universidad De Murcia*, 2015.
- [34] FAO-Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación, «Eliminación de Grandes Cantidades de Plaguicidas en Desuso en los Países en Desarrollo - Colección FAO: Eliminación de Plaguicidas - 4,» Roma, 1996.
- [35] J. Uzcátegui, Y. Araujo y . L. Mendoza, «Residuos de plaguicidas organoclorados y su relación con parámetros físico-químicos en suelos del municipio Pueblo Llano, Estado Mérida,» *Biagro*, vol. 23, nº 2, 11.
- [36] B. Mohammad H. y S. Varela, «Insecticidas Organofosforados: Efectos sobre la Salud y el Ambiente,» *Culcyt// Toxicología de Insecticidas*, nº 28, pp. 2-7, 2008.
- [37] Sistema De Informacion Ambiental de Colombia –Siac–Tomo 1, «Conceptos, Definiciones e instrumentos de la Información Ambiental de Colombia.,» Impreso en Colombia - Printed in Colombia, 2002.
- [38] Subdirección de Meteorología – IDEAM, «Climatología Trimestral para Colombia (Ruiz, Guzman, Arango y Dorado),» Grupo de Modelamiento de Tiempo, Clima y Escenarios de Cambio Climático.
- [39] F. E. Quenguan Cuaran y E. G. Eraso Guerrero, «Determinación de plaguicidas organofosforados y Carbamatos en agua para consumo humano del Departamento de Nariño Mediante Cromatografía líquida de alta eficiencia.,» Universidad de Nariño Facultad de ciencias exactas y Naturales Departamento de química., Nariño, 2015.
- [40] IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, «GLOSARIO,» IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario#L>. [Último acceso: 07 09 2019].
- [41] IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, «Metodologías de Análisis,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/metodos-analiticos>. [Último acceso: 07 09 2019].
- [42] S. D. Soto Leal, A. I. Valenzuela Quintanar, M. d. L. Gutiérrez Coronado, M. d. C. Bermúdez Almada, J. García Hernández, M. L. Aldana Madrid, P. Grajeda Cota, M. I. Silveira Gramont, M. M. Meza Montenegro, S. A. Palma Durán, G. N.

Leyva García, B. O. Camarena Gómez y C. P. Valenzuela Navarro, «RESIDUOS DE PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS EN SUELOS AGRICOLAS,» *Terra Latinoamericana*, vol. 32, nº 1, 2014.

- [43] EPA - Agencia de protección ambiental de EE. UU., «Programas de estimación Interface Suite™ para Microsoft® Windows, v 4.11,» Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, Washington, DC, EE. UU., 11 2017. [En línea]. Available: <https://www.epa.gov/tsca-screening-tools/epi-suitetm-estimation-program-interface#peer>. [Último acceso: 09 2020].
- [44] IBM, «SPSS Statistical Package for Social Sciences,» Software IBM SPSS, [En línea]. Available: <https://www.ibm.com/analytics/spss-statistics-software>.
- [45] PAN - Pesticide Action Network Nort America, «Pesticide Info,» Berkeley, CA 94704, [En línea]. Available: <https://www.pesticideinfo.org/>. [Último acceso: 16 10 2020].
- [46] The University of Hertfordshire, «PPDB: Pesticide Properties DataBase,» 03 04 2020. [En línea]. Available: http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/docs/Background_and_Support.pdf. [Último acceso: 18 11 2020].
- [47] CRC - Corporación Autónoma Regional Del Cauca, «Plan De Ordenamiento Y Manejo De La Parte Alta De La Subcuenca Hidrografica Del río Palacé,» GABRIEL LOPEZ, 2010.
- [48] T. Hurtado y G. Bruno, «El proceso de Análisis jerárquico (AHP) como Herramienta para la Toma De Decisiones en la Selección de Proveedores.,» de *The Analytical Hierarchicak Process*, New York, 1980, pp. 2-20.
- [49] Universidad Politécnica De Valéncia, «Blog Víctor Yepes Piqueras,» 27 11 2018. [En línea]. Available: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/>. [Último acceso: 12 12 2020].
- [50] M. Schulz y R. Pigati, *Revista del Colegio de Licenciados y Profesores en Letras, Filosofía, Ciencias y Artes*, nº XLI, pp. 8-14, 2018.
- [51] T. Davila, *Puntos de monitoreo de plaguicidas - Estudio de la amenaza por agroquímicos en una cuenca de abastecimiento de agua potable*, Popayán, 2017.
- [52] IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, «Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos,» Adscrito al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, 2014. [En línea]. Available: <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>. [Último acceso: 05-10 01 2021].

- [53] IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, *Lista de laboratorios ambientales acreditados por el IDEAM*, Bogotá: Grupo de Acreditación – Subdirección de Estudios Ambientales, 2013.
- [54] IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, «Toma de muestras de aguas superficiales para la red de calidad del IDEAM,» *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*, pp. 2-6, 2017.
- [55] L. J. González Muñoz, *Hidrología*, Popayán: Universidad del Cauca, 2008.
- [56] G. Echeverry, A. M. Zapata, M. I. Páez, F. Méndez y M. Peña, «Valoración del riesgo en salud en un grupo de población de Cali, Colombia, por exposición a plomo, cadmio, mercurio, ácido 2,4-diclorofenoxiacético y diuron, asociada al consumo de agua potable y alimentos,» *Biomédica*, vol. 35, nº 2, p. 8, 2015.
- [57] Minitab, «Soporte Minitab 18» All rights Reserved, 2019. [En línea]. Available: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/correlation-and-covariance/a-comparison-of-the-pearson-and-spearman-correlation-methods/>. [Último acceso: 02 2021].
- [58] R. M. Martínez Ortega, L. C. Tuya Pendás, M. Martínez Ortega, A. Pérez Abreu y A. M. Cánovas, «El coeficiente de correlación de los rangos de spearman caracterización,» *haban cienc méd La Habana*, vol. VII, nº 2, p. 9, 2009.
- [59] . M. Ferrán Aranaz, *SPSS para Windows: Análisis Estadístico*, España: Osborne-McGraw Hill, 2001.
- [60] O. Brown Manrique, R. Díaz Ruiz, Y. Gallardo Ballat y J. Valero Freyre, «Caracterización de precipitaciones diarias en el municipio de Ciego de Ávila, Cuba,» *SIELO Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, vol. 38, nº 2, pp. 2-5, 2017.
- [61] Universidad de Salamanca, «USAL MOOC,» Universidad de Salamanca, 07 11 2013. [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=B_7Wt49dTos&ab_channel=USALMOOC. [Último acceso: 24 03 2021].
- [62] R. Hernández, C. Fernández y P. Baptista, «Desarrolla el IMP Metodología para Generar una Línea-Base para la Evaluación de Catalizadores FCC,» *Ciudad de México: Mc Graw Hill*, vol. 12, nº 1, pp. 4-15, 2010.
- [63] G. B. Toskano Hurtado, «Capítulo II ANÁLISIS DE DECISIONES,» de *El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la Toma de Decisiones en la Selección de proveedores.*, Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2005, pp. 2-9.

- [64] A. B. Jerónimo, «AHP (Analytic Hierarchy Process) | | UPV,» Universidad Politécnica de Valencia - UPV, 11 09 2011. [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=SVivfG6Iaaw&ab_channel=UniversitatPolit%C3%A8nicadeVal%C3%A8ncia-UPV. [Último acceso: 13 11 2020].
- [65] A. B. Jerónimo, «Cálculo de la consistencia y el vector propio | | UPV,» Universidad Politécnica de Valencia, 17 11 2012. [En línea]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=ftlUMqkERko&feature=emb_rel_pause&ab_channel=UniversitatPolit%C3%A8nicadeVal%C3%A8ncia-UPV. [Último acceso: 15 11 2020].
- [66] Universidad Nacional de Costa Rica, «Manual de plaguicidas de centroamérica,» Copyright © 2021 Manual de Plaguicidas, [En línea]. Available: <http://www.plaguicidasdecentroamerica.una.ac.cr/index.php/destino-ambiental>. [Último acceso: 08 11 2019].
- [67] EFSA Documentos de orientación, «Orientación sobre la evaluación de la exposición de operadores, trabajadores, residentes y transeúntes en riesgo: evaluación en la protección de plantas producción,» *EFSA*, vol. 12, nº 10, pp. 8-20, 2014.
- [68] G. DI, «Puntaje de ubicuidad de las aguas subterráneas: un método simple para evaluar la lixiviabilidad de los plaguicidas,» *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 8, pp. 8-9, 1989.
- [69] WHO Library Cataloguing-in-Publication Dat, The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification, IPCS International Programme on Chemical Safety, 2010.
- [70] OEHHA-California office of Environmental Health Hazard Assessment, «Proposition 65 list,» Copyright ©2021 OEHHA, 15 04 2020. [En línea]. Available: <https://oehha.ca.gov/proposition-65/proposition-65-list>. [Último acceso: 26 11 2020].
- [71] A. Fernández Bremauntz y M. Yarto Ramírez, Las sustancias tóxicas persistentes, Mexico: Paoteca centro de documentación, 2004.
- [72] PAN - Pesticide Action Network, «PAN - Pesticide Action Network Asia Pacifico,» PAN International, 03 2019. [En línea]. Available: <https://panap.net/ban-highly-hazardous-pesticides/>. [Último acceso: 09 2020].
- [73] J. E. García G, «Formulación de plaguicidas: importancia, tipos y perspectivas futuras,» *Tecnología en Marcha*, vol. 13, nº 2, pp. 6-8, 1999.
- [74] M. P. Valencia Rojas, A. Figueroa Casas, D. M. Ruiz Ordóñez y Et. Al, «Metodología para el análisis de vulnerabilidad en cuencas abastecedoras de

- agua ante la variabilidad climática,» *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 13, nº 25, pp. 4-13, 2014.
- [75] MINAGRICULTURA, «área sembrada y cosechada del cultivo de papa en Totoro Cauca,» [En línea]. Available: agronet.gov.co.
- [76] I. V. Robles González, E. Ríos-Leal, J. Galíndez-Mayer y Et al, «Comportamiento adsorptivo-desorptivo del lindano en un suelo agrícola,» *Scielo*, vol. 31, nº 4, pp. 305 - 308, 2006.
- [77] A. J. Mota Ávila, «Química del Medio Ambiente Parte II. El agua,» *Universidad de Grana*, pp. 2-14, 2011.
- [78] V. D. García Portillo, «Estudio sobre la estabilidad de la inmovilización de metales pesados, en sedimentos del cauce del río San Pedro,» *Universidad Autonoma de Aguas Calientes*, pp. 26 - 137, 2011.
- [79] S. M. Díaz, F. Sánchez, M. Varona y et, al, «Niveles de colinesterasa en cultivadores de papa expuestos ocupacionalmente a plaguicidas, Totoró, Cauca,» *Revista de la Universidad Industrial de Santander*, vol. 19, nº 1, pp. 5-6, 2017.
- [80] J. A. Gómez Romero, R. Soto Flores y S. Garduño Román, «Determinación de las Ponderaciones de los Criterios de Sustentabilidad Hidroeléctrica Mediante la Combinación de los Métodos AHP y GP Extendido,» *Revista Ingeniería Case-study*, vol. 24, nº 2, p. 18, 2019.
- [81] J. P. Pulache Sandoval, «Caracterización de la gestión de calida,» *universidad católica los ángeles de chimbote*, p. 63, 2019.
- [82] A. Monsalve Salcedo, S. M. Díaz Criollo y et, al, «Exposición a plaguicidas en los habitantes de la ribera del río Bogotá (Suesca) y en el pez Capitán,» *Revista Ciencia y Salud*, vol. 10, 2011.
- [83]. F. Á. Tobón-Marulanda, L. A. López-Giraldo y R. E. Paniagua-Suárez, «Contaminación del agua por plaguicidas en un área de Antioquia.,» *Rev. salud pública*, vol. 12, nº 2, p. 5, 2010.
- [84] T. Davila, *Puntos de Monitoreo*, Popayán, 2017.
- [85]. A. C. Caprile, «Residuos de plaguicidas en la cuenca del arroyo Pergamino: contribución de los sistemas de producción agrícola,» *Inta Digital Repositorio Institucional Biblioteca Digital*, pp. 2-6, 2019.

9. ANEXOS

9.1 ANEXO N°1: ESTRUCTURA AHP Y RESULTADOS DE ENCUESTA A EXPERTOS EN GOOGLE FORMS

Estructura del proceso de análisis jerárquico (AHP) adaptada para la valoración de criterios de selección de plaguicidas




Fuente: Fuente propia

Lista de expertos para valoración de plaguicidas

N°	Nombre y Apellido	Correo Electronico	INSTITUCIÓN	Grupo
1	Juan Diego Otero	juandote@gmail.com	Universidad del Cauca	Agroquímica
2	Fernando Andres Muñoz	famunozg@gmail.com	Universidad del Cauca	Agroquímica
3	Maria Cristina Ordoñez	mcriso11@gmail.com	Universidad del Cauca	Grupo de estudios ambientales
4	Isabel del Socorro Bravo Realpe	ibravo@unicauca.edu.co	Universidad del Cauca	Agroquímica
5	Juan Carlos Casas Zapata	jccasas@unicauca.edu.co	Universidad del Cauca	Agroquímica
6	Edier Humberto Perez	edierhumberto2010@gmail.com eh Perez@	Universidad del Cauca	Agroquímica
7	Roman Stechauner Rohringer	rstechauner@unicauca.edu.co	Universidad del Cauca	SISINPRO
8	Ivan Paz Narvaez	ipaz@unicauca.edu.co	Universidad del Cauca	SISINPRO
9	Noe Alban	albanlopez@unicauca.edu.co	Universidad del Cauca	Universidad del Cauca
10	Fabio Prado	fprado@unicauca.edu.co	Universidad del Cauca	Agroquímica
11		vferan@unicauca.edu.co	Universidad del Cauca	-
12		manuko@unicauca.edu.co	Universidad del Cauca	-
13	Gustavo Adolfo Alegría Fernández	gustavoalegria@unicauca.edu.co	Universidad del Cauca	-
14		caapalian@gmail.com	Universidad del Cauca	-
15	Natalia Samboni Ruiz	natalia.samboni.r@uniiautonomia.edu.co	Universidad Autónoma del Cauca	-
16	Adriana Lorena Sanchez Vergara	adriana.sanchezv@uniiautonomia.edu.co	Universidad Autónoma del Cauca	SIGAM
17	Mónica moreno ruano	monica.moreno.r@uniiautonomia.edu.co	Universidad Autónoma del Cauca	-
18	Diana Muñoz	diana.muñozs@uniiautonomia.edu.co	Universidad Autónoma del Cauca	SIGAM
19	Andrés Mauricio Zapata	andres.zapata@correounivalle.edu.co	Universidad del Valle	CINARA
20	Martha Paez	martha.paez@correounivalle.edu.co	Universidad del Valle	CINARA
21	Norberto Benitez	luis.benitez@correounivalle.edu.co	Universidad del Valle	CINARA
22	Juan Carlos Garcia	juan.garcia@afedecolombia.com.co	Universidad del Valle	Cenicafé
23	Ademar Reyes Trujillo	alretru@univalle.edu.co	Universidad del Valle	ILAVA
24	Nestor Miguel Riaño Herrera	nestormiriano@gmail.com	Universidad del Valle	NA
25	Angela mariana castaño Marin	angelac555@gmail.com	Universidad del Valle	NA

Fuente Propia

FORMATO Y RESULTADOS DE ENCUESTA A EXPERTOS EN GOOGLE FORMS



Criterios de evaluación para la selección de residuos de plaguicida.

De antemano y antes de empezar con el ejercicio agradezco su valiosa colaboración además del interés por contribuir en el desarrollo del siguiente ejercicio.

La metodología de la presente encuesta se dividirá en dos secciones, 1. Dada a conocer el perfil de experto en relación al estudio y 2. En función a su conocimiento para determinar cuál de los criterios en la sección de agroquímicos deben ser de mayor interés o relevancia en el estudio con un Video explicativo de los criterios a seleccionar.

***Obligatorio**

Sección I

A continuación se realizaran preguntas sencillas con las cuales se podrá evaluar desde que ámbito profesional se efectuará la selección de plaguicidas.

Nombre y Apellidos experto *

Tu respuesta _____

¿Cual es su ámbito profesional de Pregrado y/o Posgrado? *

Tu respuesta _____

1.1 ¿Tema sobre el cual tiene manejo?: dado a que es de vital importancia relacionar la elección tomada en el siguiente ejercicio, se desea conocer si maneja o ha manejado uno o los dos temas de interés siendo estos: *

- Calidad de Agua (parámetros fisicoquímicos) y su comportamiento.
- Contaminación y/o además de riesgo químico por el manejo de agroquímicos
- Ambos temas de interés
- Ningún tema de interés
- Otro: _____

1.2 Realizó o ha realizado alguna actividad y/o investigación sobre la cuenca del río Palacé *

- Si
- No

1.3 Pertenece a alguna entidad de manejo sobre el recurso hídrico o medio ambiente.

- Si
- No

En caso de responder Si a la anterior pregunta, indique a que institución pertenece:

Tu respuesta _____

Siguiente

Sección 2: Valoración de los criterios de selección de plaguicidas

A continuación, se dará una breve contextualización sobre el tema a tratar además del método elegido para el desarrollo de este ejercicio, denominado como "PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP)", ya que este permite la elección de alternativas (Residuos de plaguicidas) cuando estas son medidas por múltiples criterios (Características de los residuos de plaguicidas). Para dar mayor claridad se presentarán los aspectos de importancia en el desarrollo del método ya mencionado.

Aspectos en el desarrollo del "Proceso de análisis jerárquico (AHP)" para la valoración de criterios.

PROBLEMA	Se tienen diferentes alternativas de elección (Residuos de plaguicidas) con múltiples criterios de evaluación, por lo cual se recurre al método AHP para su elección.
OBJETIVO DE LA MATRIZ	Proporcionar el grado de importancia o peso requerido a cada uno de los criterios de evaluación para la selección de tres residuos de plaguicidas (Alternativas), dentro de la matriz de priorización por medio del método denominado "PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO (AHP)" para su respectiva relación de variación junto a los parámetros fisicoquímicos de la fuente hídrica (río Palacé) más las condiciones hidrometeorológicas de la subcuenca.
CRITERIOS	<p>Se tienen tres criterios para la selección de alternativas (Residuos de plaguicidas) que se describirán posteriormente; a continuación, se expondrá cada criterio:</p> <ol style="list-style-type: none"> <i>Características de los plaguicidas que contribuyen a su movilidad o transporte:</i> dado por algunas de las características fisicoquímicas de cada compuesto (plaguicida) debido a que estas son relacionadas con los procesos de degradación, variación de concentración y transporte de agroquímicos según el medio por el cual transiten (Recurso hídrico). <i>Características de los plaguicidas por su toxicidad o impacto a la Salud:</i> con ello relacionar los posibles impactos a la salud tanto por su manejo como por el posible consumo de agua que los contenga. <i>Clasificación de los plaguicidas según su impacto social por su manejo:</i> este aspecto es dado netamente por el manejo de la comunidad en cuanto a frecuencia, cantidad y demás condiciones sociales. <p>Los anteriores criterios se subdividirán en variables o subcriterios, como se enseñará en la Tabla contigua para mayor claridad.</p>
ALTERNATIVAS	Se tienen como alternativas 13 compuestos de los cuales se detectaron concentraciones en el estudio de "Amenaza por micro contaminantes en fuentes de abastecimiento de agua potable", siendo estos tomados como alternativas de selección en el interés del presente ejercicio en función de sus criterios de evaluación. Los cuales se enseñarán en la pregunta 2.2.

Criterios de selección

A continuación para dar mayor claridad sobre los criterios a evaluar se enseñarán los subcriterios con los cuales se mide cada uno de los mismos.

CRITERIO	Subcriterio o Variables
Características de los plaguicidas que contribuyen a su movilidad o transporte.	Clasificación según su familia y naturaleza química.
	Clasificación según su Log K_{ow} (Coeficiente de Partición Octanol/agua)
	Clasificación según su Log K_{oc} (Coeficiente de Partición Carbono orgánico/agua)
	Clasificación según su Constante de acides K_a y constante de Basicidad K_b .
	Presión de vapor (Pa)
Características de los plaguicidas por su toxicidad o impacto a la Salud	Persistencia
	Potencial de lixiviación gus
	Concentración pico o concentración promedio de agroquímicos detectados.
	Dosis Letal 50 (DL50 Oral o Dermal)
	Concentración Letal 50 (CL50 Inhalatoria)
Clasificación de los plaguicidas según su manejo	Solubilidad en Agua
	Vida Media (DT50), Vida media en Suelo, Agua y Aire.
	Categoría Toxicológica
	Nombre comercial
	Frecuencia de aplicación
	Cantidad de aplicación (Ha)
Condición (prohibido o vigente según la normatividad)	
Límite permisible (ng/L)	

2.1 según los criterios mencionados anteriormente sin aun haber realizado el método AHP, desde su percepción que porcentaje de calificación le daría usted a cada criterio donde la sumatoria del valor dado a los tres debe ser 100%.
Ejemplo: Criterio 1 (40%), Criterio 2 (40%) y Criterio 3 (20%) . *

Tu respuesta

2.2 Dado a que el presente ejercicio tiene como objetivo final seleccionar que alternativas (residuos de plaguicidas) se utilizaran en la presente investigación, se desea conocer según su criterio y/o experiencia que alternativa debería tenerse en cuenta. *

- α-BHC
- Lindano (γ-BHC)
- β-BCH
- Heptacloro
- Endosulfan 1
- DDT
- Clorpirifos
- Metalaxil-M
- Metoxicloro
- 4,4'-DDE
- Lambda-cialotrina
- 4,4 DDD

2.3 Para las respuestas seccionadas anteriormente por favor justifique el porque de su elección. *

Tu respuesta _____

Para llevar a cabo el método de Proceso de análisis jerárquico, se debe especificar la escala con la cual será medida la comparación entre criterios valorada de acuerdo al nivel de importancia (1,2,3,4) descrito en la Tabla N°1. Esta calificación deberá ser diligenciada en los espacios en blanco de la Tabla N°2 dado que el método consiste en la comparación de cada criterio localizado en los ejes X, Y presentes en dicha Tabla; a continuación se presentaran las imágenes de las Tabla N° 1 y 2.

Descripción (opcional)

El siguiente video se diseño para dar mayor claridad en la explicación del desarrollo del método AHP y la valoración de los criterios planteada en este ejercicio.



Tabla N° 1 Escala de medida para la cuantificación de criterios, por el método de AHP-Proceso de análisis jerárquico

NIVEL DE IMPORTANCIA	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Igual preferencia	Los criterios (x,y) contribuyen de igual manera al proceso de variación de la concentración de plaguicidas en relación con los parámetros fisicoquímicos del río Palacé.
2	Moderada preferencia	Se favorece ligeramente al criterio (x) sobre el (y), en la relación de variación de la concentración de plaguicidas en relación con los parámetros fisicoquímicos del río Palacé.
3	Fuerte preferencia	Prácticamente al criterio (x) domina sobre el (y), en la relación de variación de la concentración de plaguicidas en relación con los parámetros fisicoquímicos del río Palacé.
4	Absoluta Preferencia	La supremacía del criterio (x) es absoluta sobre la relación de la variación de la concentración de plaguicidas en relación con los parámetros fisicoquímicos del río Palacé.

Tabla N° 2 Determinación de los pesos para criterios de selección de la Matriz AHP-Proceso de análisis jerárquico.

MATRIZ DE JERARQUIZACION ANALITICA (x)	(y)	Movilidad y Transporte	Toxicidad o Impacto a la salud	Impacto social por manejo
Movilidad y Transporte		1		
Toxicidad o Impacto a la salud			1	
Impacto social por manejo				1

2.4 De acuerdo a su percepción y/o criterio como experto seleccione el nivel de importancia (Tabla N°1) en la comparación de los criterios de selección de Agroquímicos (Tabla N°2). Se entiende por: Criterio 1: Movilidad y Transporte; Criterio 2: Toxicidad o impacto a la salud; Criterio 3: Evaluación de riesgo y normatividad *

1 Igual preferencia 2 Moderada preferencia 3 Fuerte preferencia 4 Absoluta preferencia

Criterio 1: Movilidad y Transporte vs Criterio 2: Toxicidad o impacto a la salud.	1	1	1	1
Criterio 1: Movilidad y Transporte vs Criterio 3: Evaluación de riesgo y Normatividad	1	1	1	1
Criterio 2: Toxicidad o impacto a la salud vs Criterio 3: Evaluación de riesgo y Normatividad	1	1	1	1

✓ **Resultados encuesta a expertos para la valoración de criterios de selección de plaguicidas por el proceso de análisis jerárquico (AHP).**

Se presentan a continuación los resultados obtenidos a partir del desarrollo del Formato de encuesta para expertos en google forms enseñado en el anterior anexo, presentado la explicación de cada pregunta según la sección a la que corresponda junto con el análisis de las mismas.

✓ **Sección N° 1: Idoneidad del experto**

Dada a conocer el perfil de experto en relación al estudio, las preguntas realizadas en esta sección son de carácter informativo para conocer la idoneidad y ámbito profesional desde el cual es respondida la encuesta.

PREGUNTAS N° 1.1 y N° 1.2

1.1 Nombre y Apellidos experto

1.2 ¿Cuál es su ámbito profesional de pregrado y/o posgrado?

Resultados pregunta N° 1.1 y N° 1.2 datos de seguimiento de expertos encuestados

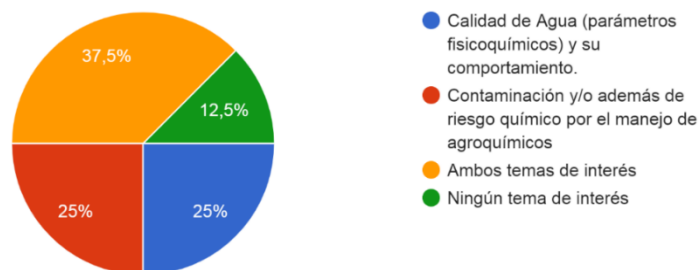
Nº	NOMBRE Y APELLIDOS.	ÁMBITO PROFESIONAL DE PREGRADO Y/O POSGRADO.
1	Roman Stechauner Rohringer	Doctorado, Ciencias Agropecuarias, énfasis Suelos
2	Adriana Lorena Sánchez Vergara	Ingeniería Ambiental - Salud Ambiental
3	Natalia Samboni Ruiz	Posgrado
4	Andrés Mauricio Zapata Rivera	Ingeniero Químico, Doctor En Ing. Sanitaria Y Ambiental
5	Edier Humberto Pérez	Posgrado
6	FABIO ALONSO PRADO CERON	Ing. Agrónomo - M. Sc Suelos y Aguas
7	Fernando Andrés Muñoz	Manejo de ecosistemas altoandinos
8	Juan Carlos García López	Fitotecnia y Agroclimatología en Café

PREGUNTA N° 1.3: ¿Tema sobre el cual tiene manejo?

Es de vital importancia relacionar la elección tomada en el siguiente ejercicio, para conocer si maneja o ha manejado uno o los dos temas de interés enseñados seguidamente:

Resultado pregunta N° 1.3 ¿Tema sobre el cual tiene manejo?

8 respuestas



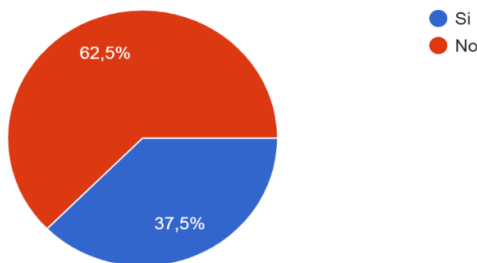
Según el ámbito en el cual los expertos encuestados tienen manejo, se obtiene un nivel de confianza del 87,5% en las respuestas, puesto que 7/8 de ellas tienen una

relación directa con los temas de interés o ambos temas de interés (parte derecha Gráfica 6); cuya relación individual tanto para el primero como el segundo es 25% y 37,5% para ambos temas, lo cual prever un resultado final de manera integral para la valoración de los criterios de selección de plaguicidas. Por otro lado, para el equivalente al 12,5% ningún tema de interés igual a 1 encuestado, se estudia la encuesta individual y las respuestas complementarias en la serie de preguntas restantes observan una idoneidad absoluta en función del objetivo final del desarrollo del AHP Tabla 13; por tanto, la respuesta no es eliminada.

PREGUNTA Nº 1.4: ¿Realizó o ha realizado alguna actividad y/o investigación sobre la subcuenca del río Palacé?

Resultado pregunta Nº 1.4: ¿Realizó o ha realizado alguna actividad y/o investigación sobre la subcuenca del Río Palacé

8 respuestas



Se desea conocer si los expertos encuestados conocen el contexto social, cultural o ambiental por medio de alguna actividad y/o investigación localizada dentro de subcuenta del Río Palacé, para tener respuestas contextualizadas al sector agrícola como principal actividad y fuente de contaminación directa e indirecta en la zona dado por el manejo de los agroquímicos y su impacto sobre los diferentes ecosistemas, sin embargo es una pregunta complementaria mas no de carácter excluyente de quienes responden a la encuesta.

Por consiguiente, así no sea en el mayor porcentaje se cuenta con un 37,5% igual a 3/8 expertos que pueden saber el contexto general de la subcuenca del Río Palacé en su nacimiento y así obtener respuestas en función del contexto real, por aparte a pesar de que el 62,5% equivalente a 5/8 expertos hayan respondido de forma negativa a la anterior pregunta esto no quiere decir que sus demás respuestas no se han adecuadas pues solo se buscaba saber el interés que se ha tenido sobre la fuente anteriormente nombrada.

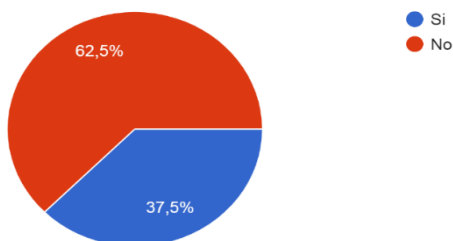
PREGUNTA Nº 1.5: Pertenece a alguna entidad de manejo sobre el recurso hídrico o medio ambiente.

Las preguntas realizadas una de carácter afirmativo o negativo y la otra de carácter complementario, se realizan para observar si los expertos encuestados pertenecen

a entidades que dentro de sus funciones tenga el manejo de recurso hídrico o medio ambiente

Resultado pregunta N° 1.5: Pertenece a alguna entidad de manejo sobre el recurso hídrico o medio ambiente

8 respuestas



PREGUNTA COMPLEMENTARIA N° 1.5.1:

Resultado pregunta complementaria 1.5.1

En caso de responder Si a la anterior pregunta, indique a que institución pertenece:

3 respuestas

UNICAUCA

Universidad del Cauca

Federación Nacional de Cafeteros - Cenicafé

Obteniendo, según la Resultado pregunta N° 1.5: Pertenece a alguna entidad de manejo sobre el recurso hídrico o medio ambiente, 5/8 expertos con un 62,5% no hace parte de entidades encaminadas a dicha actividad y un 37,5% igual 3/8 de ellos si lo hace las cuales especifican en la pregunta complementaria

Resultado pregunta complementaria 1.5.1; sin embargo, se sabe según la base de datos compilada de los mismos que la mayoría de ellos se encuentran dentro de alguna Institución educativa superior; por lo cual, se asume que buscan el estudio o investigación e interés por la preservación además de conocimiento del recurso hídrico y un restante se encuentran en entidades que dentro de sus labores comprenden el manejo del recursos hídrico, como es el caso de CENICAFÉ.

✓ Sección N°2: Valoración de criterios de selección de plaguicidas.

Para la solución de esta sección se da una breve contextualización a los expertos sobre la “Valoración de los criterios de selección de plaguicidas” según el método elegido para su desarrollo “PROCESO DE ANÁLISIS (AHP)”; por ello, en la encuesta Online en Google forms, se exponen de manera general los aspectos para el desarrollo del método como los enseñados en la Tabla 13. Estructura del proceso de análisis jerárquico – AHP adaptada a la valoración de criterios, además de la

estructura de Criterios a evaluar en función de los subcriterios que contiene cada uno, ambos formatos referenciados anteriormente.

PREGUNTA N° 2.1: según los criterios mencionados anteriormente sin aun haber realizado el método AHP, desde su percepción que porcentaje de calificación le daría usted a cada criterio donde la sumatoria del valor dado a los tres debe ser 100%.

Ejemplo: Criterio 1 (40%), Criterio 2 (40%) y Criterio 3 (20%).

Respuestas Pregunta N° 2.1 porcentajes asignados a criterios sin realizar el metodo AHP.

8 respuestas

Criterio 1 (40%), Criterio 2 (40%) y Criterio 3 (20%)
Criterio 1 (20%), Criterio 2 (60%) y Criterio 3 (20%)
Criterio 1 (30%), Criterio 2 (50%) y Criterio 3 (20%)
CRITERIO 1 (30%), CRITERIO 2 (50%), CRITERIO 3 (20%)
Criterio 1 (40%), Criterio 2 (30%) y Criterio 3 (30%)
30, 30, 40
Criterio 1 (20%), Criterio 2 (30%) y Criterio 3 (50%)
Criterio 1 (30%), Criterio 2 (40%) y Criterio 3 (30%)

La anterior pregunta es realizado con el fin de sondear cuales son las preferencias de los expertos para la asignación de pesos de importancia a cada criterio de selección de plaguicidas de manera general y sencilla.

Se observa en las respuestas de 4/8 expertos una valoración significativamente alta del Criterio 2 (Características de los plaguicidas por su toxicidad o impacto a la salud) sobre los demás, seguido del Criterio 1 (Características de los plaguicidas que contribuye a su movilidad y transporte en el ambiente) y finalizando con el valor menor para el criterio 3 (Evaluación de riesgo y normatividad), así mismo 2/8 expertos valoran el Criterio 1 sobre el criterio 2 y criterio 3 ordenados porcentual y finalmente los últimos 2/8 expertos valoran el Criterio 3 por encima del criterio 2 y criterio 1 en orden del mayor al menor valor. Lo anterior evidencia una preferencia significativa por la mayor valoración del Criterio 2 y la igualdad de importancia para el criterio 1 y criterio 3.

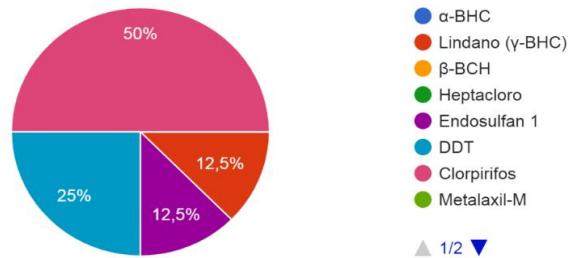
PREGUNTA 2.2: Se desea conocer según su criterio y/o experiencia que alternativa (plaguicida) debería tenerse en cuenta en el estudio.

puesto que el presente ejercicio tiene como objetivo final seleccionar que alternativas (residuos de plaguicidas) que se utilizaran en la presente investigación, se expone la lista de los plaguicidas encontrados en los monitoreos de plaguicidas realizados en el estudio "Amenaza por microcontaminantes en fuentes de

abastecimiento de agua potable”, así los expertos podrán concluir según su experiencia que plaguicidas son de mayor importancia y por qué una pregunta complementaria a esta.

Resultados pregunta 2.2 según su criterio y/o experiencia que alternativa (plaguicida) debería tenerse en cuenta en el estudio

2.2 Dado a que el presente ejercicio tiene como objetivo final seleccionar que alternativas (residuos de plaguicidas) se u... que alternativa debería tenerse en cuenta.
8 respuestas



A pesar de tener una lista con 12 Plaguicidas encontrados en la fuente hídrica Río Palacé, solo se mostró tendencia sobre 4 de ellos, siendo con un 12,5% Lindano (γ-BHC) y Endosulfan 1, seguido con 25% DDT Y finalmente con 50% Clorpirifos; el 50% de los plaguicidas señalados anteriormente siendo los 3 primeros están prohibidos según el Convenio de Estocolmo al ser clasificados como COP (compuestos orgánicos persistentes) de afectación sistémica, endocrina y poder de biomagnificación en la cadena trófica [71], por tanto son plaguicidas de alto impacto e interés ambiental; y el 50% restante atribuido al Clorpirifos por 4/8 expertos según sus respuestas “Por su uso frecuente”, autorizado y constante en diferentes cultivos, incluyendo dentro de ellos los realizados en la subcuenca del Río Palacé.

PREGUNTA 2.3: Valoración de Criterios de selección de plaguicidas.

Para establecer la prioridad de cada criterio se usará la comparación de pareadas como uno de los bases fundamentales del AHP, señalada como una comparación binaria entre cada una de las alternativas (Criterios), al contraponer cada uno de ellos en los ejes X, Y como se evidencia seguidamente.

Matriz de comparación pareada de criterios

(x) \ (y)	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	TOXICIDAD O IMPACTO A LA SALUD	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMATIVIDAD
MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE			
TOXICIDAD O IMPACTO A LA SALUD			
EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMATIVIDAD			

La anterior tabla se valorará por medio de la asignación de pesos de la “Escala de preferencias” referenciada en la Sección Marco teórico Figura 3. Escala de referencias numérica Proceso de análisis jerárquico AHP, adaptada al estudio como para jerarquizar los criterios (características de plaguicidas), de acuerdo al nivel de importancia (1,2,3,4) diligenciados en los espacios en blanco de la anterior matriz según el juicio de cada experto, cuya experiencia o relación con el tema brinde un mayor espectro de confianza.

Escala de valoración de criterios adaptada por el metodo AHP – Proceso de analisis jerárquico.

NIVEL DE IMPORTANCIA	DEFINICIÓN	DESCRIPCIÓN
1	Igual preferencia	Los criterios (x,y) contribuyen de igual manera al proceso de variación de la concentración de plaguicidas en relación con los parámetros fisicoquímicos del río Palacé.
2	Moderada preferencia	Se favorece ligeramente al criterio (x) sobre el (y), en la relación de variación de la concentración de plaguicidas en relación con los parámetros fisicoquímicos del río Palacé.
3	Fuerte preferencia	Prácticamente al criterio (x) domina sobre el (y), en la relación de variación de la concentración de plaguicidas en relación con los parámetros fisicoquímicos del río Palacé.
4	Absoluta Preferencia	La supremacía del criterio (x) es absoluta sobre la relación de la variación de la concentración de plaguicidas en relación con los parámetros fisicoquímicos del río Palacé.

La encuesta Online en Google Forms no permite subir el formato enseñado en la matriz de comparación pareada de manera editable; por ello, se realizó una adaptación con las tres posibles relaciones de comparación pareada entre criterio ilustrada en Matriz de comparación pareada de criterios junto con Tabla 13 la escala de valoración o Nivel de importancia de la matriz de comparación pareada, se adecuan en la Columna N° 1 y Fila N°1 como se enseña seguidamente:

Valoración de criterios en google forms.

	1 Igual preferencia	2 Moderada preferencia	3 Fuerte preferencia	4 Absoluta preferencia
Criterio 1: Movilidad y Transporte vs Criterio 2: Toxicidad o impacto a la salud.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Criterio 1: Movilidad y Transporte vs Criterio 3: Evaluación de riesgo y Normatividad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Criterio 2: Toxicidad o impacto a la salud vs Criterio 3: Evaluación de riesgo y Normatividad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

9.2 ANEXO N° 2: DESARROLLO PROCESO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO AHP MÁS BASE MATEMÁTICA (Ratio de consistencia - Vector propio)

✓ Compilaciones matrices de comparación pareada formato - AHP.

Nombre Experto.	Roman Stechauner Rohringer				Nombre Experto.	Adriana Lorena Sánchez Vergara				Nombre Experto.	Natalia Samboni Ruiz				Nombre Experto.	ANDRÉS MAURICIO ZAPATA RIVERA			
Nº encuesta:	1				Nº encuesta:	2				Nº encuesta:	3				Nº encuesta:	4			
(x) \ (y)	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD		(x) \ (y)	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD		(x) \ (y)	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD		(x) \ (y)	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	
MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	1,00	3,00	2,00		MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	1,00	1,00	4,00		MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	1,00	3,00	2,00		MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	1,00	2,00	4,00	
TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	1/3	1,00	1,00		TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	1	1,00	4,00		TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	1/3	1,00	1,00		TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	1/2	1,00	4,00	
EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	1/2	1,00	1,00		EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	1/4	1/4	1,00		EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	1/2	1	1,00		EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	1	1/4	1,00	
(x) \ (y)	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD		(x) \ (y)	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD		(x) \ (y)	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD		(x) \ (y)	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	
MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	1,00	3,00	2,00		MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	1,00	1,00	4,00		MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	1,00	3,00	2,00		MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	1,00	2,00	4,00	
TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	0,33	1,00	1,00		TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	1,00	1,00	4,00		TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	1/3	1,00	1,00		TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	0,50	1,00	4,00	
EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	0,50	1,00	1,00		EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	0,25	0,25	1,00		EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	1/2	1	1,00		EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	0,25	0,25	1,00	
Nombre Experto.	Edier Humberto Pérez				Nombre Experto.	FABIO ALONSO PRADO CERON				Nombre Experto.	Fernando Andrés Muñoz				Nombre Experto.	Juan Carlos García López			
Nº encuesta:	5				Nº encuesta:	6				Nº encuesta:	7				Nº encuesta:	8			
(x) \ (y)	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD		(x) \ (y)	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD		(x) \ (y)	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD		(x) \ (y)	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	
MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	1,00	4,00	4,00		MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	1,00	2,00	2,00		MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	1,00	1,00	1,00		MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	1,00	1,00	3,00	
TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	1/4	1,00	2,00		TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	1/2	1,00	1,00		TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	1	1,00	1,00		TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	1	1,00	4,00	
EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	1/4	1/2	1,00		EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	1/2	1	1,00		EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	1	1	1,00		EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	1/3	1/4	1,00	
(x) \ (y)	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD		(x) \ (y)	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD		(x) \ (y)	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD		(x) \ (y)	MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	
MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	1,00	4,00	4,00		MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	1,00	2,00	2,00		MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	1,00	1,00	1,00		MOVILIDAD Y TRANSPORTE EN EL AMBIENTE	1,00	1,00	3,00	
TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	0,25	1,00	2,00		TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	0,50	1,00	1,00		TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	1,00	1,00	1,00		TOXICOLOGIA O IMPACTO EN LA SALUD	1,00	1,00	4,00	
EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	0,25	0,50	1,00		EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	0,50	1,00	1,00		EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	1,00	1,00	1,00		EVALUACIÓN DE RIESGO Y NORMALIDAD	0,33	0,25	1,00	

✓ **Calculo de consistencia Proceso de análisis jerárquico (AHP) [65].**

Nombre Experto	Roman Stechauer Rohringer			Nombre Experto	Adriana Lorena Sánchez Viegna			Nombre Experto	Natalia Samboni Ruiz			Nombre Experto	ANDRÉS MARIÑO ZAPATA RIVERA						
Nº encuesta:	1			Nº encuesta:	2			Nº encuesta:	3			Nº encuesta:	4						
NORMALIZACIÓN DE LA MATRIZ				NORMALIZACIÓN DE LA MATRIZ				NORMALIZACIÓN DE LA MATRIZ				NORMALIZACIÓN DE LA MATRIZ							
	SUMA	PROMEDIO		SUMA	PROMEDIO		SUMA	PROMEDIO	SUMA	PROMEDIO	SUMA	PROMEDIO							
0,55	0,6	0,5	1,6455	0,5485	0,44	0,44	0,44	1,3333	0,4444	0,55	0,63	0,50	1,664	0,5488	0,57	0,62	0,44	1,631	0,5488
0,18	0,2	0,25	0,6318	0,2103	0,44	0,44	0,44	1,3333	0,4444	0,18	0,22	0,25	0,6318	0,2101	0,23	0,31	0,44	1,075	0,3460
0,27	0,2	0,25	0,7227	0,2403	0,11	0,11	0,11	0,3333	0,1111	0,27	0,23	0,25	0,722	0,2411	0,14	0,08	0,11	0,303	0,1108
			VALOR FILA ACTUAL					VALOR FILA ACTUAL					VALOR FILA ACTUAL					VALOR FILA ACTUAL	
1,00	3,00	2,00	0,5485	1,652	1,00	1,00	4,00	0,4444	1,3333	1,00	3,00	2,00	0,5488	1,6615	1,00	2,00	4,00	0,5488	1,6768
0,33	1,00	1,00	0,2103	0,6318	1,00	1,00	4,00	0,4444	1,3333	0,33	1,00	1,00	0,2101	0,632	0,50	1,00	4,00	0,3460	1,030
0,50	1,00	1,00	0,2403	0,7227	0,25	0,25	1,00	0,1111	0,3333	0,50	1,00	1,00	0,2411	0,7225	0,25	0,25	1,00	0,1108	0,3327
VALOR FILA ACTUAL	PROMEDIO	COCIENTE			VALOR FILA ACTUAL	PROMEDIO	COCIENTE			VALOR FILA ACTUAL	PROMEDIO	COCIENTE			VALOR FILA ACTUAL	PROMEDIO	COCIENTE		
1,652	0,5485	3,0804			1,3333	0,4444	3,0000			1,6615	0,5488	3,0270			1,6768	0,5488	3,0888		
0,6318	0,2103	3,0121			1,3333	0,4444	3,0000			0,632	0,2101	3,024			1,030	0,3460	3,0612		
0,7227	0,2403	3,0126			0,3333	0,1111	3,0000			0,7225	0,2411	3,024			0,3327	0,1108	3,0166		
		3,0183 max					3,0000 max					3,015 max					3,068 max		
CI	0,00915929	CONSISTENCIA			CI	0	CONSISTENCIA			CI	0,00770488	CONSISTENCIA			CI	0,00885662	CONSISTENCIA		
CR	0,01761412	2%	<5%		CR	0	0% <5%			CR	0,01481608	2% <5%			CR	0,0517985	5% <5%		

Nombre Experto	Eduer Humberto Pérez			Nombre Experto	FABIO ALONSO PRADO CERON			Nombre Experto	Fernando Andrés Muñoz			Nombre Experto	Juan Carlos García López						
Nº encuesta:	5			Nº encuesta:	6			Nº encuesta:	7			Nº encuesta:	8						
NORMALIZACIÓN DE LA MATRIZ				NORMALIZACIÓN DE LA MATRIZ				NORMALIZACIÓN DE LA MATRIZ				NORMALIZACIÓN DE LA MATRIZ							
	SUMA	PROMEDIO		SUMA	PROMEDIO		SUMA	PROMEDIO	SUMA	PROMEDIO	SUMA	PROMEDIO							
0,67	0,73	0,57	1,9654	0,6551	0,50	0,50	0,50	1,5000	0,5000	0,33	0,33	0,33	1,0000	0,3333	0,43	0,44	0,38	1,2480	0,4160
0,17	0,18	0,29	0,6342	0,2114	0,25	0,25	0,25	0,7500	0,2500	0,33	0,33	0,33	1,0000	0,3333	0,43	0,44	0,50	1,3730	0,4577
0,17	0,09	0,14	0,4004	0,1335	0,25	0,25	0,25	0,7500	0,2500	0,33	0,33	0,33	1,0000	0,3333	0,14	0,11	0,13	0,3790	0,1263
			VALOR FILA ACTUAL					VALOR FILA ACTUAL					VALOR FILA ACTUAL					VALOR FILA ACTUAL	
1,00	4,00	4,00	0,6551	2,0346	1,00	2,00	2,00	0,5000	1,5000	1,00	1,00	1,00	0,3333	1,0000	1,00	1,00	3,00	0,4160	1,2526
0,25	1,00	2,00	0,2114	0,6421	0,50	1,00	1,00	0,2500	0,7500	1,00	1,00	1,00	0,3333	1,0000	1,00	1,00	4,00	0,4577	1,3790
0,25	0,50	1,00	0,1335	0,4030	0,50	1,00	1,00	0,2500	0,7500	1,00	1,00	1,00	0,3333	1,0000	0,33	0,25	1,00	0,1263	0,3794
VALOR FILA ACTUAL	PROMEDIO	COCIENTE			VALOR FILA ACTUAL	PROMEDIO	COCIENTE			VALOR FILA ACTUAL	PROMEDIO	COCIENTE			VALOR FILA ACTUAL	PROMEDIO	COCIENTE		
2,0346	0,6551	3,1057			1,5000	0,5000	3,0000			1,0000	0,3333	3,0000			1,2526	0,4160	3,0111		
0,6421	0,2114	3,0975			0,7500	0,2500	3,0000			1,0000	0,3333	3,0000			1,3790	0,4577	3,0130		
0,4030	0,1335	3,0189			0,7500	0,2500	3,0000			1,0000	0,3333	3,0000			0,3794	0,1263	3,0025		
		3,0541 max					3,0000 max					3,0000 max					3,0092 max		
CI	0,027031409	CONSISTENCIA			CI	0	CONSISTENCIA			CI	0	CONSISTENCIA			CI	0,00460416	CONSISTENCIA		
CR	0,051969479	5% <5%			CR	0	0% <5%			CR	0	0% <5%			CR	0,00854153	1% <5%		

✓ Cálculo de vector propio Proceso de análisis jerárquico (AHP) [65].

Nombre Esperto	Rosa Gesthauer Pöninger				Nombre Esperto	Adriana Lorenza Sánchez Vérga				Nombre Esperto	Nidia Sombori Ruiz				Nombre Esperto	ANDRÉS VARGAS ZAVARONA							
Lista	1			Lista	2			Lista	3			Lista	4										
	PRIMER PUNTO				PRIMER PUNTO				PRIMER PUNTO				PRIMER PUNTO										
CRITERIO1	30	80	70	300	0.50	CRITERIO1	30	30	120	300	0.44	CRITERIO1	29	30	70	129	0.51	CRITERIO1	30	50	150	240	0.50
CRITERIO2	17	30	26	68	0.29	CRITERIO2	30	30	120	180	0.44	CRITERIO2	116	29	26	68	0.28	CRITERIO2	20	30	100	150	0.58
CRITERIO3	13	35	30	78	0.29	CRITERIO3	0.5	0.5	30	45	0.11	CRITERIO3	13	35	30	78	0.29	CRITERIO3	0.5	1.0	30	45	0.11
				36	1				4.5	1					3.5	1					4.5	1	
	SEGUNDO PUNTO				SEGUNDO PUNTO				SEGUNDO PUNTO				SEGUNDO PUNTO										
CRITERIO1	27	75	63	165	0.59	CRITERIO1	270	270	1080	1620	0.44	CRITERIO1	275	724	62	1628	0.52	CRITERIO1	290	450	1450	2100	0.58
CRITERIO2	108	27	247	622	0.29	CRITERIO2	270	270	1080	1620	0.44	CRITERIO2	104	275	293	676	0.29	CRITERIO2	1825	290	920	1325	0.58
CRITERIO3	128	31.5	27	74.5	0.24	CRITERIO3	6.5	6.5	270	45	0.11	CRITERIO3	108	31.5	27	74.5	0.24	CRITERIO3	5.5	9.5	290	488	0.18
				293	1				34.5	1					24.5	1					44.5	1	
	TERCER PUNTO				TERCER PUNTO				TERCER PUNTO				TERCER PUNTO										
CRITERIO1	2830	6172	5365	13975	0.59	CRITERIO1	2870	2870	8910	13210	0.44	CRITERIO1	2758	5908	5266	13427	0.52	CRITERIO1	2500	4005	12700	19225	0.58
CRITERIO2	868	2860	2054	5782	0.29	CRITERIO2	2870	2870	8910	13210	0.44	CRITERIO2	860	2758	1988	5305	0.29	CRITERIO2	1575	2500	8005	12000	0.58
CRITERIO3	1008	288	2860	5276	0.24	CRITERIO3	56.5	56.5	2870	386.5	0.11	CRITERIO3	942	2838	2828	5865	0.24	CRITERIO3	508	78.5	2500	3858	0.18
				2647	1				2845	1					2838	1					5340	1	
	CUARTO PUNTO				CUARTO PUNTO				CUARTO PUNTO				CUARTO PUNTO										
CRITERIO1	1514473	4466558	3508693	9488923	0.59	CRITERIO1	1498070	1498070	5992280	8988420	0.44	CRITERIO1	1558508	4388547	3579916	9259876	0.52	CRITERIO1	1491975	3048850	9002025	14680588	0.58
CRITERIO2	684888	1514473	1385429	3648900	0.29	CRITERIO2	1498070	1498070	5992280	8988420	0.44	CRITERIO2	592020	1558508	1382988	3668898	0.29	CRITERIO2	1201500	1491975	6487700	9588577	0.58
CRITERIO3	607711	1302816	1514473	4892067	0.24	CRITERIO3	38226.5	38226.5	1498070	215886.5	0.11	CRITERIO3	688290	1788828	1588887	4082278	0.24	CRITERIO3	380258	600750	1491975	2887388	0.18
				16884249	1				13912459	1					16482127	1					2868220	1	

Nombre Esperto	Eder Humberto Pérez				Nombre Esperto	FABIO ALONSO FLORES				Nombre Esperto	Fernando Andrés Mifitz				Nombre Esperto	Juan Carlos Granda López							
Lista	5			Lista	6			Lista	7			Lista	8										
	PRIMER PUNTO				PRIMER PUNTO				PRIMER PUNTO				PRIMER PUNTO										
CRITERIO1	30	100	160	290	0.68	CRITERIO1	30	60	60	150	0.50	CRITERIO1	30	30	30	90	0.33	CRITERIO1	30	2.5	100	15.5	0.46
CRITERIO2	1.0	30	50	90	0.28	CRITERIO2	1.5	30	30	75	0.20	CRITERIO2	30	30	30	90	0.33	CRITERIO2	33	30	110	17.8	0.48
CRITERIO3	0.5	20	30	55	0.29	CRITERIO3	1.5	30	30	75	0.20	CRITERIO3	30	30	30	90	0.33	CRITERIO3	0.9	0.8	30	4.5	0.12
				48	1				300	1					270	1					388	1	
	SEGUNDO PUNTO				SEGUNDO PUNTO				SEGUNDO PUNTO				SEGUNDO PUNTO										
CRITERIO1	290	90	140	520	0.68	CRITERIO1	270	540	540	1350	0.50	CRITERIO1	270	270	270	810	0.33	CRITERIO1	273	298	925	1448	0.46
CRITERIO2	918	290	460	848	0.28	CRITERIO2	150	270	270	675	0.20	CRITERIO2	270	270	270	810	0.33	CRITERIO2	308	273	968	1575	0.45
CRITERIO3	578	182	290	500	0.31	CRITERIO3	150	270	270	675	0.20	CRITERIO3	270	270	270	810	0.33	CRITERIO3	82	7.5	273	498	0.12
				441	1				200	1					280	1					343	1	
	TERCER PUNTO				TERCER PUNTO				TERCER PUNTO				TERCER PUNTO										
CRITERIO1	2500	800.5	12700	2822.5	0.68	CRITERIO1	2870	4740	4740	10950	0.50	CRITERIO1	2870	2870	2870	8610	0.33	CRITERIO1	224.2	285.3	7404	11630	0.46
CRITERIO2	787.8	2500	4002.5	7340	0.28	CRITERIO2	10950	2870	2870	5675	0.20	CRITERIO2	2870	2870	2870	8610	0.33	CRITERIO2	2468	224.2	8452	12858	0.45
CRITERIO3	5008	1587.5	25000	4877.5	0.31	CRITERIO3	10950	2870	2870	5675	0.20	CRITERIO3	2870	2870	2870	8610	0.33	CRITERIO3	667.7	667.0	2242.5	3567.2	0.12
				3842.5	1				28300	1					19880	1					28884	1	
	CUARTO PUNTO				CUARTO PUNTO				CUARTO PUNTO				CUARTO PUNTO										
CRITERIO1	19181978	61487700	96120018	175485888	0.68	CRITERIO1	14980700	28984400	28984400	71745500	0.50	CRITERIO1	14980700	14980700	14980700	44942100	0.33	CRITERIO1	14980700	14980700	14980700	44942100	0.33
CRITERIO2	6007500	19019875	30488500	55488875	0.28	CRITERIO2	7174550	14980700	14980700	38728750	0.20	CRITERIO2	14980700	14980700	14980700	44942100	0.33	CRITERIO2	14980700	14980700	14980700	44942100	0.33
CRITERIO3	3802561	12015000	19019875	34829899	0.31	CRITERIO3	7174550	14980700	14980700	38728750	0.20	CRITERIO3	14980700	14980700	14980700	44942100	0.33	CRITERIO3	14980700	14980700	14980700	44942100	0.33
				28682200	1				14980700	1					12914850	1							1

9.3 ANEXO N° 3: PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL Y COORDENADAS UTM DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS PARA POLÍGONOS O THIESSEN

Cálculo de precipitación anual para estaciones meteorológicas de influencia en la subcuenca del río Palacé.

ESTACIÓN GABRIEL LÓPEZ		ESTACIÓN POLINDARA		ESTACIÓN TOTORÓ	
MES	PRECIPITACIÓN	MES	PRECIPITACIÓN	MES	PRECIPITACIÓN
ENERO	1,748	ENERO	2,871	ENERO	3,677
FEBRERO	1,761	FEBRERO	2,821	FEBRERO	4,393
MARZO	1,606	MARZO	4,129	MARZO	3,806
ABRIL	3,517	ABRIL	6,633	ABRIL	7,767
MAYO	3,503	MAYO	5,484	MAYO	4,129
JUNIO	3,793	JUNIO	0,367	JUNIO	1,900
JULIO	2,974	JULIO	0,129	JULIO	0,000
AGOSTO	1,794	AGOSTO	0,067	AGOSTO	0,000
SEPTIEMBRE	1,614	SEPTIEMBRE	0,733	SEPTIEMBRE	1,700
OCTUBRE	2,518	OCTUBRE	2,903	OCTUBRE	4,065
NOVIEMBRE	9,802	NOVIEMBRE	12,267	NOVIEMBRE	8,667
DICIEMBRE	4,206	DICIEMBRE	4,290	DICIEMBRE	7,774
PRECIPITACIÓN ANUAL	3,236	PRECIPITACIÓN ANUAL	3,558	PRECIPITACIÓN ANUAL	3,990

Localización de estaciones y precipitación promedio anual para cálculo de Thiessen en ArGis (ArMap 10.5)

NOMBRE ESTACIÓN	ESTE (X)	NORTE (Y)	Altitud	PP Anual
GABRIEL LÓPEZ [26025070]	356579,94	277502,91	3071	3,2363612
POLINDARA [26020460]	344345	275304	2507	3,5578789
TOTORÓ [26020130]	342260,59	281037,43	2427	3,9898169

9.4 ANEXO N°4: SÍNTESIS DE CONCENTRACIÓN DE PLAGUICIDAS PUNTOS SIBERIA Y HATICO

Evaluación medidas de tendencia central para α -BHC, β -BHC, Lindano y Clorpirifos en el punto Siberia

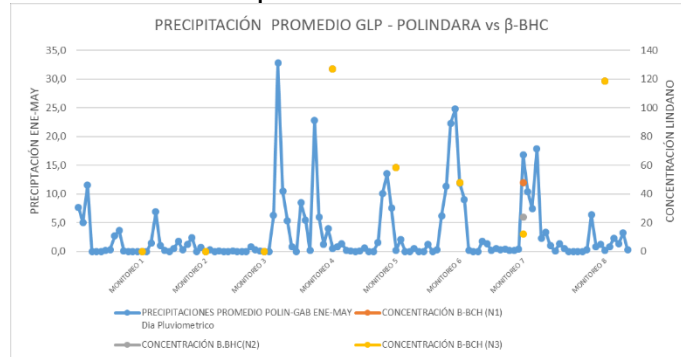
SIENTESIS DE CONCENTRACIONES DE PLAGUICIDAS PUNTO SIBERIA																
N° MONITOREO PLAGUICIDA	Siberia01-1	Siberia01-2	Siberia02-1	Siberia02-2	Siberia03-1	Siberia03-2	Siberia04-1	Siberia04-2	Siberia05-1	Siberia05-2	Siberia06-1	Siberia06-2	Siberia07-1	Siberia07-2	Siberia08-1	Siberia08-2
Lindano	331,3	336,9	170,3	180,9			43,9	46,2	52,8	60,1	70,5	68,3	55,1	48,7	69,8	79
MEDIA ARITMETICA	334,1		175,6		#DIV/0!		45,05		56,45		69,4		51,9		74,4	
MEDIA GEOMETRICA	334,09		175,52		#NUM!		45,04		56,33		69,39		51,80		74,26	
MEDIA ARMÓNICA	334,08		175,44		#N/A		45,02		56,21		69,38		51,70		74,12	
MEDIA CUADRATICA	334,11		175,68		0,00		45,06		56,57		69,41		52,00		74,54	
α -BHC	941,7	1170,2	81,7	113,9	451,9	325,9	94,5	80,6	119,5	125,8	55,6	60,4			110,3	125,9
MEDIA ARITMETICA	1055,95		97,8		388,9		87,55		122,65		58		#DIV/0!		118,1	
MEDIA GEOMETRICA	1049,75		96,47		383,76		87,27		122,61		57,95		#NUM!		117,84	
MEDIA ARMÓNICA	1043,59		95,15		378,69		87,00		122,57		57,90		#N/A		117,58	
MEDIA CUADRATICA	1062,11		99,12		393,97		87,83		122,69		58,05		0,00		118,36	
β -BHC							107,4	144,1	58,9	57,9	52,2	43,2			107,4	128,9
MEDIA ARITMETICA	#DIV/0!		#DIV/0!		#DIV/0!		125,75		58,4		47,7		#DIV/0!		118,15	
MEDIA GEOMETRICA	#NUM!		#NUM!		#NUM!		124,40		58,40		47,49		#NUM!		117,66	
MEDIA ARMÓNICA	#N/A		#N/A		#N/A		123,07		58,40		47,28		#N/A		117,17	
MEDIA CUADRATICA	0,00		0,00		0,00		127,08		58,40		47,91		0,00		118,64	
Clorpirifos	444,6	496	72,7	95,6	325,6	421,9	120,4	128,4	36,4	35,8	69,7	72,4	88,2	76,5	120,4	130,4
MEDIA ARITMETICA	470,3		84,15		373,75		124,4		36,1		71,05		82,35		125,4	
MEDIA GEOMETRICA	469,60		83,37		370,64		124,34		36,10		71,04		82,14		125,30	
MEDIA ARMÓNICA	468,90		82,59		367,55		124,27		36,10		71,02		81,93		125,20	
MEDIA CUADRATICA	471,00		84,93		376,84		124,46		36,10		71,06		82,56		125,50	

Evaluación medidas de tendencia central para α -BHC, β -BHC, Lindano y Clorpirifos en el punto Hatico

SIENTESIS DE CONCENTRACIONES DE PLAGUICIDAS PUNTO HATICO																
N° MONITOREO PLAGUICIDA	Hático01-1	Hático01-2	Hático02-1	Hático02-2	Hático03-1	Hático03-2	Hático04-1	Hático04-2	Hático05-1	Hático05-2	Hático06-1	Hático06-2	Hático07-1	Hático07-2	Hático08-1	Hático08-2
Lindano	594,7	458,9	150,3	225,6			38,5	36,8	86,1	87,1	35,9	38	55,1	58,9	85,9	74,2
MEDIA ARITMETICA	526,8		187,95		#DIV/0!		37,65		86,6		36,95		57		80,05	
MEDIA GEOMETRICA	522,41		184,14		#NUM!		37,64		86,60		36,94		56,97		79,84	
MEDIA ARMÓNICA	518,05		180,41		#N/A		37,63		86,60		36,92		56,94		79,62	
MEDIA CUADRATICA	531,16		191,68		0,00		37,66		86,60		36,96		57,03		80,26	
α -BHC	137,8	192,1	481,3	625,6	302,9	425,2	51,9	57,7	55,8	59,3	156,9	120,7	178,9	102,5	71,3	56,4
MEDIA ARITMETICA	164,95		553,45		364,05		54,8		57,55		138,8		140,7		63,85	
MEDIA GEOMETRICA	162,70		548,73		358,88		54,72		57,52		137,61		135,42		63,41	
MEDIA ARMÓNICA	160,48		544,04		353,78		54,65		57,50		136,44		130,33		62,98	
MEDIA CUADRATICA	167,17		558,13		369,15		54,88		57,58		139,98		145,79		64,28	
β -BHC							56,6	59,1	84,5	76,1			81,3	83,4		
MEDIA ARITMETICA	#DIV/0!		#DIV/0!		#DIV/0!		57,85		80,3		#DIV/0!		82,35		#DIV/0!	
MEDIA GEOMETRICA	#NUM!		#NUM!		#NUM!		57,84		80,19		#NUM!		82,34		#NUM!	
MEDIA ARMÓNICA	#N/A		#N/A		#N/A		57,82		80,08		#N/A		82,34		#N/A	
MEDIA CUADRATICA	0,00		0,00		0,00		57,86		80,41		0,00		82,36		0,00	
Clorpirifos	680,7	590,3	50,5	38,9	125,9	100,6	10,3	11,5	169,7	122,8	56,8	70,9	155,4	128,9	30,8	39,7
MEDIA ARITMETICA	635,5		44,7		113,25		10,9		146,25		63,85		142,15		35,25	
MEDIA GEOMETRICA	633,89		44,32		112,54		10,88		144,36		63,46		141,53		34,97	
MEDIA ARMÓNICA	632,29		43,95		111,84		10,87		142,49		63,07		140,91		34,69	
MEDIA CUADRATICA	637,11		45,07		113,95		10,92		148,12		64,24		142,77		35,53	

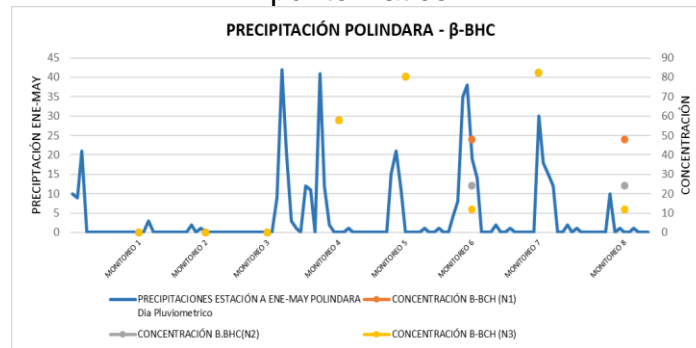
9.5 ANEXO N°5: ESTIMATIVO DE CONCENTRACIÓN PARA LOS PLAGUICIDAS β -BHC, α -BHC Y PARÁMETRO FÍSICOQUÍMICO DQO

Comportamiento concentración de β -BHC en relación a la precipitación para el punto Siberia



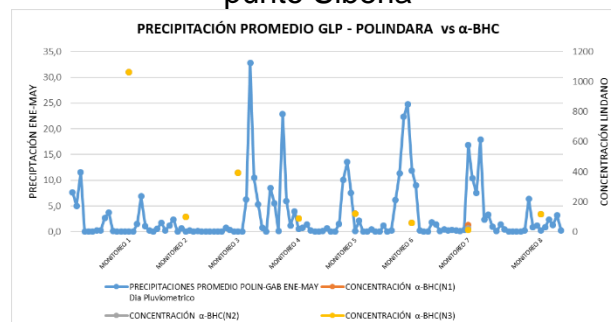
El comportamiento entre precipitaciones y concentración de β -BHC para Siberia presenta un comportamiento directamente proporcional por lo cual la concentración para el monitoreo N°7 será igual a $48.10 \mu\text{g/L}$.

Comportamiento concentración de β -BHC en relación a la precipitación para el punto Hatico



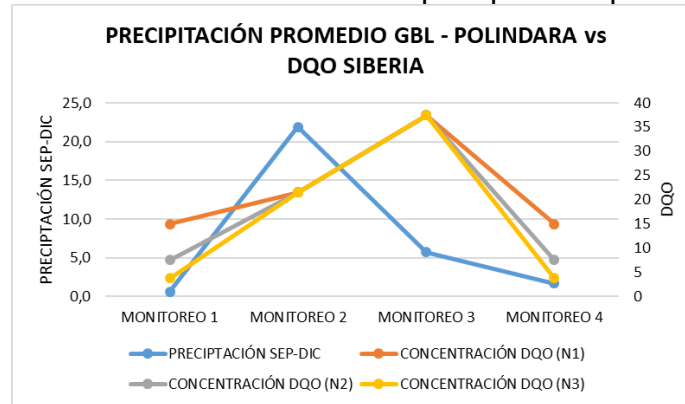
Para el último punto Hatico el comportamiento entre precipitaciones y concentración de β -BHC se define como directamente proporcional, por lo cual la concentración para el monitoreo N°6 será la máxima $48.10 \mu\text{g/L}$ y para el monitoreo N°8 la mínima $12.03 \mu\text{g/L}$.

Comportamiento concentración de α -BHC con relación a la precipitación para el punto Siberia



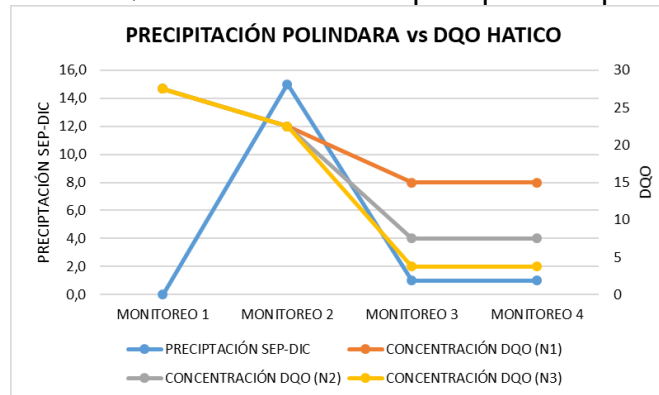
El α -BHC evidencia un comportamiento inversamente proporcional entre el aumento o disminución de la precipitación, sin embargo, al ser el punto con mayor concentración del mismo se define para el monitoreo N°7 el valor más alto 46.10 $\mu\text{g/L}$

Comportamiento de DQO con relación a la precipitación para el punto Siberia



Al igual que el punto anterior se presenta una relación inversamente proporcional entre las precipitaciones y la concentración de DQO; no obstante, en este punto se toma la concentración máxima o LDD para los monitoreos N°1 y 4 según la relación enseñada en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** al definir de manera proporcional la relación entre variables (precipitación – parámetro).

Comportamiento de DQO con relación a la precipitación para el punto Hatico



La relación entre precipitación y DQO dentro de la fuente hídrica río Palacé evidencia un régimen drásticamente variable, el cual al relacionar la precipitación dada la variabilidad de los primeros monitoreos en este punto y una igualdad entre los dos últimos, se toma el valor más alto graficado igual a 15 mg/L o LDD como la concentración más a fin a la relación inversamente proporcional entre las mismas.

**9.6 ANEXO N° 6: ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA ESTACIONES
METEOROLÓGICAS DE POLINDARA Y PROMEDIO GABRIEL LÓPEZ -
POLINDARA**

Estadística descriptiva estación meteorológica de Polindara

ESTACIÓN METEOROLÓGICA POLINDARA			
ENERO - MAYO		SEP-DIC	
MEDIA	3,779	MEDIA	5,025
MEDIANA	0,000	MEDIANA	0,000
MODA	0,000	MODA	0,000
DESVIACIÓN T	8,665	DESVIACIÓN T	11,071
VARIANZA	75,083	VARIANZA	122,570
COEFICIENTE VAR	2,293	COEFICIENTE VAR	2,203

Estadística descriptiva estación meteorológica de promedio Gabriel López y
Polindara

PROMEDIO ENTRE ESTACIÓN METEOROLÓGICA GABRIEL LÓPEZ - POLINDARA			
ENERO - MAYO		SEP-DIC	
MEDIA	2,978	MEDIA	4,770
MEDIANA	0,450	MEDIANA	1,042
MODA	0,000	MODA	0,000
DESVACIÓN T	5,651	DESVACIÓN T	8,899
VARIANZA	31,931	VARIANZA	79,196
COEFICIENTE VAR	1,898	COEFICIENTE VAR	1,866

**9.7 ANEXO N° 7: SÍNTESIS DE CONCENTRACIÓN Y NIVELES DE
PRECIPITACIÓN PARA MONITOREOS DE PLAGUICIDA Y
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS**

Evaluación de medidas estadísticas Monitoreo 1, Estación meteorológica Gabriel
López

PRECIPITACIONES GABRIEL	
11/01/2019 0:00	5,4
12/01/2019 0:00	1,1
13/01/2019 0:00	2,2
14/01/2019 0:00	0
15/01/2019 0:00	0
16/01/2019 0:00	0
17/01/2019 0:00	0,4
18/01/2019 0:00	0,6
19/01/2019 0:00	5,4
20/01/2019 0:00	7,4
21/01/2019 0:00	0,2
22/01/2019 0:00	0
23/01/2019 0:00	0
24/01/2019 0:00	0
25/01/2019 0:00	0

MONITOREO 1	
MEDIA	1,513
MEDIANA	0,200
MODA	0,000
DESVIACIÓN T	2,469
VARIANZA	6,096
COEFICIENTE VAR	1,631

✓ Niveles de precipitación para monitoreos de plaguicidas

Promedio estaciones meteorológicas Gabriel López - Polindara Ene-May			
N° MONITOREO	VARIANZA PRECIPITACIONES	CLASIFICACIÓN PRECIPITACIÓN	TIPO DE PRECIPITACIÓN
MONITOREO 1	12,4965	LLM	BAJA
MONITOREO 2	3,282925824	LLL	BAJA
MONITOREO 3	0,050549451	LLL	BAJA
MONITOREO 4	88,74956044	LLI	ALTA
MONITOREO 5	18,17780952	LLM	BAJA
MONITOREO 6	78,98589744	LLI	ALTA
MONITOREO 7	23,08631868	LLF	ALTA
MONITOREO 8	22,88886438	LLF	BAJA

Estación meteorológica Polindara Ene-May			
N° MONITOREO	VARIANZA PRECIPITACIONES	CLASIFICACIÓN PRECIPITACIÓN	TIPO DE PRECIPITACIÓN
MONITOREO 1	36,80952381	LLF	ALTA
MONITOREO 2	0,879120879	LLL	BAJA
MONITOREO 3	0	LLN	BAJA
MONITOREO 4	207,3846154	LLT	ALTA
MONITOREO 5	45,31428571	LLF	ALTA
MONITOREO 6	187,3076923	LLT	ALTA
MONITOREO 7	72,55494505	LLI	BAJA
MONITOREO 8	35,62418301	LLF	BAJA

✓ Niveles de precipitación para monitoreos de parámetros fisicoquímicos

Estación meteorológica Gabriel López Sep-Dic			
N° MONITOREO	PRECIPITACIÓN	CLASIFICACIÓN PRECIPITACIÓN	TIPO DE PRECIPITACIÓN
MONITOREO 1	1,200	LLL	BAJA
MONITOREO 2	28,8	LLF	ALTA
MONITOREO 3	10,400	LLM	ALTA
MONITOREO 4	2,352	LLL	BAJA

Promedio estaciones meteorológicas Gabriel López - Polindara Sep-Dic			
N° MONITOREO	PRECIPITACIÓN	CLASIFICACIÓN PRECIPITACIÓN	TIPO DE PRECIPITACIÓN
MONITOREO 1	0,600	LLL	BAJA
MONITOREO 2	21,9	LLF	ALTA
MONITOREO 3	5,700	LLM	ALTA
MONITOREO 4	1,676	LLL	BAJA

Estación meteorológica Polindara Sep-Dic			
N° MONITOREO	PRECIPITACIÓN	CLASIFICACIÓN PRECIPITACIÓN	TIPO DE PRECIPITACIÓN
MONITOREO 1	0,000	LLN	BAJA
MONITOREO 2	15	LLM	ALTA
MONITOREO 3	1,000	LLL	BAJA
MONITOREO 4	1,100	LLL	BAJA

9.8 ANEXO N° 8: CAUDAL MEDIO DIARIO Y DIFERENCIA DE CAUDALES DE LA ESTACIÓN HIDROLÓGICA DE MALVAZA

Caudales estación hidrológica Malvaza enero-mayo

MONITOREO	MONITOREO 1	MONITOREO 2	MONITOREO 3	MONITOREO 4
Fecha	11/01/2019	25/01/2019	08/02/2019	21/02/2019
Caudal Medio Diario (m^3/sg)	1,092	1,610	1,455	0,862
MONITOREO	MONITOREO 5	MONITOREO 6	MONITOREO 7	MONITOREO 8
Fecha	08/03/2019	22/03/2019	05/04/2019	19/04/2019
Caudal Medio Diario (m^3/sg)	2,066	2,208	2,926	1,230

Caudales estación hidrológica Malvaza septiembre-diciembre

MONITOREO	MONITOREO 1	MONITOREO 2	MONITOREO 3	MONITOREO 4
Fecha	20/09/2019	18/10/2019	30/11/2019	19/12/2019
Caudal Medio Diario (m^3/sg)	3,491	1,440	1,775	1,734

Diferencia de caudal medio diario en la estación hidrológica Malvaza para los monitoreos puntual de Plaguicidas y Parámetros fisicoquímicos

M Parámetros M Plaguicidas	MONITOREO 1	MONITOREO 2	MONITOREO 3	MONITOREO 4
MONITOREO 1	-1,881	0,170	-0,165	-0,124
MONITOREO 2	-2,035	0,015	-0,320	-0,278
MONITOREO 3	-2,629	-0,578	-0,913	-0,872
MONITOREO 4	-1,425	0,626	0,291	0,332
MONITOREO 5	-1,283	0,768	0,433	0,474

MONITOREÓ 6	-0,565	1,486	1,151	1,192
MONITOREÓ 7	-2,260	-0,210	-0,545	-0,503
MONITOREÓ 8	-0,915	1,136	0,801	0,842

Relación entre monitoreos de plaguicidas y parámetros fisicoquímicos por caudal medio diario

MONITOREO PLAGUICIDAS		MONITOREO PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS	
Nº MONITOREO	CAUDAL (m3/s)	Nº MONITOREO	CAUDAL (m3/s)
MONITOREÓ 6	2,926	MONITOREÓ 1	3,491
MONITOREÓ 2	1,455	MONITOREÓ 2	1,440
MONITOREÓ 4	2,066	MONITOREÓ 3	1,775
MONITOREÓ 1	1,610	MONITOREÓ 4	1,734

9.9 ANEXO N° 9: RESUMEN DE RESULTADOS SPSS CORRELACIONES PLAGUICIDAS Y PARÁMETROS

CORRELACIÓN PEARSON HUMEDAL: PLAGUICIDAS vs PARÁMETROS							CORRELACIÓN SPEARMAN HUMEDAL: PLAGUICIDAS vs PARÁMETROS							
PARÁMETRO F PLAGUICIDA	pH	Potencial Redox	Conductividad	SST	OD	DQO	PARÁMETRO F PLAGUICIDA	pH	Potencial Redox	Conductividad	SST	OD	DQO	
CONCENTRACIÓN LINDANO HUMEDAL	-0,366	-0,008	-0,84	0,252	DIRE	-0,523	0,868	CONCENTRACIÓN LINDANO HUMEDAL	0	-0,105	0,632	0,105	-0,316	0,949
CONCENTRACIÓN α-BHC HUMEDAL	-0,467	0,632	0,496	0,634	0,309	-0,84	CONCENTRACIÓN α-BHC HUMEDAL	-0,316	0,4	0,8	0,2	0,4	-1,000**	
CONCENTRACIÓN β-BHC HUMEDAL	-0,397	0,106	-0,658	0,2	-0,269	0,94	CONCENTRACIÓN β-BHC HUMEDAL	0	-0,105	-0,632	0,105	-0,316	0,949	
CONCENTRACIÓN CLORPIRIFOS HUMEDAL	0,443	-0,155	0,642	-0,245	0,248	-0,924	CONCENTRACIÓN CLORPIRIFOS HUMEDAL	0,316	-0,2	0,4	-0,4	0,2	-0,8	
CORRELACIÓN PEARSON SIBERIA: PLAGUICIDAS vs PARÁMETROS							CORRELACIÓN SPEARMAN SIBERIA: PLAGUICIDAS vs PARÁMETROS							
PARÁMETRO F PLAGUICIDA	pH	Potencial Redox	Conductividad	SST	OD	DQO	PARÁMETRO F PLAGUICIDA	pH	Potencial Redox	Conductividad	SST	OD	DQO	
CONCENTRACIÓN LINDANO SIBERIA	-0,058	-0,469	0,451	0,099	-0,23	-0,565	CONCENTRACIÓN LINDANO SIBERIA	0,4	-0,4	0,6	0,258	0,2	-0,632	
CONCENTRACIÓN α-BHC SIBERIA	-0,037	-0,643	0,289	-0,309	-0,409	-0,439	CONCENTRACIÓN α-BHC SIBERIA	-0,2	-0,2	0,8	0,258	-0,4	-0,105	
CONCENTRACIÓN β-BHC SIBERIA	-0,311	0,36	-0,182	-0,486	-0,388	0,832	CONCENTRACIÓN β-BHC SIBERIA	-0,316	0,105	-0,738	-0,544	-0,316	0,5	
CONCENTRACIÓN CLORPIRIFOS SIBERIA	-0,106	-0,609	0,316	-0,361	-0,496	-0,347	CONCENTRACIÓN CLORPIRIFOS SIBERIA	-0,4	-0,4	0,4	-0,258	-0,8	0,105	
CORRELACIÓN PEARSON HATICO: PLAGUICIDAS vs PARÁMETROS							CORRELACIÓN SPEARMAN HATICO: PLAGUICIDAS vs PARÁMETROS							
PARÁMETRO F PLAGUICIDA	pH	Potencial Redox	Conductividad	SST	OD	DQO	PARÁMETRO F PLAGUICIDA	pH	Potencial Redox	Conductividad	SST	OD	DQO	
CONCENTRACIÓN LINDANO HATICO	0,457	-0,944	0,364	-0,8	-0,61	-0,488	CONCENTRACIÓN LINDANO HATICO	0,8	-0,8	0,8	-0,738	-0,8	-0,632	
CONCENTRACIÓN α-BHC HATICO	0,833	-0,397	0,781	-0,695	-0,822	0,325	CONCENTRACIÓN α-BHC HATICO	0,8	-0,8	0,8	-0,949	-0,8	0,211	
CONCENTRACIÓN β-BHC HATICO	-0,82	0,928	-0,716	0,999**	0,98	0,126	CONCENTRACIÓN β-BHC HATICO	-0,738	0,949	-0,738	1,000**	0,738	-0,056	
CONCENTRACIÓN CLORPIRIFOS_HATICO	0,16	-0,838	0,067	-0,59	-0,336	-0,481	CONCENTRACIÓN CLORPIRIFOS_HATICO	0	-0,8	0	-0,632	0	0,105	

ANEXO FOTOGRÁFICO

Imagen 1. Punto N°1 Humedal, toma de parámetros in situ por sonda multiparamétrica



Imagen 2. Punto N°1 Humedal, medición parámetros fisicoquímicos in situ



Imagen 3. punto N°1 Humedal de Calvache, Monitoreo N° 3 Toma de muestra para análisis de laboratorio



Imagen 4. punto N°1 Humedal de Calvache, Monitoreo N° 3 muestras para análisis de laboratorio



Imagen 5. Entrega de muestras laboratorio CRC-Corporación Autónoma Regional del Cauca.



Imagen 6. Medición de SST - muestra de agua río Palace



Imagen 7. Evidencia medición por espectrofotómetro SST para cada punto

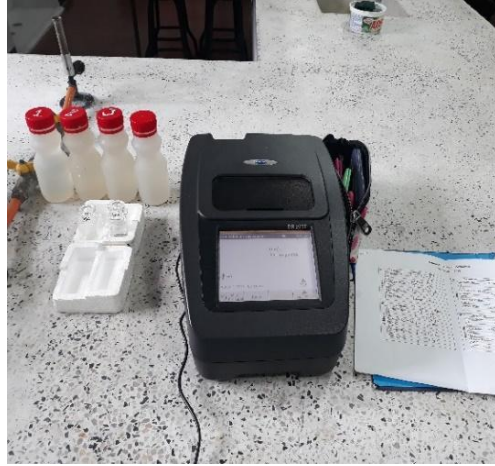


Imagen 8. Río Palacé Punto N°1 Humedal de Calvache



Imagen 9. Río Palacé Punto N°2 Siberia



Imagen 10. Río Palacé Punto N°3 Hatico

