

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE CALIDAD HÍDRICA DE
BOGOTÁ (RCHB) PARA LOS RÍOS FUCHA Y TUNJUELO EN LA CIUDAD
DE BOGOTA D.C.**

**ANGIE ESTEFANIA DIAZ LEON
LINA PAOLA SOTO CORTES**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTA D.C.
2016**

**PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE CALIDAD HÍDRICA DE
BOGOTÁ (RCHB) PARA LOS RÍOS FUCHA Y TUNJUELO EN LA CIUDAD
DE BOGOTÁ D.C.**

**ANGIE ESTEFANIA DIAZ LEON
LINA PAOLA SOTO CORTES**

Trabajo de tesis para optar por el título de Ingeniero Ambiental

Modalidad: Solución de un problema de Ingeniería

**Director, Carlos Andrés Peña Guzmán
Ingeniero Ambiental.
Magister en Hidrosistemas**

**Director, Ronal Jackson Sierra Parada
Ingeniero Topográfico
Magister en Geología**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2016**

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	5
LISTA DE GRÁFICAS.....	7
RESUMEN	12
INTRODUCCION	13
1. DEFINICION DEL PROBLEMA.....	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
2. JUSTIFICACIÓN	17
3. OBJETIVOS	18
3.1. OBJETIVO GENERAL	18
3.2. ESPECÍFICOS.....	18
4. MARCO CONTEXTUAL	19
4.1. LOCALIZACION	19
4.1.1. RIO FUCHA	20
4.1.2. RÍO TUNJUELO	20
4.2. CARACTERISTICAS AMBIENTALES	21
4.2.1. CLIMA	21
4.3. CARACTERISTICAS SOCIO-ECONOMICAS	22
4.3.1. ASPECTOS DEMOGRAFICOS	22
4.3.2. TIPOS DE INDUSTRIAS.....	23
5. MARCO NORMATIVO	25
6. MARCO TEORICO.....	27
6.1. RED DE CALIDAD HIDRICA DE BOGOTA.....	27
6.1.1. MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA	28
6.1.2. LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO	29
6.1.3. FRECUENCIA DE MONITOREO	30
6.2. ESTADISTICA MULTIVARIADA.....	33
6.2.1. R.....	33
6.2.2. ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.....	33
6.2.3. ANALISIS JERARQUICO.....	33
6.2.4. ANALISIS DE DISCRIMANATE LINEAL.....	34
6.3. GEOESTADISTICA	35

6.3.1. IDW	35
7. METODOLOGÍA.....	36
7.1. TRATAMIENTO BASE DE DATOS	36
7.2. COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS ENCONTRADAS.....	36
7.3. ESTADISTICA MULTIVARIADA.....	38
7.3.1. PCA.....	38
7.3.2. ANALISIS JERARQUICO.....	38
7.4. INTERPOLACIONES.....	38
8. RESULTADOS	39
8.1. ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	39
8.1.1. PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS.....	42
8.2. ANALISIS JERARQUICO	42
8.2.1. RIO FUCHA	43
8.2.2. RIO TUNJUELO	48
8.1. LDA.....	53
8.3.1. FUCHA.....	53
8.3.2. TUNJUELO	63
8.2. IDW.....	72
8.2.1. FUCHA.....	72
8.2.2. TUNJUELO	74
9. ANALISIS DE RESULTADOS	76
10. CONCLUSIONES	79
11. RECOMENDACIONES	80
12. BIBLIOGRAFÍA	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Vertimientos en el Rio Fucha	22
Tabla 2. Sectores productivos en la cuenca del rio Fucha.....	23
Tabla 3. Matriz normativa	25
Tabla 4. Puntos de muestreo de la RCBH desde el 2008 hasta el 2013	27
Tabla 5. Puntos de monitoreo de la red de calidad hídrica en el río Fucha	29
Tabla 6. Puntos de monitoreo de la red de calidad hídrica en el río Tunjuelo ..	29
Tabla 7. Frecuencias de monitoreo.....	30
Tabla 8. Parámetros de la RCBH.....	31
Tabla 9. Metodologías para la optimización de redes de calidad hídrica.....	37
Tabla 10. Calificación.....	37
Tabla 11. Resultados para el rio Fucha	42
Tabla 12. Resultados para el rio Tunjuelo	42
Tabla 13. Resultados ADL para pH	54
Tabla 14. Resultados ADL para grasas y aceites.....	54
Tabla 15. Resultados ADL para Demanda Biológica de Oxígeno	55
Tabla 16. Resultados ADL para Demanda Química de Oxígeno.....	56
Tabla 17. Resultados ADL para SAAM	56
Tabla 18. Resultados ADL para Solidos Suspendidos Totales	57
Tabla 19. Resultados ADL para Nitrógeno Total	57
Tabla 20. Resultados ADL para Fosforo Total.....	58
Tabla 24. Resultados ADL para abril.....	60
Tabla 25. Resultados ADL para mayo.....	60
Tabla 26. Resultados ADL para abril.....	61
Tabla 27. Resultados ADL para julio	61
Tabla 28. Resultados ADL para agosto.....	61
Tabla 29. Resultados ADL para septiembre	62
Tabla 30. Resultados ADL para octubre.....	62
Tabla 31. Resultados ADL para noviembre.....	63
Tabla 32. Resultados ADL para diciembre	63
Tabla 33. Resultados ADL para Demanda Biológica de Oxígeno	64
Tabla 34. Resultados ADL para Nitrógeno Total	64
Tabla 35. Resultados ADL para Demanda Química de Oxígeno.....	65
Tabla 36. Resultados ADL para Sustancias Activas al Azul de Metileno	66
Tabla 37. Resultados ADL para Solidos Suspendidos Totales	66
Tabla 38. Resultados ADL para Fosforo Total.....	67
Tabla 39. Resultados ADL para enero	68
Tabla 40. Resultados ADL para febrero	68
Tabla 41. Resultados ADL para marzo.....	68
Tabla 42. Resultados ADL para abril.....	69
Tabla 43. Resultados ADL para mayo.....	69

Tabla 44. Resultados ADL para junio	69
Tabla 45. Resultados ADL para julio	70
Tabla 46. Resultados ADL para agosto	70
Tabla 47. Resultados ADL para septiembre	71
Tabla 48. Resultados ADL para octubre	71
Tabla 49. Resultados ADL para noviembre	71
Tabla 50. Resultados ADL para diciembre	72

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Distribución de los establecimientos.....	24
Gráfica 2. Sedimentación para los rio Fucha y Tunjuelo.....	39
Gráfica 3. Circulo de correlaciones para el rio Fucha	40
Gráfica 4. Circulo de Correlaciones para el rio Tunjuelo.....	40
Gráfica 5. Contribución de las variables en el primer y segundo componente para el rio Fucha	41
Gráfica 6. Contribución de las variables en el primer y segundo componente para el Rio Tunjuelo	41
Gráfica 7. Boxplot Demanda Biológica de oxígeno	89
Gráfica 8. Silueta Demanda Biológica de Oxígeno	89
Gráfica 9. Clúster Demanda Biológica de Oxígeno	89
Gráfica 10. Boxplot Nitrógeno total	90
Gráfica 11. Silueta Nitrógeno total	90
Gráfica 12. Clúster Nitrógeno Total.....	90
Gráfica 13. Boxplot Demanda Química de oxígeno	90
Gráfica 14. Silueta Demanda Química de Oxígeno	90
Gráfica 15. Clúster Demanda Química de Oxígeno	90
Gráfica 16. Boxplot Sustancias activas de azul de metileno.....	91
Gráfica 17. Clúster Sustancias activas de azul de metileno	91
Gráfica 18. Silueta Sustancias activas de azul de metileno.....	91
Gráfica 19. Boxplot Solidos suspendidos totales	91
Gráfica 20. Silueta Solidos suspendidos totales	91
Gráfica 21. Clúster Solidos suspendidos totales.....	91
Gráfica 22. Boxplot Fosforo total.....	92
Gráfica 23. Clúster Fosforo Total	92
Gráfica 24. Silueta Fosforo Total	92
Gráfica 25. Boxplot pH.....	92
Gráfica 26. Silueta pH.....	92
Gráfica 27. Clúster pH	92
Gráfica 28. Boxplot Grasas y Aceites	93
Gráfica 29. Silueta Grasas y Aceites	93
Gráfica 30. Clúster Grasas y Aceites	93
Gráfica 31. Boxplot Estación Delirio	93
Gráfica 32. Clúster Estación Delirio	93
Gráfica 33. Silueta Estación Delirio.....	93
Gráfica 34. Boxplot Estación Fucha con alameda	
Gráfica 35. Clúster Estación Fucha con alameda	94
Gráfica 36. Silueta Estación Fucha con alameda	94
Gráfica 37. Boxplot Estación Avenida las américas.....	94
Gráfica 38. Clúster Estación Avenida las américas	94

Gráfica 39. Silueta Estación Avenida las américas	94
Gráfica 40. Boxplot Estación Avenida Boyacá	95
Gráfica 41. Clúster Estación Avenida Boyacá	95
Gráfica 42. Silueta Estación Avenida Boyacá	95
Gráfica 43. Boxplot Estación Avenida Ferrocarril.....	95
Gráfica 44. Clúster Estación Avenida Ferrocarril	95
Gráfica 45. Silueta Estación Avenida Ferrocarril	95
Gráfica 46. Boxplot Estación Carrera Séptima	96
Gráfica 47. Clúster Estación Carrera Séptima	96
Gráfica 48. Silueta Estación Carrera Séptima	96
Gráfica 49. Boxplot Estación Visión Colombia	96
Gráfica 50. Clúster Estación Visión Colombia.....	96
Gráfica 51. Silueta Estación Visión Colombia	96
Gráfica 52. Boxplot Estación Zona franca.....	97
Gráfica 53. Clúster Estación zona franca	97
Gráfica 54. Silueta Estación Zona franca.....	97
Gráfica 55. Boxplot Demanda Biológica de Oxígeno	97
Gráfica 56. Clúster Demanda Biológica de Oxígeno.....	97
Gráfica 57. Silueta Demanda Biológica de Oxígeno	97
Gráfica 58. Boxplot Nitrógeno Total	98
Gráfica 59. Clúster Nitrógeno Total.....	98
Gráfica 60. Silueta Nitrógeno Total	98
Gráfica 61. Boxplot Demanda Química de Oxígeno	98
Gráfica 62. Clúster Demanda Química de Oxígeno	98
Gráfica 63. Silueta Demanda Química de Oxígeno	98
Gráfica 64. Boxplot Sustancias Activas al Azul de Metileno	99
Gráfica 65. Clúster Sustancias Activas al Azul de Metileno	99
Gráfica 66. Silueta Sustancias Activas al Azul de Metileno	99
Gráfica 67. Boxplot Solidos Suspendidos Totale	99
Gráfica 68. Clúster Solidos Suspendidos Totales	99
Gráfica 69. Silueta Solidos Suspendidos Totales	99
Gráfica 70. Boxplot Fosforo Total	100
Gráfica 71. Clúster Fosforo Total	100
Gráfica 72. Silueta Fosforo Total	100
Gráfica 73. Boxplot Estación Regadera.....	100
Gráfica 74. Clúster Estación Regadera.....	100
Gráfica 75. Silueta Estación Regadera.....	100
Gráfica 76. Boxplot Estación UAN	101
Gráfica 77. Clúster Estación UAN.....	101
Gráfica 78. Silueta Estación UAN	101
Gráfica 79. Boxplot Estación Yomasa.....	101
Gráfica 80. Clúster Estación Yomasa	101

Gráfica 81. Silueta Estación Yomasa.....	101
Gráfica 82. Boxplot Estación Doña Juana	102
Gráfica 83. Clúster Estación Doña Juana	102
Gráfica 84. Silueta Estación Doña Juana	102
Gráfica 85. Boxplot Estación Barrio México	102
Gráfica 86. Clúster Estación Barrio México	102
Gráfica 87. Silueta Estación Barrio México	102
Gráfica 88. Boxplot Estación San Benito	103
Gráfica 89. Clúster Estación San Benito.....	103
Gráfica 90. Silueta Estación San Benito	103
Gráfica 91. Boxplot Estación Makro Autosur	103
Gráfica 92. Clúster Estación Makro Autosur	103
Gráfica 93. Silueta Estación Makro Autosur	103
Gráfica 94. Boxplot Estación Transversal 86	104
Gráfica 95. Clúster Estación Transversal 86.....	104
Gráfica 96. Silueta Estación Transversal 86	104
Gráfica 97. Boxplot Estación Puente Independiente	104
Gráfica 98. Cluster Estación Puente Independiente	104
Gráfica 99. Silueta Estación Puente Independiente.....	104
Gráfica 100. Boxplot Estación Isla Pontón San José	105
Gráfica 101. Clúster Estación Isla Pontón San José.....	105
Gráfica 102. Silueta Estación Isla Pontón San José	105

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de metodologías.....	87
Anexo 2. Diagrama de flujo de la metodología de la estadística multivariada ..	88
Anexo 3. Diagrama de flujo de la metodología de geoestadística	89
Anexo 4. Variación espacial demanda biológica de oxígeno del río Fucha.....	89
Anexo 5. Variación espacial Nitrógeno total del río Fucha.....	90
Anexo 6. Variación espacial demanda química de oxígeno del río Fucha	90
Anexo 7. Variación espacial demanda sustancias activas de azul de metileno del río Fucha	91
Anexo 8. Variación espacial Solidos Suspendidos Totales del río Fucha.....	91
Anexo 9. Variación espacial Fosforo Total del río Fucha	92
Anexo 10. Variación espacial pH del río Fucha.....	92
Anexo 11. Variación espacial Grasas y Aceites del río Fucha	93
Anexo 12. Variación temporal Estación Delirio del río Fucha	93
Anexo 13. Variación temporal Estación Alameda del río Fucha	94
Anexo 14. Variación temporal Estación Avenida las américas del río Fucha....	94
Anexo 15. Variación temporal Estación Avenida Boyacá del río Fucha.....	95
Anexo 16. Variación temporal Estación Avenida Ferrocarril del río Fucha	95
Anexo 17. Variación temporal Estación Carrera Séptima del río Fucha	96
Anexo 18. Variación temporal Estación Visión Colombia del río Fucha.....	96
Anexo 19. Variación temporal Estación Zona franca del río Fucha.....	97
Anexo 20. Variación espacial Demanda Biológica de Oxígeno del río Tunjuelo	97
Anexo 21. Variación espacial Nitrógeno Total del río Tunjuelo.....	98
Anexo 22. Variación espacial Demanda Química de Oxígeno del río Tunjuelo	98
Anexo 23. Variación espacial Sustancias Activas al Azul de Metileno del río Tunjuelo	99
Anexo 24. Variación espacial Solidos Suspendidos Totales del río Tunjuelo ...	99
Anexo 25. Variación espacial Fosforo Total del río Tunjuelo	100
Anexo 26. Variación temporal Estación Regadera del río Tunjuelo	100
Anexo 27. Variación temporal Estación UAN del río Tunjuelo	101
Anexo 28. Variación temporal Estación Yomasa del río Tunjuelo.....	101
Anexo 29. Variación temporal Estación Doña Juana del río Tunjuelo.....	102
Anexo 30. Variación temporal Estación Barrio México del río Tunjuelo	102
Anexo 31. Variación temporal Estación San Benito del río Tunjuelo	103
Anexo 32. Variación temporal Estación Makro Autosur del río Tunjuelo.....	103
Anexo 33. Variación temporal Estación Transversal 86 del río Tunjuelo	104
Anexo 34. Variación temporal Estación Puente Independiente del río Tunjuelo	104

Anexo 35. Variación temporal Estación Isla Pontón San José del río Tunjuelo	105
Anexo 36. Prueba de Tukey por parámetro en el Río Fucha	105
Anexo 37. Prueba de Tukey para el mes de enero en el Río Fucha.....	106
Anexo 38. Prueba de Tukey para el mes de febrero en el Río Fucha.....	107
Anexo 39. Prueba de Tukey para el mes de marzo en el Río Fucha.....	108
Anexo 40. Prueba de Tukey para el mes de abril en el Río Fucha	109
Anexo 41. Prueba de Tukey para el mes de mayo en el Río Fucha	110
Anexo 42. Prueba de Tukey para el mes de junio en el Río Fucha	111
Anexo 43. Prueba de Tukey para el mes de julio en el Río Fucha.....	112
Anexo 44. Prueba de Tukey para el mes de agosto	113
Anexo 45. Prueba de Tukey para el mes de septiembre en el Río Fucha	114
Anexo 46. Prueba de Tukey para el mes de octubre en el Río Fucha.....	115
Anexo 47. Prueba de Tukey para el mes de noviembre en el Río Fucha	116
Anexo 48. Prueba de Tukey para el mes de diciembre en el Río Fucha	117
Anexo 49. Prueba de Tukey por parámetro en el Río Tunjuelo	118
Anexo 50. Prueba de Tukey para el mes de enero en el Río Tunjuelo	118
Anexo 51. Prueba de Tukey para el mes de febrero en el Río Tunjuelo.....	118
Anexo 52. Prueba de Tukey para el mes de marzo en el Río Tunjuelo	119
Anexo 53. Prueba de Tukey para el mes de abril en el Río Tunjuelo	119
Anexo 54. Prueba de Tukey para el mes de mayo en el Río Tunjuelo	120
Anexo 55. Prueba de Tukey para el mes de junio en el Río Tunjuelo.....	120
Anexo 56. Prueba de Tukey para el mes de julio en el Río Tunjuelo.....	120
Anexo 57. Prueba de Tukey para el mes de agosto en el Río Tunjuelo	121
Anexo 58. Prueba de Tukey para el mes de septiembre en el Río Tunjuelo ..	121
Anexo 59. Prueba de Tukey para el mes de octubre en el Río Tunjuelo	121
Anexo 60. Prueba de Tukey para el mes de noviembre en el Río Tunjuelo ...	122
Anexo 61. Prueba de Tukey para el mes de diciembre en el Río Tunjuelo....	122
Anexo 62. Mapas por mes de Grasas y Aceites para el río Fucha	123
Anexo 63. Mapas por mes de DBO para el río Fucha.....	123
Anexo 64. Mapas por mes de DQO para el río Fucha	124
Anexo 65. Mapas por mes de SAAM para el río Fucha	125
Anexo 66. Mapas por mes de Nitrógeno Total para el río Fucha	126
Anexo 67. Mapas por mes de Fosforo Total para el río Fucha	126
Anexo 68. Mapas por mes de SST para el río Fucha	127
Anexo 69. Mapas por mes de DBO5 para el río Tunjuelo.....	128
Anexo 70. Mapas por mes de SAAM para el río Tunjuelo	129
Anexo 71. Mapas por mes de DQO para el río Tunjuelo	130
Anexo 72. Mapas por mes de FT para el río Tunjuelo	131

RESUMEN

El presente proyecto de grado se realizó para los ríos de Fucha y Tunjuelo de la ciudad de Bogotá, y tuvo como finalidad plantear mejoras sobre la Red de Calidad Hídrica de estos ríos; partiendo de la recopilación de registros históricos de la RCHB; seguido de la selección y aplicación de metodologías geoestadísticas y estadística multivariada aplicadas al comportamiento de la red desde el año 2008 al 2013, en base en una revisión bibliográfica que permita elegir la mejor alternativa metodológica.

Luego se establecieron relaciones a partir de los resultados con el fin de proporcionar escenarios de mejora en la red, teniendo en cuenta las dinámicas poblacionales, evolución de los ríos y sus alrededores; los cuales han variado por diversas obras que ha realizado la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá.

Dado que la RCHB ha estado en funcionamiento desde el año 2008, esta no ha sido modificada y sigue monitoreando el estado del río como si este no hubiera cambiado, es por esto que en base a los resultados obtenidos se contrastaron cada una de las metodologías, para encontrar la mejor propuesta de mejora que favorezca la eficiencia de la red ya sea de forma temporal o espacial.

En este documento se utilizaran principalmente metodologías como Análisis de Componentes Principales, Análisis Jerárquico, Análisis Discriminante Lineal y el método de interpolación IDW (método de la distancia inversa). De acá los resultados se compararon hasta llegar a un escenario de mejora para la red.

Finalmente se le recomienda a la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá implementar los escenarios de mejora que se proponen en esta tesis con el fin de mejorar tiempos, espacio y gastos monetarios en monitoreo necesarios o poco relevantes.

Palabras clave:

Red de calidad Hídrica de Bogotá, estadística multivariada, geo estadística, test, ANOVA, IDW.

INTRODUCCION

La presente investigación y proyecto de grado, comprende la realización de una propuesta para la optimización de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá para los ríos Fucha y Tunjuelo, la cual es importante a la hora de realizar estudios sobre el recurso hídrico de la ciudad, además esta permite tomar decisiones, controlar y reducir la contaminación de los ríos procedente del crecimiento demográfico de las localidades conforme a la dinámica de los mismos.

Por otra parte se pretende identificar características similares en base al comportamiento entre las estaciones realizando un análisis espacial y para cada una de las características en cada uno de los meses dando como resultado un análisis temporal, del mismo modo evaluar los resultados arrojados a la hora de implementar las metodologías seleccionadas y con ello plantear la alternativa más adecuada para la optimización de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá para los ríos Fucha y Tunjuelo; conforme a lo anterior, la investigación se realiza en un periodo de 6 meses.

En cuanto a la selección de las metodologías se tuvieron en cuenta seis criterios, comenzando por la complejidad de implementación y la programación, que indica la posibilidad de ejecución con respecto a la investigación; seguido temporalidad y espacialidad lo cual permite analizar la red en cuanto a la distribución y la frecuencia de monitoreo de cada una de las estaciones a lo largo de los ríos. Por último se tuvo en cuenta los criterios de parámetros evaluados de calidad y los resultados de cada una de las metodologías, con el fin de establecer si es necesario seguir midiendo todos los parámetros de calidad que hasta el momento se muestrean.

El presente documento contiene once capítulos, en el capítulo 1 se presenta la definición del problema que abarca el planteamiento del mismo, el capítulo 2 aborda la justificación, el 3 los objetivos generales y específicos del trabajo de investigación, el 4 el marco contextual el cual contiene información de los ríos Fucha y Tunjuelo incluyendo la localización, las características ambientales y socioeconómicas.

En el capítulo 5 y 6 se lleva a cabo el marco teórico donde se tienen en cuenta los conceptos básicos e información que constituyen la base del enfoque del presente trabajo de investigación, como lo son la Red de Calidad Hídrica de Bogotá, el estado de las mismas, estadística multivariada y geoestadística; los cuales permitieron abordar de manera óptima el desarrollo de la investigación y el marco legal. En el capítulo 7 se explica de manera resumida, los pasos que se tuvieron en cuenta para la implementación de las metodologías escogidas a la RCHB para los ríos Fucha y Tunjuelo.

Posteriormente se encuentra el capítulo 8 se presentan los resultados estadísticos arrojados del software RStudio el cual permitió realizar el análisis de componentes principales, análisis jerárquico, la prueba de Kruskal-Wallis, el análisis discriminante lineal con la prueba de Tukey; y la metodología IDW implementada a partir del software Arc-Gis. En el capítulo 9 se observan los

análisis de resultados, donde se incluye el análisis estadístico y geo estadístico, el cual permite llevar a cabo la propuesta de optimización de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá para los ríos Fucha y Tunjuelo. Finalmente, en los capítulos 10 y 11 se enuncian las correspondientes conclusiones y recomendaciones del presente trabajo de grado.

1. DEFINICION DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento de la ciudad de Bogotá ha traído consigo no solo aumento poblacional, sino mayor presencia de actividad industrial y expansión territorial, y como resultado la misma se ha desarrollado en términos económicos, industriales, sociales y ambientales; como consecuencia de dicho crecimiento se han desencadenado diferentes problemáticas, una de ellas y de más interés para este proyecto es el aumento de la degradación de la calidad hídrica.

Dentro de la ciudad de Bogotá, los ríos Fucha y Tunjuelo los principales cuerpos hídricos afectados en cuanto a la alteración de la calidad hídrica, generada en gran medida por el abuso de vertimientos, por la deficiente tecnología en industrias de procesamiento de cueros, al agotamiento de fuentes hídricas por transformaciones derivadas de uso agropecuario, también a la falta de implementación de tecnologías limpias en curtiembres y a su producción de residuos tóxicos[1].

La Secretaría Distrital de Ambiente y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá han tomado medidas para la mitigación de estos impactos, una de ellas radica en la implementación de una Red de Calidad Hídrica de Bogotá en el año 2008, obras de mejoramiento como revestimiento de los lozas y eliminación de vertimientos, entre otras que han salido en base a los resultados de calidad de agua del distrito.

Como se mencionó anteriormente la dinámica de la ciudad ha variado, por lo tanto la información registrada, analizada y acumulada por las estaciones de monitoreo no permiten identificar la evolución de la calidad del agua de los cuerpos hídricos de Bogotá ni la eficiencia de las estrategias de gestión definidas y aplicadas para el control, seguimiento y evaluación del impacto que sobre los cuerpos de agua monitoreados han producido las fuentes contaminantes durante su operación según las auditorias que ha realizado la Contraloría [2].

Por lo tanto la Red no cumple su objetivo principal que es la de ser un instrumento útil para la toma de decisiones en materia de calidad y cantidad, además la política y normatividad específica para el monitoreo hídrico con objetivos y metas claras que se quedan inciertas para la ciudad por las falencias que dicha red posee, por lo tanto se tiene en cuenta que se han invertido cuantiosos recursos económicos para el monitoreo de cantidad y calidad de los cuerpos hídricos.

Con el fin de dar una alternativa a los problemas descritos anteriormente este proyecto busca apoyarse en la necesidad de actualizar la actividad de la RCHB, evolucionar con los cambios que la ciudad ha realizado, dar una

mejora temporal y espacial a las mediciones de calidad para el río Fucha y Tunjuelo, los beneficios de la propuesta buscan la operación de una red de monitoreo y seguir evaluando la calidad hídrica de estos ríos de una forma más eficiente.

2. JUSTIFICACIÓN

Los resultados de este proyecto quieren aportar a la red un análisis estadístico y geoestadístico con el fin de dar una alternativa, ya que la red no está sirviendo como instrumento en la toma de decisiones oportunas y en tiempo real para los fines y metas trazadas, en materia de calidad hídrica y en prevención de inundaciones; estas iniciativas de mejora se han realizado en varias partes del mundo, algunas utilizando otras metodologías o tienen como objetivo disminución de estaciones y mejoramiento espacial de tramos de monitoreo.

En el noreste de china se realizó un modelo numérico con el fin de mejorar la red de monitoreo del río Heilongjiang, reubicando las estaciones en tramos homogéneos de calidad de agua, en base a los parámetros y los registros históricos [3]. Otro país que ha sido objeto de estas optimizaciones es India donde se aplicaron técnicas de estadística multivariada con el fin de reducir el costo de monitoreo de la red de calidad hídrica del río Kabbini, mediante la obtención de dos escenarios de mejora por estación y fuente de contaminación; excluyendo estaciones y parámetros no relevantes en la red [4].

En la Cuenca alta del río Colorado (UCRB) la alta salinidad es un tema preocupante dentro de la calidad, por lo cual se realizó una metodología con el código 8 de la unidad hidrológica del río para optimizar la red de calidad hídrica, debido a la inadecuada ubicación de los puntos de muestreo; dentro de esta se obtuvo que las subcuencas con menor concentración contaban con estaciones no necesarias y estas se podían re ubicar en las subcuencas que presentan mayores concentraciones. Este método evidencia que dentro de una red se es necesario basarse en el comportamiento de los parámetros y de los cuerpos hídricos, involucrando el diseño y gestión de la misma, para obtener beneficios en la gestión y la disminución de costos [5].

Tomando como base los resultados arrojados en diferentes investigaciones que se han desarrollado en varios países, en el proceso de optimización de la Red de Calidad Hídrica de Bogotá; donde presento una disminución de estaciones de monitoreo ya que en algunas tienen las mismas concentraciones, además de las diferentes obras que ya se mencionaron y la reducción de puntos de vertimiento que han realizado [6].

Por lo anterior se hace necesario un análisis referente a la posible propuesta de optimización para la Red de Calidad Hídrica Bogotá para los ríos Fucha y Tunjuelo, esperando modifiquen el funcionamiento de esta y se ajuste a los cambios que la ciudad, los ríos y la red han tenido al pasar de los años.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Generar una propuesta de optimización sobre la red de calidad de agua de Bogotá en los ríos Fucha y Tunjuelo de Bogotá.

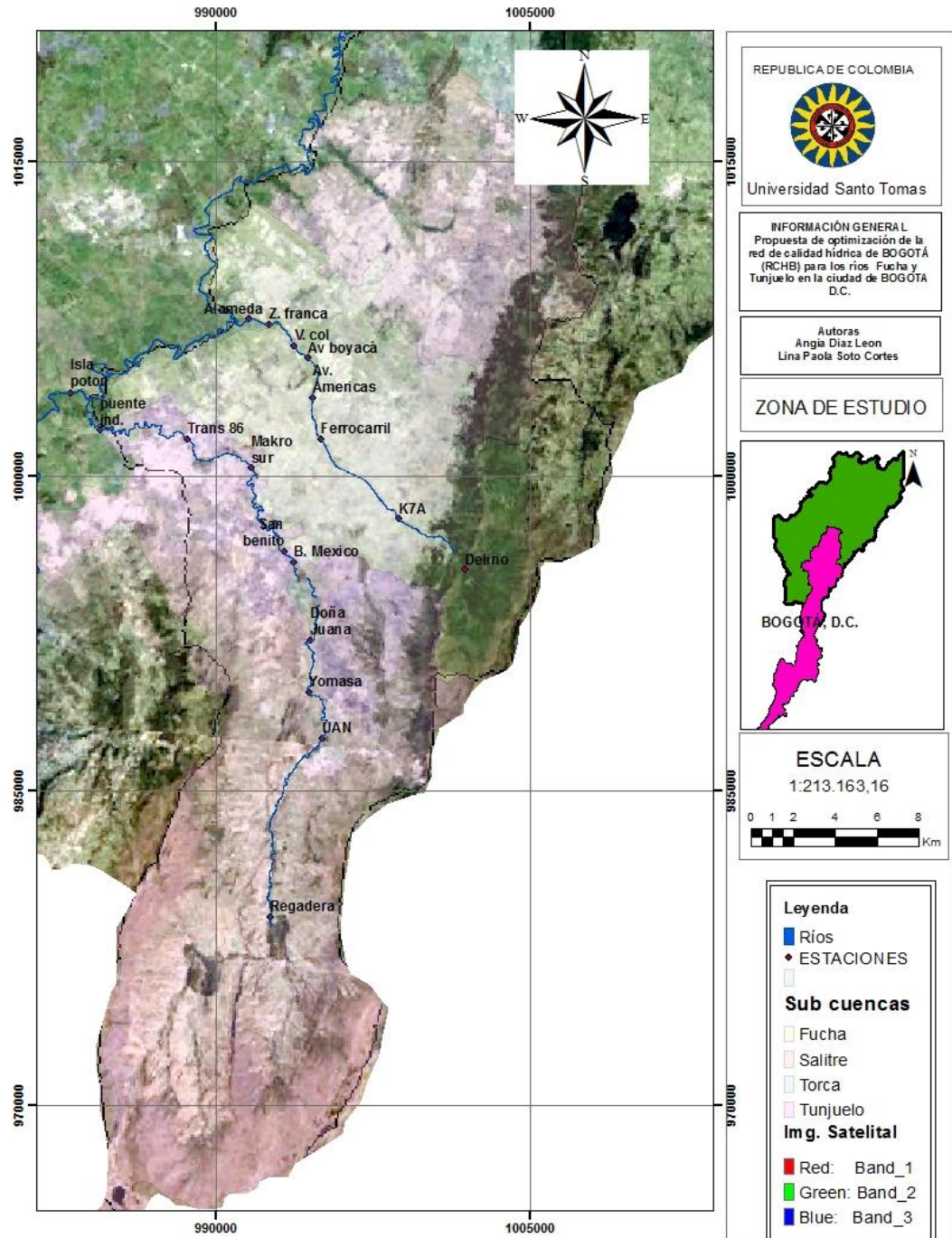
3.2. ESPECÍFICOS

- Identificar el funcionamiento técnico y administrativo de la Red de Calidad Hídrica en los ríos Fucha y Tunjuelo.
- Identificar y seleccionar dos metodologías empleadas para optimización de redes de calidad hídrica.
- Realizar la optimización la red de calidad de agua de Bogotá en los ríos Fucha y Tunjuelo de acuerdo a las metodologías planteadas.

4. MARCO CONTEXTUAL

4.1. LOCALIZACION

Imagen 1. Localización de los ríos Fucha y Tunjuelo en la Ciudad de Bogotá



Fuente: Autoras

4.1.1. RIO FUCHA

El río Fucha en su parte alta recibe las aguas de las quebradas San Cristóbal, la Osa y Pablo Blanco, en su curso medio y bajo atraviesa la zona meridional de la sabana de Bogotá, las localidades de San Cristóbal, Santa Fe, La Candelaria, Los Mártires, Antonio Nariño, Rafael Uribe Uribe, Puente Aranda, Teusaquillo, Kennedy y Fontibón, y desemboca en el Río Bogotá. Su cuenca comprende un área de 12.991 ha urbanas y 4.545 ha rurales; correspondientes a los Cerros Orientales de la ciudad, además cuenta con una longitud total de 17,30 km [3] [6].

4.1.1.1. FUENTES DE CONTAMINACIÓN HÍDRICA

Las principales fuentes generadoras de contaminación en el río Fucha corresponden a vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales a partir de la red de alcantarillado; aportan concentraciones de materia orgánica, sólidos suspendidos totales, coliformes fecales entre otros. Estos puntos de vertimiento están distribuidos a lo largo del río, especificados en 4 tramos. Como se evidencia en la Tabla 1.

- **Tramo 1 entrada perímetro urbano hasta la carrera 7ª:** uno Ubicado en la carrera 5ª Este, Calle 12 Sur, Canal San Blas ubicado en la Carrera 4, Calle 13 Sur [6].
- **Tramo 2 carrera 7ª hasta desembocadura canal comuneros:** Frente al CASD Río Fucha, Carrera 8º Diagonal 13Sur, Ubicado en la carrera 10 con Calle 13 Sur, Canal Albina, Calle17B Sur Carrera 39, Diagonal 17 Carrera 41 C Sur, Canal Río Seco Diagonal 17 Sur, Avenida Carrera 46 Diagonal 17 Sur, Transversal 48 A N° 17 Sur [6].
- **Tramo 3 desembocadura canal comuneros hasta av. Boyacá:** Carrera 68B Bis Calle 4, Puente de la Av. de las Américas a 100m, Costado oriental del Fucha a 200m del puente de las Américas, Frente a la Clínica La Paz, Costado norte del Fucha 500 m aprox., Al norte 60 m de la Calle 11 costado oriental del Fucha Costado norte del Fucha Av. Boyacá [6].
- **Tramo 4 av. Boyacá hasta desembocadura la río Bogotá:** INTERCEPTOR DEL SUR, Estación de Bombeo el Vergel-Avenida Ciudad de Cali, Carrera 79 con Río Fucha, Carrera 79 A Río Fucha, Carrera 79B Calle 76D, Carrera 81 G y 82 A, Estación de Bombeo Fontibón[6].

4.1.2. RÍO TUNJUELO

El río Tunjuelo forma parte de la cuenca alta y media del río Bogotá, está orientado y drenando sus aguas en dirección sur – norte y en la parte baja de la cuenca, donde gira su curso en dirección occidente hasta desembocar en el río Bogotá. Su área total conformada por un área de drenaje urbana de 41.427 hectáreas y 4.237 hectáreas rurales, se considera como la subcuenta de mayor extensión (390 Km²) [10], [1].

Este río presenta una gran contaminación debido a que las aguas residuales domésticas son descargadas principalmente por los interceptores Tunjuelo medio - primera etapa, Comuneros - Lorenzo Alcatrúz y Limas, además de las estaciones de bombeo Gran colombiano, Cartagenera e Isla Pontón San José [1].

4.1.2.1. FUENTES DE CONTAMINACIÓN HÍDRICA

La principal fuente de contaminación del río Tunjuelo es el vertido de aguas residuales provenientes de la red de alcantarillado; ya que desde la Regadera hasta la quebrada Yomasa, recibe los aportes en su mayoría de aguas servidas de los barrios altos de la localidad de Usme, especialmente las descargas de las quebradas Fucha y Yomasa [5].

De igual manera descargan los lixiviados del relleno sanitario Doña Juana y de las canteras que son explotadas cerca de las rondas del río que generan grandes aportes de sólidos; desde la Avenida Boyacá hasta la Autopista Sur descargan las quebradas Chiguaza y Limas a las cuales confluyen vertimientos de origen residual de los barrios ubicados en las zonas aferentes, así mismo recibe las descargas de las quebradas y vertimientos directos de los barrios en desarrollo del sector de Ciudad Bolívar y Tunjuelito [5].

Desde la Autopista Sur hasta la desembocadura del río Bogotá, es el sector con mayor número de descargas de agua residual directas, en este sector a margen izquierdo descarga el interceptor Tunjuelo medio que transporta las aguas servidas interceptadas desde antes de la Avenida Boyacá, colectando a su vez las aguas servidas domésticas e industriales del sector de curtiembres de San Benito.

Desde el Barrio México hasta San Benito, el río recibe la quebrada Chiguaza, la cual lleva vertimientos de origen residual doméstico y gran cantidad de sólidos de las actividades de trituración y molienda de agregados que se desarrollan en la margen izquierda de la quebrada. Entre San Benito y Makro Autopista sur, el río recibe las quebradas Limas y Trompeta, las cuales incrementan la materia orgánica biodegradable y total en el río; por último entre Makro hasta la Transversal 86, el río recibe la descarga del interceptor Tunjuelo medio.

4.2. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES

4.2.1. CLIMA

4.2.1.1. FUCHA

La localidad que más presencia tiene en el río Fucha es al de Kennedy, la cual presenta un comportamiento bimodal, dos periodos de lluvias en los meses de Abril, Mayo, Octubre y Noviembre; y dos periodos de sequía en los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre. La temperatura promedio es de 14°C, y una humedad relativa de 86 a 87% en meses lluviosos y de 79 a 81% en los

secos; Cuenta con una precipitación de 29 y 54mm en meses secos y 151 y 218mm en los lluviosos. Misma de abajo pero Kennedy [9].

4.2.1.2. TUNJUELO

A lo largo del río Tunjuelo se presenta una temperatura anual media local entre los 14 y 15 grados centígrados, en la localidad sexta de Tunjuelito se presentan dos periodos climáticos: uno de alta precipitación entre (151 y 218 mm), alta humedad relativa (entre 86 y 87 %), que corresponde a los meses de abril - mayo y octubre - noviembre; el segundo período durante los meses de diciembre - enero y julio - agosto el comportamiento de los elementos climáticos es opuesto, con la precipitación baja (entre 29 y 54 mm.), baja humedad relativa (entre 79 y 81 %). Parte del río presenta un promedio anual de lluvias de 500 a 1000 mm, precipitación media anual de 794 a 985 mm [7].

4.3. CARACTERISTICAS SOCIO-ECONOMICAS

4.3.1. ASPECTOS DEMOGRAFICOS

4.3.1.1. FUCHA

La cuenca de Fucha está comprendida por las localidades de Kennedy, Fontibón, Puente Aranda, los mártires, Antonio Nariño, San Cristóbal y la candelaria. A partir de la tabla 1 se describen cada una de estas localidades, resaltando sus características más importantes.

Tabla 1. Vertimientos en el Río Fucha

Localidad	Descripción
Puente Aranda	1.724 hectáreas: 48 corresponden a zonas protegidas como parques, ríos y canales. La localidad está conformada por 5 Unidades de planeación zonal (UPZ) y 177 barrios, con una población de aproximadamente 260.000 habitantes.
Fontibón	3.327,2 hectáreas, representando el 3.9% del distrito. Es el principal eje articulador del desarrollo industrial. Está dividida en 8 UPZ (Unidades de Planeamiento Zonal): Fontibón, Fontibón - San Pablo, Zona Franca, Ciudad Salitre Occidente, Granjas de Techo, Modelia, Capellanía y Aeropuerto El Dorado.
Kennedy	3855.45 hectáreas de las cuales el 98.1% es área urbana y 1.8% es área rural. Kennedy representa el 11,12% de Bogotá. La conforman 12 UPZ: Kennedy Central, Timiza, Carvajal, Américas, Bavaria, Castilla, Tintal Norte, Calandaima, Corabastos, Gran Britalia, Patio Bonito y Las Margaritas. La localidad tiene cerca de 438 barrios. Las UPZ Castilla y Tamiza.
San Cristóbal	Superficie de 16.77 km ² con 404.350 personas Se encuentra ubicada al suroriente de la ciudad, incluyendo una parte urbana y una extensión rural en los cerros Orientales. Conformada por 5 UPZ: San Blas, Sosiego, 20 de Julio, La Gloria, Los Libertadores.
Antonio Nariño	Está ubicada en la parte suroriental de la ciudad, cuenta con aproximadamente 115.148 habitantes. La extensión del territorio es de aproximadamente 1.587 KM ² (493.74 hectáreas).
La candelaria	Tiene una extensión de 183.89 hectáreas y su población es de 23.615 habitantes permanentes. Cuenta con 2.364 predios, de los cuales 54 están declarados como Bienes de Interés Cultural del Orden Nacional.

Los mártires	95.969 personas, siendo el 48,7% hombres y el 51,3% mujeres con un territorio principalmente urbano distribuido a lo largo de 655 hectáreas.
---------------------	--

Fuente: [11]

4.3.1.2. TUNJUELO

La población de la localidad de Tunjuelito es de 201.843, lo que representa el 2,7% de los habitantes del Distrito Capital; se estima que la distribución por género es de 99.578 hombres y 102.265 mujeres [8].

4.3.2. TIPOS DE INDUSTRIAS

4.3.2.1. FUCHA

La cuenca del río Fucha se clasifica en 19 sectores productivos y de servicios (Antonio Nariño, La candelaria, Fontibón, Los Mártires, Puente Aranda, San Cristóbal, Santa Fe) con un número total de 182 industrias; las cuales se distribuyen como lo muestra la Tabla 2 [9].

Tabla 2. Sectores productivos en la cuenca del río Fucha

Sector Productivo	% de por sector
Alimentos	19,78
Artes Gráficas	3,30
Auto lavado	6,04
Clubes	0,55
Estaciones de servicio	4,95
Funerarias	1,10
Hipermercados	0,55
Hospitales	0,55
Industrias forestales	1,65
Minería	2,75
Química	25,27
Restaurantes	18,68
Textil	12,64

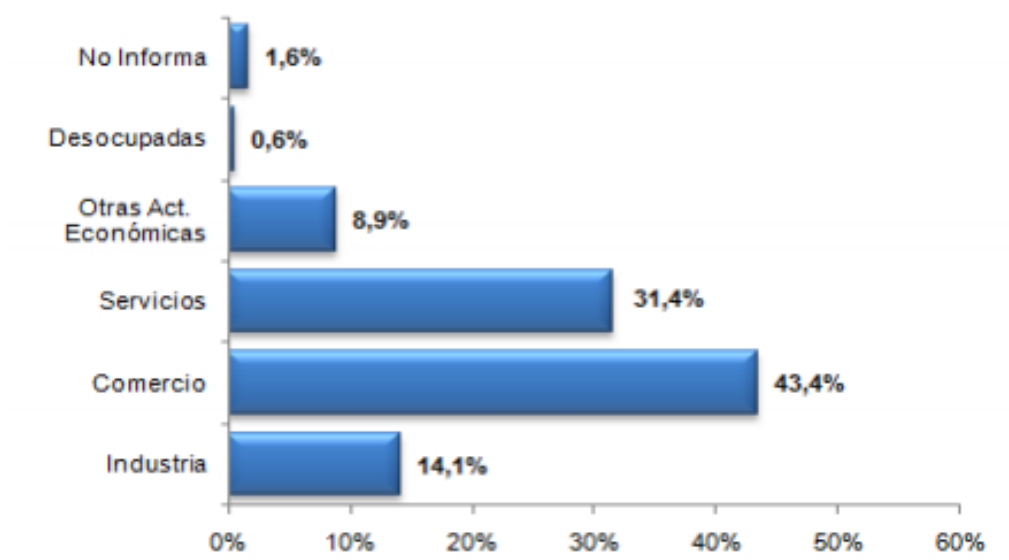
Fuente: [9]

Dentro de los porcentajes dentro de la tabla anterior 14 de estas industrias pertenecen a la localidad de Antonio Nariño, 2 a La candelaria, 36 a la localidad de Fontibón, 24 a la localidad de los mártires, 69 a Puente Aranda, 5 a San Cristóbal y 5 a la localidad de Santa Fe. Dentro de estos datos las industrias monitoreadas dentro de la cuenca del río Fucha son Metalmecánica, alimentos, química y textil con porcentajes entre el 12,64% y el 25,27% [9].

4.3.2.2. TUNJUELO

En la localidad de Tunjuelito se encuentran ubicados un total de 10.390 establecimientos económicos de los cuales el 14,1% se dedican a la industria, el 43,4% a comercio, el 31,4% a servicios, el 8,9% a otras actividades y el 0,6% estaban desocupados como lo indica la gráfica 1.

Gráfica 1. Distribución de los establecimientos



Fuente: [10]

5. MARCO NORMATIVO

Tabla 3. Matriz normativa

Legislación	Autoridad que emite	Título	Art. Aplicables	Nivel normativo	Observaciones
Resolución 5731 de 2008	Secretaría Distrital de Ambiente	Objetivos de calidad para los ríos Salitre, Fucha, Tunjuelo y el canal Torca en el distrito capital	Toda	Nacional	Establece los objetivos de calidad por tramos para cada uno de los ríos. Para periodos de 4 años (2009-2012) y a 10 años; especificando disminución de contaminantes en el río, para los parámetros de DBO, SST, DQO, OD, Coliformes fecales y PH.

Resolución 3957 de 2009	Secretaría Distrital de Ambiente	Norma técnica, para el control y manejo de vertimientos realizados a la red de alcantarillado público en el Distrito Capital.	Toda	Nacional	Establece la norma técnica para el control y manejo de los vertimientos de aguas residuales realizados en el sistema de alcantarillado público de Bogotá D.C. y fija índices, factores, concentraciones o estándares máximos para su vertido
Acuerdo 046 de 2006	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR	Objetivos de calidad del agua para la cuenca del río Bogotá a lograr en el año 2020.	Toda	Nacional	Clasifica los usos del agua para la cuenca del río Bogotá y valores de los parámetros de calidad por cuenca y por cada uno de los usos.

Fuente: [15], [16], [17].

6. MARCO TEORICO

6.1. RED DE CALIDAD HIDRICA DE BOGOTA

una red de calidad hídrica es un sistema que controla la calidad de más de un cuerpo de agua a partir de puntos de monitoreo que miden parámetros o características de los cuerpos hídricos ya sea con estaciones fijas o móviles, en el caso de Bogotá se manejan los dos sistemas. Gracias a la información que se recopila en una red de calidad hídrica son posibles diversos usos principalmente el cumplimiento de la normatividad, también brinda un estimado del estado en los cuerpos de agua, facilita el estudio del comportamiento de la calidad hídrica en periodos de tiempo, apoya la toma de decisiones tanto políticas, económicas, sociales y ecológicas.

La RCHB comprende el río Salitre, río Fucha, río Tunjuelo, canal Torca y la cuenca media del río Bogotá las cuales hacen parte del drenaje del distrito. Gracias a la Secretaria Distrital de Ambiente y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá se seleccionaron los puntos de monitoreo en base a la ubicación de los cuerpos superficiales, seguridad y viabilidad para la medición. Desde al año 2008 se ha realizado seguimiento a la red por parte de la Secretaria y el Acueducto, de esta forma identificamos los cambios que han tenido los puntos de muestreo y cuantos se tienen en la RCHB actualmente a partir de la Tabla 4 [11].

Tabla 4. Puntos de muestreo de la RCBH desde el 2008 hasta el 2013

	2008-2009	2010-2011	2011-2012	2012-2013
Río Torca	Canal El Cedro	Bosque de pino	Bosque de pino	Bosque de pino
	Makro 193	Calle 161	Calle 161	Calle 161
	Club Guaymaral	Jardines de la paz	Jardines de la paz	Jardines de la paz
		Club Guaymaral	Club Guaymaral	Club Guaymaral
Río Fucha	El Delirio	El Delirio	El Delirio	El Delirio
	Carrera 7a río Fucha	Carrera 7a río Fucha	Carrera 7a río Fucha	Carrera 7a río Fucha
	Avenida Ferrocarril	Avenida Ferrocarril	Avenida Ferrocarril	Avenida Ferrocarril
	Avenida las americas- Fucha	Avenida las americas- Fucha	Avenida las americas- Fucha	Avenida las americas- Fucha
	Vision Colombia	Vision Colombia	Vision Colombia	Vision Colombia
	Fucha zona franca	Fucha zona franca	Fucha zona franca	Fucha zona franca
	Fucha con Alameda	Fucha con Alameda	Fucha con Alameda	Fucha con Alameda
Río Tunjuelo		Avenida Boyaca	Avenida Boyaca	Avenida Boyaca
	Regadera	Regadera	Regadera	Regadera
		Yomasa	Yomasa	Yomasa
	Yomasa	Universidad Antonio Nariño	Universidad Antonio Nariño	Universidad Antonio Nariño
	Doña Juana	Doña Juana	Doña Juana	Doña Juana
	Doña juana	Doña juana	Doña juana	Doña juana
	Barrio Mexico	Barrio Mexico	Barrio Mexico	Barrio Mexico
	San Benito	San Benito	San Benito	San Benito
	Makro Autopista sur	Makro Autopista sur	Makro Autopista sur	Makro Autopista sur
	Makro Autopista sur	Makro Autopista sur	Makro Autopista sur	Makro Autopista sur
Río Salitre	Transversal 86	Transversal 86	Transversal 86	Transversal 86
	Puente la	Puente la	Puente la	Puente la
	Isla Ponton San Jose	Isla Ponton San Jose	Isla Ponton San Jose	Isla Ponton San Jose
	Parque Nacional	Parque Nacional	Parque Nacional	Parque Nacional
	Arzobispo carrera 7a	Arzobispo carrera 7a	Arzobispo carrera 7a	Arzobispo carrera 7a
	Carrera 30 con calle	Carrera 30 con calle	Carrera 30 con calle	Carrera 30 con calle
	Carrera 30 con calle	Carrera 30 con calle	Carrera 30 con calle	Carrera 30 con calle
	Avenida 68	Avenida 68	Avenida 68	Avenida 68
	Avenida 68	Avenida 68	Avenida 68	Avenida 68
	Transversal 91	Transversal 91	Transversal 91	Transversal 91
	Planta el salitre			
	Salitre con Alameda	Salitre con Alameda	Salitre con Alameda	Salitre con Alameda

Fuente: Adaptado de [11].

A partir de la Resolución 1813 de 2006 del DAMA se establecieron los tramos en los que se ubicarían los puntos de muestro, según se estipula en dicha resolución donde se adoptan los objetivos de calidad de los cuerpos de

agua para el periodo 2006 - 2011 en Bogotá D.C. La red cuenta con los protocolos de muestreo en cuanto a la preservación de la muestra, al uso adecuado de equipos calibrados y temporalmente con el adecuado mantenimiento de las estaciones [11].

Es importante tener en cuenta un número de consideraciones al momento de diseñar una red de calidad hídrica, tales como objetivos de seguimiento, frecuencias de muestreo, lugares representativos, presupuesto y la selección de variables de calidad de agua. Lo anterior con la necesidad de diseño válido, eficiente y rentable [21]. La red de calidad hídrica debe ser capaz de identificar las condiciones, medias y extremas de la calidad de agua, con el apoyo de nuevas tecnologías y técnicas de análisis tales como SIG, teledetección, tecnologías de inteligencia artificial nuevas innovaciones y criterios para la solución de problemas [21].

6.1.1. MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Dentro de una red de calidad hídrica se comprende el monitoreo, se han estudiado algunas recomendaciones para el diseño de una red, como lo es el tener en cuenta las actividades humanas, los beneficios y efectos de una red en el entorno. Adicional la física y química en general debe establecer para el diseño el donde, cuando y como monitorear; Tener en cuenta una evaluación periódica y modificación de la red en consecuencia de las condiciones ambientales cambiantes; resaltando que la red se debe dirigir a los problemas que consideren los gestores de cuencas hídricas, científicos, público en general y este normativo [21].

El monitoreo de los parámetros representa una alta significancia dentro de las RCH, ya que es el portal entre un proceso y el entendimiento del mismo, su uso permite la interpretación y control de datos e información; la medición in-situ y ex-situ puede prestarse para que los datos se alteren fácilmente pero esto dentro de la red se deben realizar seguimientos periódicos, Evaluar los cambios de las condiciones de calidad y re evaluar las medidas de control de contaminación.

La asignación de las estaciones de muestreo se han realizado con metodologías de puntos de muestro críticos, esta busca conseguir mejoras en el diseño de estrategias de las redes de monitoreo actuales de calidad de agua, proporciona así una re asignación periódica de los lugares de muestreo que se lleguen a identificar en base a propuestas topográficas, hidrológicas, de transporte, factores y uso del suelo como indicadores de contaminación [22], [23].

Es así entonces como el diseño de una red de calidad hídrica debe incluir necesariamente el aspecto espacial de los parámetros de entrada, y así conocer las áreas que más contribuyen cargas contaminantes para poder minimizar y reducir esta misma [22], [23].

6.1.2. LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO

Las ubicaciones de los puntos de muestreo deben ser determinados de tal manera que el tiempo de detección de contaminantes se reduzca al mínimo como se realizó en Altamaha de Georgia EE.UU. en donde se determinaron las mejores localizaciones de vigilancia en base a la hidrodinámica, destino y transporte de contaminantes [21].

6.1.2.1. FUCHA

El río Fucha se dividió en cuatro tramos, y se encuentra monitoreado en 7 puntos, en los cuales se analizan parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos; a continuación en la Tabla 5 se describen las estaciones presentes a lo largo del Río.

Tabla 5. Puntos de monitoreo de la red de calidad hídrica en el río Fucha

ESTACION	TRAMO DEL RIO FUCHA	ABSCISADO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS WGS84	
			LATITUD	LONGITUD
El Delirio	1	K0+000	4,33133	74,03381
Carrera 7ª Río Fucha	2	K4+431	4,34396	74,05201
Fucha avenida Ferrocarril	2	K10+206	4,36436	74,07198
Avenida Las Américas	3	K12+304	4,37466	74,07341
Visión Colombia	4	K15+559	4,38458	74,07367
Zona Franca	4	K17+483	4,39408	74,08417
Fucha con Alameda	4	K18+498	4,39419	74,08426

Fuente: Adaptado de [10], [11], [12], [13] y [14]

6.1.2.2. TUNJUELO

El río Tunjuelo se dividió en cuatro tramos, y se encuentra monitoreado en 7 puntos, en los cuales se analizan parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos; a continuación en la Tabla 6 se describen las estaciones presentes a lo largo del Río.

Tabla 6. Puntos de monitoreo de la red de calidad hídrica en el río Tunjuelo

ESTACION	TRAMO DEL RIO TUNJUELO	ABSCISADO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS WGS84	
			LATITUD	LONGITUD
La Regadera	1	K0+000	4,24181	74,08403
100 metros aguas abajo después de la quebrada Yomasa	2	K12+881	7,30138	74,07399
Doña Juana	2	K15+760	4,31318	74,07367
Barrio México	3	K21+801	4,33308	74,08037
San Benito	3	K22+652	4,33488	74,08227
Makro, Autopista Sur	4	K31+839	4,35588	74,09077

Transversal 86	4	K36+036	4,36448	74,10487
Puente Independencia	4	K38+725	4,37058	74,11467
Isla Pontón San José	4	K43+550	4,36548	74,13037

Fuente: Adaptado de [10], [11], [12], [13] y [14]

6.1.3. FRECUENCIA DE MONITOREO

En la tabla 7 se presentan las fechas de los monitoreos que se ha realizado la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá desde el 2008 hasta el 2013.

Tabla 7. Frecuencias de monitoreo

Año	Monitoreos fisicoquímicos		Temporada
	1era campaña	2da campaña	
2008-2009	22 de septiembre Y el 1° de octubre de 2008.	10 de febrero y el 25 de Febrero de 2009.	Condiciones hidrológicas predominantemente secas [10].
2009-2010	6 de noviembre y el 28 de diciembre del 2009.	entre el 18 de enero y el 10 de julio del 2010.	La primera se realizó bajo condiciones secas, mientras que la segunda se realizó bajo condiciones húmedas [11].
2010-2011	26 de julio y el 10 de diciembre del 2010.	17 de enero y el 21 de mayo del 2011.	La segunda campaña se realizó bajo condiciones húmedas [12].
2011-2012	el 30 de mayo y el 10 de diciembre de 2011	el 16 de enero y el 15 de marzo de 2012	La fase 1 las medianas fueron mayores, mientras que en las fases 2 y 3 las lluvias generaron dilución en las concentraciones. [13].
2012-2013	13 de agosto y el 10 de noviembre de 2012.	4 de febrero y el 22 de junio de 2013.	Estas campañas se realizaron durante ventanas temporales de dos horas se realizaba un monitoreo compuesto isovolumétrico de agua cada 30 minutos, en cada uno de los puntos [14].

Fuente: Adaptado de [10], [11], [12], [13] y [14].

6.1.4. PARAMETROS QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL AGUA PARA RCHB

Para el año 2013 la RCBH mide parámetros fisicoquímicos, medidos en muestras compuestas con el fin de tener más de una caracterización de la calidad del agua, en la tabla 8 se enlistan dichos parámetros, mediante la recopilación y análisis estadísticos de los mismos. Los criterios de calidad hídrica se toman de la Agencia de Protección de Medio Ambiente de Estados Unidos, relacional calidad hídrica para la vida acuática y la salud humana [11]. Los parámetros se miden con una frecuencia de 2 muestras por día,

6 días por semana, 4 semanas por mes y 10 meses por año para un total de 480 muestras para 29 parámetros [10].

Tabla 8. Parámetros de la RCBH

Parametros	Unidades
Arsénico	mg/l-As
Amonio	mg/l-N
Bario	mg/l-Ba
Cadmio	mg/l-Cd
Caudal	L/s
Cianuros	mg/l-CN
Cobre	mg/l-Cu
Coliformes totales	NMP/100ml
Cromo hexavalente	mg/l-Cr+6
Cromo total	mg/l-Cr
DBO	mg/l-O ₂
DQO	mg/l-O ₂
E. Coli	NMP/100ml
Fenoles Totales	mg/l
Fosforo total	mg/l-P
Grasas y aceites	mg/l
Manganeso	mg/l-Mn
Mercurio	mg/l-Hg
Níquel	mg/l-Ni
Nitrógeno total	mg/l-N
Oxígeno disuelto	mg/l-O ₂
pH	Unidades
Plomo	mg/l-Pb
Sólidos suspendidos totales	mg/l
Sólidos sedimentables	mg/L-Hora
Sulfuros	mg/l-S
Tenso activos (SAAM)	mg/l
Temperatura	°C
Zinc	mg/l-Zn

Fuente: Autores

• SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Los sólidos suspendidos son aquellos sólidos que pueden ser percibidos por los sentidos; las fracciones más finas de estos sólidos son portadores de contaminantes de una manera eficaz, debido a que altas concentraciones de sólidos suspendidos tienen efectos bastante nocivos en las aguas que los reciben ya que aumenta la turbidez del cuerpo de agua, generando una disminución en la penetración de la luz promoviendo sistemas aerobios e interfiriendo con la vida acuática en general [15].

• OXÍGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno que puede estar disuelto en el agua en equilibrio con el aire; la concentración de oxígeno disuelto es un indicador relevante a la hora de establecer las condiciones del cuerpo de agua, ya que la mayoría de formas de vida de un río necesitan de este elemento para su subsistencia. El oxígeno disuelto determina qué tipo de organismos, aeróbicos o anaeróbicos, son los causantes de los cambios biológicos que se presentan; dado que si la concentración de OD es muy baja predominan los organismos anaerobios cuyos productos finales de su metabolismo son contaminantes [15].

- **NITRÓGENO**

Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización. El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (nitrógeno total Kendahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal [15].

- **FOSFORO**

El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico [15].

- **pH**

El pH es un parámetro que afecta los procesos químicos y biológicos al interior del cuerpo de agua y, en consecuencia, cualquier variación brusca del mismo puede incurrir en graves desequilibrios de la biota acuática [16].

- **DQO5**

Mide la cantidad de oxígeno equivalente al dicromato potásico usado en la oxidación de una muestra de agua residual. Es una reacción intensa en la que se oxida la mayoría de la materia orgánica, entre el 95 y el 100% (no oxida: piridina, benceno, amonio,...), también oxida algunos compuestos inorgánicos como sulfuros, cianuros etc. Las unidades en que se expresa son ppm de oxígeno [17].

- **DBO**

Mide la cantidad de oxígeno consumida por las bacterias al degradar la materia orgánica. Es una oxidación más suave que la D.Q.O. i solo mide los compuestos biodegradables (asimilables por las bacterias). Normalmente se expresan dos valores de la misma, DDO5 y DBO21 y expresan los consumos de oxígeno a los 5 y a los 21 días. La DBO21 representa en la mayoría de los casos la DBO total o última, aún que usualmente se trabaja con la DBO5 que representa alrededor del 70% de la DBO total, dependiendo siempre del agua analizada [17].

- **COLIFORMES FECALES**

Para evaluar más ampliamente la calidad bacteriológica del agua se determina la presencia o ausencia de organismos coliformes. Los organismos patógenos están dentro del grupo de los coliformes, pero no todos los coliformes son patógenos, por lo que la presencia de coliformes en una muestra de agua no necesariamente indica la presencia de organismos causantes de enfermedad, sin embargo, para considerar un agua segura para beber o para actividades en las cuales el hombre tiene contacto íntimo con el agua, debe estar libre de organismos coliformes [18].

6.2. ESTADISTICA MULTIVARIADA

6.2.1. R

Se reconoce como un vehículo (software) para nuevos métodos de análisis interactivo de datos, es un conjunto integrado de programas que permiten manipular datos, cálculos y gráficos en un lenguaje de programación. Contiene una gran variedad de técnicas estadísticas y su fácil configuración básica; es decir que los usuarios pueden adaptar y modificar paquetes de trabajo.

R utiliza un lenguaje de programación orientada a objetos (variables, datos, resultados o funciones) que se almacenan; esta estructura su información en paquetes y librerías gracias a que es una herramienta para uso estadístico nos permite el manejo de bases de datos y representaciones gráficas [19].

6.2.2. ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

El ACP es un método algebraico-estadístico que trata de sintetizar y dar una estructura a la información contenida en una matriz de datos. El procedimiento consiste en homologar dicha matriz a un espacio vectorial tratando de encontrar en él unos ejes o dimensiones que, siendo combinación lineal de las variables introducidas [20].

- No pierdan la información inicial al conservar la varianza total,
- No tengan correlación entre ellos, esto es, sean linealmente independientes, lo que asegura la estructuración de las variables iniciales,
- Tengan una importancia diferencial y conocida en la explicación de la varianza total.

Realizadas estas exigencias, el objetivo básico consiste en reducir el número de variables introducidas. Para ello se toman como nuevas variables los ejes o componentes hallados, eligiendo un número y peso de los mismos suficiente para que la pérdida de varianza total sea solo la conveniente, llenando así las finalidades del método, esto es, las de simplificar, reducir y estructurar la información inicial [20].

6.2.3. ANALISIS JERARQUICO

Este método de agrupación se desarrolló a finales de los años 60 por Thomas Saaty, quien en base a investigaciones en el campo militar y estudios como decente formula una herramienta para la toma de decisiones, el análisis jerárquico es un método matemático que busca estructurar, medir y sintetizar. El AHP se fundamenta en la estructuración de un modelo jerárquico, en la priorización de los elementos contenidos en el modelo, en comparaciones binarias entre los elementos, evaluación de los elementos, un ranking de alternativas según la evaluación anterior, una síntesis y un análisis de

sensibilidad. Una de sus aplicaciones son problemas de decisión es áreas como Comerciales, Ambiental, salud, educación, industria y muchas otras [29].

6.2.3.1. PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS

La prueba de Kruskal-Wallis es no paramétrica; es el método más adecuado para comparar poblaciones cuyas distribuciones no son normales. Incluso cuando las poblaciones son normales. También es adecuado cuando las desviaciones típicas de los diferentes grupos no son iguales entre sí, sin embargo, el Anova de un factor es muy robusto y sólo se ve afectado cuando las desviaciones típicas difieren en gran magnitud [22]

6.2.3.2. METODO WARD

La característica más distintiva del método de Ward es que no emplea las distancias entre conglomerados para realizar la aproximación, sino que trata de hacer mínima la variabilidad entre conglomerados, esto es de hacer que cada conglomerado sea lo más homogéneo posible. La homogeneidad se mide mediante la suma de cuadrados de diferencias entre los sujetos dentro de un conglomerado. Por tanto se agruparán los dos sujetos más semejante, es decir cuya suma de cuadrados del error sea menor [21].

6.2.3.3. PAIRWISE

Se reconoce como un método que permite calcular comparaciones por pares entre niveles de grupos, es decir este test evalúa si existe una diferencia significativa entre las comparaciones que coincidan; los valores cercanos a 0 muestra diferencias y valores de 1 muestra similitud entre las variables [32].

6.2.4. ANALISIS DE DISCRIMANATE LINEAL

El Análisis Discriminante equivale a un análisis de regresión donde la variable dependiente es categórica y tiene como categorías la etiqueta de cada uno de los grupos, las variables independientes son continuas y determinan a qué grupos pertenecen los objetos. Se trata de encontrar relaciones lineales entre las variables continuas que mejor discriminen en los grupos dados a los objetos. Además, se trata de definir una regla de decisión que asigne un objeto nuevo, que no sabemos clasificar previamente, a uno de los grupos prefijados. Se presentan una serie de restricciones o supuestos:

- Se tiene una variable categórica y el resto de variables son de intervalo o de razón y son independientes respecto de ella.
- Es necesario que existan al menos dos grupos y para cada grupo se necesitan dos o más casos.

- El número de variables discriminantes debe ser menor que el número de objetos menos dos: $x_1, \dots, x_p$, donde $p < (n - 2)$ y n es el número de objetos.
- Ninguna variable discriminante puede ser combinación lineal de otras variables discriminantes.
- El número máximo de funciones discriminantes es igual al mínimo entre el número de variables y el número de grupos menos 1 (con q grupos, $(q - 1)$ funciones discriminantes).

6.3. GEOESTADISTICA

La palabra geo estadística fue dada por Matheron en el año 1932 como la definición de “funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de los fenómenos naturales”. Este tipo de estudios surgieron en los años 70 y actualmente se ha llevado a estudios de minería, hidrología, física del suelo, monitoreo ambiental y procesamiento de imágenes satelitales [20].

Es una herramienta utilizada para analizar parámetros de una distribución espacial en este caso de variables medioambientales distribuida espacial y temporalmente en base a muestreos o bases de datos realizadas en el área de estudio de interés, para los procesos de estimación geo estadístico se utilizan procedimientos de interpolación en donde no se conozca la magnitud del atributo a trabajar. Este trabajo geo estadístico se lleva a cabo en tres etapas, Análisis exploratorio, Análisis estructural y las predicciones en base a resultados [21].

6.3.1. IDW

El método de la distancia inversa (IDW) se utiliza para la interpolación, este se apoya en la continuidad espacial, es decir, toma los valores más parecidos para posiciones más cercanas las cuales se van diferenciando en función de la distancia. Este algoritmo se utiliza en representaciones de variables con continuidad espacial como mapas de pendientes, es una de las metodologías menos complejas pero este es el que mejores resultados aporta en cuanto a resultados. Adicional es un método exacto que no cambia el rango de valores ni sus unidades en el punto de la muestra por esto su interpretación es más precisa, comparable y fácil [35].

7. METODOLOGÍA

7.1. TRATAMIENTO BASE DE DATOS

Se tomaron los 10 parámetros de los objetivos de calidad (pH, OD, DBO, DQO5, SST, Grasas y Aceites, Tenso activos (SAAM), Nitrógeno Total, Fosforo Total y Coliformes Fecales) incluyendo la totalidad de valores medidos sobre cada uno de estos, a su vez esto se debe realizar por estación y no por tramo, ya que de esta manera no se está generando una alta variabilidad en las concentraciones, debido a que se busca el comportamiento normal del punto medido, así encontrando representatividad en las estaciones y mediciones [24].

Posteriormente se estableció el periodo para los análisis estadísticos el cual se estableció que será mensual multianual dado que con esta elección se evidenciaran las variaciones a través de los años generada por la dinámica poblacional de las zonas aferentes, pero teniendo en cuenta las variaciones climáticas que se dan en diferentes épocas del año.

Como siguiente paso se calculó los valores atípicos u outliers, y se emplea el método diferencias intercuantiles, este permite una rápida identificación de los valores atípicos (Valores que son extremos en relación al resto de los valores) por medio del cálculo de cuantiles. Los cuantiles son los tres valores que dividen un conjunto ordenado en cuatro partes iguales. Los cuantiles se denotan usualmente por Q1, Q2 y Q3, entre los cuantiles, el primero representa un cuarto de todos los datos (25%), el segundo representa la media de la serie de datos, y el tercero representa las tres cuartas partes de los datos (75%) [25]. Los brazos o “bigotes” representan los valores máximos y mínimos dentro del rango de los percentiles en la base de datos analizados.

7.2. COMPARACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS ENCONTRADAS

Para seleccionar las metodologías idóneas para la optimización de la red de calidad hídrica, se compararon varios artículos en los cuales implementaron las metodologías comparadas en la tabla 9. En cuanto a la selección de las metodologías se tuvieron en cuenta seis criterios, comenzando por la complejidad de implementación y la programación, que indica la posibilidad de ejecución con respecto a la investigación; seguido temporalidad y espacialidad lo cual permite analizar la red en cuanto a la distribución y la frecuencia de monitoreo de cada una de las estaciones a lo largo de los ríos.

Posteriormente se establecieron 6 criterios de selección y a cada uno se le dio un valor de 0 a 1, para que de esta manera se escogieran las metodologías más adecuadas de una forma cualitativa y cuantitativa. Los valores cuantitativos establecidos se explican en la tabla 10 y lo que significa cada criterio, estos valores se seleccionan de acuerdo a la facilidad de implementación en el proyecto. Adicionalmente se estudiaron metodologías utilizadas en diferentes cuerpos hídricos y con otras metodologías que las que este trabajo considero, esto sirvió como base bibliográfica a partir de una matriz descriptiva de los articulados estudiados (ir a anexo 1).

Tabla 9. Metodologías para la optimización de redes de calidad hídrica

METODOLOGIAS CRITERIOS DE SELECCIÓN	Análisis Jerárquico	Análisis Discriminante Lineal	Redes Neuronales	IDW	Krigging
Complejidad de implementación	1	1	0,5	1	1
Programación	1	1	0,5	1	1
Temporalidad	1	1	1	1	1
Espacial	0,5	0,5	0,5	1	1
Parámetros evaluados de calidad	1	1	1	1	1
Resultados	0,5	1	1	1	0.5
Total	5	5,5	4,5	6	5.5

Fuente: Autoras

Tabla 10. Calificación

Valor	Indicativo	Descripción
0	Deficiente	De difícil implementación, confusa o no apta para el proyecto
0,5	Aceptable	Su implementación es viable pero no optima, o cumple medianamente con las características del proyecto
1	Aplicable	Fácil implementación y cumple con las características del proyecto

Fuente: Autoras

7.3. ESTADISTICA MULTIVARIADA

El proceso para de desarrollar un análisis estadístico multivariado se describe en el flujograma del Anexo 2.

7.3.1. PCA

Se realizó un análisis de componentes principales con la base de datos obtenida de los monitoreos de los años 2009 a 2013, este análisis es necesario dado la cantidad de datos obtenidos con muchas variables además que el objetivo es reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible.

Luego se introdujeron los datos en el programa RStudio con el fin de realizar el análisis estadístico; se elaboró el PCA por sus siglas en inglés (Principal Component Analysis), teniendo en cuenta que se activaron los paquetes ggplot2 missMDA. Posteriormente el PCA genero un gráfico de sedimentación de los valores propios y considerar el número de componentes que representen la mayor varianza de los datos.

7.3.2. ANALISIS JERARQUICO

Se realizó un análisis jerárquico o de dendogramas en el que se identifican las posibles agrupaciones entre estaciones para el caso de espacialidad, y entre meses para el caso de temporalidad; con el fin de identificar que estaciones son semejantes en cuento a su comportamiento ya sea en su totalidad o solo en determinados meses.

7.4. INTERPOLACIONES

Tiene como base la estimación de datos desconocidos a partir de valores conocidos, este proceso es de uso en casos en los que no se cuente información o la recopilación de la misma sea muy costosa. La interpolación normalmente es usada en variables de temperatura, Precipitación, elevación, densidad de población entre otros; los métodos de interpolación son varios como Distancia Inversa Ponderada (IDW) y Redes Irregulares Trianguladas (TIN) estos se pueden utilizar dependiendo de la variable a trabajar.

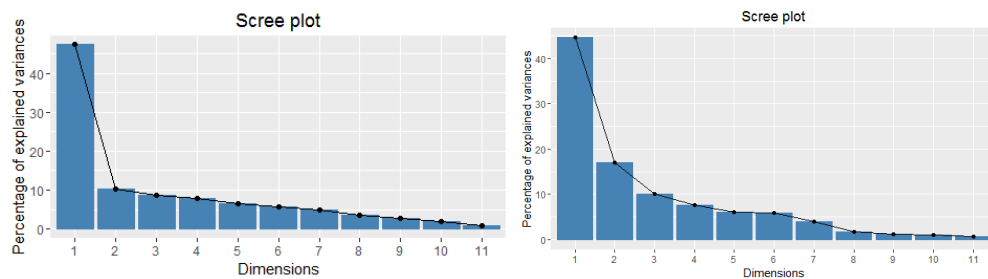
Gracias a la revisión de metodologías de interpolación se seleccionó la Distancia Inversa Ponderada ya que es la que mejores resultados muestra, es de fácil manejo, estima valores desconocidos en base a los conocidos, en este caso concentraciones. El proceso para la realización de esta metodología se presenta en el Anexo 3.

8. RESULTADOS

8.1. ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

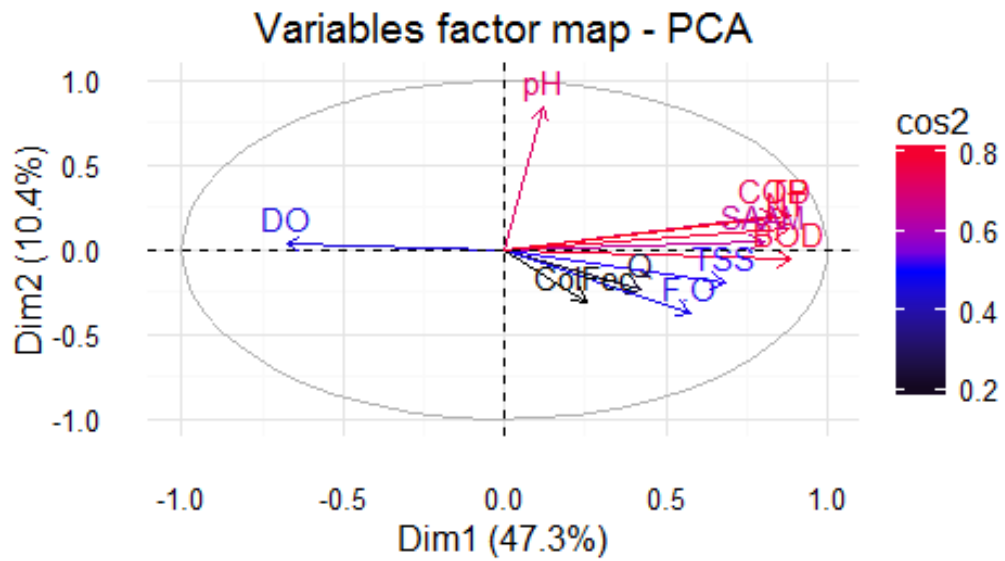
De acuerdo al Resolución 5731 de 2008 se toman 10 parámetros para identificar la calidad hídrica de los ríos Fucha y Tunjuelo, pero para dicho análisis se evidencio que no todos los parámetros presentan variabilidad por lo tanto se realizó el ACP con el fin de identificar una variabilidad total explicada en un 61,6% que corresponde a los dos primeros componentes como se muestra en la gráfica 2. Cabe aclarar que los parámetros que no se tienen en cuenta son necesarios en el monitoreo, dado que la resolución anteriormente mencionada los exige y además su comportamiento es consecuente con la dinámica de los cuerpos hídricos, caso contrario a los parámetros tenidos en cuenta para los posteriores análisis.

Gráfica 2. Sedimentación para los rio Fucha y Tunjuelo



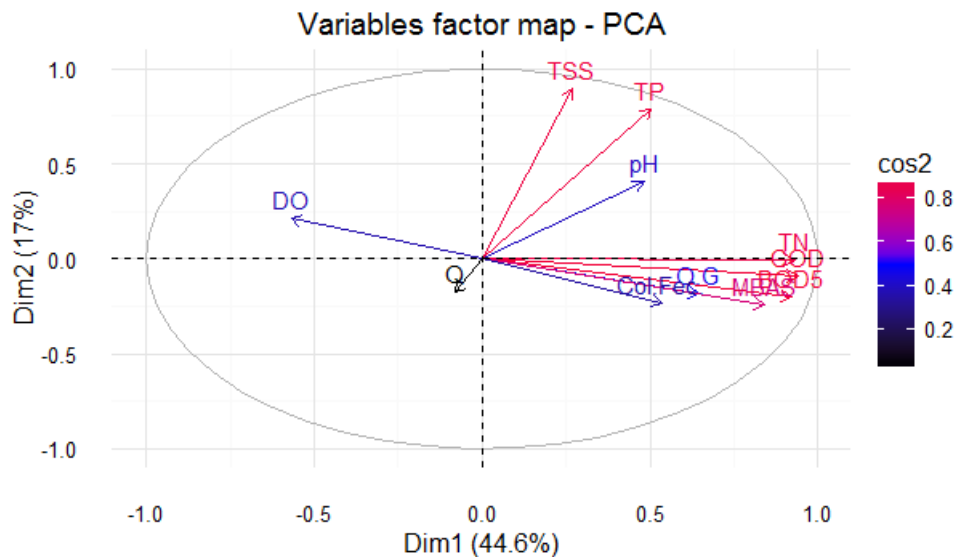
En el Gráfica 3 se representan los datos para el rio Fucha, en este grafico se puede encontrar las correlaciones de las variables por componente; teniendo el componente 1 en el radio de 0 a 1 con un 47,3% de varianza explicada. Se tienen que los parámetros de BOD5, COD, TN, TP, SAAM, pH y Grasas y Aceites como los parámetros que más correlación tienen; mientras que los parámetros de TSS, Coliformes fecales, Caudal y Oxígeno disuelto presentan menor correlación con valores de 0.6 a 0.3, y valores negativos para el parámetro de Oxígeno disuelto por lo tanto no se tendrán en cuenta como variables en las metodologías.

Gráfica 3. Circulo de correlaciones para el rio Fucha



En el Gráfica 4 se observa la correlación de las variables para el rio Tunjuelo sobre un círculo de centro 0 y radio 1; donde SST, Fosforo Total, Nitrógeno Total, DBO5, DQO y SAAM son las que presentan mayor correlación. Los Coliformes Fecales, Grasas y Aceites, pH, Oxígeno Disuelto y el caudal son las variables que presentan menor correlación, donde estos dos últimos parámetros tienen una correlación negativa con el primer componente; por lo tanto no se tendrán en cuenta dentro de este estudio

Gráfica 4. Circulo de Correlaciones para el rio Tunjuelo

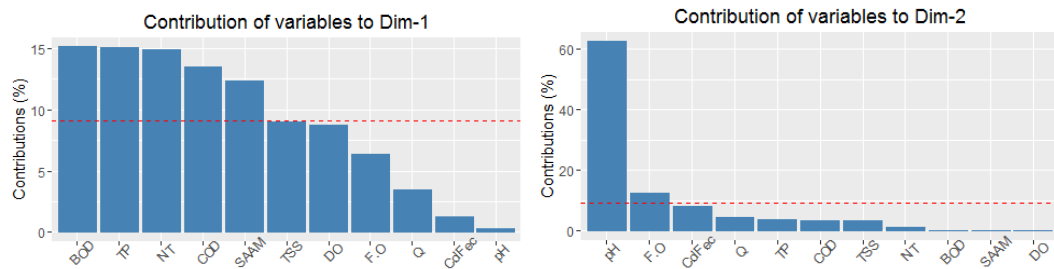


En

En la gráfica 5 se evidencia la contribución por cada una de las variables para el primer y segundo componente, basado en el porcentaje promedio esperado como la línea punteada horizontal; de esto se rescata que las variables que

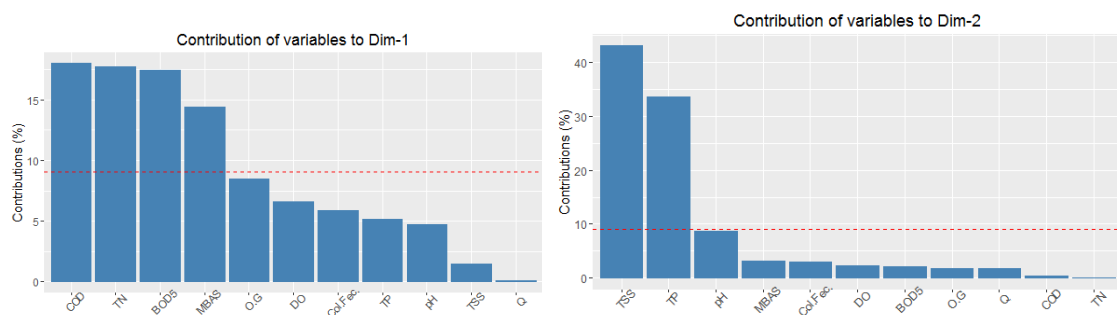
mayor contribuyen en este componente son TP, COD, TN, BOD5, SAAM ya que estos superan la contribución promedio esperado representada en la línea roja punteada que corresponde al valor esperado $1/100 = 9,09\%$ siendo los parámetros que sobrepasan dicho promedio corroborando así lo visto en la gráfica anterior de correlaciones.

Gráfica 5. Contribución de las variables en el primer y segundo componente para el rio Fucha



En el Gráfica 6 se identifica la contribución de cada variable en el primer componente, las mayores o las importantes aportaciones se deben a los parámetros de DQO, Nitrógeno Total, DBO5 y SAAM ya que estos superan la contribución promedio esperado representada en la línea roja punteada que corresponde al valor esperado $1/100 = 9,09\%$. Mientras que los parámetros Solidos Suspendidos Totales y el Fosforo Total en el segundo componente, la contribución promedio esperada sigue siendo un $9,09\%$ dado que son las mismas 11 variables.

Gráfica 6. Contribución de las variables en el primer y segundo componente para el Rio Tunjuelo



Teniendo en cuenta los resultados de las gráficas anteriores se puede reducir la cantidad de variables originales, dado que las mayores aportaciones para los dos componentes las realizan DQO, Nitrógeno Total, DBO5, SAAM, Solidos Suspendidos Totales y el Fosforo Total por ende se eliminan las variables Grasas y Aceites, Oxígeno Disuelto, pH por la baja variabilidad que se tiene dentro de los ríos, los Coliformes Fecales debido a que no varía de manera drástica en tramos ni por estaciones cercanas, La variable de Caudal se excluye debido a que es función del aporte dado sobre el rio.

8.1.1. PRUEBA DE KRUSKAL-WALLIS

La prueba de Kruskal Walls se utilizó para cada variable cuantitativa con las cualitativas (Mes, Estación, Hora Inicial y Hora Final); esta comparación da como resultado, la significancia que tienen estas variables en cada uno de los parámetros. A continuación se muestran los resultados de esta prueba donde Df hace referencia al número de variables n-1, en este caso 52 Variables en total. Pr(>F) referente al valor de la significancia, representado por asterisco(*) cuando este sea menor a 0,5.

Tabla 11. Resultados para el río Fucha

Df	Pr(>F)		DBO		COD		SST		FYO		SAAM		TP		TN
ESTACION 7	< 2.2e-16 ***		< 2.2e-16 ***		< 2.2e-16 ***		< 2.2e-16 ***		< 2e-16 ***		< 2.2e-16 ***		< 2.2e-16 ***		< 2.2e-16 ***
MES 11	0.009758 **		0.0008576 ***		6.549e-06 ***		0.0420733 *		0.00381 **		5.340e-08 ***		5.664e-08 ***		4.76e-06 ***
HIN 58	4.458e-06 ***		7.534e-07 ***		3.625e-08 ***		0.0001207 ***		0.02088 *		3.612e-09 ***		2.099e-12 ***		0.0001481 ***
HFN 2	0.353562		0.7298819		0.5054		0.2335914		0.86010		0.69		0.5355		0.5862112
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1															

Tabla 12. Resultados para el río Tunjuelo

Df		COD		BOD5		TN		SAAM		SST		FT
ESTACION 9		< 2.2e-16 ***		< 2.2e-16 ***		< 2.2e-16 ***		< 2.2e-16 ***		< 2e-16 ***		< 2.2e-16 ***
MES 11		1,03E-05 ***		4,28E-08 ***		< 2.2e-16 ***		< 2.2e-16 ***		0.29846 ***		8,18E-09 ***
HIN 54		0.0311 *		0.001331 **		0.0004362 ***		0.0001218 ***		0.01793 **		0.0001244 ***
HFN 2		0.8600		0.262256		0.9735829		0.6128582		0.89933		0.8558774
signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1												

En base a las tablas 11 y 12 se establece que para todas las variables por Estación, Mes y Hora inicial (HIN), existe una importancia sobre las concentraciones de los parámetros seleccionados, sin embargo la variable HIN no se tuvo en cuenta para este estudio, debido a que el manejo de sus registros es muy extenso y su ejecución se hace menos precisa. De acuerdo a esto se considera que se optimizara la frecuencia de medición en una escala temporal mensual y el número de estaciones sobre los cauces de los ríos.

8.2. ANALISIS JERARQUICO

A continuación se presentan los resultados del análisis jerárquico para los ríos de Tunjuelo y Fucha, estos fueron realizados por parámetro y relacionan las concentraciones con las estaciones representado con las gráficas color azul; seguido de esto se realiza por estación y se evidencia el comportamiento temporal mes a mes, estas Gráficas se reconocen por su color aguamarina para el río Fucha y naranja para el río Tunjuelo.

Adicionalmente se relacionan los resultados obtenidos de las comparaciones por pares usando la prueba de Wilcoxon de suma de rangos, este se realizó con el fin de comparar las estaciones y más significativas de 0,5 a 1, por cada parámetro y corroborar sus resultados con los del análisis jerárquico eliminando el margen de error que se pueda dar con esta metodología.

8.2.1. RIO FUCHA

8.2.1.1. VARIACIÓN ESPACIAL POR PARAMETRO DEL RIO FUCHA

- **Demanda Biológica de Oxígeno**

Para DBO en el anexo 4 en la gráfica 12 se evidencia la agrupación de las estaciones en tres clúster, el primero con las estaciones de Zona franca, Alameda y Visión Colombia con una correlación de 70%, el segundo grupo es unitario por la estación de Delirio, esto debido a que es la primera estación y no recibe altas cargas de DBO y el tercer grupo con una correlación de 40% como se evidencia la gráfica 11; Así pues en comparación con el test Wilcox las agrupaciones con significancia son Visión Colombia con Alameda y Visión Colombia con Zona franca con un 0,95 y 0,53 respectivamente igual de cómo se evidencia anteriormente.

- **Nitrógeno total**

En el anexo 5 dentro de la gráfica 15 se evidencia la agrupación de las estaciones en tres clúster, el primero con las estaciones de Zona franca, Alameda y Visión Colombia con una correlación de 60%, el segundo grupo las estaciones de Delirio y carrera séptima con una correlación de 52% con los valores de mg/L más bajos de todas las estaciones ya que son las primeras estaciones y sus valores de DBO no registran altas concentraciones y el tercer grupo lo conforman las estaciones de Avenida Boyacá, Avenida ferrocarril y Avenida de las américas con una correlación de 49% como lo muestra la gráfica 14.

Delirio es la que tiene menores datos con respecto a las demás estaciones como se puede observar en la gráfica 13. En cuanto a wilcox para nitrógeno total, son significantes Avenida de las Américas con Avenida Boyacá y Visión Colombia con Zona franca con valores de 0,68 y 0,59 respectivamente; coincidiendo con las agrupaciones del clúster.

- **Demanda Química de Oxígeno**

En el anexo 6 Dentro de las gráfica 16 y 18 se evidencia la agrupación de las estaciones en cuatro clúster, el primero con las estaciones de Zona franca, Alameda y Visión Colombia con una correlación de 42%, el segundo grupo la estación de Delirio únicamente ya que esta estación presenta los valores de mg/L más bajos de todas las estaciones el tercer grupo lo conforma la estación de la Avenida Boyacá en el cuarto grupo se encuentran las estaciones de Carrera séptima, Avenida ferrocarril y Avenida de las américas con una correlación baja de 24% como lo evidencia la gráfica 17.

La estación de Avenida Boyacá es la que más distribución de sus datos presenta y Delirio de nuevo contiene los datos más bajos delirio. Para este parámetro el test de wilcox únicamente tiene significancia de 0,76 entre las

estaciones de Alameda y Zona franca; relación que también se ve en los clúster.

- **Sustancias Activas De Azul De Metileno**

En el anexo 7 dentro de la gráfica 20 se evidencia la agrupación de las estaciones en tres clúster, el primero con las estaciones de Delirio y Carrera séptima con una correlación baja de 28%, el segundo grupo lo conforma las estaciones de Avenida ferrocarril, Avenida de las américas y Avenida Boyacá con una correlación media baja de 43% y el tercer grupo las estaciones de Zona franca, Alameda y Visión Colombia con una correlación de 57% como se evidencia en la gráfica 21.

En la gráfica 19 de Delirio se evidencia que la estación de Visión Colombia es la que más distribución de datos tiene, y Delirio contiene los datos de mg/l más bajos. El test de Wilcoxon demuestra que la estación de Zona franca y Alameda tienen una alta significancia de 1, también la estación de Avenida de las Américas con Avenida ferrocarril con una significancia de 0,55; agrupaciones similares a las que se dan en el clúster.

- **Solidos Suspendidos Totales**

En el anexo 8 dentro de las gráficas 22 y 24 se evidencia la agrupación de las estaciones en tres clúster, el primero con las estaciones de Zona franca, Alameda y Visión Colombia con una correlación de 42%, el segundo grupo la estación de Delirio únicamente ya que esta estación presenta los valores de mg/L más bajos de todas las estaciones el tercer grupo lo conforma la estación de la Avenida Boyacá, Carrera séptima, Avenida ferrocarril y Avenida de las américas con una correlación de 44% como se evidencia en la gráfica 22.

Para solidos suspendidos totales se evidencia una alta significancia de 0,88 para la unión de las estaciones de Alameda y Zona franca; aunque en la gráfica de clúster anteriormente mencionada, la estación más cercana a Zona franca es Visión Colombia no Alameda, de igual manera se tiene en cuenta esta relación al momento de los análisis.

- **Fosforo Total**

En el anexo 9 dentro de la gráfica 26 se evidencia la agrupación de las estaciones en 5 clúster, el primero con las estación de Visión Colombia, el segundo grupo lo conforman las estaciones de Zona franca y Alameda con una correlación de 60%, y el último grupo la estación de Avenida ferrocarril, Avenida de las américas y Avenida Boyacá con una correlación de 49% como se evidencia en la gráfica 27.

En la gráfica 25 se puede observar que la estación de delirio es la que menores datos presenta y las estaciones de Carrera séptima, Avenida ferrocarril y Zona franca muestran valores atípicos. Para el test de Wilcoxon el fosforo total muestra significancia para el grupo de estaciones de Zona franca y Alameda con 0,5 y Avenida de las Américas con Avenida Boyacá también con un 0,5; lo anterior se puede relacionar a lo encontrado en el clúster mencionado anteriormente.

- **pH**

En el anexo 10 a partir de la gráfica 30 se observa el comportamiento en la variación del pH para el río Fucha, donde la estación de Delirio es la que presenta una alta variabilidad en comparación a las otras ya que es la última estación en agruparse; esto se puede corroborar con la gráfica 28 donde se evidencia la distribución de los datos en las demás estaciones con valores altos de pH, dentro de estas se agrupa la de avenida de las Américas y avenida ferrocarril con una relación de 37%.

Adicional las estaciones de Zona franca y Alameda se agrupan con una correlación de 70% como se observa en el boxplot estas dos estaciones registran mediciones similares al igual que distribución de sus datos. Con respecto al test de Wilcoxon la única agrupación significativa fueron las estaciones de Avenida de las Américas y Avenida ferrocarril con 0,57; al igual como se comportan estas dos estaciones en el clúster, a diferencia que se muestra una significancia más alta que está en la gráfica 29, adicionalmente Carrera Séptima y Visión Colombia se correlacionan con 0,9.

- **Grasas Y Aceites**

En el anexo 11 a partir de las gráficas 31 y 33 se observa el comportamiento y variación de las Grasas y Aceites para cada una de las estaciones dentro del río Fucha, se forman dos grupos donde se presentó menor variabilidad uno con las estaciones de Visión Colombia y Alameda con una relación de 35%. El segundo grupo lo componen las estaciones de Delirio, Carrera séptima, Boyacá, Avenida ferrocarril y Avenida de las Américas con una correlación de 68% como lo evidencia la gráfica 32.

Por otro lado la estación de Zona franca se grupa individual puesto a que es la estación que más variabilidad tiene como se puede ver en el boxplot es el que presenta mediciones más altas y con una menor distribución de los datos. Con respecto al test de Wilcoxon las estaciones de Alameda, Visión Colombia y Zona franca tienen significancia de 0,5 Y 0,7 entre ellas; Teniendo a Alameda y Zona franca como las más significantes; al igual como se representa en el clúster con la relación de estas tres estaciones.

8.2.1.1. VARIACIÓN TEMPORAL POR ESTACION DEL RIO FUCHA

- **Delirio**

Para la estación de Delirio en el anexo 13 no se evidencia mayor variabilidad de los datos como se puede ver en la gráfica 34, en donde el mes de noviembre es aquel que tiene una mayor distribución de sus datos; comparando lo anterior con la gráfica 35, se corrobora que Noviembre se agrupa aparte de los demás meses del año y adicional se conforman 8 grupos más donde el clúster de los meses de febrero y agosto tienen una correlación de 52%, el clúster de los meses Enero y julio tienen una correlación de 51%.

En cuando a los meses de Junio, Agosto y octubre se agruparon con una relación media de 49%, los meses de Marzo y Diciembre debido a su variabilidad se agrupan de forma individual, y al contrario de los demás los meses de Mayo y Septiembre se agrupan con una relación baja de 24% como se evidencia en la gráfica 36.

- **Alameda**

En la estación de Alameda en el anexo 14 en el mes de julio se ve la mayor variabilidad en los datos como se evidencia en la gráfica 37 es por esto que es el último en agruparse en la gráfica 38, los meses de Septiembre y Octubre se agrupan con una correlación del 69% ya que la distribución de sus datos y las mediciones son muy similares como se evidencia en el boxplot, adicional los meses de Mayo y Junio se agrupan con una correlación de 64% como se evidencia en la gráfica 39 estos dos tienen el mismo valor medio y la distribución de sus datos es igual. El resto de los meses del año se agrupan de forma individual.

- **Avenida las Américas**

El comportamiento de la estación de Avenida de las Américas en el anexo 15 no presenta mayor variabilidad, el mes con mayor distribución en sus datos es el mes de Agosto aunque la diferencia con respecto al resto de meses no es mucha. En las gráficas 40 y 41 se evidencian cuatro agrupaciones la primera con los meses de Abril, Marzo, Agosto y Octubre con una correlación del 33%, el segundo grupo con los meses de Julio, Febrero, Junio y Noviembre con una correlación del 52%; los meses de Diciembre y mayo se agrupan de forma individual. Los meses de junio y septiembre se agrupan con una correlación baja de 16%.

Es de gran importancia resaltar que para esta estación la gráfica 42 demuestra que los meses agrupados en el clúster, no corresponden, es por esto que se recomienda no se tenga en cuenta estas agrupaciones.

- **Avenida Boyacá**

En el anexo 16 la estación de la Avenida Boyacá los meses de Julio, Mayo y Abril son aquellos con menor variabilidad como se evidencia en las gráficas 43 y 44, estos meses por ende se agrupan de forma individual. Para el clúster de los meses de Enero, Febrero y Agosto se tiene una correlación baja de 17% indicando una inadecuada agrupación; para los meses de Septiembre y Junio también se agrupan con una correlación baja de 25%.

Los meses de Marzo y octubre son los últimos en agruparse por ende tienen una mayor variabilidad con respecto a los demás meses del año, tienen una correlación del 57%; los meses de Septiembre y noviembre se agruparon con una correlación del 45% como se evidencia en la gráfica 45.

- **Avenida Ferrocarril**

Según las gráficas 46 a 48 en la estación de la Avenida Ferrocarril en el anexo 17 se presenta en general una distribución baja de los datos, a excepción de mes de Enero ya que es el que mayor variabilidad presenta y mejor distribución de los datos por ende en la gráfica 47 es el último en agruparse; los valores de las mediciones en este mes son las más altas del año.

Los meses de Septiembre y Noviembre se agrupan con una correlación baja de 27% lo cual indica que no están bien agrupados. Al igual para Abril y Octubre que se agrupan con una correlación baja de 12%, para los meses de Mayo, Marzo y Julio por la similitud en sus características se agrupan con una correlación del 57%.

- **Carrera Séptima**

En el anexo 18 la estación de la Carrera séptima los meses de Diciembre y Abril muestran bajos valores en sus mediciones con respecto al resto del año, por otro lado el mes de Enero es el mes con mayor variabilidad y distribución de sus datos, este es el último en agruparse en la gráfica 50 y es el que presenta mayores valores de las mediciones del año.

En la gráfica 51 se evidencia que la agrupación de los meses de Julio y Mayo tiene una correlación del 59%, mientras que para Junio y Agosto la correlación es baja con 11%, seguido por la agrupación de Febrero y octubre con un 25% de correlación. Con el resto de los meses del año se tiene una agrupación individual por la variación de sus datos como se evidencia en la gráfica 49.

- **Visión Colombia**

El comportamiento de los datos en la estación de Visión Colombia en el anexo 19 es similar en todos los meses del año como se evidencia en la gráfica 52, en la gráfica 53 se agrupan los meses de Enero, Junio, Marzo, Agosto y Octubre con una correlación del 41%. Para los meses de Febrero, Abril y Noviembre la correlación es de un 48%, con una correlación baja de 37% se agrupan los meses de Mayo y Junio y dado a su variabilidad se encuentran aparte los meses de Diciembre y septiembre.

El comportamiento de los datos en la estación de Visión Colombia es similar en todos los meses del año como se evidencia en la gráfica 52, en la gráfica 53 se agrupan los meses de Enero, Junio, Marzo, Agosto y Octubre con una correlación del 41%. Para los meses de Febrero, Abril y Noviembre la correlación es de un 48%, con una correlación baja de 37% se agrupan los meses de Mayo y Junio y dado a su variabilidad se encuentran aparte los meses de Diciembre y septiembre.

- **Zona Franca**

En la estación de la zona franca en el anexo 20 muestra una alta distribución de los datos en la mayoría de los meses del año según la gráfica 55, en las gráficas 56 y 57 se evidencia que los meses de Agosto y Septiembre se

agrupan con una correlación baja de 23% en cambio los meses de Agosto y Septiembre se agrupan con una correlación alta de 63% seguido por los meses de Octubre y Noviembre con una correlación de 54%.

8.2.2. RIO TUNJUELO

8.2.2.1. VARIACIÓN ESPACIAL POR PARAMETRO DEL RIO TUNJUELO

- **Demanda Biológica de Oxígeno**

En el anexo 20 las gráficas de la 58 a la 60 se evidencian la agrupación y relación de los valores mensuales multianuales de la Demanda Biológica de Oxígeno, formando 2 subgrupos, en el primero se agrupan las estaciones Transversal 86, Puente Independiente e Isla Pontón San José con la mayor variabilidad de los datos y homogéneos exceptuando la primera estación la cual presenta datos asimétricos dado que es la última estación en incorporarse al clúster; cabe resaltar que según la silueta estas estaciones conforman grupos individuales.

El segundo subgrupo presenta 5 grupos de los cuales 4 estaciones son grupos individuales y las estaciones Barrio México, Regadera y UAN conforman el primer grupo con una correlación del 58%, teniendo en cuenta que estas estaciones presentan menor variabilidad y distancia entre ellas.

En el test wilcox las agrupaciones con altas significancias son Puente Independiente con Isla Pontón San José con un valor de 0,96, Transversal 86 con Isla Pontón San José tienen una significancia de 0,644 Makro con San Benito cuentan con 0,968 y por ultimo Puente Independiente con Transversal 86 con significancia de 0,602; es decir la agrupación que realizó el clúster es invalida y las anteriores agrupaciones generadas por las pruebas si pueden ser tomadas.

- **Nitrógeno Total**

En el anexo 21 el grafico 61 se observa la variación de las mediciones de nitrógeno total para las estaciones del rio Tunjuelo las estaciones Regadera, UAN y México presentan menor variabilidad en los datos por ende en la gráfica 62 en la cual se representan las agrupaciones estas se encuentran en un solo grupo que tienen una relación del 57% según la silueta en la gráfica 63. Por otra parte el siguiente grupo lo forman las estaciones San Benito y Makro Auto sur que tienen una relación del 51% como lo indica la gráfica 63, y según el boxplot estas dos estaciones tiene un poco variabilidad; todo lo contrario a las estaciones Transversal86, Puente Independiente e Isla Pontón San José que presentan alta variabilidad en sus datos y se encuentran en un solo clúster según la gráfica 62 pero forman grupos individuales.

Para el parámetro de nitrógeno la prueba Wilcox arroja las agrupaciones de Makro con San Benito y Puente Independiente con Transversal 86 con significancias de 0,98 y 0,94 respectivamente; esto corrobora la agrupación de

San Benito con Makro y el último subgrupo de las estaciones de Transversal 86 con Puente Independiente.

- **Demanda Química de Oxígeno**

En cuanto a la Demanda Química de Oxígeno en el anexo 22 la gráfica 65 muestran 3 subgrupos con 8 clúster en el dendograma, el primer subgrupos lo conforman las estaciones Puente Independiente, Isla Pontón San José y Transversal 86 que es la estación con mayor variabilidad en los datos con respecto a las otras estaciones; en el segundo subgrupo están las estaciones Doña Juana San Benito y Makro Autosur y en el último subgrupo están las estaciones Yomasa, Barrio México, Regadera y UAN con la menor variabilidad entre sus datos.

El primer grupo de las estaciones Regadera y UAN tienen la mayor correlación con un 65% mientras que el grupo de las estaciones San Benito y Makro Autosur tienen una correlación del 46% según la gráfica 66. Otra agrupación que se da según la prueba de Wilcoxon la conforman las estaciones de Puente Independiente con Transversal 86 con una significancia de 1.

- **Sustancias Activas al Azul de Metileno**

En el anexo 23 para el parametro SAAM en la gráfica 67 del boxplot se representa la formación de tres grupos, por un lado las estaciones que presentan mayor variabilidad en sus datos, las estaciones con una variabilidad media y por el otro lado las estaciones con menor variabilidad; hecho que se corrobora con la gráfica 68 en la cual se forman tres subgrupos generando así la formación de 6 grupos.

El primer grupo lo forman las estaciones Puente Independiente, Transversal 86 e Isla Pontón San José con una relación del 61% según la silueta de la gráfica 69; el siguiente grupo lo forman las estaciones Regadera, Doña Juana y Barrio México con una relación del 68%, estas son las estaciones que no tienen mucha variabilidad en sus datos. El test Wilcoxon corrobora la agrupación que se da entre las últimas tres estaciones, dando agrupaciones entre Isla Pontón San José con Puente Independiente con una significancia de 0,81, Isla Pontón San José con Transversal 86 y Puente Independiente con Transversal 86 con significancias de 0,83 y 0,95 respectivamente.

- **Sólidos Suspendidos Totales**

En cuanto a los Sólidos Suspendidos Totales en el anexo 24 la gráfica 70 muestra que la estación Doña Juana presenta una alta variabilidad en sus datos con respecto a las demás estaciones, por ende en la gráfica 71 del clúster esta estación es la última en unirse al clúster general; las demás estaciones presentan una baja variabilidad en el boxplot en la gráfica 71 y conforman 5 subgrupos de los cuales las estaciones Regadera y UAN forman uno que tiene una relación del 15%; en el siguiente subgrupo están las estaciones Puente Independiente e Isla Pontón San José con una relación del

45% y en el último subgrupo están las estaciones Yomasa, Barrio México, Makro Autosur que tiene una relación del 33% según la gráfica 72.

Dado que los valores de relación no superan el 50% los subgrupos están mal agrupados es decir que para este parámetro se tomaran grupos individuales. En el test de Wilcoxon las significancias entre estaciones son muy bajas o nulas, pero las agrupaciones que realizó el análisis jerárquico si presentan significancias de 0,2 pero sin superar el 0,5 para considerar una buena relación.

- **Fosforo Total**

En el anexo 25 los resultados del boxplot y del dendograma se evidencian en las gráficas 73 y 74 para el parámetro de fosforo total; en el boxplot la estación Doña Juana presenta mayor variabilidad en los datos como se comprueba en dendograma al ser la última estación en asociarse al clúster, mientras que el resto de las estaciones presentan distancias menores, es decir los datos en su mayoría son homogéneos, dado que en el dendograma la distancia entre estas no supera los 20.

Según la gráfica 75 que corresponde a la silueta se forman 8 grupos de los cuales 6 son individuales y 2 de ellos los conforman las estaciones Regadera y UAN con una correlación del 80% e Isla Pontón San José y Puente Independiente con un porcentaje de correlación de 55%. Para el parámetro de fosforo total se presentan las siguientes agrupaciones, Isla Pontón San José con Doña Juana con una significancia de 0,58, luego Doña Juana con Transversal 86 con un valor de 0,63, también se encuentra Isla Pontón San José con Puente Independiente con una significancia de 0,81 y por ultimo Isla Pontón San José con transversal 86 con un valor de 0,76.

8.2.2.1. VARIACIÓN TEMPORAL POR ESTACION DEL RIO TUNJUELO

- **Regadera**

La estación Regadera en el anexo 26 tiene una media en sus datos homogénea a lo largo del año para todos los parámetros, aunque la mayor variación de los mismos se presenta en los meses de mayo y junio; según la gráfica 77 se obtuvo 5 subgrupos de los cuales el único que presenta una buena relación es el que conforman los meses de mayo y junio con una relación del 93%, mientras que los grupos restantes no superan una relación del 50%; es decir para esta estación solo se pueden agrupar los meses mencionados anteriormente.

- **UAN**

En el anexo 27 los resultados del boxplot y del dendograma se observan en las gráficas 79 y 80 respectivamente para la estación UAN; en las dos gráficas el mes julio tiene mayor variabilidad en sus datos que los demás meses, como consecuencia en el dendograma es el último mes en agruparse al clúster. Con respecto a los demás meses se forman 6 grupos, el primero lo conforman los

meses de mayo, octubre y noviembre con un 72% de relación según la gráfica 81, en siguiente grupo están incluidos los meses de agosto y septiembre con una alta relación del 95% y por último los meses enero febrero y marzo se relacionan entre sí con un porcentaje del 60%

- **Yomasa**

En el anexo 28 las gráficas de la 82 a la 84 se evidencian la agrupación y relación de los valores mensuales multianuales de estación Yomasa, formando 9 subgrupos, los meses junio y julio se agrupan, al igual que los meses abril y octubre y por otro lado mayo y agosto; los meses restantes forman grupos individuales. Los meses de Febrero, Marzo y Diciembre presentan altas variabilidades que son superadas por el mes de septiembre el cual es el último en incorporarse al clúster; cabe resaltar que según la silueta los meses que se agruparon tienen una buena relación, a excepción del grupo formado por los meses de junio y julio que tiene un porcentaje de 24.

- **Doña Juana**

En el anexo 29 la gráfica 85 del boxplot para la estación Doña Juana indica que hay poca variabilidad mensual pero si existen datos atípicos en todos los meses por lo tanto no son homogéneos.

En las gráficas 85 y 86 se aprecia la formación de 6 clúster; en el primer clúster o grupo se encuentran los meses de febrero y marzo con una relación del 63% según la silueta de la gráfica 87, el segundo grupo lo conforman los meses de abril, mayo, junio, agosto y noviembre con una relación del 72%, y el último grupo lo conforman los meses de septiembre y noviembre con una relación del 71%; estas relaciones significan que las agrupaciones formadas por el análisis jerárquico son óptimas.

- **Barrio México**

Con respecto a la estación Barrio México en el anexo 30 en los meses de enero, febrero, marzo y julio presentan las mayores variaciones en sus datos según la gráfica 88 del boxplot por ende según la gráfica 89 del clúster estos meses se encuentran en un subgrupo de los dos que se forman. El siguiente subgrupo se encuentra los meses restantes que tienen variaciones menores a 75 según la gráfica 88 y 89, de este subgrupo los meses de mayo, junio, septiembre y octubre forman un solo grupo con una relación del 54% según la silueta en la gráfica 90.

- **San Benito**

En el anexo 31 las gráficas de la 91 a la 93 representan las variaciones mensuales de la estación San Benito, se observa que hay dos tendencias 4 meses que presentan altas variabilidades y 8 meses presentan variabilidades medias; dicha tendencia se observa en la gráfica 93 donde se forman los dos subgrupos, en grupo de las altas variabilidades se forman 2 grupos el primero

el mes de marzo de manera individual y el siguiente grupo lo forman enero, febrero y diciembre con una relación del 41%.

En el segundo subgrupo se forman tres grupos el primero con los meses de mayo, junio, agosto, septiembre y noviembre pero en la silueta nos indica que el mes de junio no debería estar ubicado en ese grupo, este grupo tiene una relación del 54%, y el último grupo lo conforman los meses de abril y octubre con la relación más alta del 77%.

- **Makro Autosur**

En cuanto a la estación Makro Autosur en el anexo 32 hay gran variabilidad en los datos como lo muestra la gráfica 94 del boxplot, donde los meses de enero, abril y diciembre son lo que presentan la mayor variabilidad; en cuanto a las gráficas 95 y 96 del clúster y la silueta respectivamente hay una formación de 4 subgrupos, de los cuales el primer subgrupo corresponde al mes de enero que no fue posible agruparlo con otro mes dado la variabilidad tan alta de sus datos, como ya se mencionó anteriormente en el boxplot. El segundo subgrupo lo conforman los meses de febrero, marzo y diciembre con una relación del 63% es decir hay una buena agrupación entre sus datos, concordando con el boxplot en que presentan el mismo rango de datos.

La tercera agrupación la conforman los meses de abril, julio y octubre pero con una relación negativa, es decir esta agrupación no es correcta como lo muestra el clúster, por ende para los análisis no se tomara dicha agrupación. Finalmente el último subgrupo corresponde a la agrupación entre los meses de mayo, junio, agosto, septiembre y noviembre con una relación del 53%.

- **Transversal 86**

En el anexo 33 los resultados del boxplot y del dendrograma se observan en las gráficas 97 y 98 respectivamente para la estación Transversal 86; en las dos gráficas el mes enero tiene mayor variabilidad en sus datos que los demás meses, como consecuencia en el dendrograma es el último mes en agruparse al clúster. Con respecto a los demás meses se forman 10 grupos, de los cuales 8 grupos son individuales, estos corresponden a los meses de enero, febrero, marzo, junio, julio, octubre, noviembre y diciembre. El siguiente grupo lo forman los meses de abril y septiembre con una relación del 67%, esto se puede ver en el boxplot que estos dos meses tienen una distribución en sus datos semejantes y homogéneos al igual que el último grupo en el que se encuentran los meses de mayo y agosto con una relación del 86%.

- **Puente Independiente**

En el anexo 34 las gráficas de la 100 a la 102 representan las variaciones mensuales de la estación Puente Independiente, se observa que se presentan altas variabilidades; dicha tendencia se observa en la gráfica 101 donde se forman los tres subgrupos, el primer subgrupo se forman 3 grupos los grupos de junio y mayo de manera individual y junio junto con noviembre pero con una

baja relación; el siguiente subgrupo lo forman diciembre, febrero y marzo, estos dos últimos con una agrupación que presenta una relación del 70%.

En el último subgrupo se forman tres grupos el primero el mes de abril de manera individual, luego está la agrupación de enero y agosto con una baja relación de 49% en la silueta nos indica que esta agrupación no debería estar ubicado en ese grupo; y el último grupo lo conforman los meses de septiembre y octubre también con una relación baja del 30%.

- **Isla Pontón San José**

En el anexo 33 los resultados del boxplot y del dendrograma se observan en las gráficas 97 y 98 respectivamente para la estación Transversal 86; en las dos gráficas el mes enero tiene mayor variabilidad en sus datos que los demás meses, como consecuencia en el dendrograma es el último mes en agruparse al clúster. Con respecto a los demás meses se forman 10 grupos, de los cuales 8 grupos son individuales, estos corresponden a los meses de enero, febrero, marzo, junio, julio, octubre, noviembre y diciembre. El siguiente grupo lo forman los meses de abril y septiembre con una relación del 67%, esto se puede ver en el boxplot que estos dos meses tienen una distribución en sus datos semejantes y homogéneos al igual que el último grupo en el que se encuentran los meses de mayo y agosto con una relación del 86%.

8.1. LDA

8.3.1. FUCHA

8.3.1.1. LDA POR PARÁMETRO VS ESTACIÓN DEL RIO FUCHA

A continuación se presentan los resultados de la metodología de Análisis Discriminante Lineal, se realizaron por parámetro y por distribución temporal mes a mes; este clasifica en agrupaciones por características similares. Adicional a lo anterior se usa la prueba Tukey para una comparación múltiple entre las estaciones y meses, esto con el fin de respaldar y confirmar los hallazgos obtenidos en el método de análisis jerárquico.

La prueba de Tukey asigna una significancia a cada par de estaciones comparado, esto indica la similitud en la variabilidad de valores de los parámetros en cada estación con base a los rangos predeterminados. Se resalta igualmente que para la interpretación de estos resultados se relacionaron coeficientes de discriminación lineal y la comparación múltiple de Tukey.

- **pH**

En la tabla 13 se observan los rangos establecidos por el ADL en cada una de las estaciones. Con la metodología del ADL se obtuvieron las clasificaciones por características similares; para la estación Delirio se obtuvieron 31 clasificaciones dentro de su rango al igual que Avenida Boyacá con 46 clasificaciones.

Para las demás estaciones se tienen con alta variabilidad ya que sus mediciones están dentro del rango de las demás estaciones; como lo es en el caso de Carrera Séptima, la cual tiene 40 mediciones dentro de Avenida Boyacá y 0 mediciones en su propio rango, por ende se podría remover esta estación para pH.

Tabla 13. Resultados ADL para pH

Estación	Rango (mg/l)
Delirio	0 – 6,96
Carrera Séptima	7,56-7,59
Avenida Ferrocarril	7,22-7,394
Avenida de las Américas	7,476-7,56
Avenida Boyacá	7,608-9,06
Visión Colombia	7,594-7,606
Zona Ferrocarril	7,396-7,47
Alameda	6,97-7,216

En el anexo 36 para el pH se representa la comparación múltiple de las estaciones, su comportamiento es similar en la mayoría de estaciones menos en Delirio; el test arroja 16 pares de estaciones de las cuales todas tienen correlaciones altas de 0,8 a 1. Avenida ferrocarril, Avenida Boyacá y Delirio son estaciones con menor significancia y mayor diferencia con respecto a las demás, la distribución de sus datos es variada y por ende en estas se debe seguir midiendo pH.

- **Grasas y aceites**

En la tabla 14 se observan los rangos establecidos por el ADL en cada una de las estaciones. Los resultados del ADL clasificaron para la estación de Delirio 63 mediciones; En la Avenida Boyacá se clasifican 20 mediciones y el resto de estaciones presentan alta variabilidad de datos dentro de los rangos, es decir que las mediciones del resto de estaciones pueden ser valores de diferentes rangos de la siguiente tabla.

Tabla 14. Resultados ADL para grasas y aceites

Estación	Rango (Unidades)
Delirio	0 – 6,96
Carrera Séptima	7,9-18
Avenida Ferrocarril	19-25

Avenida de las Américas	26-32
Avenida Boyacá	33-51
Visión Colombia	52-82,2
Zona Ferrocarril	82,5-93
Alameda	97,8-550

En el anexo 36 representa la comparación múltiple de las estaciones para grasas y aceites, se observan 4 pares de estaciones que muestran significancia mayor a 0,5 el resto de relaciones no son significantes y se encontraron estaciones con alta variación; tales como Delirio, Carrera Séptima, Zona Franca, Visión Colombia y Alameda.

De la gráfica se puede rescatar que de los 4 pares de estaciones las que tuvieron una significancia mayor de 0,7 fueron los grupos de Avenida ferrocarril con Avenida de las américas, Avenida de las américas con Avenida Boyacá y Carrera séptima con Avenida Ferrocarril.

- **Demanda Biológica de Oxígeno**

En la tabla 15 se observan los rangos establecidos por el ADL en cada una de las estaciones. Los resultados del ADL para la estación de Delirio, la clasificación de 63 mediciones en su propio rango, para la estación de Alameda se clasificaron 22 mediciones y el resto se están incluidos en los rangos de las demás estaciones. De forma general se evidencia gracias al ADL, que el resto de estaciones tienen una variabilidad alta de los datos, por ende para DBO es necesario dejar todas las estaciones de monitoreo.

Tabla 15. Resultados ADL para Demanda Biológica de Oxígeno

Estación	Rango (mg/l)
Delirio	0-22,6
Carrera Séptima	23-59,4
Avenida Ferrocarril	59,7-84,8
Avenida de las Américas	85,8-106
Avenida Boyacá	108-149
Visión Colombia	192-206
Zona Ferrocarril	152-190
Alameda	208-546

En el anexo 36 ilustra la comparación múltiple por estación para DBO, este parámetro varía en todas las estaciones ya que no se encontró ningún par de estaciones que tuviera una significancia alta. Gracias a los datos del ADL se puede resaltar que la estación de Delirio no tiene una distribución en los rangos; es decir que todas sus mediciones oscilan de 0 a 22,6 mg/l por ende es la que más diferencia presenta.

- **Demanda Química de Oxígeno**

En la tabla 16 se observan los rangos establecidos por el ADL en cada una de las estaciones. Al igual que la demanda biológica de oxígeno, para estación de Delirio se clasificaron 63 mediciones dentro de su mismo rango, Visión Colombia clasificó 37 mediciones dentro de su rango; las demás estaciones se clasifican dentro de los 8 rangos, es decir las mediciones son muy variables en los rangos que se evidencian en la siguiente tabla.

Tabla 16. Resultados ADL para Demanda Química de Oxígeno

Estación	Rango (mg/l)
Delirio	0-71,4
Carrera Séptima	72-167
Avenida Ferrocarril	171-231
Avenida de las Américas	232-277
Avenida Boyacá	279-315
Visión Colombia	476-1126
Zona Ferrocarril	398-475
Alameda	321-393

Se logra evidenciar que al igual de la DBO, la DQO no presenta comparaciones de estaciones con significancia alta. Este parámetro también muestra el mismo comportamiento para la estación de Delirio, solo que en este caso el rango de datos en el que se mueve es más alto con concentraciones de 0 a 71,4 mg/l en el anexo 36.

- **Sustancias Activas al Azul de Metileno**

En la tabla 17 se observan los rangos establecidos por el ADL en cada una de las estaciones. Los resultados que se tuvieron del ADL fueron 63 mediciones clasificadas en Delirio dentro de su propio rango; en Visión Colombia se clasificaron 31 mediciones dentro de su mismo rango, lo cual indica que estas dos estaciones=P)P86uy048i496. Para las demás estaciones se evidencia que el comportamiento de SAAM varía dentro de los rangos y no es conveniente quitar ninguna.

Tabla 17. Resultados ADL para SAAM

Estación	Rango (mg/l)
Delirio	0-1
Carrera Séptima	1,02-2,9
Avenida Ferrocarril	3,09-4,3
Avenida de las Américas	4,35-4,86
Avenida Boyacá	4,95-5,96
Visión Colombia	7,45-17
Zona Ferrocarril	6,83-7,44
Alameda	5,98-6,8

Para este parámetro en el anexo 36 se evidencia que la comparación múltiple no da una significancia alta a ninguna relación entre estaciones, esto debido a la distribución de este parámetro en cada una de las estaciones. Al relacionar los datos obtenidos se evidencia que hay una mínima significancia entre las estaciones de Avenida Ferrocarril con Avenida de las Américas, Avenida de las Américas con Avenida Boyacá y Zona franca con Alameda.

- **Solidos Suspendidos Totales**

En la tabla 18 se observan los rangos establecidos por el ADL en cada una de las estaciones. Para SST en la metodología de ADL se clasificaron 61 mediciones de la estación de Delirio dentro de su propio rango, En la estación de Alameda se clasificaron 22 mediciones en su mismo rango, y al mismo tiempo se evidencia que esta estación contiene 30 mediciones de Visión Colombia y 29 de Avenida ferrocarril; las demás estaciones tienen alta variabilidad y sus datos se mueven por todos los rangos que se evidencian a continuación.

Tabla 18. Resultados ADL para Solidos Suspendidos Totales

Estación	Rango (mg/l)
Delirio	0-38
Carrera Séptima	40-75,6
Avenida Ferrocarril	76-91
Avenida de las Américas	92-106
Avenida Boyacá	109-141
Visión Colombia	144-170
Zona Ferrocarril	172-187
Alameda	188-968

A partir del anexo 36 se observa que para los SST la comparación múltiple resalta que existe una significancia de 0,8 para la relación de Visión Colombia con Zona franca y Avenida ferrocarril con Avenida de las Américas. Adicional a esto en base a los datos de ADL se resalta que Delirio y Alameda son estaciones que por la distribución de sus datos son muy diferentes con respecto a las demás.

- **Nitrógeno Total**

En la tabla 19 se observan los rangos establecidos por el ADL en cada una de las estaciones.

Tabla 19. Resultados ADL para Nitrógeno Total

Estación	Rango (mg/l)
Delirio	0-5,67
Carrera Séptima	5,871-15,935
Avenida Ferrocarril	15,965-25,69
Avenida de las Américas	26,40-31,35

Avenida Boyacá	31,70-36,96
Visión Colombia	47,9-85,5
Zona Ferrocarril	43,9-47,15
Alameda	37,09-43,9

Para el Nitrógeno Total se evidencia a partir del anexo 36 que para las comparaciones entre estaciones no se encuentra ninguna significancia alta; y que por esto el comportamiento del parámetro varía en cada una de las estaciones. En adición a lo anterior y a los datos del ADL, Visión Colombia es la estación con mayor variabilidad junto con Zona franca y Alameda.

- **Fosforo Total**

En la tabla 20 se observan los rangos establecidos por el ADL en cada una de las estaciones, las clasificaciones que se obtuvieron de dichas estaciones la estación Delirio clasifico 63 mediciones dentro de su rango, al igual que visión Colombia; de resto todas las estaciones tiene una elevada variabilidad dado que sus mediciones abarcan hasta valores de los rangos de las 7 estaciones.

Tabla 20. Resultados ADL para Fosforo Total

Estación	Rango (mg/l)
Delirio	0-0,86
Carrera Séptima	0,97-2,29
Avenida Ferrocarril	2,4-3,22
Avenida de las Américas	3,25-3,69
Avenida Boyacá	3,71-4,38
Visión Colombia	6,03-11,5
Zona Ferrocarril	5,49-6
Alameda	4,45-5,41

A partir del anexo 36 se observa que la comparación múltiple de las estaciones para este parámetro, igual que TN no se presenta alguna significancia alta. En todas las estaciones hay una variación de TP por ende cada una se diferencia de la otra; mas sin embargo esta variación está más marcada en la estación de Visión Colombia al revisar los datos de ADL.

8.3.1.2. LDA POR PARÁMETRO MENSUAL DEL RIO FUCHA

A continuación se presentan los resultados del Análisis discriminante lineal, por cada uno de los parámetros con relación a la temporalidad mes a mes. Se destaca que el LDA encuentra relaciones lineales entre las variables que mejor discriminen los grupos dados, en este caso rangos.

Estos rangos dependen de los valores que registren cada estación y parámetro, por ende dentro de los resultados se puede presentar que en alguna estación no halla rango, esto porque los datos que están dentro de esta;

ya están contenidos en otro categoría. Lo anterior se puede presentar por poca cantidad de datos que se tenga y señala una similitud entre estaciones.

Para esta metodología se utilizó adicionalmente el test de Tukey para establecer la significancia de los datos realizados en el ADL, se seleccionaron las combinaciones con valores de 0.5 a 1 y se explican a continuación de forma resumida para un mejor análisis.

- **Enero**

En la tabla 21 se presentan las comparaciones significativas de los pares de estaciones por parámetro. Las estaciones de Delirio, Carrera séptima y Avenida ferrocarril gracias al ADL se clasificaron de forma óptima para todos los parámetros menos para pH, adicional a esto entre estas dos estaciones se presenta una correlación superior al 0,5. Es decir que los datos registrados mostraron similitudes entre las estaciones, lo cual se podría optimizar realizando la medición solo en una de estas.

A partir de lo anterior se tiene que en el mes de enero hay relación entre estaciones pero no para todos los parámetros por ende no se tiene en cuenta en la propuesta ninguna de las relaciones en este mes, ya que para poder hacer esta optimización debe contemplar todos los parámetros establecidos.(ir a anexo 37).

Tabla 21. Resultados ADL para Enero

PH	FYO	DBO	DQO	SAAM	SST	NT	FT
	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1
	3-1	3-1	3-1	3-1	3-1	3-1	3-1
3-2	3-2	3-2	3-2	3-2		3-2	3-2

- **Febrero**

Para el mes de febrero las estaciones de Carrera séptima y Delirio se relacionaron para todos los parámetros menos para pH, gracias a la clasificación obtenida en el ADL se evidencia que estas estaciones presentan similitudes para los parámetros anteriormente mencionados y de igual forma la correlación entre estas estaciones fue mayor a 0,5. Aunque el comportamiento de estas estaciones tenga una alta significancia, no se toman en cuenta ya que los no para todos los parámetros se obtuvo similitud alguna como lo muestran los resultados del ADL y la tabla 22 (ir a anexo 38).

Tabla 22. Resultados ADL para febrero

PH	FYO	DQO	DQO	SAAM	SST	NT	FT
	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1

- **Marzo**

Para el mes de marzo se observa en la tabla 23 que las estaciones de Carrera séptima y Avenida Ferrocarril comparten significancia para todos los parámetros menos para FT; siendo estas en las que su clasificación evidencio mayor similitud. Adicional, de forma más detallada las relaciones anteriormente mencionadas no se toman en cuenta en los análisis ya que no están presentes en todos los parámetros, mencionando igualmente que NT no estableció ningún par de estaciones en este mes (ir a anexo 39).

Tabla 23. Resultados ADL para marzo

PH	FYO	DQO	DQO	SAAM	SST	NT	FT
3-2	3-2	3-2	3-2	3-2	3-2	3-2	

- **Abril**

El mes de abril la tabla 24 muestra una correlación en las estaciones de Delirio y Carrera séptima para los parámetros de FYO, DBO, DQO, SST, NT, FT; también las estaciones de Avenida Boyacá y Carrera séptima para los parámetros de PH, FYO, DBO, SST y SAAM. estos pares de estaciones se clasificaron en cuanto a similitud de sus datos, pero este resultado no se toma en cuenta al momento de la optimización ya que no se presentan los casos para todos los parámetros(ir a anexo 40).

Tabla 21. Resultados ADL para abril

PH	FYO	DQO	DQO	SAAM	SST	NT	FT
5-2	5-2	5-2		2-5	2-5		
	2-1	2-1	2-1		2-1	2-1	2-1

- **Mayo**

El mes de mayo de forma general en la tabla 25 presenta relación con la estación de Avenida Boyacá que maneja el rango de valores en la mayoría de parámetros. Adicional es se relaciona con Avenida ferrocarril para el PH, FYO, DBO, DQO, SAAM Y NT; Y CON Visión Colombia para PH, FYO, DBO y SST. Es de importancia mencionar que para FT no se tuvieron pares de estaciones significativos y que las clasificaciones obtenidas no son completas para todos los parámetros (ir a anexo 41).

Tabla 22. Resultados ADL para mayo

PH	FYO	DQO	DQO	SAAM	SST	NT	FT
3-4	3-4	3-4	3-4	3-4			
5-4	4-5	4-5					
5-3	5-3			5-3		5-3	
6-5	6-5	6-5			6-5		

- **Junio**

El mes de junio las estaciones de Carrera Séptima y Avenida Ferrocarril se clasificaron por sus características similares para los parámetros de FYO, DBO, DQO, SST, NT y FT. Igualmente cuentan con una relación superior a 0,5; pero en este caso no se cumple para todos los parámetros lo cual impide tomarlo como opción dentro de la propuesta, como se muestra en la tabla 26 (ir a anexo 42).

Tabla 23. Resultados ADL para abril

PH	FYO	DBO	DQO	SAAM	SST	NT	FT
	2-3	2-3	3-2		2-3	2-3	2-3

- **Julio**

Para este mes las estaciones de Avenida Boyacá y Carrera séptima son significantes para FYO, DBO, DQO, SAAM, SST, FT; a su vez Carrera séptima se relaciona con Avenida ferrocarril Y Avenida de las Américas. Se puede observar en la tabla 27 que la estación de Avenida ferrocarril es significativa en todos los parámetros y se tiene en cuenta al momento del análisis, mas sin embargo no se clasifica junto con ninguna estación para todos los parámetros; lo que indica que existe una relación entre las cuatro estaciones (ir a anexo 43).

Tabla 24. Resultados ADL para julio

PH	FYO	DBO	DQO	SAAM	SST	NT	FT
	5-2	5-2	5-2	5-2	5-2		5-2
	3-2	3-2	3-2	2-3	2-3		
3-4	3-4	4-3	4-3		4-3	4-3	
		3-5	3-5	3-5	3-5	3-5	3-5

- **Agosto**

El mes de agosto presenta relaciones entre las estaciones de Avenida Ferrocarril y Avenida de las Américas, gracias a la tabla 28 se identifica que se realizaron las clasificaciones por similitudes para estas dos estaciones y que cuentan con una alta relación entre sus datos; En base a lo anterior se evidencia que para pH y NT no se obtuvo clasificación, por ende no se toma en cuenta al momento de la propuesta (ir a anexo 44).

Tabla 25. Resultados ADL para agosto

PH	FYO	DBO	DQO	SAAM	SST	NT	FT
	3-4	3-4	3-4	3-4	3-4		3-4

- **Septiembre**

El mes de septiembre como se muestra en la tabla 29 presenta relación en las estaciones de Avenida ferrocarril y Avenida de las américas con FYO, DQO, SAAM y SST; también las estaciones de Zona franca y Alameda se relacionan con los parámetros de PH, SST y NT, pero estas relaciones no se toman en el análisis ya que no son comunes en todos los parámetros. Adicional a esto se puede evidenciar que para DBO y FT no hay pares de estaciones significantes en este mes (ir a anexo 45).

Tabla 26. Resultados ADL para septiembre

PH	FYO	DBO	DQO	SAAM	SST	NT	FT
	4-3		4-3	4-3	4-3		
7-8					8-7	8-7	

- **Octubre**

El mes de octubre por su parte presenta altas correlaciones entre las estaciones, pero para el NT no se tienen clasificaciones por similitudes. Mas sin embargo se resalta se evidencia similitudes entre la estación de Avenida ferrocarril, Avenida Boyacá y Visión Colombia en algunos parámetros; aunque su relación es alta, esta no se toma en cuenta en la propuesta ya que aplica a algunos parámetros solamente como se identifica en la tabla 30 (ir a anexo 46).

Tabla 27. Resultados ADL para octubre

PH	FYO	DBO	DQO	SAAM	SST	NT	FT
6-5	6-5	6-5			6-5		6-5
5-3	5-3		5-3	5-3	5-3		
6-7	6-7	6-7	6-7		6-7		

- **Noviembre**

El mes de noviembre tiene en común las estaciones Avenida ferrocarril y Avenida de las américas para todos los parámetros como se puede ver en la tabla 31. La estación de Avenida Boyacá también presenta significancia para PH, FYO, DBO y SST; la estación de Zona franca se relaciona con Carrera séptima y Avenida Ferrocarril aunque con menos parámetros en común.

Las estaciones de Avenida ferrocarril y Avenida de las Américas se tienen en cuenta en el momento del análisis y comparación con las otras tecnologías, por lo mencionado anteriormente (ir a anexo 47).

Tabla 28. Resultados ADL para noviembre

PH	FYO	DBO	DQO	SAAM	SST	NT	FT
3-2	3-2	3-2	3-2				
4-3	4-3	4-3	4-3	4-3	4-3	4-3	4-3
5-4	5-4	5-4			5-4		

- Diciembre**

En el caso del mes de Diciembre se evidencia que en el ADL se generaron clasificaciones con similitudes para la mayoría de los parámetros y se afirma que si existe una relación alta dentro de las estaciones. Mas sin embargo al momento corroborar todos los parámetros; no todos fueron clasificados de la misma forma; es por esto que las relaciones establecidas acá no se tendrán en cuenta a la hora del análisis.

Como se puede ver en la tabla 32 las estaciones de Carrera séptima, Avenida ferrocarril y Delirio son similares en todos los parámetros menos PH y tienen alta significancia (ir a anexo 48).

Tabla 29. Resultados ADL para diciembre

PH	FYO	DBO	DQO	SAAM	SST	NT	FT
	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1
	4-1	4-1	4-1	4-1			4-1
	3-1	3-1	3-1	3-1	3-1	3-1	3-1
	4-2	4-2	4-2	4-2		4-2	4-2
3-2	3-2	3-2	3-2	3-2		3-2	3-2
	3-4	3-4	3-4	3-4		3-4	3-4

A pesar que para los resultados con el ADL no proporcionaron clasificaciones para todos los parámetros, esto indica que la similitud entre estaciones no aplica completamente y no se pueden quitar estaciones; en complemento a esto se realizó la prueba de Pairwise, con la cual se obtuvieron similitudes para los meses de Septiembre y Octubre en todas las estaciones y parámetros, se tomaron en cuenta los meses con significancia mayor a 0,5.

8.3.2. TUNJUELO

8.3.2.1. LDA POR PARÁMETRO VS ESTACIÓN DEL RIO TUNJUELO

A continuación se presenta la variación de cada uno de los parámetros en cada una de las estaciones tomando los datos de manera mensual multianual; posteriormente se representara la prueba de Tukey con la que se identifican que pares de estaciones presentan mayor correlación.

- **Demanda Biológica de Oxígeno**

En la tabla 33 se observan los rangos establecidos por el ADL en cada una de las estaciones, las clasificaciones en la estación Regadera clasifico 57 mediciones dentro de su rango, al igual que la estación Transversal 86; las demás estaciones presentan altas variabilidades y las clasificaciones de sus mediciones se distribuyen en varios rangos, como es el caso de la estación UAN que 39 de sus observaciones clasifican en el rango de la estación Regadera. Las mediciones de las estaciones Puente Independiente e Isla Pontón San José, están contenidas dentro de los rangos de la estación transversal 86

Tabla 30. Resultados ADL para Demanda Biológica de Oxígeno

Estación	Rango (mg/l)
Regadera	0 – 21,1
UAN	21,3 – 36,9
Doña Juana	66 – 105
Yomasa	107 – 139
Barrio México	38,3 – 65,6
San Benito	157 – 273
Makro	140 – 155
Transversal 86	429 – 899
Puente Independiente	418 – 427
Isla Pontón San José	278 – 407

Según el anexo 49 las estaciones en las que el comportamiento de la DBO es muy parecido a lo largo de los años, son Regadera y UAN con una correlación de 0,99; San Benito y UAN tienen una correlación entre ellas de 0,98; UAN y Yomasa se correlacionan entre sí con un 0,61; Yomasa y San Benito cuentan con una correlación de 0,99 y por ultimo Yomasa y Barrio México tienen una correlación del 0,93.

- **Nitrógeno Total**

En la tabla 34 se muestran los rangos de cada estación del Rio Tunjuelo, generados por el ADL, donde la estación Regadera clasifica 56 observaciones correctamente dentro de su rango. Con respecto a la estación Transversal 86 el rango de esta agrupa las observaciones de Puente Independiente e Isla Pontón San José con 21 clasificaciones las dos; las estaciones restantes presentan mediciones en todos los rangos es decir presentan mucha variabilidad.

Tabla 31. Resultados ADL para Nitrógeno Total

Estación	Rango (mg/l)
Regadera	0 – 2,11
UAN	2,14 – 4,71
Doña Juana	4,753 – 7,23
Yomasa	11,93 – 17,8

Barrio México	7,32 – 11,89
San Benito	17,96 – 20,1
Makro	20,253 – 29,79
Transversal 86	46,07 – 115,67
Puente Independiente	42,66 – 45,684
Isla Pontón San José	30,68 – 42,08

En el anexo 49 se representa la prueba de Tukey, en la que 4 pares de estaciones tienen una correlación entre sus datos; pero ninguna supera el 0,5 para afirmar que hay una similitud en el comportamiento de las mismas a lo largo del año.

- **Demanda Química de Oxígeno**

Según el ADL cada estación tiene un rango en el cual se encuentra la mayoría de datos de las mismas, a continuación en la tabla 35 se presentan dichos rangos. Además los datos arrojados se evidencia que para el rango uno las estaciones Regadera y UAN presentan clasificaciones 50 y 38 respectivamente; al igual que los parámetros anteriores las mediciones de las estaciones Puente Independiente e Isla Pontón San José están contenidas dentro del rango de la estación Transversal 86.

Tabla 32. Resultados ADL para Demanda Química de Oxígeno

Estación	Rango (mg/l)
Regadera	0 – 21,1
UAN	21,3 – 36,9
Doña Juana	66 – 105
Yomasa	107 – 139
Barrio México	38,3 – 65,6
San Benito	157- 273
Makro	140 – 155
Transversal 86	429 – 899
Puente Independiente	418 – 427
Isla Pontón San José	278 – 407

En el anexo 49 se identifican 3 pares de estaciones que tienen una alta correlación con respecto a las demás duplas, pero no la suficiente para concluir que son semejantes; a excepción de las estaciones Makro y Doña Juana que tienen una correlación de 0,86 entre ellas.

- **Sustancias Activas al Azul de Metileno**

Según el ADL se obtuvo los rangos en los que oscilan los datos de cada estación se representan en la tabla 36; y las clasificaciones de cada una de las estaciones en los respectivos rangos entre las que ellas fluctúan de las estaciones Regadera a Makro clasifican sus mediciones en el rango de la estación Regadera.

Tabla 33. Resultados ADL para Sustancias Activas al Azul de Metileno

Estación	Rango (mg/l)
Regadera	0 – 0,27
UAN	0,75 – 1
Doña Juana	1,02 – 1,85
Yomasa	0,28 – 0,56
Barrio México	0,57 – 0,7
San Benito	1,88 – 2,83
Makro	2,94 – 4,52
Transversal 86	5,86 – 5,99
Puente Independiente	4,56 – 5,72
Isla Pontón San José	6,08 – 22,2

En el anexo 49 se identifican 8 duplas de estaciones de las cuales 6 tienen una buena correlación; entre ellas se encuentran Regadera con Doña Juana, Regadera con Barrio México, Doña Juana con Barrio México, UAN con Doña Juana, UAN con Barrio México y por ultimo Transversal 86 con Puente Independiente, correlaciones entre 0,6 a 0,99.

- **Solidos Suspendidos Totales**

En la tabla 37 se establecen los rangos en los que los datos de cada una de las estaciones oscilan.

Tabla 34. Resultados ADL para Solidos Suspendidos Totales

Estación	Rango (mg/l)
Regadera	0 – 34
UAN	35 – 59
Doña Juana	165 – 180
Yomasa	650 – 5295
Barrio México	60 – 85
San Benito	124 – 164
Makro	87 – 122
Transversal 86	234 – 586
Puente Independiente	180 – 194
Isla Pontón San José	195 – 233

En el anexo 49 se observa que 21 pares de estaciones tienen una correlación superior a 0,5; en los valores más altos con una correlación de 1 se encuentran Yomasa y Puente Independiente. Con correlaciones de 0,9 se encuentran las duplas de Isla Pontón San José con cada una de las estaciones de Puente Independiente, Yomasa y San Benito; Puente Independiente tiene correlación además con San Benito, Makro y Barrio México; las siguientes duplas con correlaciones altas son Makro con Yomasa, San Benito, Barrio México y UAN; y por ultimo lo conforman la estación Barrio México con Yomasa, San Benito,

UAN y Regadera, esta última estación presenta una correlación de 0,99 con la estación UAN.

También hay grupos de estaciones que se correlacionan pero en menor proporción, dicho anteriormente ninguna está por debajo de 0,5 estas duplas son UAN con cada una de las estaciones de San Benito, Yomasa y Puente Independiente, seguidas de Isla Pontón San José con Makro y por ultimo Transversal 86 con Puente Independiente San José.

- **Fosforo Total**

Los rangos generados por el ADL para el parámetro fosforo total se establecen en la tabla 38

Tabla 35. Resultados ADL para Fosforo Total

Estación	Rango (mg/l)
Regadera	0 – 0,25
UAN	0,26 – 0,75
Doña Juana	1,52 – 2,09
Yomasa	8,5 – 54,6
Barrio México	0,77 – 1,5
San Benito	2,14 – 2,46
Makro	2,47 – 3,53
Transversal 86	4,91 – 8,48
Puente Independiente	3,6 – 4,64
Isla Pontón San José	4,66 – 4,9

En el caso del parámetro fosforo total la prueba de Tukey en el anexo 49, se presenta 18 pares de estaciones que se correlacionan entre sí, 8 de ellas tienen una correlación del 0,9 Barrio México con UAN.

7.3.2.1. LDA POR PARÁMETRO MENSUAL DEL RIO TUNJUELO

Para poder obtener correlaciones más acertadas se realizó el ADL para cada uno de los meses de cada uno de los parámetros, de igual manera que en el numeral 7.3.2.1., con el fin de realizar una optimización de manera temporal y así corroborar los datos con las otras dos metodologías establecidas.

A continuación se presentan las tablas de cada mes en los que se identifican las duplas de estaciones que sus datos se manejan en los mismos rangos para todos los parámetros.

- **Enero**

En la tabla 39 se presentan los pares de estaciones en las que sus datos tiene el mismo comportamiento en sus datos , la estación Regadera y UAN tienen el mismo comportamiento en todos los parámetros exceptuando la DBO; las

parejas de Yomasa con Doña Juana y Yomasa con Barrio México sus datos oscilan en los mismos rangos para los parámetros de DBO, DQO, NT y SST.

Las estaciones Yomasa y Makro se correlacionan de manera óptima con valores de 0,9 como lo muestra el anexo 50 en la mayoría de parámetros, y las estaciones UAN y Barrio México para el mes de enero se comportan iguales en todos los parámetros por ende es la única dupla que se tiene en cuenta para la propuesta.

Tabla 36. Resultados ADL para enero

DBO	DQO	FT	NT	SAAM	SST
	1-2	2-1	2-1	2-1	1-2
3-4	4-3		4-3		3-4
3-5	3-5		3-5		3-5
5-2	5-2	5-2	5-2	5-2	5-2
7-3	7-3	7-3	7-3		

- **Febrero**

Según la tabla 40 las estaciones Doña Juana y Barrio México se comportan de manera similar en los parámetros DBO, DQO, NT y SAAM, pero difieren en los parámetros de FT y SST como se observa en la tabla. Mientras que las estaciones Regadera y UAN se comportan exactamente igual en todos los parámetros dado que sus correlaciones son bastante altas como lo muestra la gráfica de febrero en el anexo 51.

Tabla 37. Resultados ADL para febrero

DBO	DQO	FT	NT	SAAM	SST
4-5	4-5		4-5	5-4	
2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1

- **Marzo**

Para el mes de marzo las estaciones UAN con San Benito y Regadera con Yomasa se correlacionan entre si durante dicho mes, menos en los parámetros NT, DQO y SAAM; a diferencia de las estaciones Yomasa con San Benito y Regadera con UAN se distribuyen en los mismos rangos establecidos y la correlación es bastante alta según el anexo 52 del mes de marzo generado por el ADL por eso se concluye que son iguales en cuanto a su comportamiento según la tabla 41.

Tabla 38. Resultados ADL para marzo

DBO	DQO	FT	NT	SAAM	SST
5-2	5-2	5-2		5-2	5-2
5-3	3-5	3-5	5-3	3-5	5-3

3-1		3-1	3-1		3-1
2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1

- **Abril**

Los pares de estaciones se presentan en la tabla 42, son San Benito con Makro, Yomasa con Makro y UAN con San Benito tienen el mismo comportamiento en sus datos, pero en el parámetro SAAM dicho comportamiento varía; todo lo contrario a la correlación que presentan los datos para las estaciones Yomasa con San Benito y Regadera con UAN, donde los 6 parámetros se distribuyen en los mismos rangos dado que según el anexo 53 son correlaciones muy cercanas a 1.

Tabla 39. Resultados ADL para abril

DBO	DQO	FT	NT	SAAM	SST
6-5	6-5	6-5	6-5		6-5
3-5	3-5	3-5	5-3	5-3	3-5
6-3	6-3	6-3	6-3		6-3
5-2	5-2	5-2	5-2		5-2
1-2	1-2	2-1	2-1	2-1	2-1

- **Mayo**

Las estaciones Regadera con UAN, Regadera con Yomasa y Yomasa con San Benito según la tabla 43 son las estaciones que tienen el mismo comportamiento para los 6 parámetros, además en la gráfica para el mes de mayo según el anexo 54 y la tabla 43, tienen una buena correlación ya que superan la línea vertical lo que indica que supera el valor de 0,5

Tabla 40. Resultados ADL para mayo

DBO	DQO	FT	NT	SAAM	SST
2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	1-2
3-1	3-1	3-1	3-1	3-1	3-1
3-5	5-3	5-3	5-3	5-3	3-5

- **Junio**

Para el mes de junio la estación UAN tiene buena correlación tanto con la estación San Benito como con la estación Regadera según el anexo 55; y en la tabla 44 se establece que la distribución de datos en las estaciones Regadera y UAN es igual para todos los parámetros, mientras que UAN y San Benito en el parámetro DBO sus datos se distribuyen en diferentes rangos.

Tabla 41. Resultados ADL para junio

DBO	DQO	FT	NT	SAAM	SST
1-2	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1
	5-2	5-2	5-2	2-5	5-2

- **Julio**

A pesar de que en el anexo x las estaciones Yomasa con Barrio México tienen correlaciones cercanas a 1 para DBO, DQO, NT y SAAM para los parámetros de FT y SST no hay una buena correlación según la tabla 45 para asumir que dichas estaciones tienen el mismo comportamiento en el mes de julio como lo muestra el anexo 56.

Tabla 42. Resultados ADL para julio

DBO	DQO	FT	NT	SAAM	SST
4-3	4-3		4-3	3-4	

- **Agosto**

El mes de agosto tiene 5 parejas de estaciones que tienen una buena correlación, como lo muestra el anexo 57; y en la tabla 46 se identifica que estas correlaciones se dan para todos los parámetros, es decir este mes es aquel que tiene mayores posibilidades de una reducción de mediciones, por ejemplo las estaciones Regadera, UAN y Yomasa manejan los mismos datos por ende se sugiere solo hacer uso de una sola estación en vez de medir en las tres estaciones. Caso similar ocurre con las estaciones Regadera con Barrio México, Barrio México con Yomasa y UAN con Barrio México donde la estación Barrio México comparte rangos con las demás estaciones por ende esta estación podría ser medida sin necesidad de medir las estaciones con las que se correlacionan.

Tabla 43. Resultados ADL para agosto

DBO	DQO	FT	NT	SAAM	SST
3-1	3-1	3-1	3-1	3-1	3-1
3-2	3-2	3-2	3-2	3-2	3-2
5-1	5-1	5-1	5-1	5-1	5-1
3-5	3-5	3-5	5-3	3-5	3-5
5-2	5-2	5-2	5-2	5-2	5-2
2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1

- **Septiembre**

Las estaciones Regadera, UAN y San Benito registran los mismos valores según el anexo 58, es decir las correlaciones entre si son bastante altas; esta correlación entre estas estaciones se da en todos los parámetros como lo muestra la tabla 47. a pesar de que este mes es el más variable se identifica

que nos es necesario medir en las tres estaciones, podría reducirse a la estación UAN y San Benito para el mes de septiembre.

Tabla 44. Resultados ADL para septiembre

DBO	DQO	FT	NT	SAAM	SST
5-1	5-1	5-1	5-1	5-1	5-1
5-2	5-2	5-2	5-2	5-2	5-2
2-1	2-1	2-1	2-1	2-1	2-1

- **Octubre**

En el mes de octubre la estación San Benito se correlaciona con las estaciones Regadera y UAN según el anexo 59 pero en la tabla 48, se identifica que para el parámetro NT dicha correlación no es mayor a 0,5; mientras que para las estaciones UAN con Yomasa, Yomasa con Barrio México y Regadera con UAN si se correlacionan en su totalidad para el mes de octubre.

Tabla 45. Resultados ADL para octubre

DBO	DQO	FT	NT	SAAM	SST
3-2	3-2	3-2	3-2	3-2	3-2
5-2	5-2	5-2		5-2	5-2
5-1	5-1	5-1		5-1	5-1
3-5	3-5	3-5	5-3	3-5	3-5
2-1	1-2	2-1	2-1	2-1	2-1

- **Noviembre**

La estación Regadera para el mes de noviembre tiene relación en sus datos con las estaciones UAN y San Benito para todos los parámetros, pero por la distancia entre la regadera con san Benito, tiene más probabilidad que en este mes la estación regadera sea medida por UAN y no por San Benito, dichos datos se evidencian en el anexo 60 y la tabla 49.

Tabla 46. Resultados ADL para noviembre

DBO	DQO	FT	NT	SAAM	SST
6-1	6-1	6-1	6-1	6-1	6-1
2-1	2-1	1-2	2-1	1-2	1-2

- **Diciembre**

Diciembre es el único mes en el cual ninguna dupla de estaciones se correlaciona en su totalidad según la tabla 50 donde siempre hay parámetros donde no tienen similitud. Las combinaciones de estaciones con mayor correlación en sus estaciones so Regadera con UAN con 4 parámetros donde

sus datos son iguales, Barrio México con Regadera tienen similitud también en 4 de sus parámetros, y por ultimo las estaciones Barrio México con UAN difieren solamente en el parámetro de SAAM como se muestra en el anexo 61.

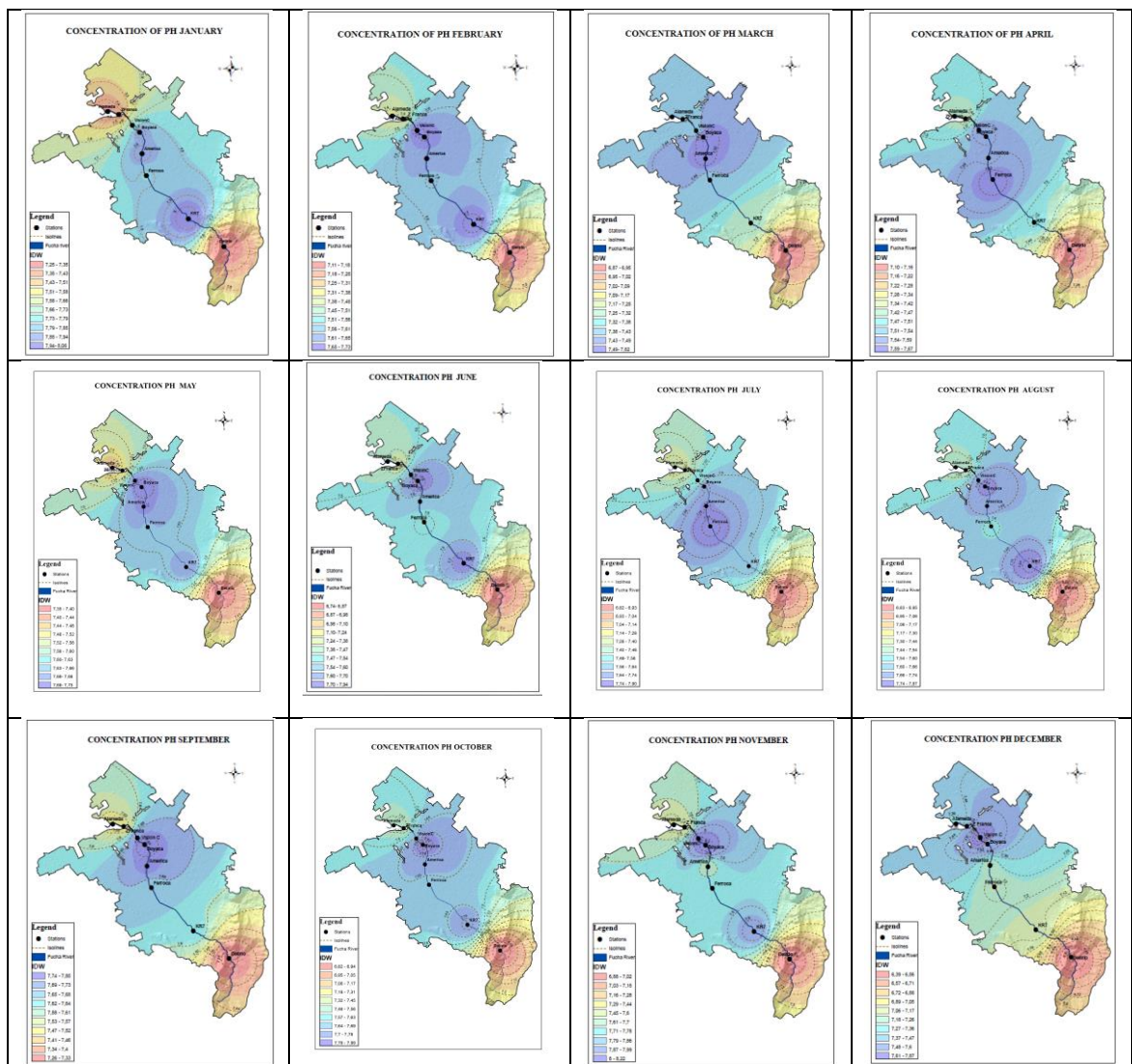
Tabla 47. Resultados ADL para diciembre

DBO	DQO	FT	NT	SAAM	SST
	2-1	2-1	2-1		1-2
5-1		5-1		5-1	5-1
2-5	5-2	5-2	5-2		5-2

8.2. IDW

8.2.1. FUCHA

- pH



En el río Fucha el comportamiento del pH varía durante todo el año, para el mes de enero tenemos valores bajos en la estación de Delirio, Alameda y Zona Franca. El resto de estaciones oscilan en valores altos de 7,85 a 8,05 unidades; para el resto de los meses del año la estación de Delirio se mantiene con los datos más bajos.

Los valores altos de pH se mueven en las estaciones de Visión Colombia, América, Avenida Boyacá, Avenida ferrocarril y carrera séptima con valores de 7,8 a 8,10 unidades. En los meses de febrero, mayo, Julio, Septiembre Y noviembre el pH baja aguas abajo del río llegando al río Bogotá.

- **Grasas y Aceites**

Para el parámetro de grasas y aceites los valores más bajos se presentan en las estaciones de Delirio, Carrera séptima, Avenida ferrocarril en la mayoría de los meses del año. El comportamiento a lo largo del río es similar mes a mes, se evidencia el comportamiento en aumento que tiene este parámetro a medida que las concentraciones suben; de esta forma la estación de Alameda registra lo que le llega aguas arriba como se muestra en el anexo 62.

- **Demanda Biológica de Oxígeno**

En el anexo 63 la Demanda Biológica de Oxígeno para la estación de Delirio es baja en todos los meses del año, mientras que las estaciones de la Carrera séptima, Avenida Ferrocarril, Avenida de las Américas, Avenida Boyacá presentan un cambio en disminución de las concentraciones desde el mes de marzo a Diciembre con un pico de aumento en los meses de Agosto, septiembre, octubre y noviembre. En cuanto a las estaciones de Zona Franca, Visión Colombia y Alameda se mantienen todo el año con las concentraciones más altas esto puede darse por que son las estaciones río debajo de la red.

- **Demanda Química de Oxígeno**

En el anexo 64 la Demanda Química de Oxígeno para la estación de Delirio es baja en todos los meses del año, las estaciones de Zona Franca, Visión Colombia y Alameda se mueven en el rango de concentraciones altas durante todo el año, lo mencionado se puede comparar con el boxplot de este parámetro donde se evidencia el mismo comportamiento.

La Carrera séptima, Avenida Ferrocarril, Avenida de las Américas, Avenida Boyacá por otro lado cambian de altos registros a bajos desde enero a Agosto; desde ahí hasta el mes de noviembre se observa un leve aumento en las concentraciones pero al mes de Diciembre estas estaciones registran los valores más bajos del año.

- **Sustancias Activas al Azul de Metileno**

En el anexo 65 las Sustancias Activas Al Azul De Metileno para la estación de Delirio es baja en todos los meses del año, al igual que los parámetros

anteriores, el comportamiento de las concentraciones va en disminución a lo largo del año para las estaciones de Zona Franca, Visión Colombia y Alameda se mueven en el rango de concentraciones altas durante el año con excepción del mes de septiembre donde solo Visión Colombia se mantiene en un rango alto de 9-11 mg.L-1.

Para las estaciones de la Carrera séptima, Avenida Ferrocarril, Avenida de las Américas, Avenida Boyacá el comportamiento es más variado, altas contracciones de enero a junio y bajan de julio a diciembre de una forma menos drástica de cómo lo eran en los parámetros anteriores.

- **Nitrógeno Total**

A partir de los mapas en el anexo 66 la se observa que la estación de Delirio se mantiene, no muestra cambios en ningún mes similar a las estaciones de Zona Franca, Visión Colombia y Alameda estas reciben la concentración de las demás estaciones y sus registros son los más altos durante el año con disminuciones de Julio a Diciembre. Para las estaciones de la Carrera séptima, Avenida Ferrocarril, Avenida de las Américas, Avenida Boyacá el comportamiento es descendiente en cuanto a la concentración de nitrógeno; estas se mueven en un rango de 40 a 6 mg N.L-1.

- **Fosforo Total**

Para el Fosforo total el comportamiento es muy similar al del Nitrógeno Total Delirio se mantiene en todos los meses, y Zona Franca, Visión Colombia y Alameda se mueven entre las concentraciones más altas en todos los meses; disminuyendo en forma paulatina de Enero a Diciembre, lo anterior se puede corroborar con la gráfica de Boxplot. Las estaciones de la Carrera séptima, Avenida Ferrocarril, Avenida de las Américas, Avenida Boyacá van disminuyendo sus concentraciones mes a mes como lo muestra el anexo 67.

- **Solidos Suspendidos Totales**

En el anexo 68 los Solidos Suspendido Totales presentan un comportamiento más estable con respecto a los demás parámetros, la estación de Delirio sigue siendo la que presenta mediciones más bajas en todo el año. También Zona Franca, Visión Colombia y Alameda siguen registrando los valores más altos en este parámetro por estar aguas abajo del rio, lo anterior se puede corroborar con la gráfica de boxplot.

En cuanto a la estación de la Carrera séptima aumenta las concentraciones en los meses de Marzo, Julio, Septiembre, Octubre y Diciembre. La Avenida Ferrocarril disminuye sus concentraciones del mes de Enero a Diciembre al igual que la estación de Avenida de las Américas y Avenida Boyacá.

8.2.2. TUNJUELO

- **Demanda Biológica de Oxigeno**

En el anexo 69 la Demanda Biológica de Oxígeno para la estación de Regadera y UAN manejan los mismos rangos durante el año, presentan valores muy bajos, cosa similar ocurre con las estaciones de Puente Independiente, Isla Pontón San José y Transversal 86 que registran los valores más altos. En si todos los meses el Rio Tunjuelo se presenta una dinámica similar es decir la DBO aumenta a lo largo del rio, pero hay una peculiaridad para el mes de septiembre donde la estación de Yomasa presenta un valor muy elevado con respecto a los demás registros mensuales.

- **Sustancias Activas al Azul de Metileno**

En el anexo 70 las Sustancias Activas Al Azul De Metileno para las estaciones de Regadera y UAN son las más bajas durante todo el año, solo en los meses de mayo, agosto, octubre y noviembre las estaciones de Yomasa y Doña Juana también están presentes en este rango; el valor más alto para SAAM lo registran la estación de Transversal 86 en todos los meses y en septiembre y diciembre la estación Yomasa también registra valores supremamente altos.

- **Demanda Química de Oxígeno**

En el anexo 71 la demanda química de oxígeno en los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, agosto y octubre se comporta de manera ascendente desde la estación Regadera hasta la estación Isla Pontón San José, y en los meses de junio, julio, septiembre, noviembre y diciembre las estaciones de Yomasa y Doña Juana presentan concentraciones elevadas que difieren con su comportamiento habitual.

- **Fosforo Total**

La distribución del parámetro fosforo total a lo largo del rio Tunjuelo es ascendente en general pero se presentan elevaciones de las mediciones en la estación Doña Juana, producto de los vertimientos del Relleno Sanitario Doña Juana con mediciones de 7,8 a 11, 5 mg/l como lo muestra el anexo 72.

9. ANALISIS DE RESULTADOS

En primera instancia se debe decir que los parámetros Oxígeno Disuelto, Caudal y Coliformes Fecales para Fucha y Grasas y Aceite, Oxígeno disuelto, Coliformes Fecales. pH y Caudal para Tunjuelo, son variables que no son importantes en el estudio, ya que no aportan mucha variabilidad en los datos de cada uno de los ríos.

Teniendo los parámetros especificados, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis para cada uno de ellos; esta prueba arrojó que los datos debían ser manejados por estación y por mes, excluyendo de este proyecto variables como la Hora Inicial y Hora final de toma de muestreo. Cabe resaltar que para algunos parámetros se obtuvo una significancia con la Hora Inicial; pero esta no fue tomada en cuenta ya que el procesamiento de sus datos es muy extenso y no se podrían implementar las mismas metodologías ya que también tendría que tenerse en cuenta variables cualitativas como observaciones climáticas.

Para el río Fucha es clave mencionar, que los resultados evidenciaron que el comportamiento de la estación de Delirio es muy variable dentro del río, esta estación registra las concentraciones más bajas de todos los parámetros; factor que puede estar dado por su ubicación a aguas arriba del río. En base a lo anterior esta estación no se tiene en cuenta en el momento de proponer un escenario de mejora.

Para el análisis de clúster conglomerado o dendogramas, se empleó el método Ward, este método utiliza un análisis de varianza para evaluar las distancias entre clúster, tratando de minimizar la suma de los cuadrados de cualquiera de los dos grupos que pueden ser formados en cada paso, lo que permite que sea muy eficiente. Adicionalmente, para la evaluación de la calidad del clúster dada por el dendrograma, se realizó un análisis de siluetas, el cual examina la distancia entre los elementos de un clúster y la distancia entre clúster, identificando si la asignación de un elemento en un grupo es la mejor o si por el contrario esta no hace parte del mismo; adicionalmente se utilizó el test de pairwise para corroborar la significancia entre los grupos formados en el clúster.

Para la distribución espacial por parámetros se obtuvo que para DBO se agrupen las estaciones de visión Colombia, Zona franca y alameda, al igual que para NT, DQO, SAAM, SST, FT Y Grasas y aceites. Para estos mismos parámetros se obtuvo una significancia alta en la estación de Zona franca; gracias al test de wilcox esta estación es común para estos parámetros menos para PH. Este parámetro presentó una agrupación de Zona franca con Alameda con una correlación de 70% según la silueta; pero en el test de wilcox no se evidenció alguna significancia en Zona franca.

Para la distribución temporal de los datos se realiza mensual por estación, se resalta que no se encontró una agrupación significativa entre los meses y las agrupaciones resultantes de los clúster no representan altas correlaciones. Para la estación de delirio se obtuvo una relación entre los meses de Agosto y

junio con un 64% de correlación, mientras que para alameda los meses de Octubre y septiembre se agrupan con un 64%.

La estación de Avenida de las américas relaciono los meses de Junio, Julio, agosto, Febrero y Noviembre con un 50% de correlación. Avenida de Boyacá por su parte con un 57% de correlación agrupa a marzo y octubre, para la estación de ferrocarril se tienen los meses de marzo mayo y julio con 57%. La estación de carrera séptima agrupa mayo y Julio con un 59%.

La estación de visión Colombia agrupo febrero, abril y noviembre con significancia baja de 60%, para finalizar Zona franca agrupo Agosto y Septiembre con un valor de 63%. Como se evidencia anteriormente las agrupaciones obtenidas no presentaron similitud entre estaciones ni meses.

En la variación espacial para el rio Tunjuelo los parámetros de DBO y DQO, las estaciones Regadera, UAN Y Mexico presentan agrupaciones y altas correlaciones entre ellas. En cuanto al parámetro de NT la agrupación optima se da entre las estaciones de Regadera, UAN Y Mexico ademas San Benito con Makro. Los parámetros SAAM y FT Doña Juana es la que presenta mayores valores y presenta agrupaciones con otras estaciones pero dado que esta estación recibe altas cargas de estos parámetros no se tendrá en cuenta para la agrupación en estos parámetros; también se encuentra las agrupaciones de Isla Pontón San José con Puente Independiente, Puente Independiente con Transversal 86 e Isla Pontón San José con transversal 86.

Mientras que en la variación temporal para el rio Tunjuelo en la estación Regadera los valores medidos en mayo y junio son los mismos; la estación UAN presenta esta particularidad en los meses de mayo, octubre y noviembre seguido de los meses de agosto y septiembre y por ultimo enero. febrero y marzo se relacionan también entre sí. La estación de Yomasa tiene datos similares en los meses de abril y octubre, por otro lado mayo y agosto; mientras que la estación de Doña Juana no presenta gran variación a lo largo del año por lo que las agrupaciones que se presentaban contenían varios meses.

La estación de Barrio México presenta una agrupación entre los meses de mayo, junio, septiembre y octubre, mientras que la estación de San Benito solo se toma en cuenta la agrupación entre los meses de abril y octubre, ya que la silueta evidencia que las otras agrupaciones no son adecuadas, dichos meses también se presentan en la estación Makro Autosur aunque con una relación negativa, la otra agrupación que se presenta es febrero, marzo y diciembre. Transversal 86 abril y septiembre, junio y agosto.

En cuanto al ADL para la distribución espacial por parámetro, se obtuvo que para los parámetros de DBO, DQO,FT para SAAM (Ferrocarril-Américas-Boyacá y Zona franca-Alameda), NT no hay ninguna significancia entre estaciones, en base a la relación entre los rangos obtenidos por cada estación. Para los parámetros de PH, GYA Y SST se relacionaron las estaciones de Avenida ferrocarril y Avenida de las Américas; aunque esta relación muestra

alta significancia, no se toma en cuenta en la propuesta ya que solo se evidencio para tres parámetros.

En cuanto a la distribución temporal se obtuvieron significancias para la estación de Avenida ferrocarril, para los meses de Agosto, también en noviembre y adicional Avenida de las américas. Estas estaciones son las únicas que se tendrán en cuenta a la hora a una propuesta, ya que para los otros meses no todos los parámetros tuvieron relación entre estaciones. Como lo fue en enero, febrero, marzo, mayo, junio, septiembre y diciembre.

Es importante resaltar que algunos meses presentaron relación entre estaciones en todos sus parámetros, pero no se encontró una estación que fuera común para todos. Para el mes de abril, la estación de Boyacá y carrera séptima tuvieron fuerte presencia, menos en SAAM, NT, FT y SAAM, PH respectivamente. En el mes de julio la estación de Avenida Boyacá no tuvo presencia en PH y NT únicamente, en el mes de agosto Avenida Boyacá y Avenida de las américas están presentes en todos los parámetros menos NT; y finalmente diciembre, donde Delirio y Carrera séptima se relacionan en todas menos en PH.

Ya que los resultados del ADL para Fucha no presentaron alguna relación que se pueda utilizar en la propuesta, se tiene en cuenta los resultados temporales de wilcox, estos arrojaron que los meses de septiembre y octubre tienen alta significancia para todos los meses y todas las estaciones.

En el análisis discriminante lineal DBO las estaciones que se relacionan son Regadera y UAN, para la DQO no hay agrupaciones significantes, las que se organizan en este parámetro no supera la significancia. El siguiente parámetro que se evaluó fue SAAM donde la estación Regadera con Doña Juana y Barrio México. En cuanto a los SST es el parámetro que más correlaciones tiene debido a que los rangos en los que se manejan las estaciones son muy comunes entre ellas como por ejemplo Yomasa y Puente Independiente. Isla Pontón San José con cada una de las estaciones de Puente Independiente, Yomasa y San Benito; Puente Independiente tiene correlación además con San Benito, Makro y Barrio México.

Además el ADL se realizó de manera mensual es decir la comparación en la que las estaciones se relacionaran totalmente, por ejemplo en el mes de enero, abril las estaciones UAN y Barrio Mexico miden las mismas concentraciones de todos los parámetros, para el mes de marzo, abril, mayo, junio, agosto ; San Benito y Yomasa marzo, mayo Yomasa con San Benito en el mes de abril regadera con Yomasa en mayo, agosto UAN con Yomasa

Los resultados de las interpolaciones dejan ver y corroborar el comportamiento de la estación de Delirio en el rio, adicional en el mes de diciembre se disminuyen las concentraciones de todos los parámetros. Es importante mencionar que las estaciones de Zona franca y Alameda son las que registran los datos más altos para todas los parámetros, menos para PH, estas estaciones se mueven en los mismos rangos de concentración en cada uno de

los meses en todos los parámetros; aclarando que cada mes registra diferentes rangos en los que se mueven las concentraciones.

Se evidencia que para la mayoría de los parámetros, los meses presentan el mismo comportamiento, en los primeros meses del año se registran valores altos, y a medida que transcurre el año; estas van disminuyendo. Los meses de Agosto, Septiembre y Octubre son similares para todos los parámetros en todos los meses como se evidenció en cada uno de los mapas.

10.CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el Análisis discriminante lineal por distribución temporal, pudieron variar debido a que dentro de los rangos que se establecieron para algunos parámetros no se evidenciaron todas las estaciones, algunas estaban contenidas dentro de otros; y esto pudo inferir en el análisis de los mismos.

Para el río Tunjuelo el análisis jerárquico presentó resultados diferentes a los resultados que se generaron por las metodologías de LDA e IDW, por consiguiente se le dio principal importancia a la metodología de LDA y de IDW para el análisis de este río.

Inicialmente las estaciones Regadera y UAN son muy similares por ende se debería monitorear solo UAN, teniendo en cuenta que si se realiza un análisis horario dicha decisión podría modificar. No es eficiente distribuir las mediciones en las estaciones para misma frecuencia pero diferente espacialidad.

En los meses de marzo, abril, mayo, agosto y octubre se monitorean los 6 parámetros en la estación de Yomasa ya que esta registra los mismos valores que se registran en Barrio México. En los meses de febrero, marzo, abril, mayo, junio, agosto, septiembre, octubre y Noviembre se debe monitorear en la estación UAN y no en la estación Regadera.

La estación Barrio México registra las mismas concentraciones de la estación UAN para enero, agosto y septiembre; y también registra iguales

concentraciones en agosto y septiembre para la estación Regadera, por consiguiente se monitorea en la estación Barrio México en los meses ya mencionados

La estación Yomasa debe de ser medida en los meses de mayo y agosto, y dejar de monitorear las estaciones Regadera y UAN, dado que UAN y Regadera para dichos meses presentan las mismas concentraciones; en el mes de septiembre se monitorean todas las estaciones menos Regadera, ya que tiene el mismo comportamiento que la estación Barrio México. Por último la estación Regadera para el mes de noviembre puede monitoreada bien sea por San Benito o la Estación UAN.

Para el río Fucha se propone que se miran los parámetros de todas las estaciones en septiembre o en octubre ya que cualquiera de estos dos meses presenta el mismo comportamiento en cada una de las variables, para la RCHB puede omitir alguno de estos meses en este río.

Gracias a los resultados del IDW se obtiene que se puede quitar la estación de Zona franca ya que esta y Alameda están registrando lo mismo en todos los meses, para todos los parámetros.

11.RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar las metodologías con los datos por hora inicial, e implementar las observaciones climáticas, encontrando otra metodología o bien modificando las variables cualitativas en cuantitativas es decir categorizándolas.
- Se sugiere que se evalúen las mejoras propuestas por temporalidad y espacialidad en términos de costos, ya que los resultados de este trabajo representan un gran ahorro para la ciudad.

12. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Secretaria Distrital de Ambiente de Bogota, «Diagnostico POMCA Tunjuelo,» Bogota D.C., 2007.
- [2] C. d. B. D.C., «INFORME DE AUDITORÍA GUBERNAMENTAL CON ENFOQUE INTEGRAL MODALIDAD ESPECIAL A LA OPERATIVIDAD DE LA RED DE MONITOREO DEL RECURSO HÍDRICO SUPERFICIAL,» Bogota D.C. , 2010.
- [3] W. W. K. B. ,. J. M. G. H. Chen Qiuwen, «Optimization of water quality monitoring network in a large river by combining measurements, a numerical model and matter-element analyses,» *Journal of Environmental Management*, p. 124, 2012.
- [4] M. O. M. &. S. Karmakar, «Assessment and rationalization of water quality monitoring network: A multivariate statistical approach to the Kabbini River (India),» *Environmental Science and Pollution*, p. 22, 2014.
- [5] J. K. &. J. J. Kaluarachchi, «Development of a decision-making methodology to design a water quality monitoring nertwork,» *Environmental Monitoring and Assessment*, pp. 1-14, 2015.
- [6] C. Peña, A. Torres y H. Luna, «Análisis espacial por dendogramas de los determinantes DBO5, DQO, SST, SAAM, NT Y PT sobre el río Tunjuelo

en la ciudad de Bogota,» 2014.

- [7] F. D. D. L. D. P. A. –. C. D. F. LTDA, «DIAGNOSTICO SANITARIO AMBIENTAL CANAL DEL RIO FUCHA Y CANAL DE LOS COMUNEROS LOCALIDAD DE PUENTE ARANDA BOGOTÁ,» Bogota D.C. , 2013.
- [8] S. D. d. Ambiente, «DESCRIPCIÓN Y CONTEXTO DE LAS CUENCAS HÍDRICAS DEL DISTRITO CAPITAL (TORCA, SALITRE, FUCHA Y TUNJUELO),» Bogota D.C., 2015.
- [9] Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogota, «Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos,» Bogota D.C., 2006.
- [10] U. d. l. Andes, «Calidad del sistema hidrico de Bogota,» Bogota D.C., 2008.
- [11] Secretaria distrital de ambiente y Acueducto de Agua y Alcantarillado de Bogota, «Calidad del sistema hidrico de Bogota,» Pontificia Universidad Javeriana, Bogota Colombia, 2008.
- [12] Alcaldia mayor de Bogota, «Diagnostico Local con Participacion Social - Localidad de Kennedy,» Bogota D.C., 2009.
- [13] Alcaldia Mayor de Bogota , «Diagnostico Local con Participacion Social - Localidad de Tunjuelito,» Bogota, D.C., 2009 - 2010.
- [14] Alcaldia Mayor de Bogota Secretaria General, «Portal Bogota,» [En línea]. Available: <http://www.bogota.gov.co/Localidades>. [Último acceso: 03 2016].
- [15] Secretaria de Habitat, «Diagnostico Localidad de Tunjuelito,» Bogota, D.C..
- [16] Ambiente, Secretaria Distrital de, «VIII Fase del Programa de Seguimiento y Monitoreo de Efluentes Industriales y Corrientes Superficiales de Bogota D.C.,» Bogota, D.C. , 2005.
- [17] S. d. Planeacion, «Diagnostico de los aspectos fisicos, demograficos y socioeconomicos,» Bogota, 2009.
- [18] Decretaria Distrital de Ambiente, «RESOLUCIÓN 3957 DE 2009,» junio 2009. [En línea]. Available: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=37051>.

[Último acceso: 12 2015].

- [19] SDA, «RESOLUCIÓN 5731 DE 2008,» 30 Diciembre 2008. [En línea]. Available:
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=37554>.
[Último acceso: 12 2015].
- [20] Corporacion Autonoma Regional CAR, «Acuerdo 046 de 2006,» 2006. [En línea]. Available:
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=22067>.
[Último acceso: 02 08 2016].
- [21] P. D. R. Robert O. Strobl, «Network design for water quality monitoring of surface freshwaters: A Review,» *Journal of Environmental Management*, pp. 1-10, 2007.
- [22] P. D. R. R. D. S. R. L. D. R. O. STROBL, «AWATER QUALITY MONITORING NETWORK DESIGN METHODOLOGY FOR THE SELECTION OF CRITICAL SAMPLING POINTS: PART I,» *Environmental Monitoring and Assessment*, pp. 1-22, 2006.
- [23] P. D. R. R. L. D. R. D. S. R. O. STROBL, «AWATER QUALITY MONITORING NETWORK DESIGN METHODOLOGY FOR THE SELECTION OF CRITICAL SAMPLING POINTS: PART II,» *Environmental Monitoring and Assessment*, pp. 1-16, 2006.
- [24] S. o. C. a. E. E. G. I. o. T. Multimedia Environmental Simulations Laboratory, «Optimal water quality monitoring network design for river systems,» *Journal of Environmental Management*, pp. 1-12, 2009.
- [25] M. Rodriguez Susa, «Calidad del recurso hidrico de Bogota (2008-2009),» Bogota D.C., 2009.
- [26] M. Rodriguez, L. Porras, A. Perez, L. Rodriguez y S. Medina, «Calidad del recurso hidrico de Bogota (2009-2010),» Bogota D.C., 2010.
- [27] M. Rodriguez, L. Porras, A. Perez, L. Rodriguez y S. Medina, «Calidad del recurso hidrico de Bogota (2010-2011),» Bogota D.C., 2011.
- [28] M. Rodriguez, L. Porras, A. Perez y F. Zamora, «Calidad del recurso hidrico de Bogota (2011-2012),» Bogota D.C. , 2012.
- [29] M. Rodriguez, L. Porras, A. Martinez y N. Ramirez, «Calidad del recurso

hidrico de Bogota (2012-2013),» Bogota D.C. , 2013.

- [30] L. C. M. Olarte, «Análisis estadístico multivariado de los parámetros de calidad del agua en vertimientos urbanos en la ciudad de Bogotá,» Bogotá D.C., 2006.
- [31] CVC, «Caracterización de la calidad del agua en el río Cauca y sus tributarios,» Cauca, 2010.
- [32] «Parámetros de contaminación,» España, 2006.
- [33] «Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas».
- [34] R Development Core Team, «Introducción a R».
- [35] C. Colina y P. Roldan, «El Análisis de Componentes Principales: Aplicación al Análisis de Datos Secundarios,» *Revista de Sociología*, p. 33.
- [36] G. Bruno, «Proceso de Análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones,» [En línea]. Available: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/toskano_hg/cap3.pdf. [Último acceso: 05 2016].
- [37] Universidad de Castilla La Mancha, «Anova un factor y Kruskal-Wallis,» España: UCML.
- [38] E. Chavez y N. Lopez, «Caracterización de los municipios de la provincia de Lima usando los indicadores de gestión municipal mediante análisis factorial y análisis cluster,» Lima, 2005.
- [39] Software R, «Pairwise t tests,» [En línea]. Available: <https://stat.ethz.ch/R-manual/R-devel/library/stats/html/pairwise.t.test.html>. [Último acceso: 6 2016].
- [40] Universidad Nacional de Colombia, «Introducción a la Geoestadística».
- [41] F. J. M. Garc, «Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales,» *Ecosistemas*, vol. 13, nº 1, pp. 78-86, 2004.
- [42] QGIS, «Análisis Espacial (Interpolación),» 06 2016. [En línea]. Available: https://docs.qgis.org/2.8/es/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html.

- [43] Secretaria Distrital de Ambiente, «Proceso para el calculo del WQI,» Bogota D.C..
- [44] E. Galvis y E. Guzman, «Métodos estadísticos aplicados a las ciencias sociales / G.V. Glass, J.C. Stanley,» [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/31638004_Metodos_estadisticos_aplicados_a_las_ciencias_sociales_GV_Glass_JC_St Stanley_tr_por_Elsa_Galvis_Gomez_Eugenia_Guzman.
- [45] P. K. b. J. O. k. M. Chilundo a, «Design of a water quality monitoring network for the Limpopo River Basin,» *Science Direct*, 2008.
- [46] S.-L. L. P.-T. C. L. A. P. T. Huu Tuan Do, «Design of sampling locations for mountainous river monitoring,» *Science Direct* , 2012.
- [47] I. L. V. PUERTO, «APLICACIÓN DE TÉCNICA DE OPTIMIZACIÓN MEDIANTE ALGORITMOS GENETICOS PARA CALIBRACIÓN DE MODELO QUAL2K COMO UNA APROXIMACIÓN A LA MODELACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE LOS PRINCIPALES RÍOS DE LA ZONA URBANA DE BOGOTÁ D. C.,» 2007. [En línea]. Available: <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/3805/1/VeraPuertoIsmaleLeonardo2007.pdf>. [Último acceso: 29 09 2015].
- [48] L. y. E. M. J. F. Cano Casas, «Diseño de redes de monitoreo apoyadas por herramientas SIG y modelación geoespacial,» Marzo 2011. [En línea]. Available: http://www.unesco.org.uy/shs/fileadmin/phi/aqualac/AquaLAC-Numero1-Vol3_-_pag_18_a_25_-_1111.pdf. [Último acceso: 29 08 2015].
- [49] Universidad de los Andes, «Calidad del Recurso Hidrico de Bogota 2012-2013,» Bogota D.C., 2013.
- [50] C. Peña y D. Zamora, «Determinacion de las concentraciones de SST, DBO5, NT, PT, SAAM, GyA en el rio Tunjuelo, Bogota D.C. a traves de mpodelos de redes neuronales tipo feed-forward,» 2013.
- [51] Nilgun B. Harmanciogluokan; Fistikoglu, Sevinc D; Ozkul, Vijayp; Singh, M; Necdet Alpaslan, Water Quality Monitoring Network Design, United States OF America: in-Chief, 1999.
- [52] «Journal of the American Water Resources Association,» de *Twenty Years of New Zealand's National Rivers Water Quality Network: Benefits of Careful Design and Consistent Operation*, 2011, pp. 750-771.

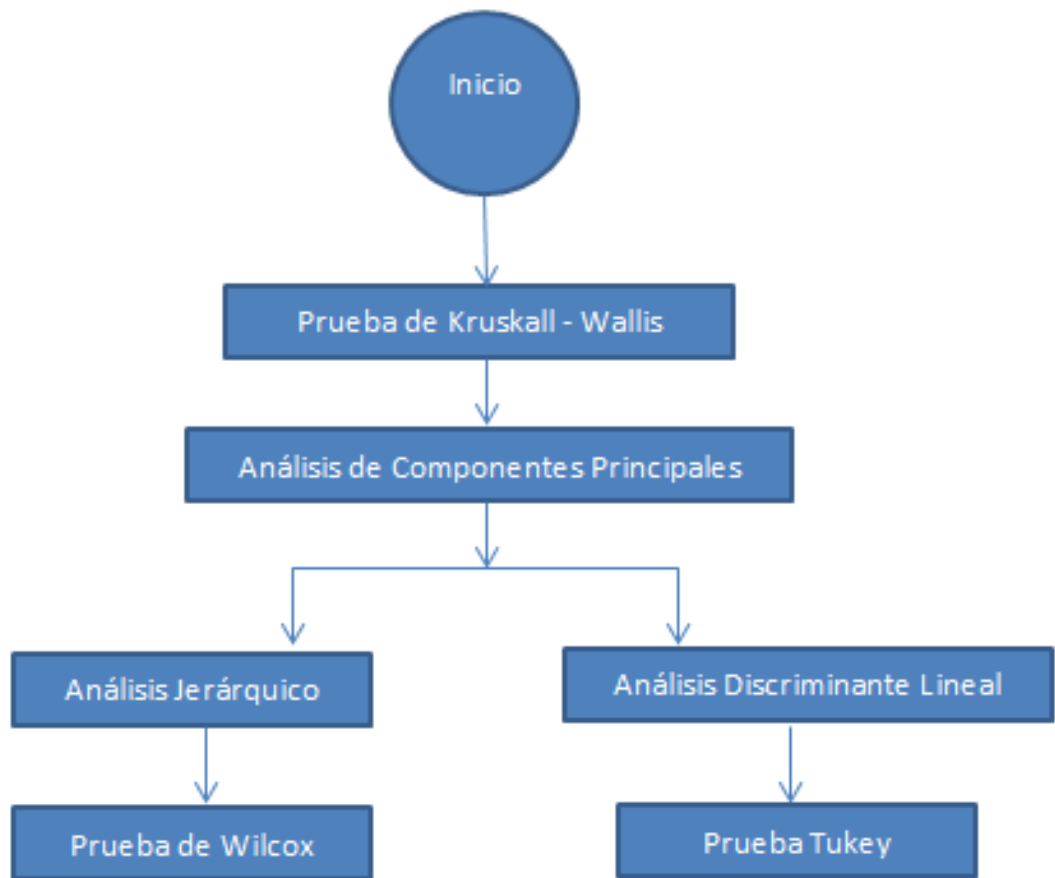
- [53] NILGUN B. HARMANCIOGLU, OKAN FISTIKOGLU, SEVINC D. OZKUL, VIJAYP. SINGH, M. NECDET ALPASLAN, WATER QUALITY MONITORING NETWORK DESIGN, United States OF America: in-Chief, 1999.
- [54] «JOURNAL OF THE AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION,» de *TWENTY YEARS OF NEW ZEALAND'S NATIONAL RIVERS WATER QUALITY NETWORK: BENEFITS OF CAREFUL DESIGN AND CONSISTENT OPERATION*, 2011, pp. 750-771.
- [55] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, «Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas,» Bogotá, D.C., 2004.
- [56] Dirección de Ambiente y Ruralidad, «Caracterización y lineamientos ambientales Operación Estratégica Parque corredor ecológico Río Fucha,» Bogotá D.C. , 2013.

ANEXOS

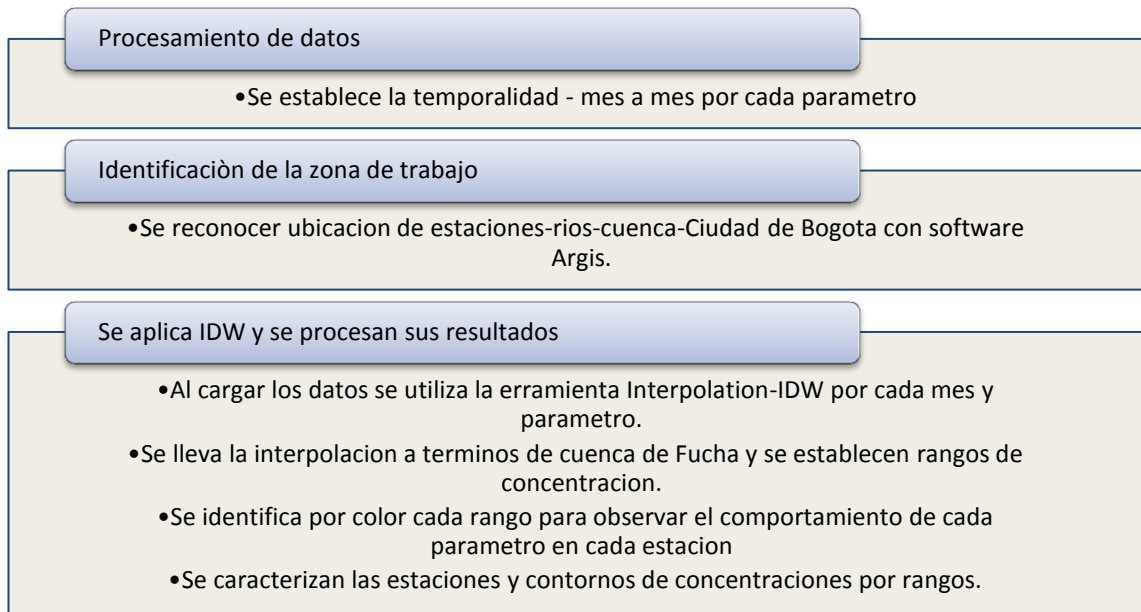
Anexo 1. Matriz de metodologías

NOMBRE	AÑO	METODOLOGIA	RESUMEN	RESULTADO	HERRAMIENTAS	DATOS DE ENTRADA
A neural network approach to multiobjective optimization for water quality management in a river basin	1988	neural network	La metodología que plantea el artículo es una red neuronal con una técnica de programación multiobjetivo, es decir desarrollo económico y calidad ambiental trabajando el mínimo costo del tratamiento de las aguas residuales y la maximización de la capacidad de asimilación de la carga de contaminación en toda la cuenca del río Tou-Chen. El propósito de este estudio es ilustrar el potencial de las redes neuronales para predecir las preferencias de decisión en relación con los objetivos para el estudio, ya mencionadas anteriormente adicional se presenta un algoritmo como estrategia para buscar una relación costo-efectividad de dichos objetivos.	Mediante el uso de este método, los problemas de la mejora de la calidad del agua del río para beber, la reducción del costo económico del tratamiento de aguas residuales, y la asignación de la carga permisible se pueden resolver de una manera equitativa. Utilizando las soluciones de NI, son R = eliminación equitativa de las aguas residuales = 74%, Ca - 1.0 mg/L, capacidad de asimilación = 3154 BOD 5 kg/d, y un costo = \$NT 204 millones/año	- un algoritmo multiobjetivo - base de datos - Datos de entrada - objetivos	- BOD (5 días demanda bioquímica de oxígeno) concentración en el alcance primero (mg / L) - Z2 costo del tratamiento de aguas residuales en toda la cuenca (millones de \$ NT / año) - Río Z3 capacidad de asimilación (carga total de contaminación permitida) de DBO5 (kg BOD / d) - Ci, s estándar de DBO5 del alcance i (mg / L); - Q caudal o río por encima del primer tramo (103 m3 / d) Caudal de río Q i en el punto de partida de su alcance i (103 m3 / d); - Q = caudal del río en la mitad del camino de su alcance ii = 3 4 6 (103 m3 / d); - caudal del río en la segunda mitad de su alcance i, i = i 6 (103 m3 / d) - K = coeficiente de degradación BOD desde el punto de partida del alcance i (1 / km) - xi distancia desde el punto de partida del alcance i (km) - x * distancia desde la mitad del alcance i, i - 6 (km) - R = eliminación equitativa de las aguas residuales
Design of river water quality monitoring networks: a case study	2009	Algoritmo genético y método Kriging and AHP combinando (geoestadística). El desarrollo de estos modelos permite la optimización de la red de calidad hídrica en el río con el fin de evaluar estaciones y frecuencias teniendo en cuenta parámetros de espacio y tiempo entre otros.	El artículo plantea una propuesta de optimización de la red de calidad del agua a partir de la elección de indicadores de calidad del agua, seguido a esto la zonificación del sistema de calidad de agua, la localización opcional de las estaciones de monitoreo y la elección de frecuencia de monitoreo a partir de la aplicación de metodologías, la primera es la combinación de geoestadística y un proceso de jerarquización analítico (AHP), para las estaciones potenciales de monitoreo se utilizó una combinación de método Kriging y AHP. Y por último el modelo GA, el cual minimiza la concentración de las variables de calidad del agua elegidos. Estos modelos fueron aplicados para Karoon y Dez Rivers en la parte sureste de Irán.	Principalmente los resultados fueron principalmente la elección de indicadores como DBO, DQO, sólidos disueltos totales para calidad del agua, de 25 estaciones extintentes se utilizaron 13 estaciones para el análisis con el método kriging, resulta un mapa en 2 dimensiones con las posibles estaciones de monitoreo, los resultados del algoritmo genético arrojaron posibles estaciones potenciales de monitoreo; estos resultados se compararon y 11 de las estaciones coinciden con los métodos de kriging y GA. Y adicional a esto en la última recopilación de los resultados se establecen las frecuencias que se deben tener en cuenta para el monitoreo para cada uno de los indicadores de calidad de agua elegidos anteriormente.	- software -Estandares en parámetros de calidad del agua -Datos básicos de la red de calidad del agua	- Capas de la información geográfica de la zona de estudio y capas de ubicación de las estaciones de monitoreo - Información de las estaciones de monitoreo - parámetros de calidad del agua

Anexo 2. Diagrama de flujo de la metodología de la estadística multivariada

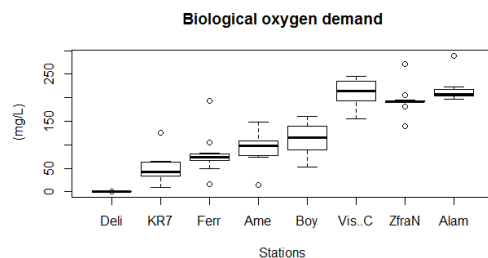


Anexo 3. Diagrama de flujo de la metodología de geoestadística

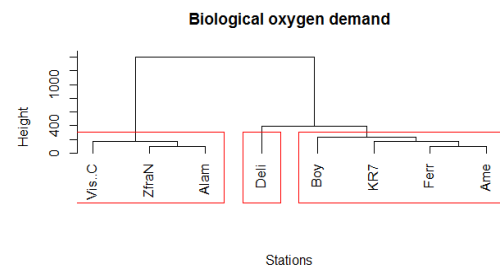


Anexo 4. Variación espacial demanda biológica de oxígeno del río Fucha

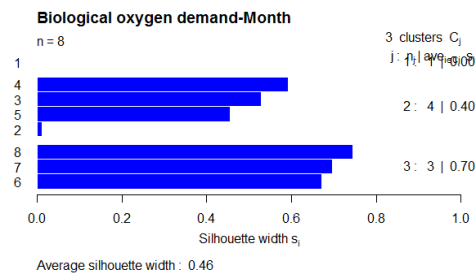
Gráfica 7. Boxplot Demanda Biológica de oxígeno



Gráfica 9. Clúster Demanda Biológica de Oxígeno

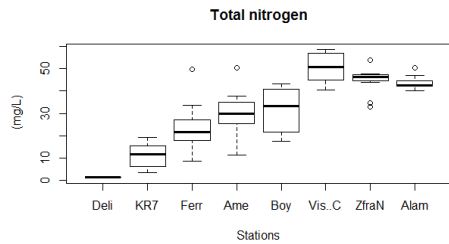


Gráfica 8. Silueta Demanda Biológica de Oxígeno

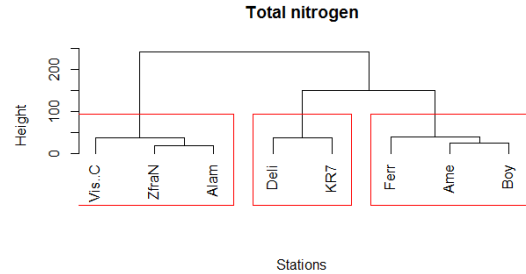


Anexo 5. Variación espacial Nitrógeno total del rio Fucha

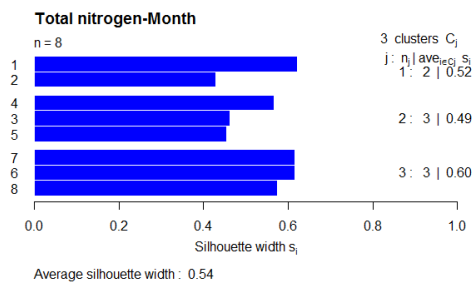
Gráfica 10. Boxplot Nitrógeno total



Gráfica 12. Clúster Nitrógeno Total

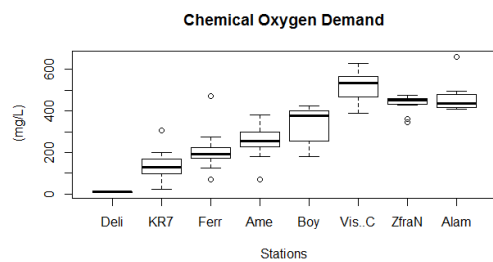


Gráfica 11. Silueta Nitrógeno total

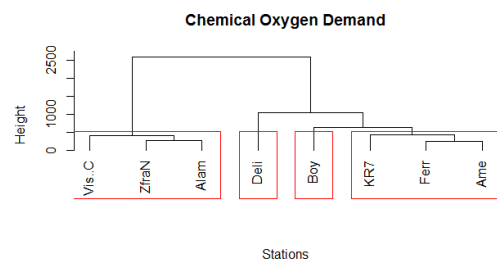


Anexo 6. Variación espacial demanda química de oxígeno del rio Fucha

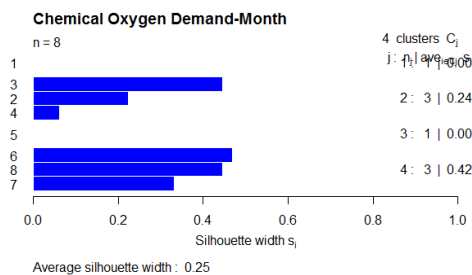
Gráfica 13.Boxplot Demanda Química de oxígeno



Gráfica 15. Clúster Demanda Química de Oxígeno

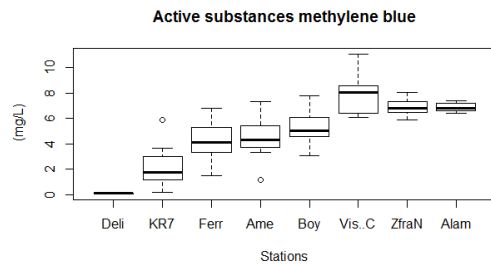


Gráfica 14. Silueta Demanda Química de Oxígeno

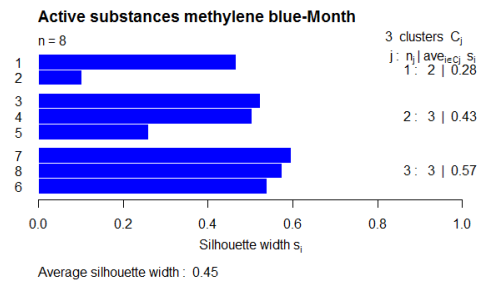


Anexo 7. Variación espacial demanda sustancias activas de azul de metileno del rio Fucha

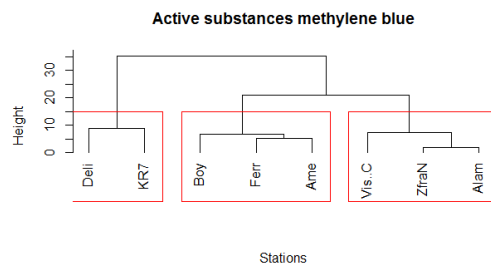
Gráfica 16. Boxplot Sustancias activas de azul de metileno



Gráfica 18. Silueta Sustancias activas de azul de metileno

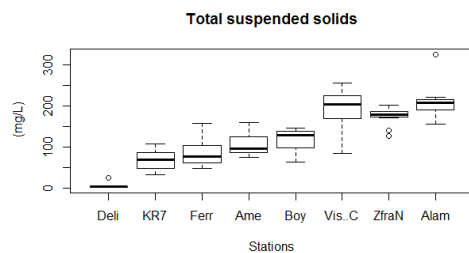


Gráfica 17. Clúster Sustancias activas de azul de metileno

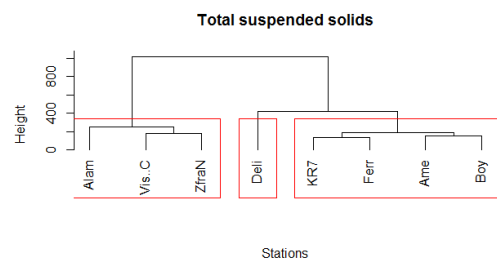


Anexo 8. Variación espacial Solidos Suspendidos Totales del rio Fucha

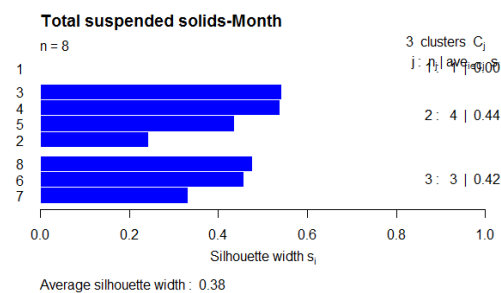
Gráfica 19. Boxplot Solidos suspendidos totales



Gráfica 21. Clúster Solidos suspendidos totales

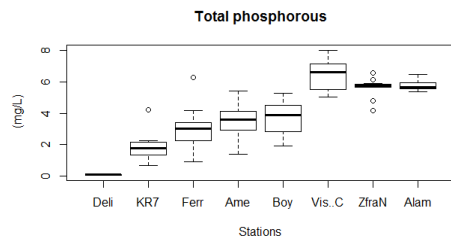


Gráfica 20. Silueta Solidos suspendidos totales

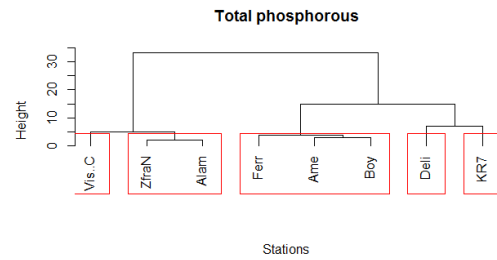


Anexo 9. Variación espacial Fosforo Total del rio Fucha

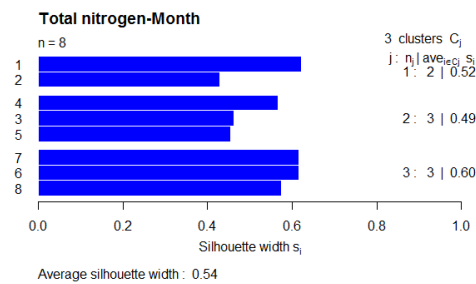
Gráfica 22. Boxplot Fosforo total



Gráfica 23. Clúster Fosforo Total

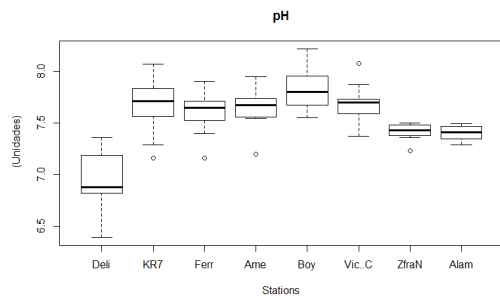


Gráfica 24. Silueta Fosforo Total

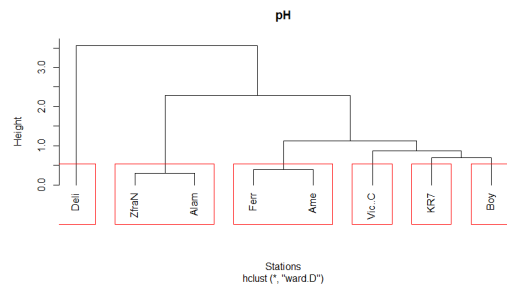


Anexo 10. Variación espacial pH del rio Fucha

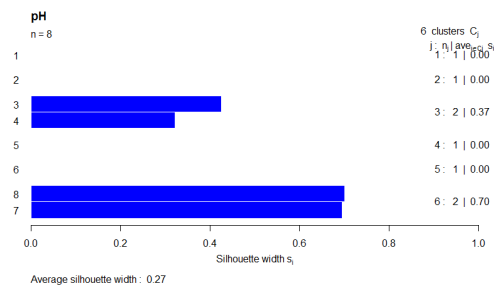
Gráfica 25. Boxplot pH



Gráfica 27. Clúster pH

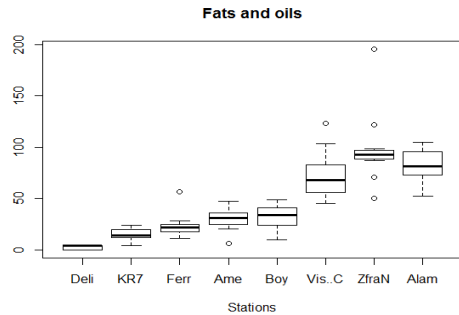


Gráfica 26. Silueta pH

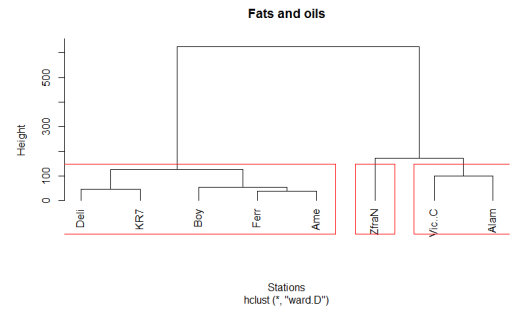


Anexo 11. Variación espacial Grasas y Aceites del rio Fucha

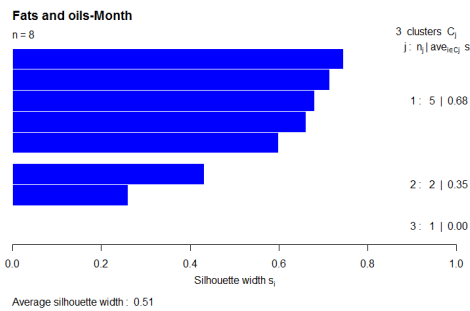
Gráfica 28.Boxplot Grasas y Aceites



Gráfica 30. Clúster Grasas y Aceites

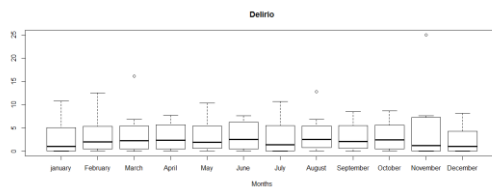


Gráfica 29. Silueta Grasas y Aceites

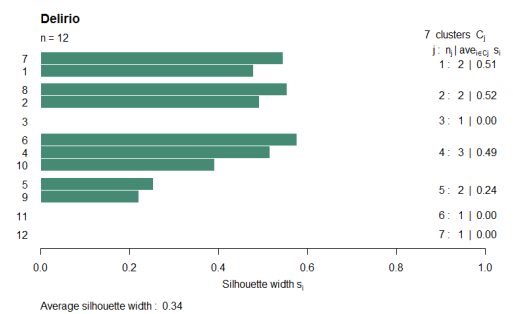


Anexo 12. Variación temporal Estación Delirio del rio Fucha

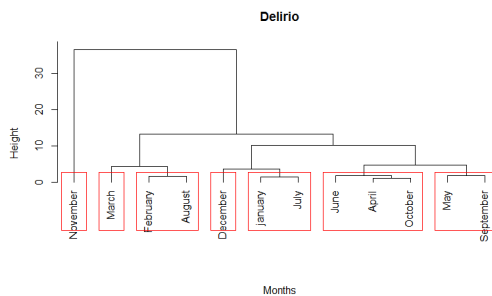
Gráfica 31. Boxplot Estación Delirio



Gráfica 33. Silueta Estación Delirio

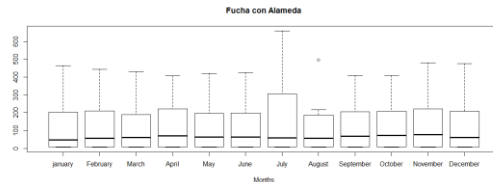


Gráfica 32. Clúster Estación Delirio

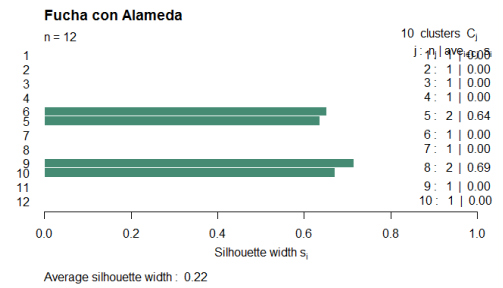


Anexo 13. Variación temporal Estación Alameda del rio Fucha

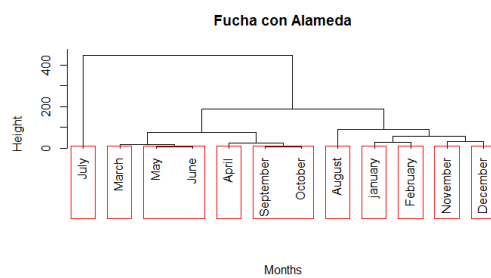
Gráfica 34. Boxplot Estación Fucha con alameda



Gráfica 36. Silueta Estación Fucha con alameda

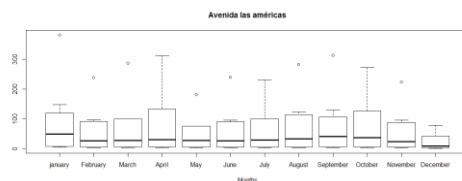


Gráfica 35. Clúster Estación Fucha con alameda

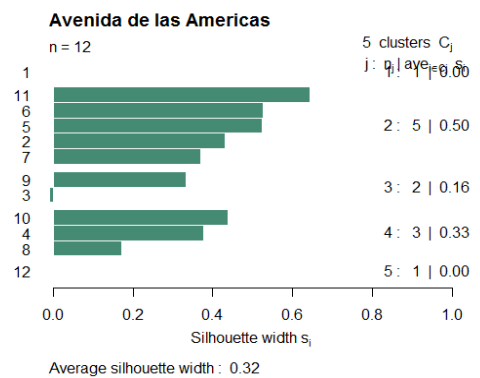


Anexo 14. Variación temporal Estación Avenida las américas del rio Fucha

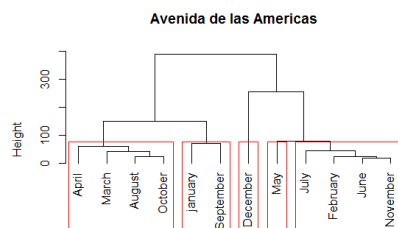
Gráfica 37. Boxplot Estación Avenida las américas



Gráfica 39. Silueta Estación Avenida las américas

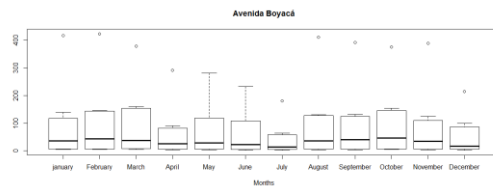


Gráfica 38. Clúster Estación Avenida las américas

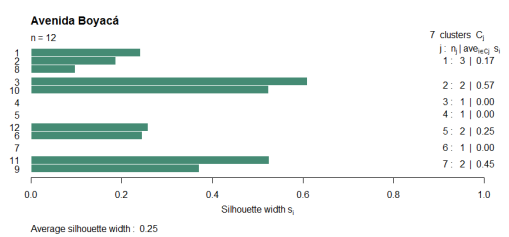


Anexo 15. Variación temporal Estación Avenida Boyacá del rio Fucha

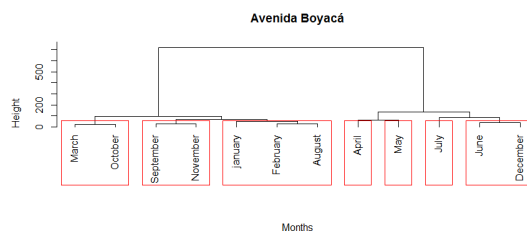
Gráfica 40. Boxplot Estación Avenida Boyacá



Gráfica 42. Silueta Estación Avenida Boyacá

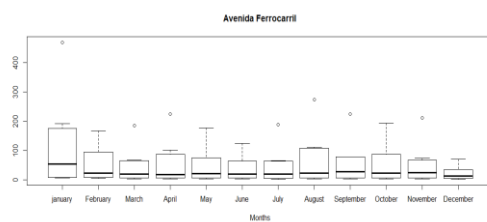


Gráfica 41. Clúster Estación Avenida Boyacá

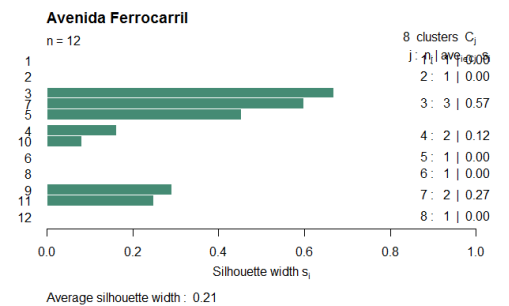


Anexo 16. Variación temporal Estación Avenida Ferrocarril del rio Fucha

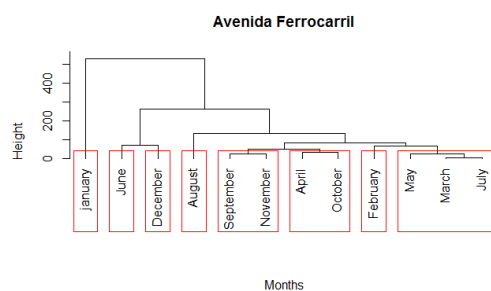
Gráfica 43. Boxplot Estación Avenida Ferrocarril



Gráfica 45. Silueta Estación Avenida Ferrocarril

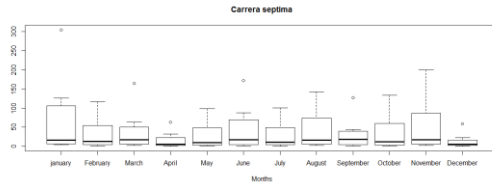


Gráfica 44. Clúster Estación Avenida Ferrocarril

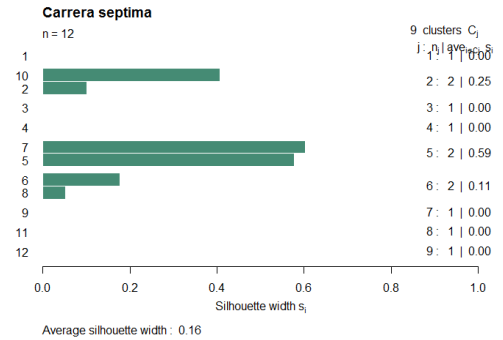


Anexo 17. Variación temporal Estación Carrera Séptima del rio Fucha

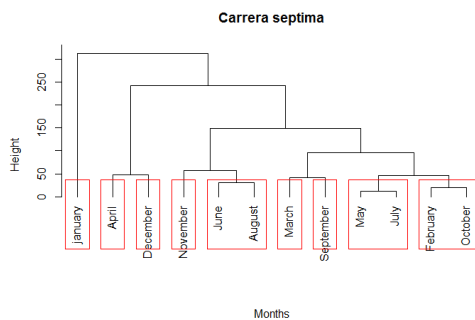
Gráfica 46. Boxplot Estación Carrera Séptima



Gráfica 48. Silueta Estación Carrera Séptima

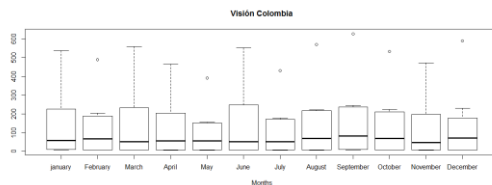


Gráfica 47. Clúster Estación Carrera Séptima

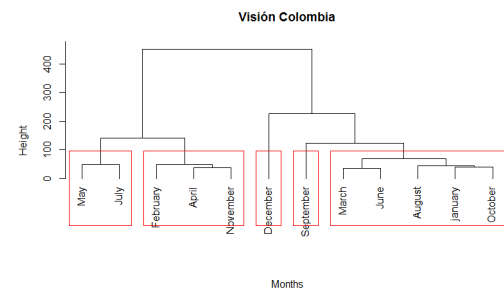


Anexo 18. Variación temporal Estación Visión Colombia del rio Fucha

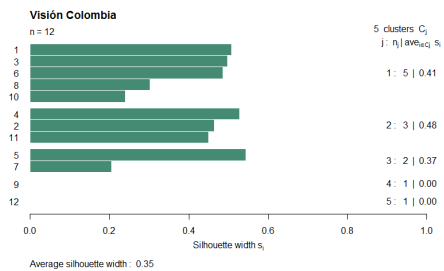
Gráfica 49. Boxplot Estación Visión Colombia



Gráfica 50. Clúster Estación Visión Colombia

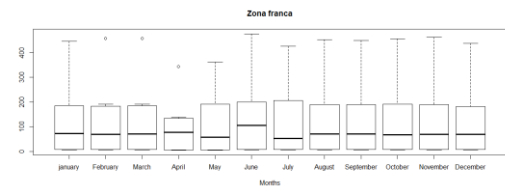


Gráfica 51. Silueta Estación Visión Colombia

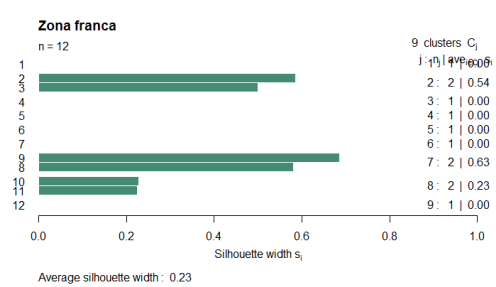


Anexo 19. Variación temporal Estación Zona franca del rio Fucha

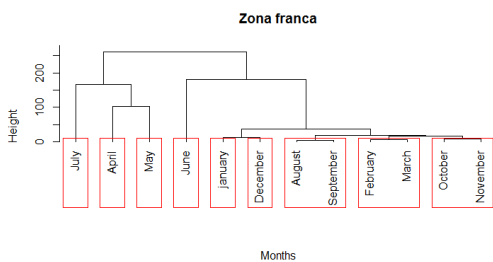
Gráfica 52. Boxplot Estación Zona franca



Gráfica 54. Silueta Estación Zona franca

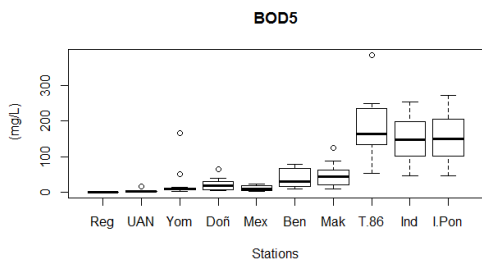


Gráfica 53. Clúster Estación zona franca

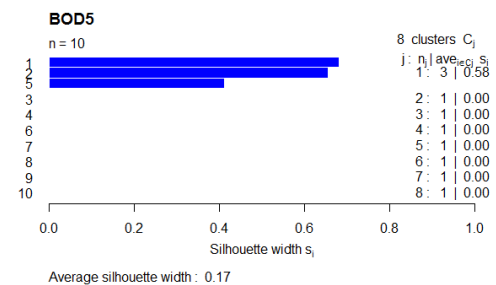


Anexo 20. Variación espacial Demanda Biológica de Oxígeno del rio Tunjuelo

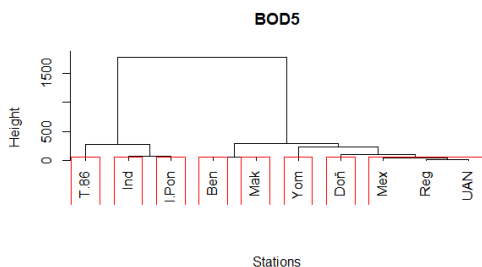
Gráfica 55. Boxplot Demanda Biológica de Oxígeno



Gráfica 57. Silueta Demanda Biológica de Oxígeno

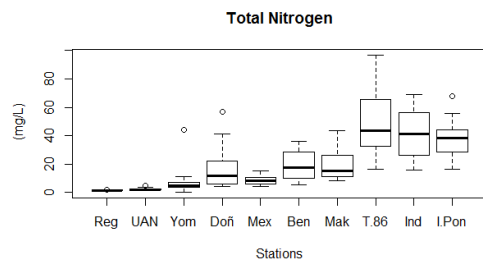


Gráfica 56. Clúster Demanda Biológica de Oxígeno

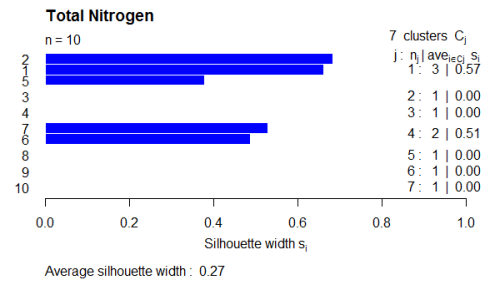


Anexo 21. Variación espacial Nitrógeno Total del rio Tunjuelo

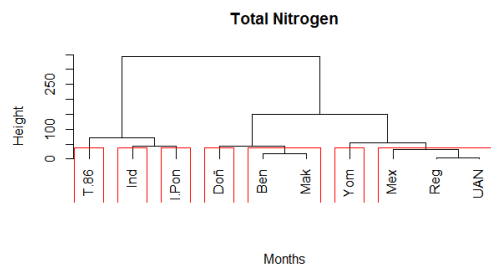
Gráfica 58. Boxplot Nitrógeno Total



Gráfica 60. Silueta Nitrógeno Total

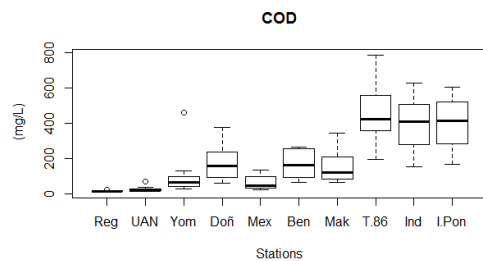


Gráfica 59. Clúster Nitrógeno Total

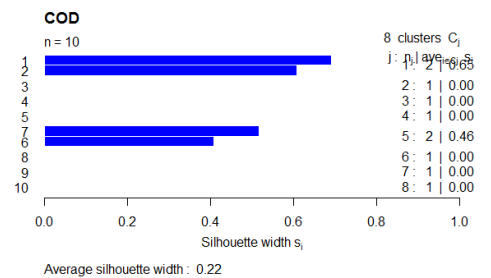


Anexo 22. Variación espacial Demanda Química de Oxígeno del rio Tunjuelo

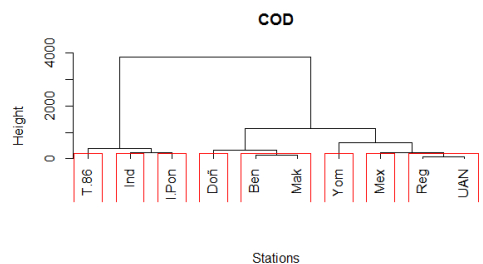
Gráfica 61. Boxplot Demanda Química de Oxígeno



Gráfica 63. Silueta Demanda Química de Oxígeno

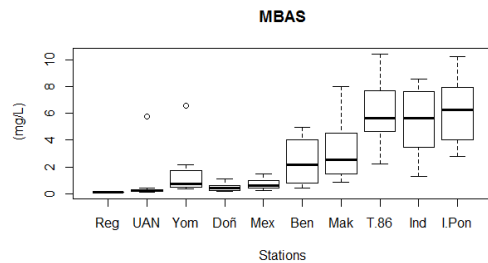


Gráfica 62. Clúster Demanda Química de Oxígeno

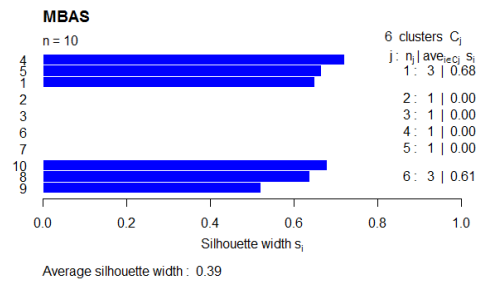


Anexo 23. Variación espacial Sustancias Activas al Azul de Metileno del rio Tunjuelo

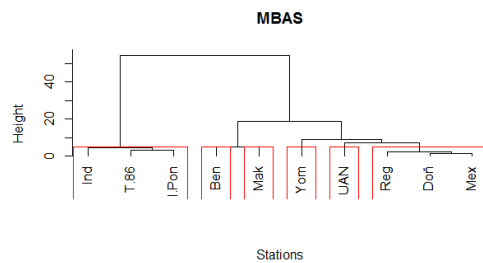
Gráfica 64. Boxplot Sustancias Activas al Azul de Metileno



Gráfica 66. Silueta Sustancias Activas al Azul de Metileno

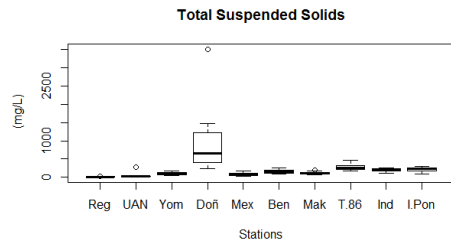


Gráfica 65. Clúster Sustancias Activas al Azul de Metileno

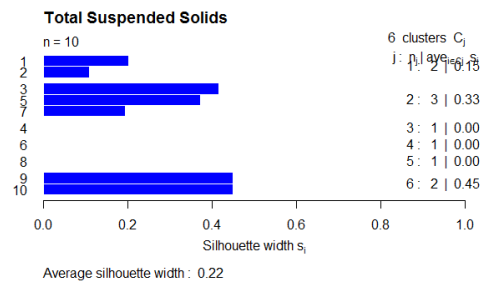


Anexo 24. Variación espacial Solidos Suspendidos Totales del rio Tunjuelo

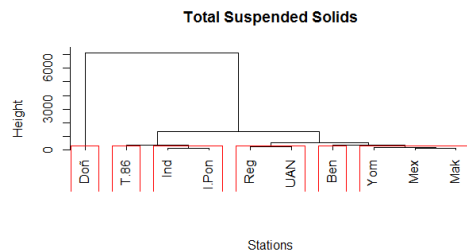
Gráfica 67. Boxplot Solidos Suspendidos Totales



Gráfica 69. Silueta Solidos Suspendidos Totales

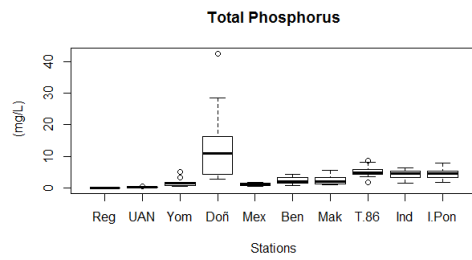


Gráfica 68. Clúster Solidos Suspendidos Totales

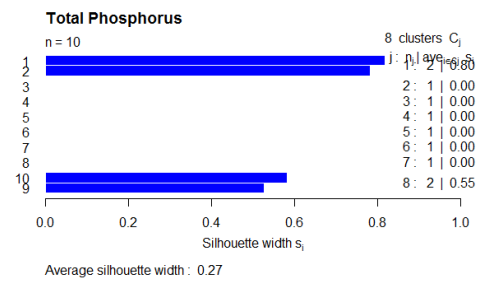


Anexo 25. Variación espacial Fosforo Total del rio Tunjuelo

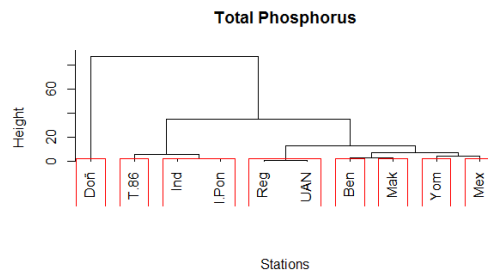
Gráfica 70. Boxplot Fosforo Total



Gráfica 72. Silueta Fosforo Total

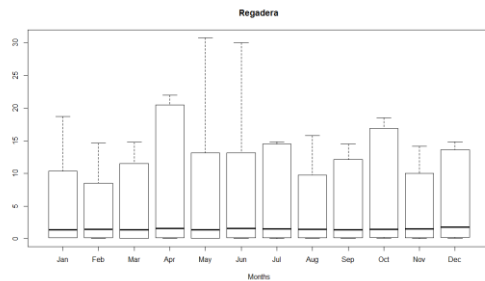


Gráfica 71. Clúster Fosforo Total

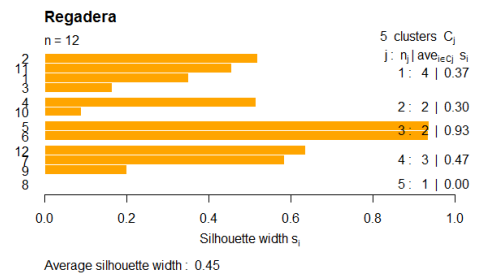


Anexo 26. Variación temporal Estación Regadera del rio Tunjuelo

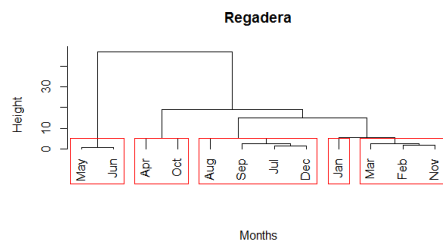
Gráfica 73. Boxplot Estación Regadera



Gráfica 75. Silueta Estación Regadera

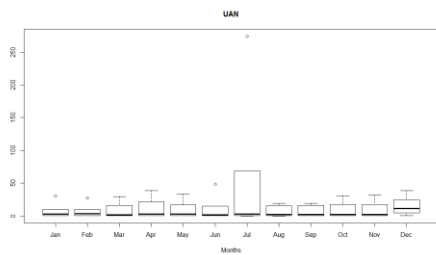


Gráfica 74. Clúster Estación Regadera

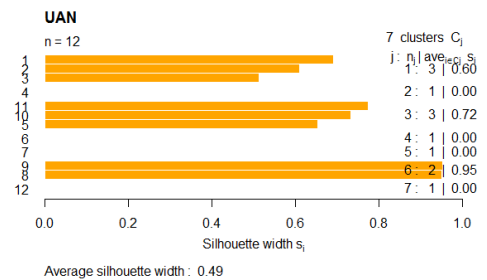


Anexo 27. Variación temporal Estación UAN del rio Tunjuelo

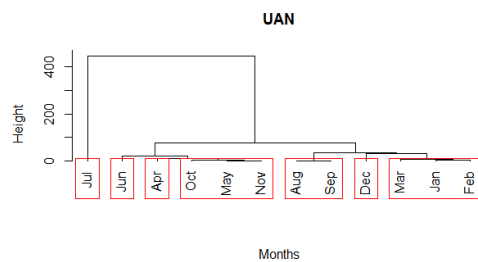
Gráfica 76. Boxplot Estación UAN



Gráfica 78. Silueta Estación UAN

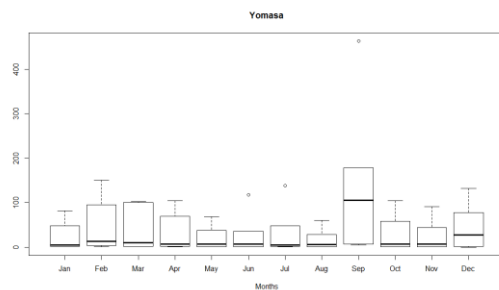


Gráfica 77. Clúster Estación UAN

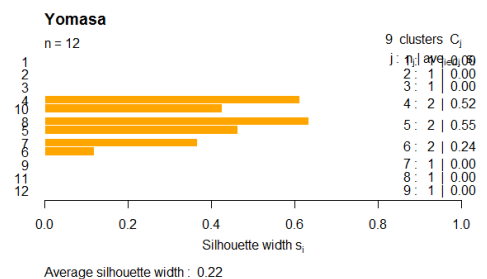


Anexo 28. Variación temporal Estación Yomasa del rio Tunjuelo

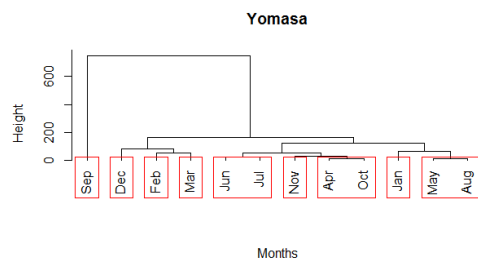
Gráfica 79. Boxplot Estación Yomasa



Gráfica 81. Silueta Estación Yomasa

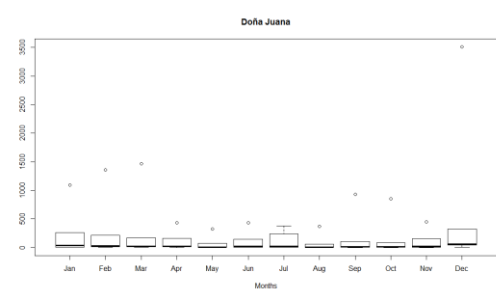


Gráfica 80. Clúster Estación Yomasa

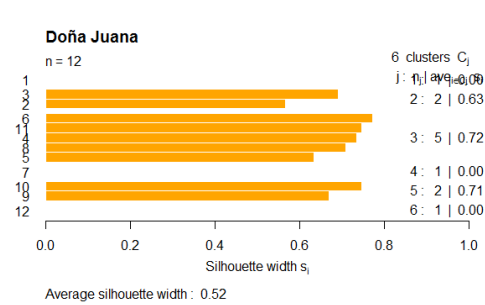


Anexo 29. Variación temporal Estación Doña Juana del rio Tunjuelo

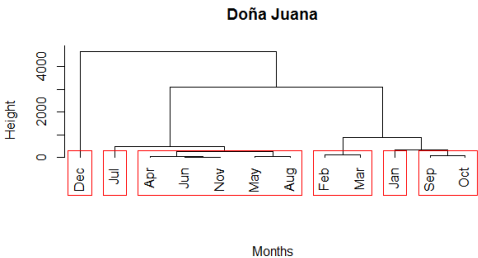
Gráfica 82. Boxplot Estación Doña Juana



Gráfica 84. Silueta Estación Doña Juana

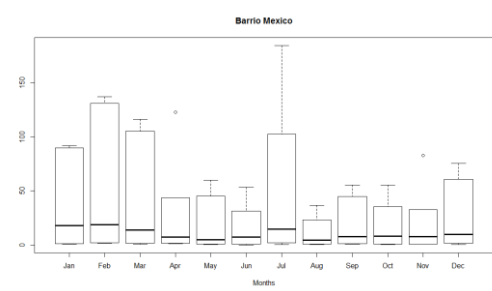


Gráfica 83. Clúster Estación Doña Juana

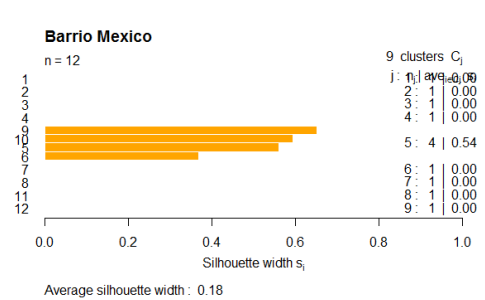


Anexo 30. Variación temporal Estación Barrio México del rio Tunjuelo

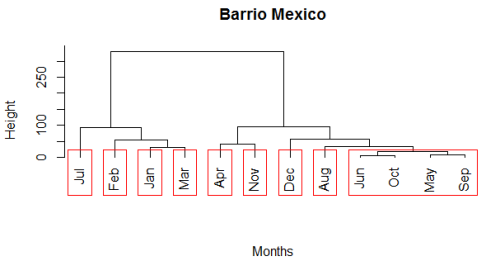
Gráfica 85. Boxplot Estación Barrio México



Gráfica 87. Silueta Estación Barrio México

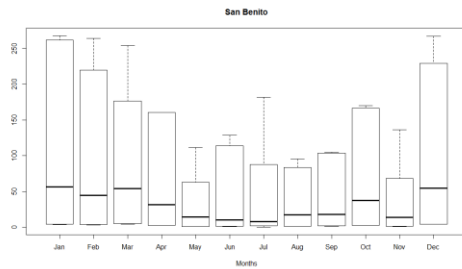


Gráfica 86. Clúster Estación Barrio México

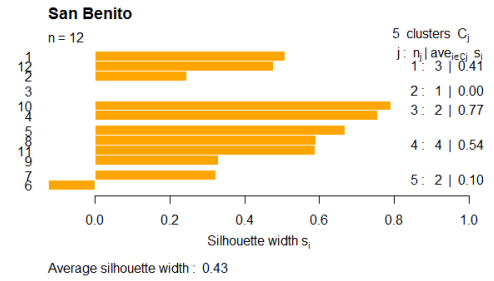


Anexo 31. Variación temporal Estación San Benito del rio Tunjuelo

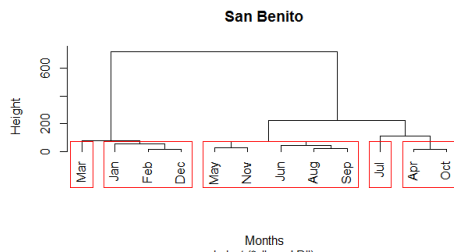
Gráfica 88. Boxplot Estación San Benito



Gráfica 90. Silueta Estación San Benito

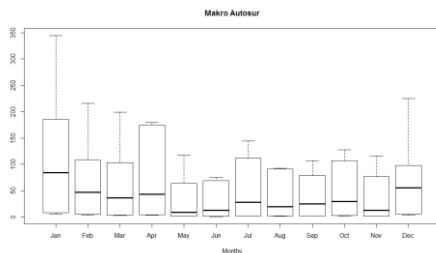


Gráfica 89. Clúster Estación San Benito

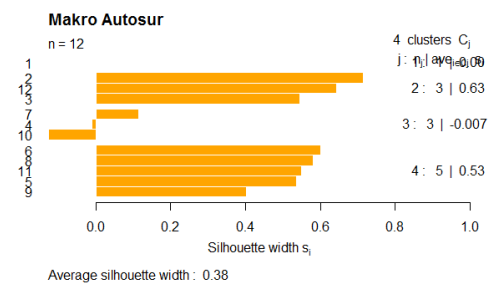


Anexo 32. Variación temporal Estación Makro Autosur del rio Tunjuelo

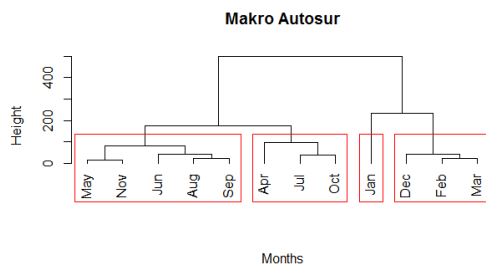
Gráfica 91. Boxplot Estación Makro Autosur



Gráfica 93. Silueta Estación Makro Autosur

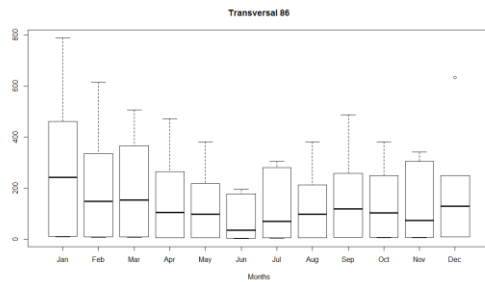


Gráfica 92. Clúster Estación Makro Autosur

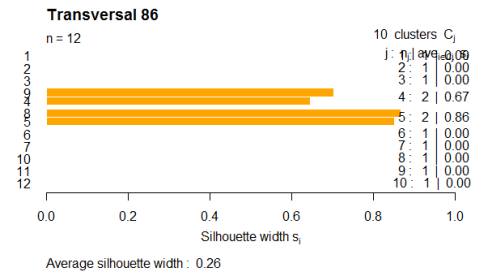


Anexo 33. Variación temporal Estación Transversal 86 del rio Tunjuelo

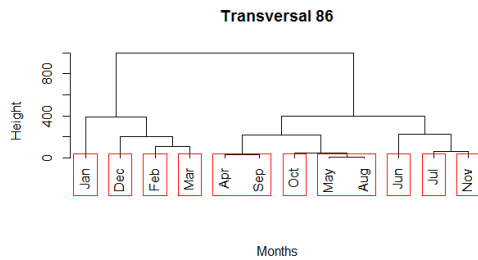
Gráfica 94. Boxplot Estación Transversal 86



Gráfica 96. Silueta Estación Transversal 86

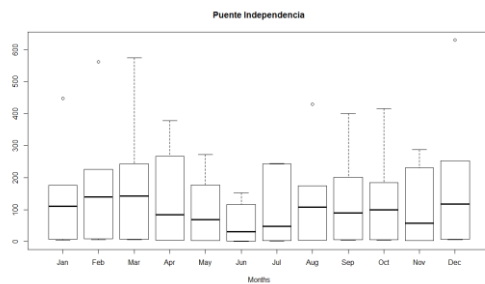


Gráfica 95. Clúster Estación Transversal 86

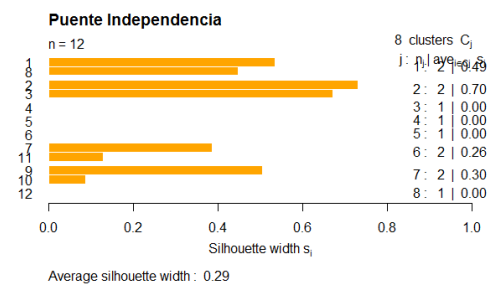


Anexo 34. Variación temporal Estación Puente Independiente del rio Tunjuelo

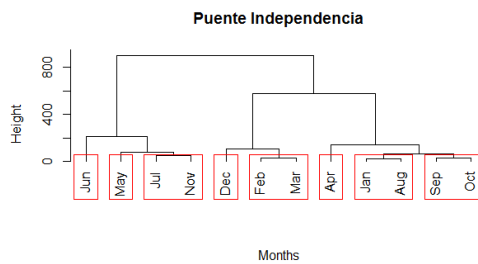
Gráfica 97. Boxplot Estación Puente Independiente



Gráfica 99. Silueta Estación Puente Independiente

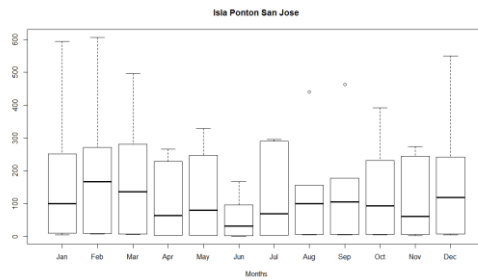


Gráfica 98. Cluster Estación Puente Independiente

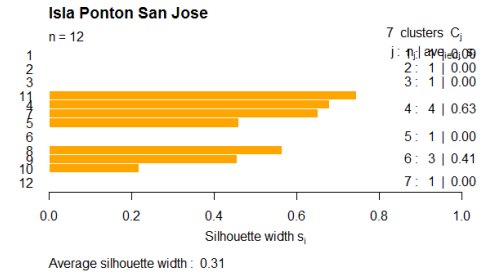


Anexo 35. Variación temporal Estación Isla Pontón San José del rio Tunjuelo

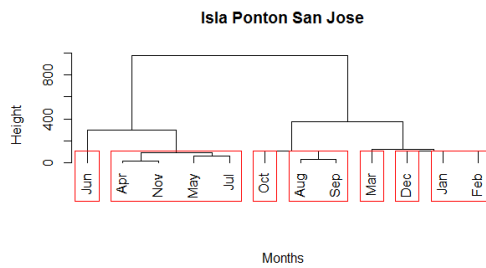
Gráfica 100. Boxplot Estación Isla Pontón San José



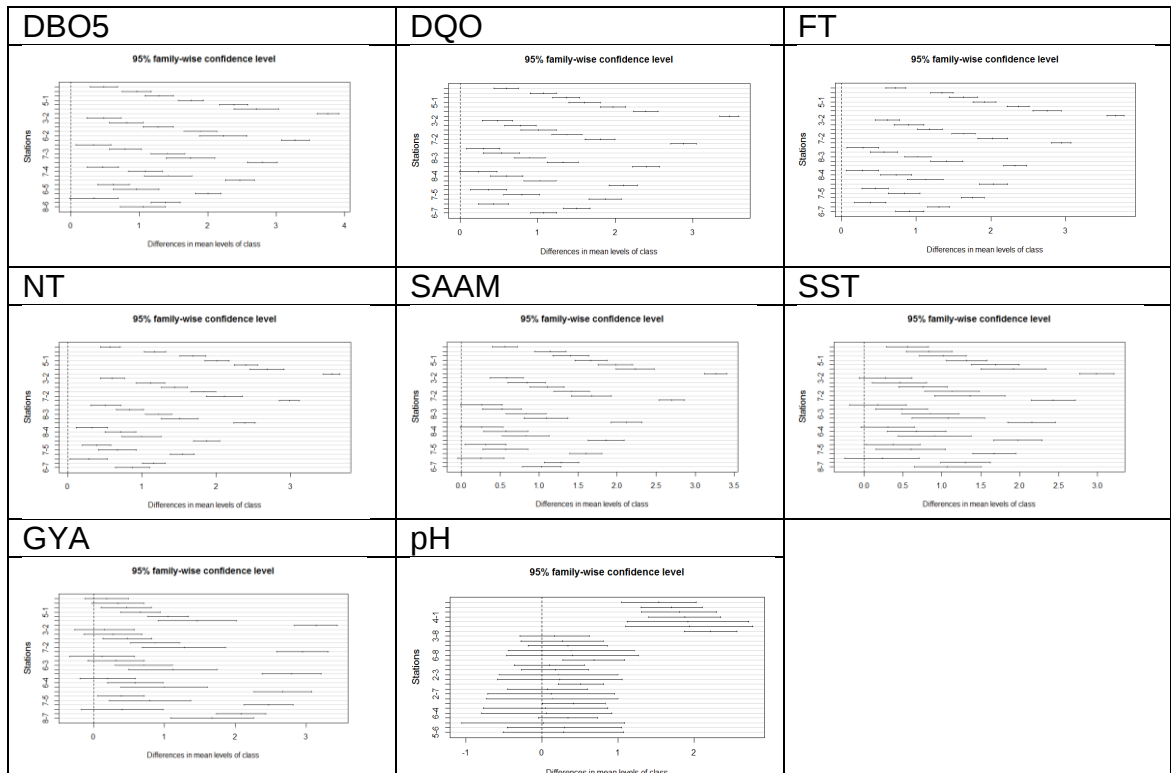
Gráfica 102. Silueta Estación Isla Pontón San José



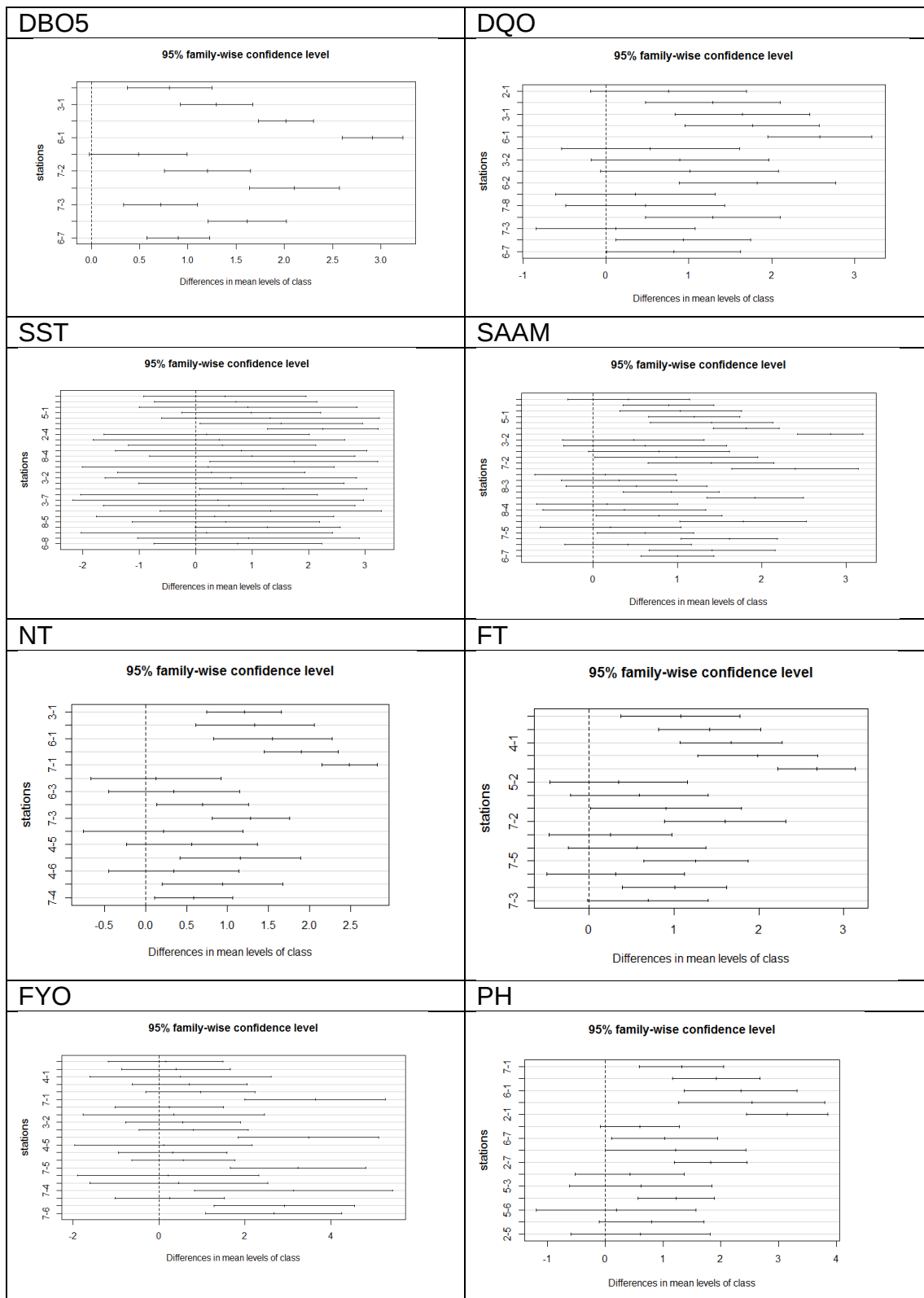
Gráfica 101. Clúster Estación Isla Pontón San José



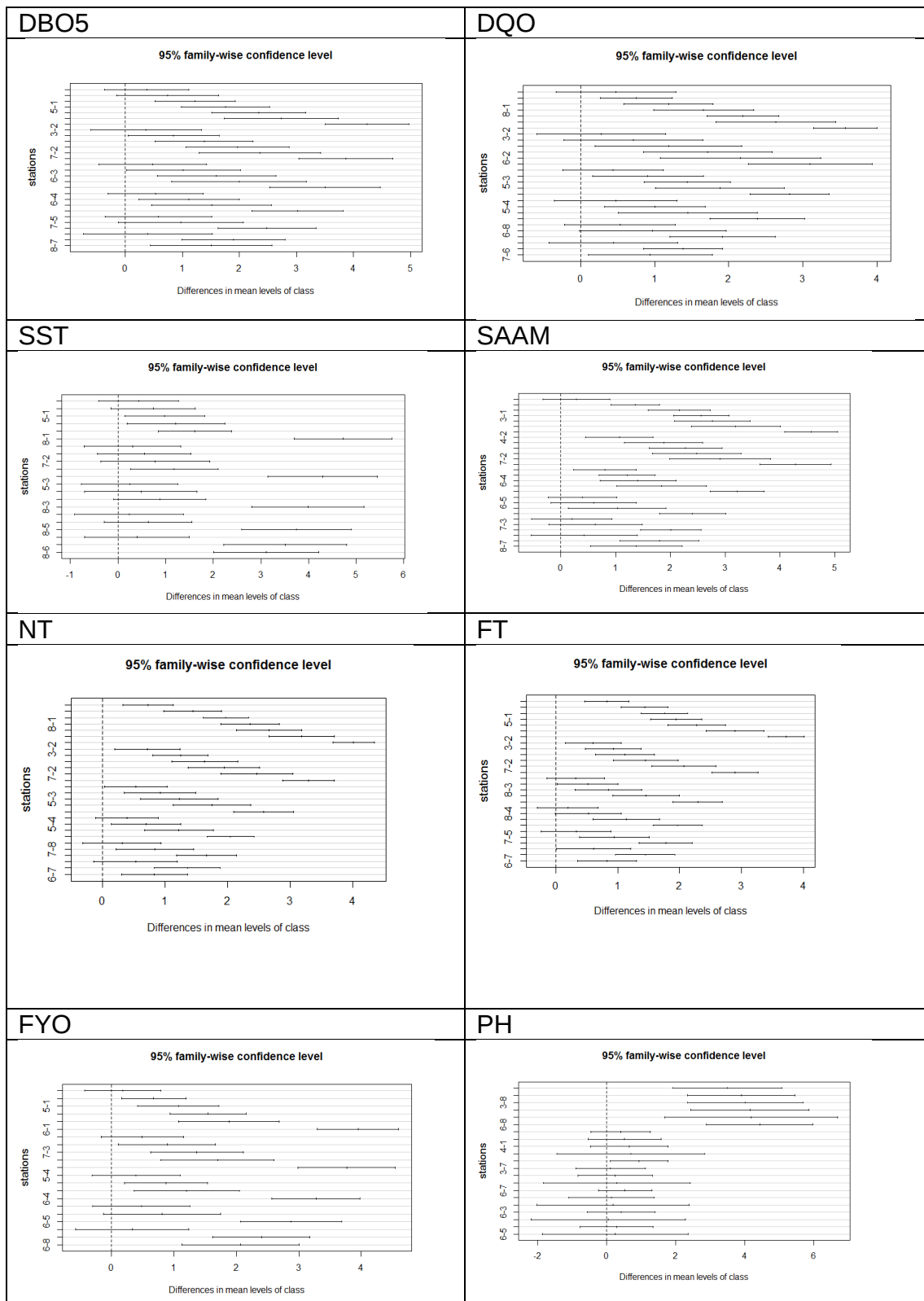
Anexo 36. Prueba de Tukey por parámetro en el Rio Fucha



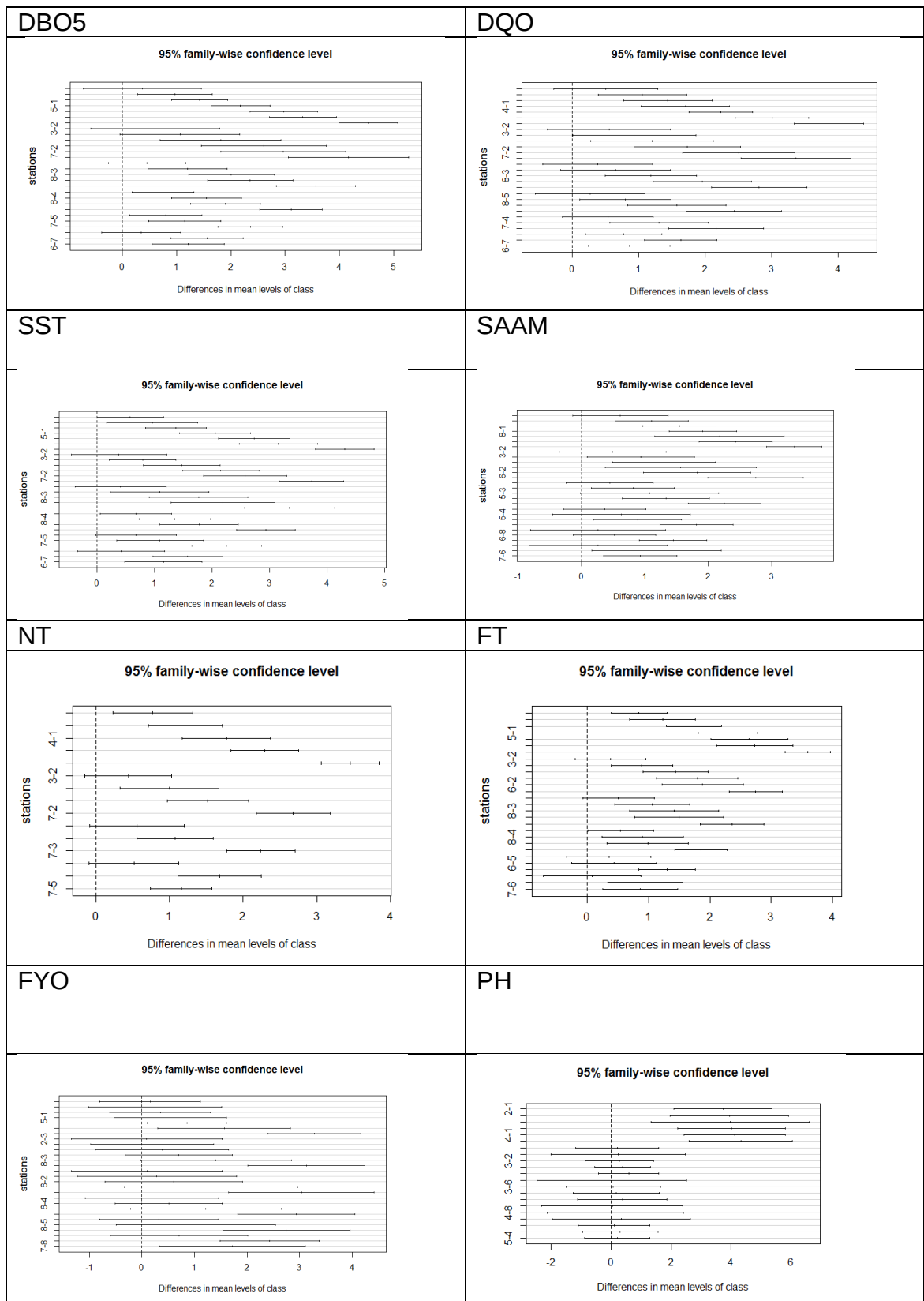
Anexo 37. Prueba de Tukey para el mes de enero en el Rio Fucha



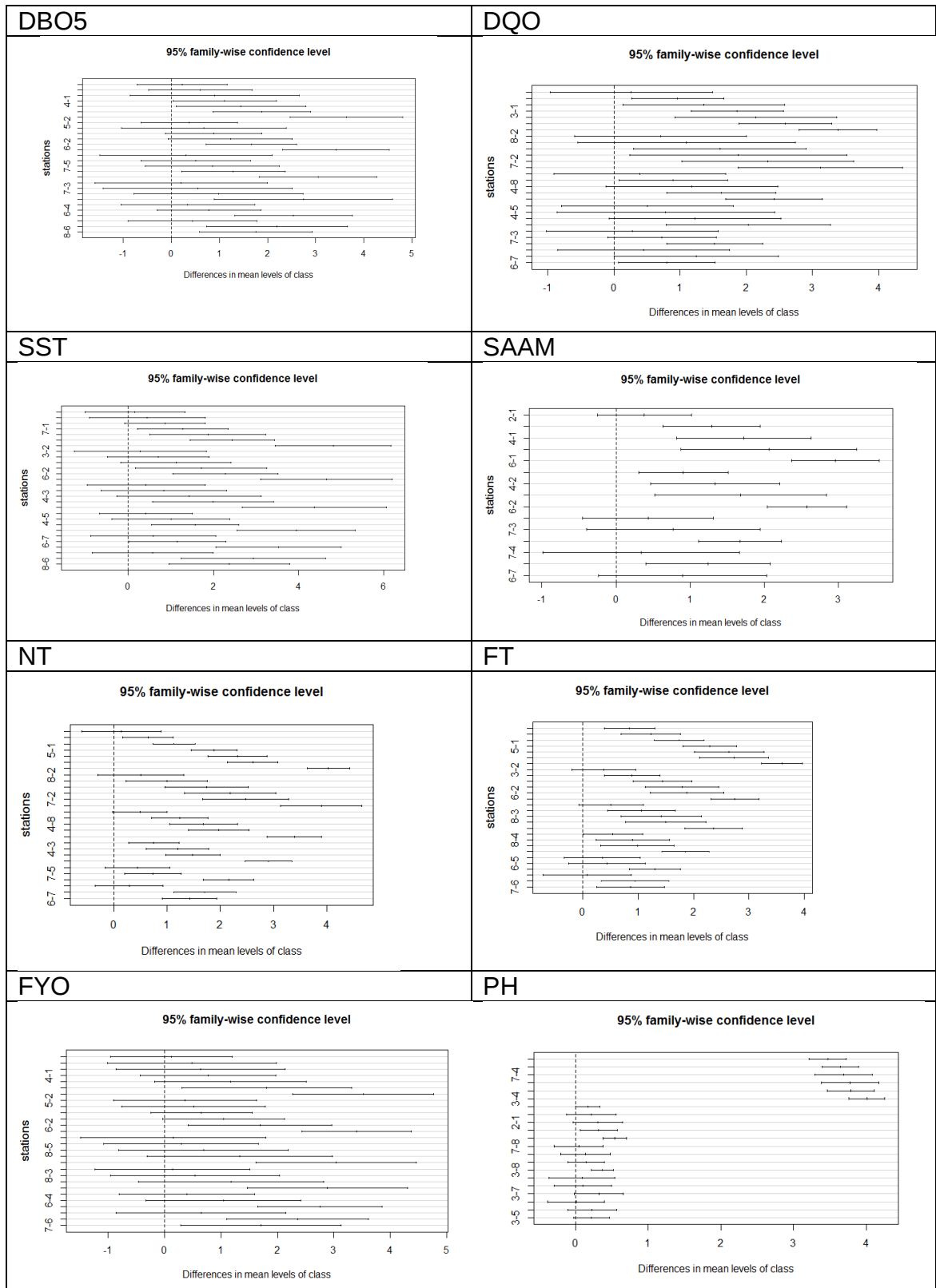
Anexo 38. Prueba de Tukey para el mes de febrero en el Río Fucha



Anexo 39 Prueba de Tukey para el mes de marzo en el Rio Fucha



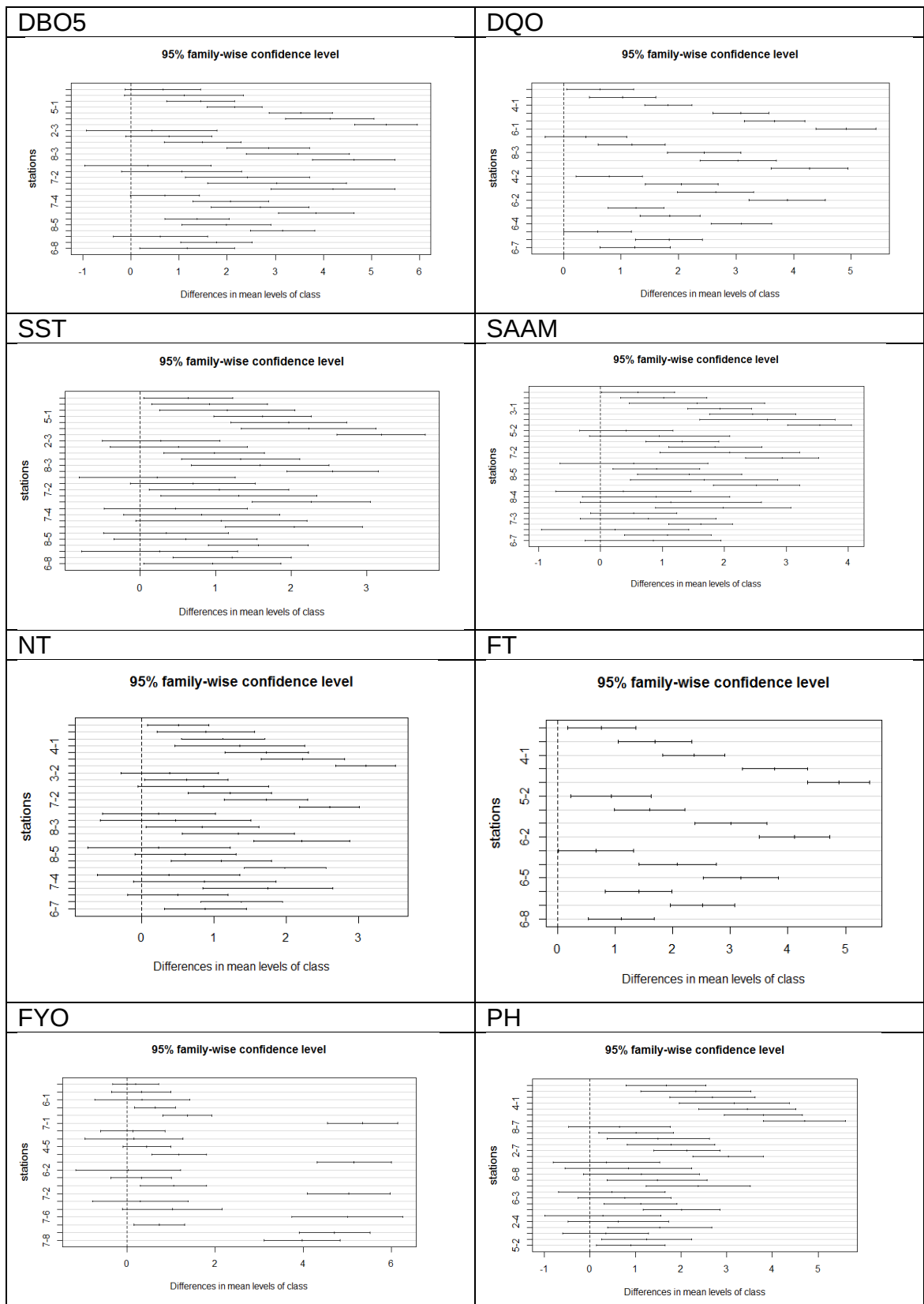
Anexo 40. Prueba de Tukey para el mes de abril en el Rio Fucha



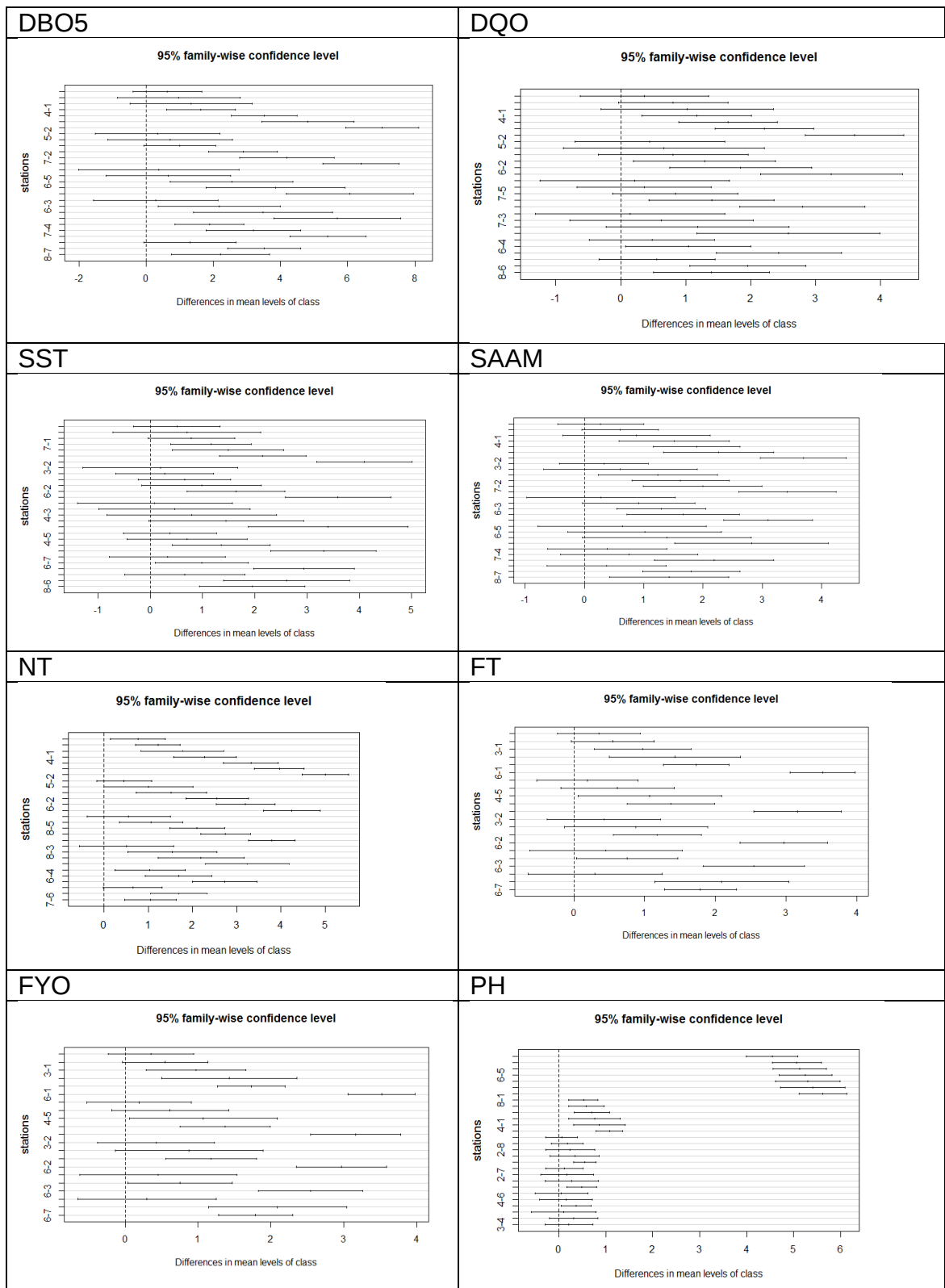
Anexo 41. Prueba de Tukey para el mes de mayo en el Río Fucha

DBO5 95% family-wise confidence level stations Differences in mean levels of class	DQO 95% family-wise confidence level stations Differences in mean levels of class
SST 95% family-wise confidence level stations Differences in mean levels of class	SAAM 95% family-wise confidence level stations Differences in mean levels of class
NT 95% family-wise confidence level stations Differences in mean levels of class	FT 95% family-wise confidence level stations Differences in mean levels of class
FYO 95% family-wise confidence level stations Differences in mean levels of class	PH 95% family-wise confidence level stations Differences in mean levels of class

Anexo 42. Prueba de Tukey para el mes de junio en el Rio Fucha



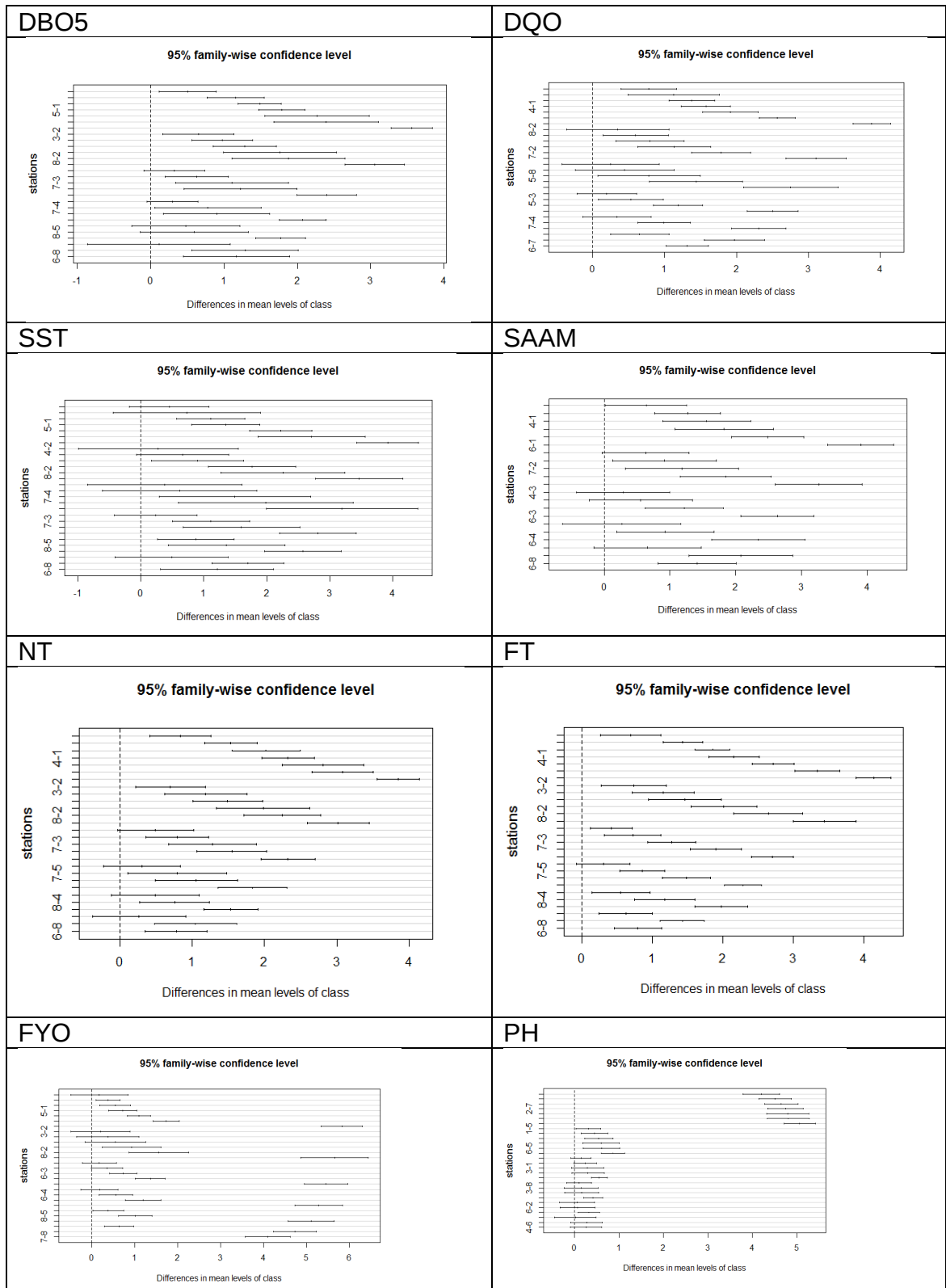
Anexo 43. Prueba de Tukey para el mes de julio en el Rio Fucha



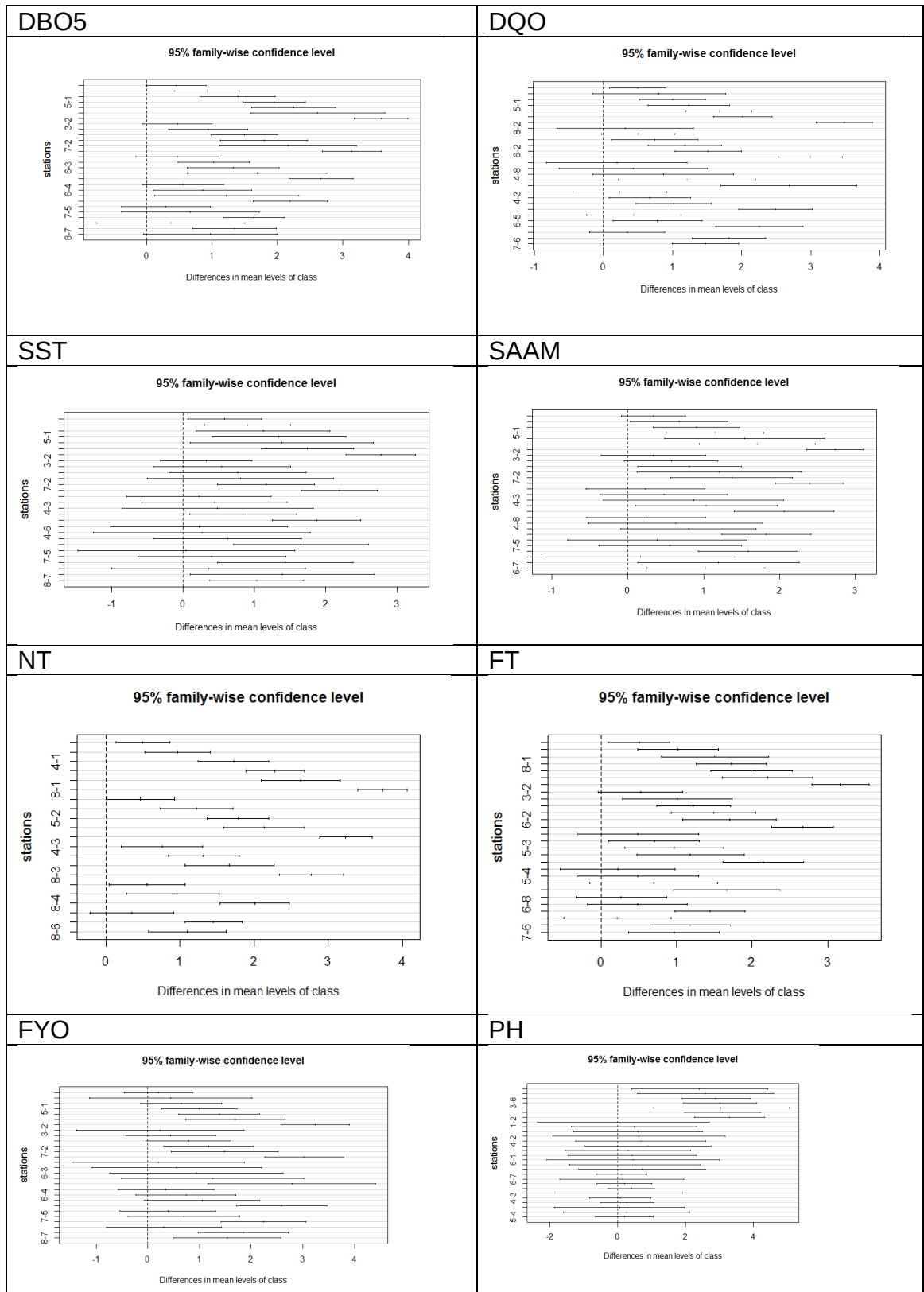
Anexo 44. Prueba de Tukey para el mes de agosto

DBO5 95% family-wise confidence level Differences in mean levels of class	DQO 95% family-wise confidence level Differences in mean levels of class
SST 95% family-wise confidence level Differences in mean levels of class	SAAM 95% family-wise confidence level Differences in mean levels of class
NT 95% family-wise confidence level Differences in mean levels of class	FT 95% family-wise confidence level Differences in mean levels of class
FYO 95% family-wise confidence level Differences in mean levels of class	PH 95% family-wise confidence level Differences in mean levels of class

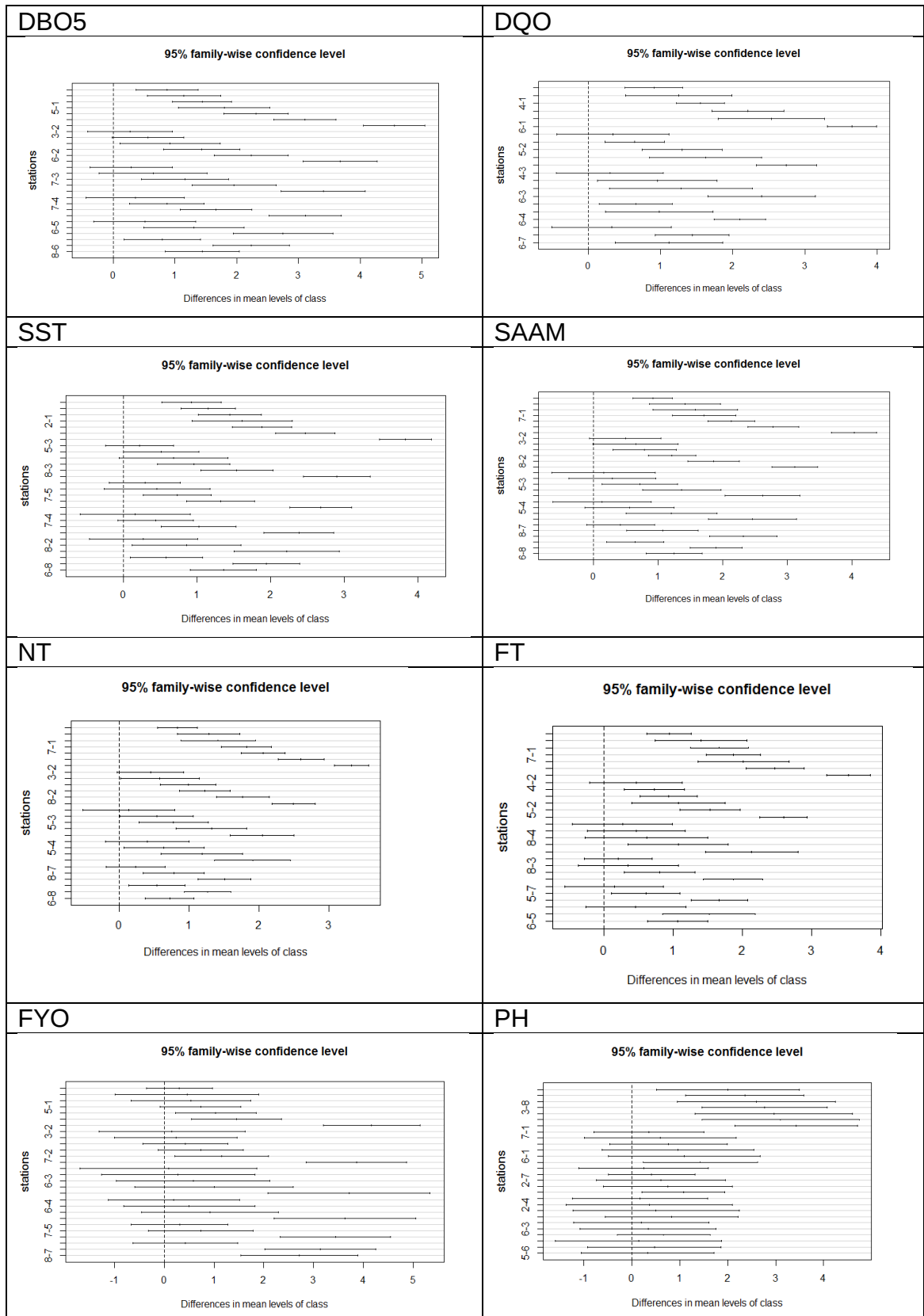
Anexo 45. Prueba de Tukey para el mes de septiembre en el Rio Fucha



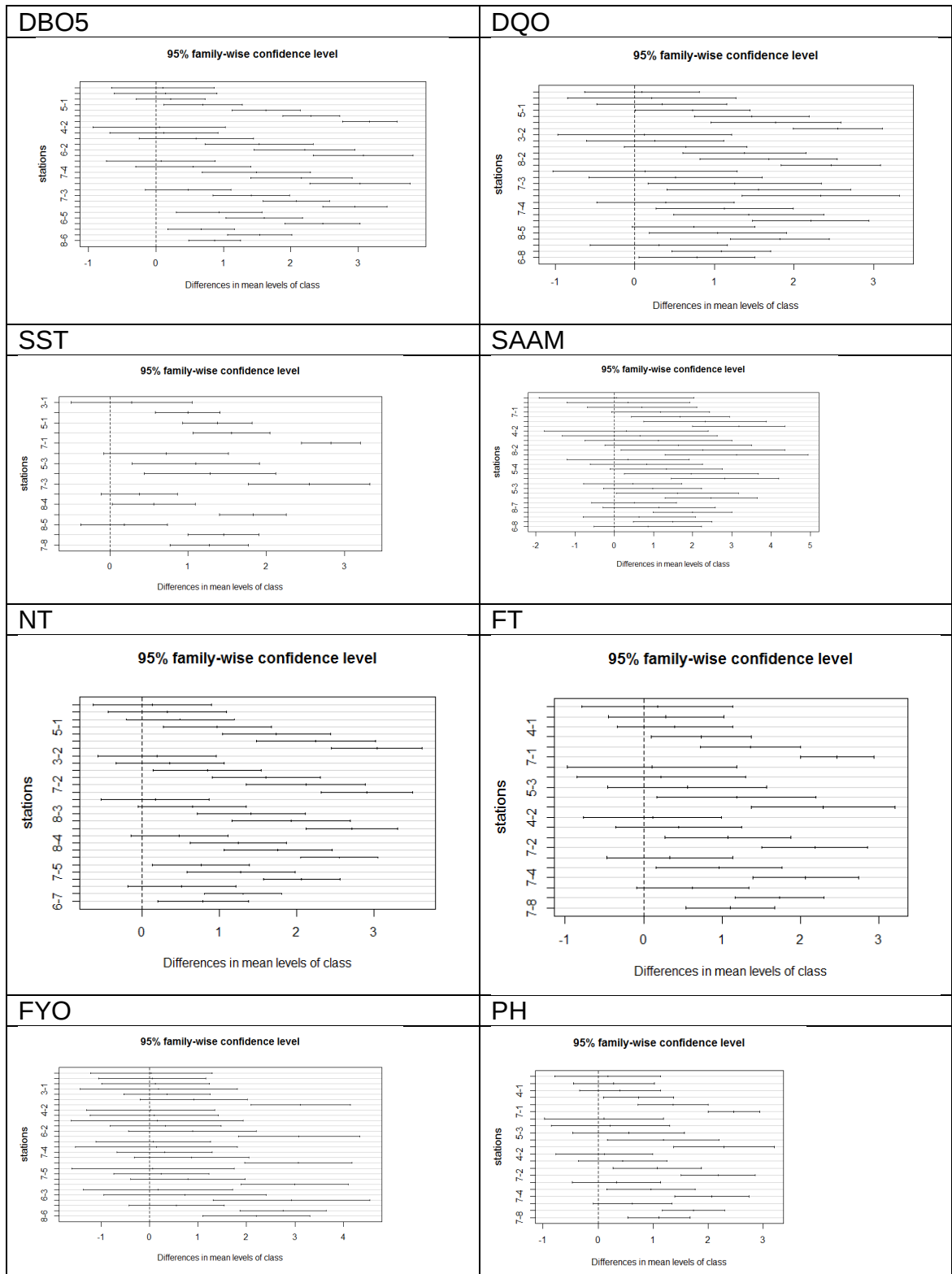
Anexo 46. Prueba de Tukey para el mes de octubre en el Rio Fucha



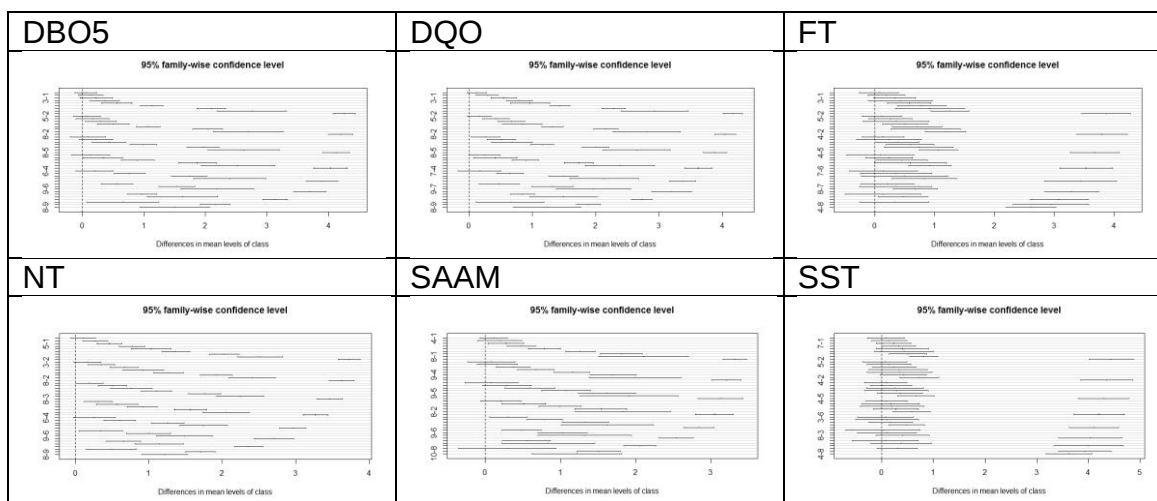
Anexo 47. Prueba de Tukey para el mes de noviembre en el Rio Fucha



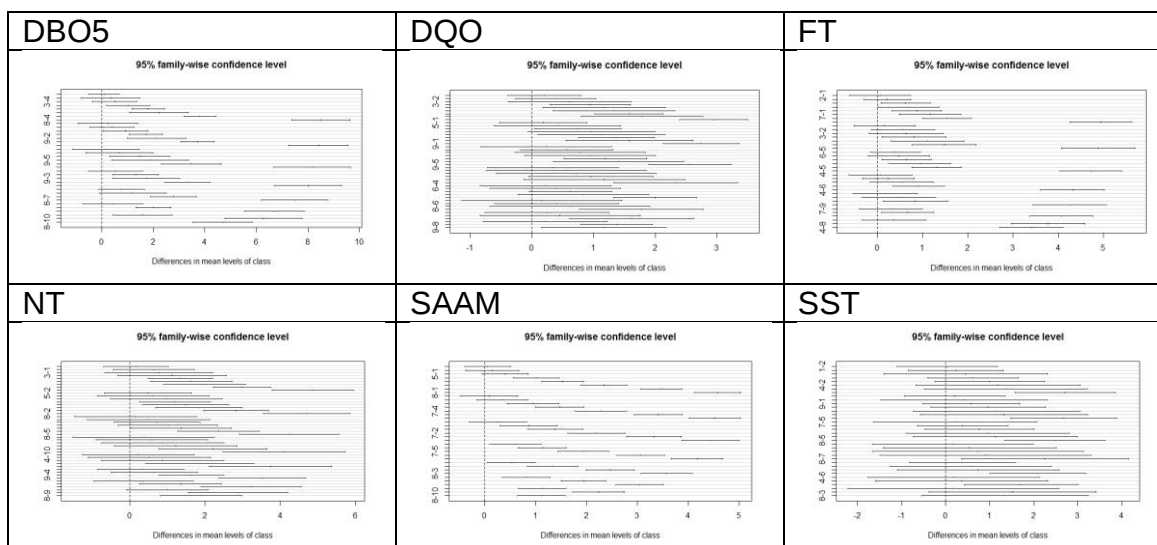
Anexo 48. Prueba de Tukey para el mes de diciembre en el Rio Fucha



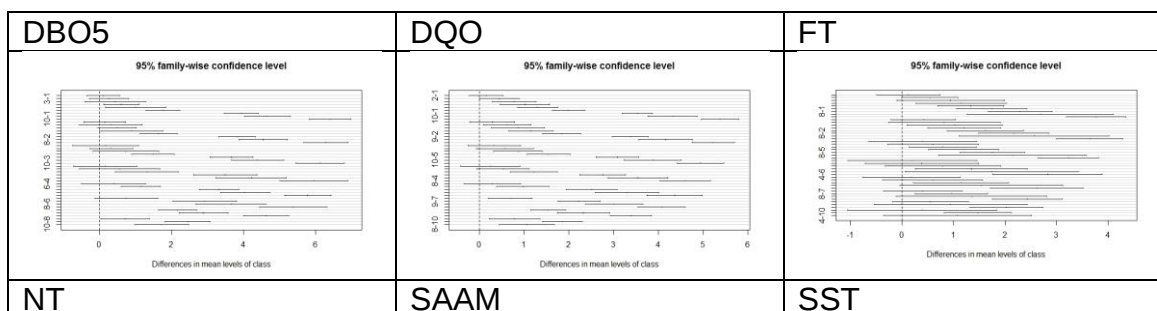
Anexo 49. Prueba de Tukey por parámetro en el Río Tunjuelo

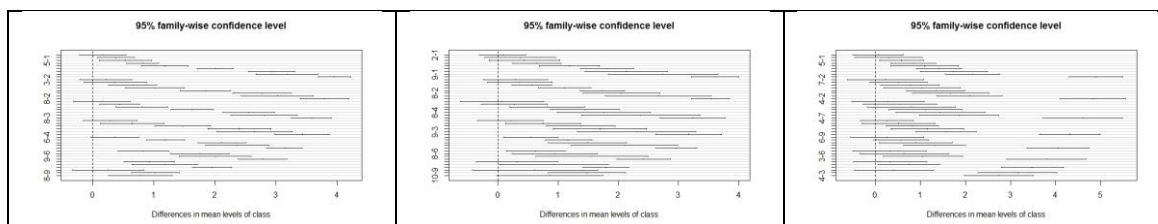


Anexo 50. Prueba de Tukey para el mes de enero en el Río Tunjuelo

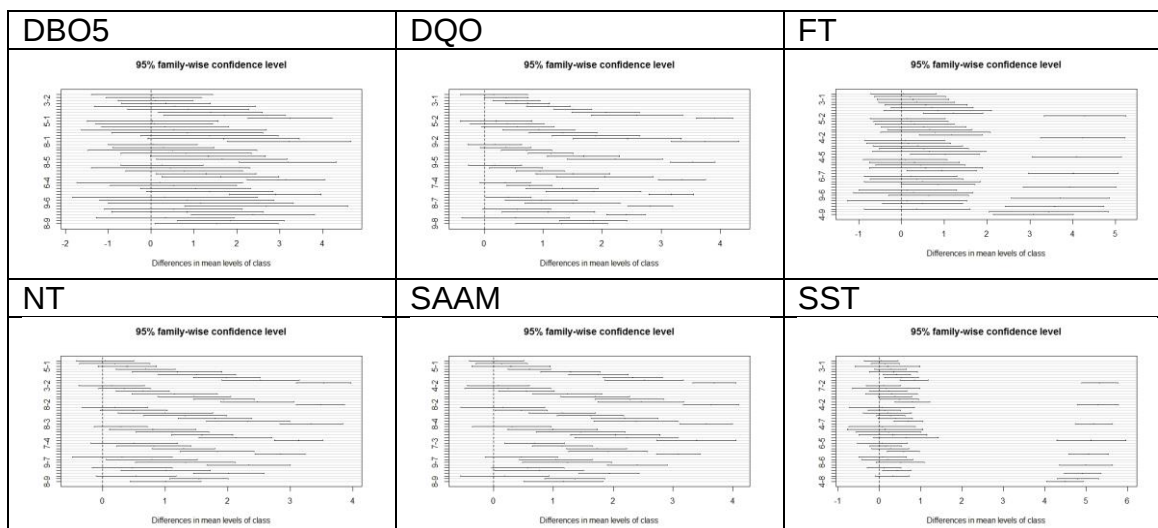


Anexo 51. Prueba de Tukey para el mes de febrero en el Río Tunjuelo

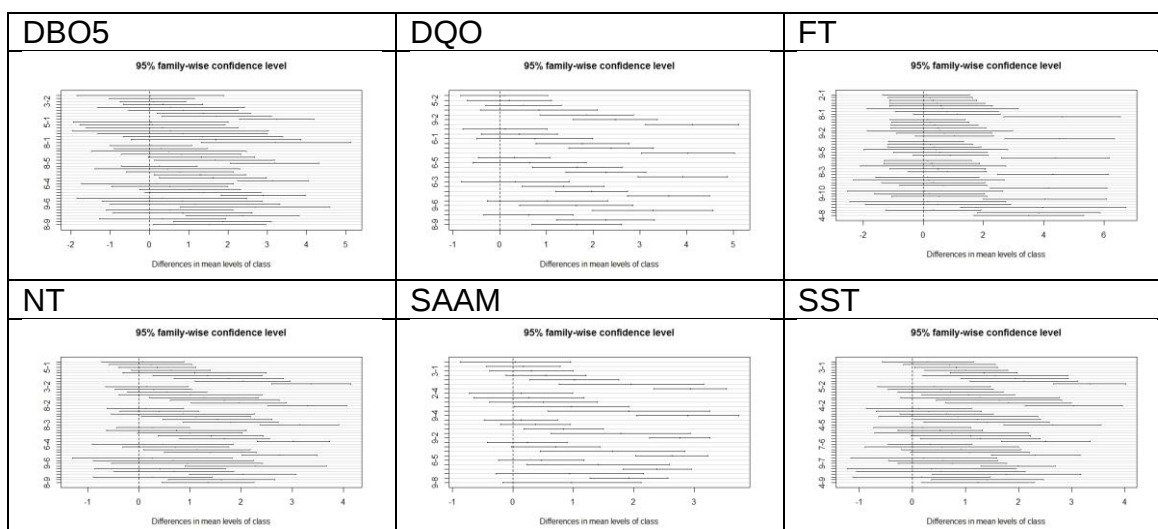




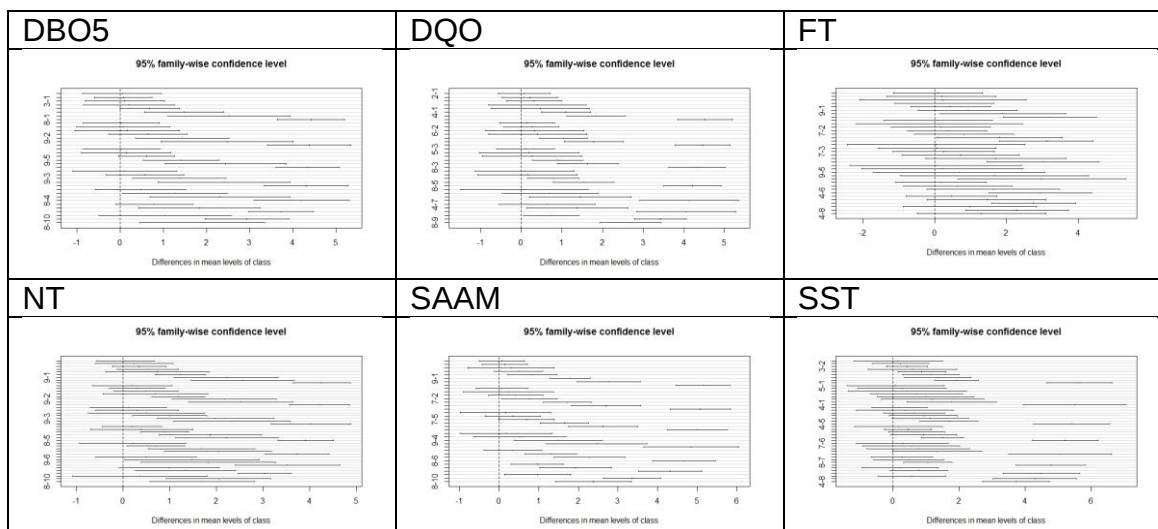
Anexo 52. Prueba de Tukey para el mes de marzo en el Rio Tunjuelo



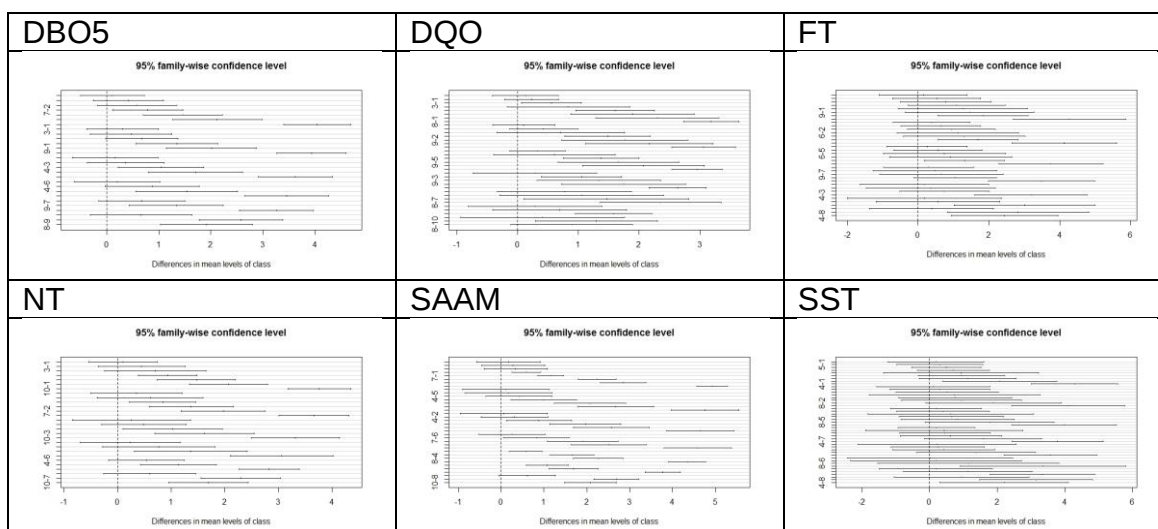
Anexo 53. Prueba de Tukey para el mes de abril en el Rio Tunjuelo



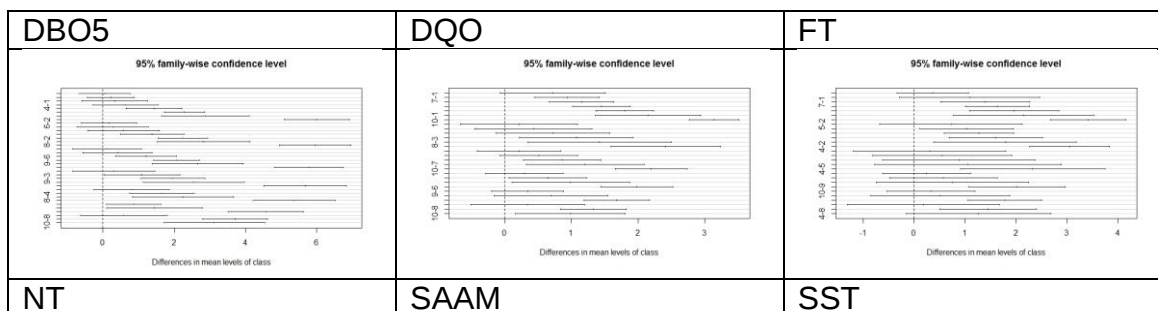
Anexo 54. Prueba de Tukey para el mes de mayo en el Río Tunjuelo

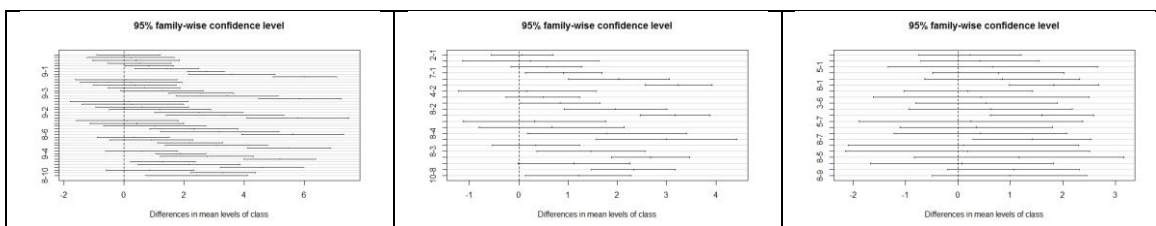


Anexo 55. Prueba de Tukey para el mes de junio en el Río Tunjuelo

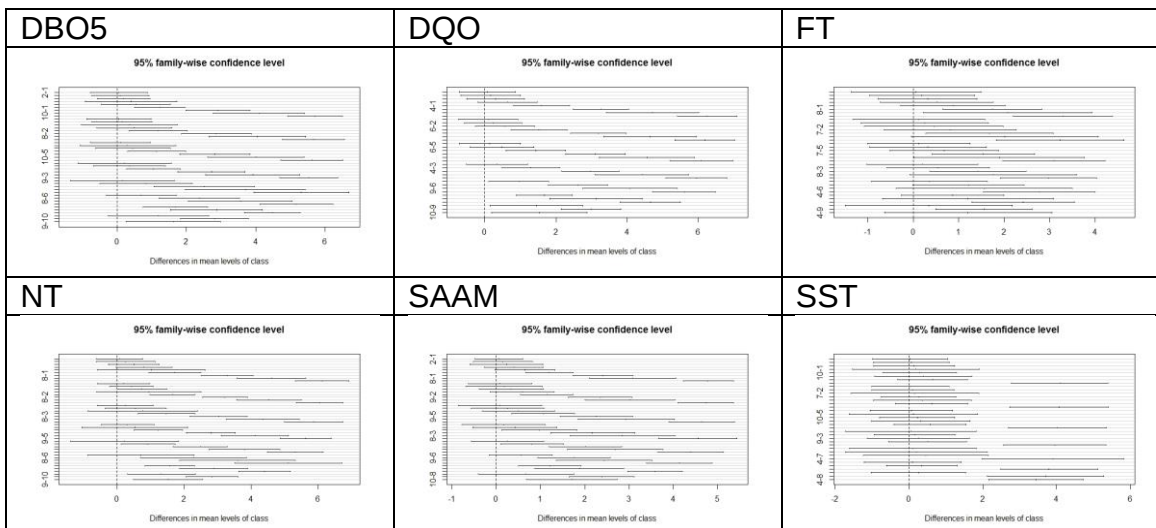


Anexo 56. Prueba de Tukey para el mes de julio en el Río Tunjuelo

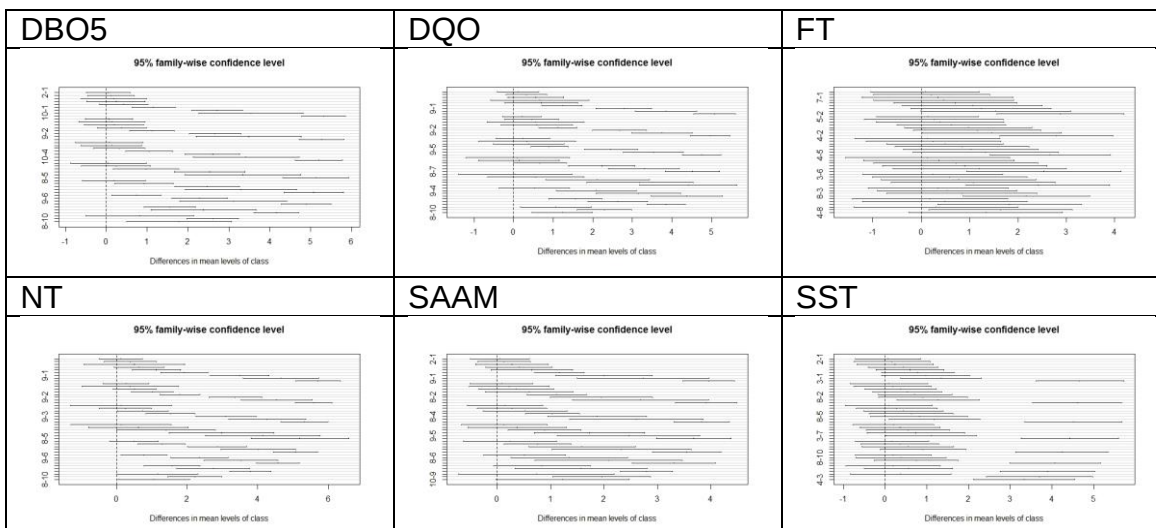




Anexo 57. Prueba de Tukey para el mes de agosto en el Rio Tunjuelo

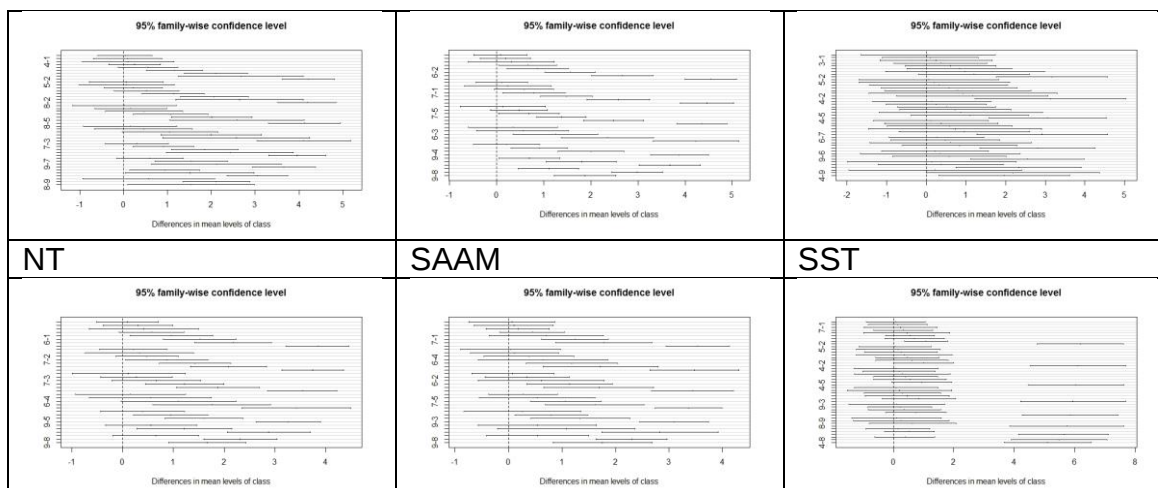


Anexo 58. Prueba de Tukey para el mes de septiembre en el Rio Tunjuelo

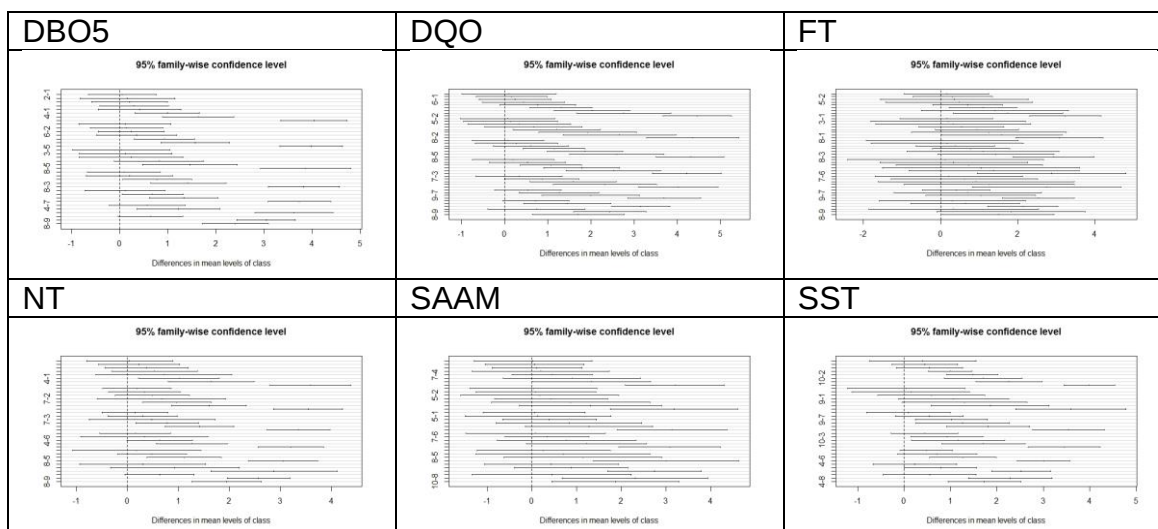


Anexo 59. Prueba de Tukey para el mes de octubre en el Rio Tunjuelo

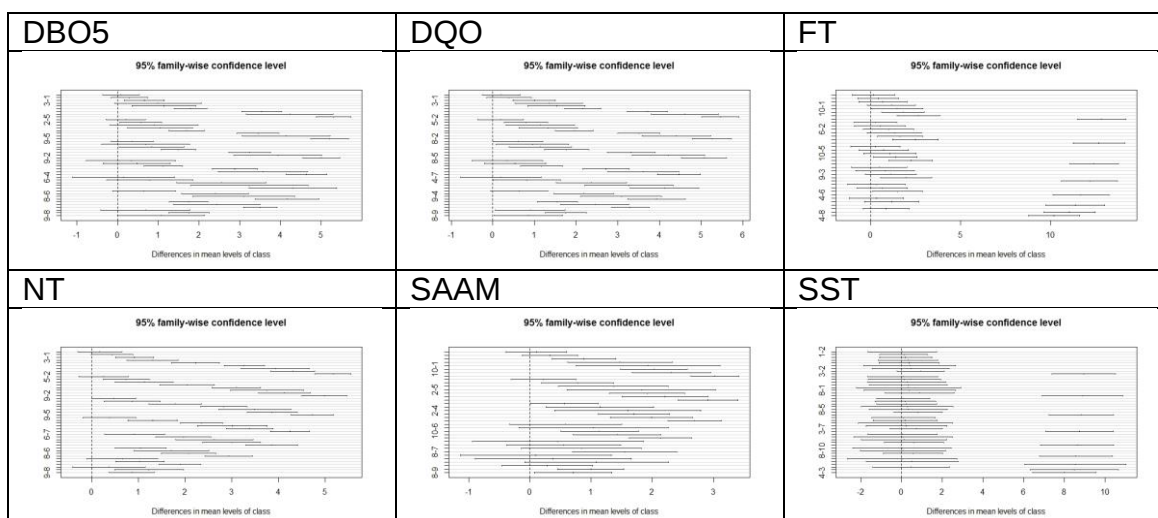
DBO5	DQO	FT
------	-----	----



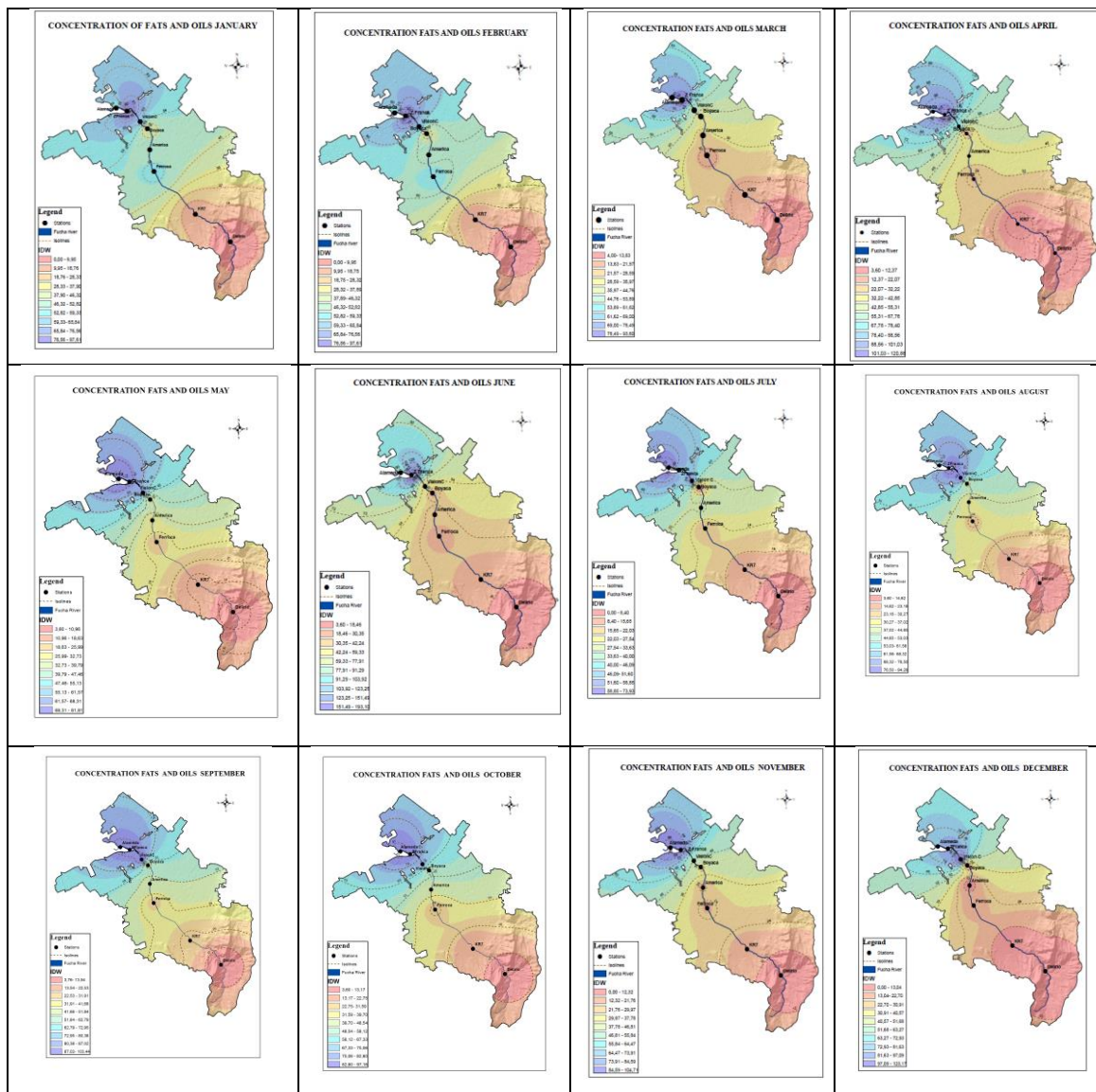
Anexo 60. Prueba de Tukey para el mes de noviembre en el Rio Tunjuelo



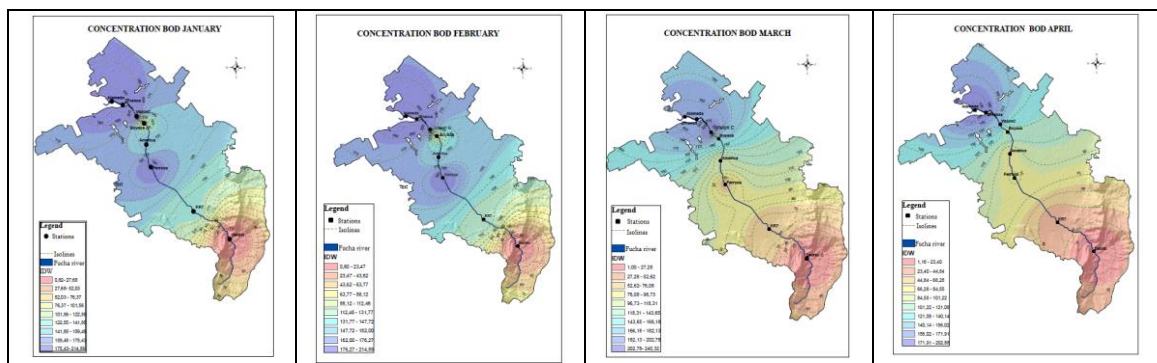
Anexo 61. Prueba de Tukey para el mes de diciembre en el Rio Tunjuelo

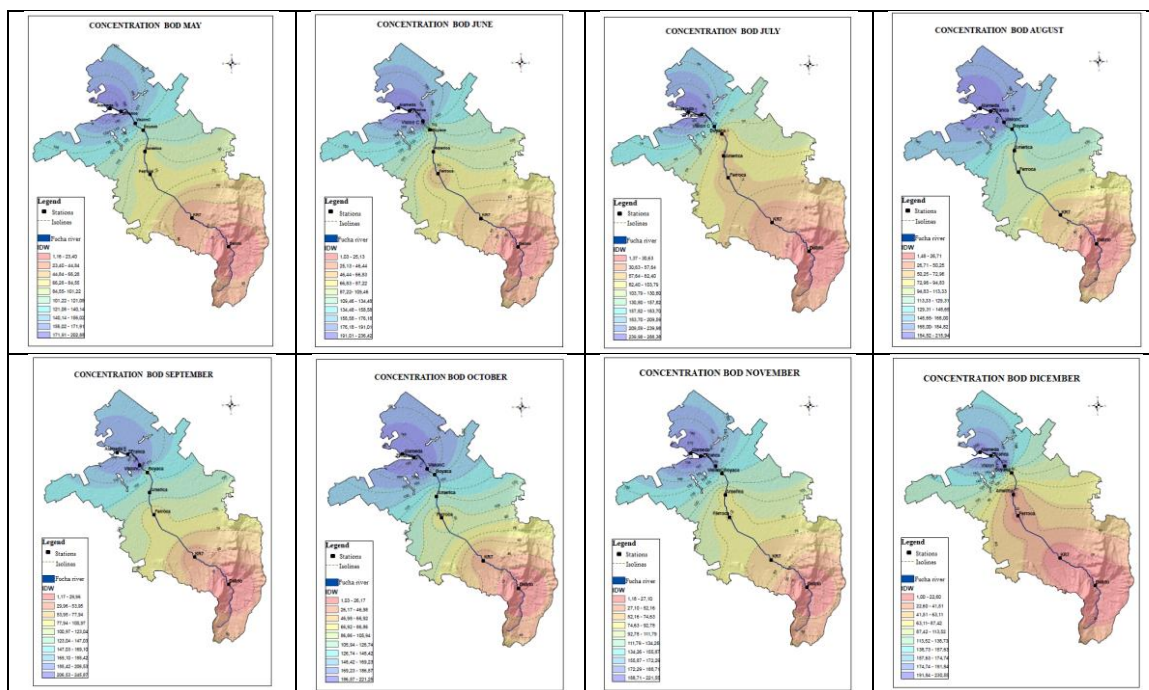


Anexo 62. Mapas por mes de Grasas y Aceites para el rio Fucha

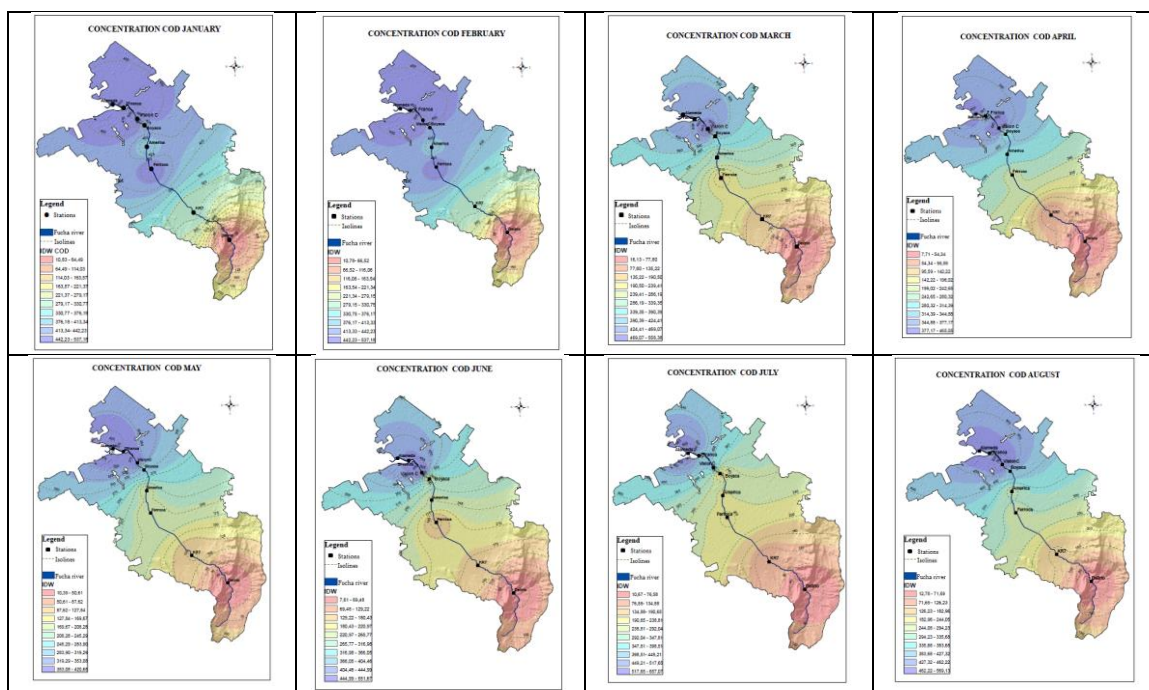


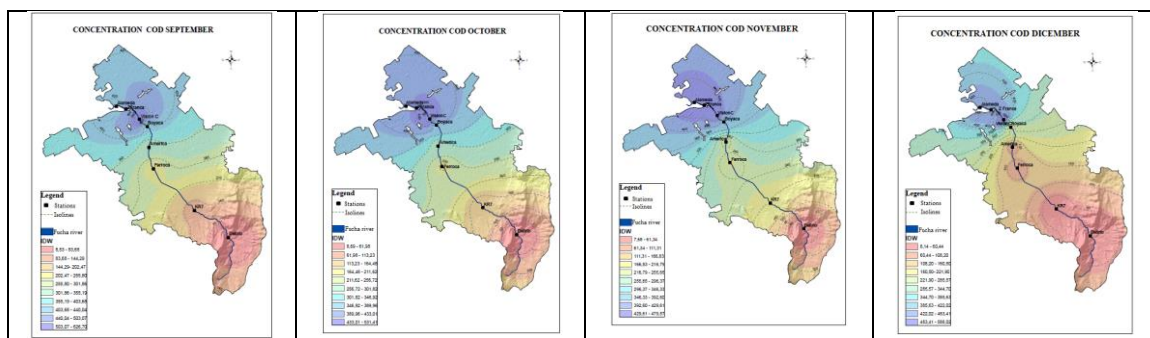
Anexo 63. Mapas por mes de DBO para el rio Fucha



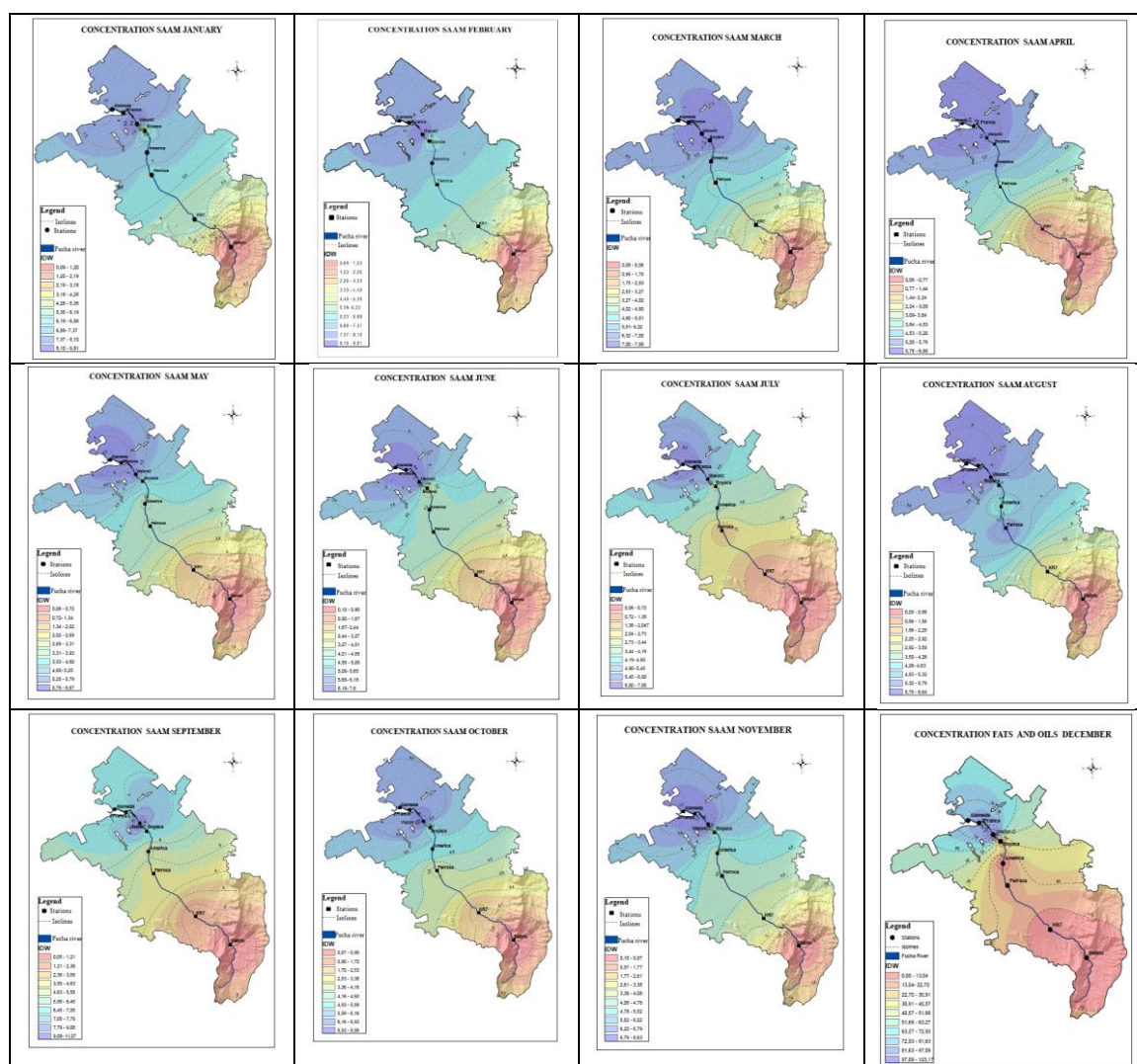


Anexo 64. Mapas por mes de DQO para el río Fucha

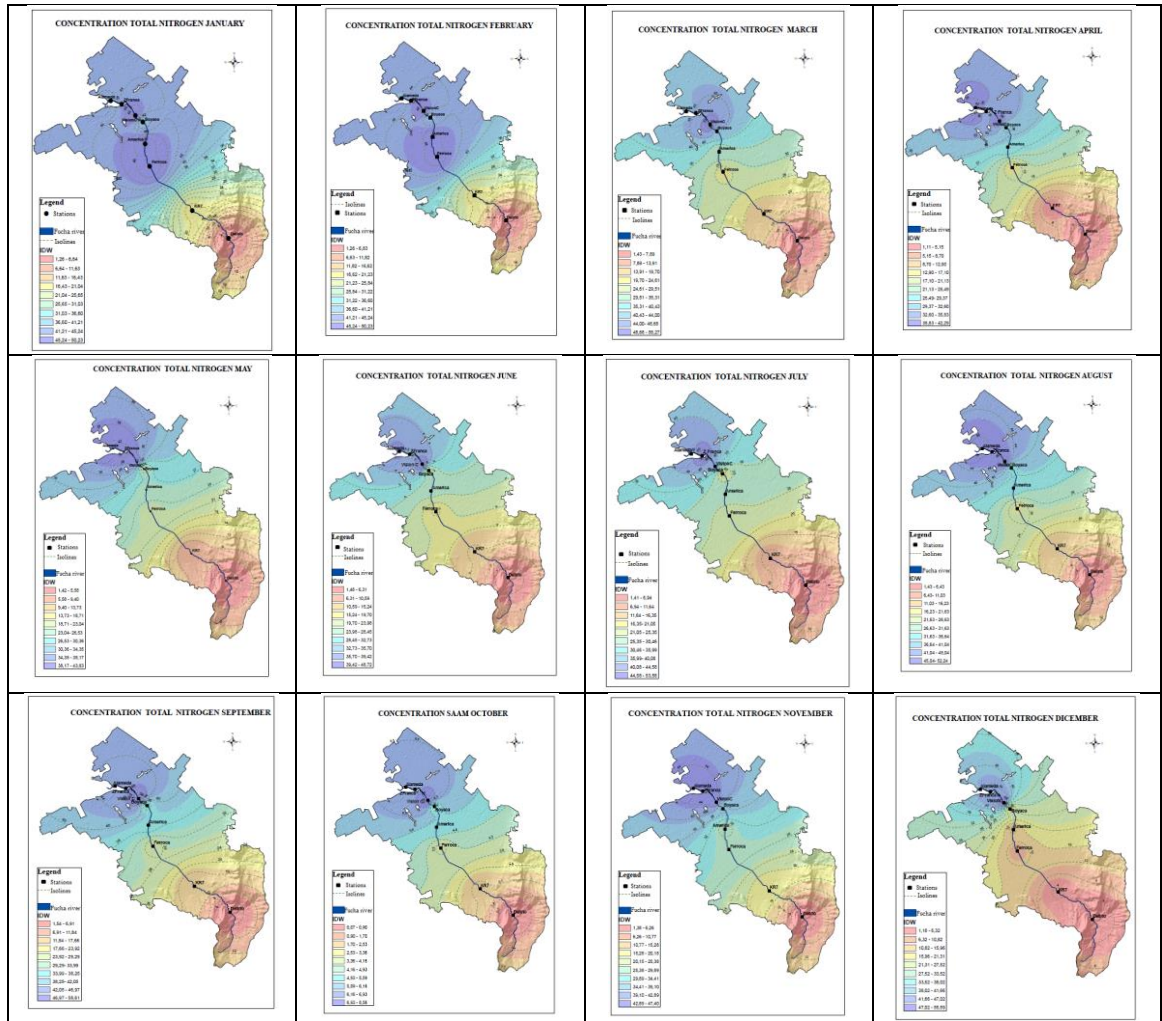




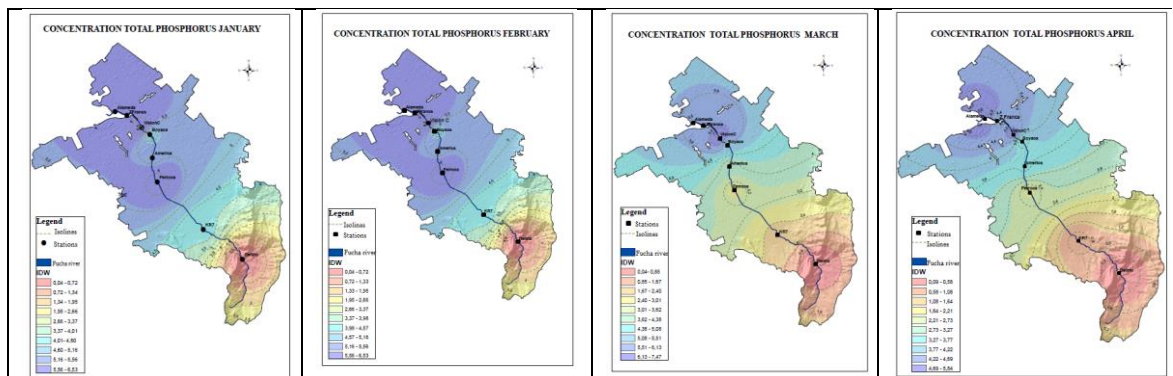
Anexo 65. Mapas por mes de SAAM para el rio Fucha

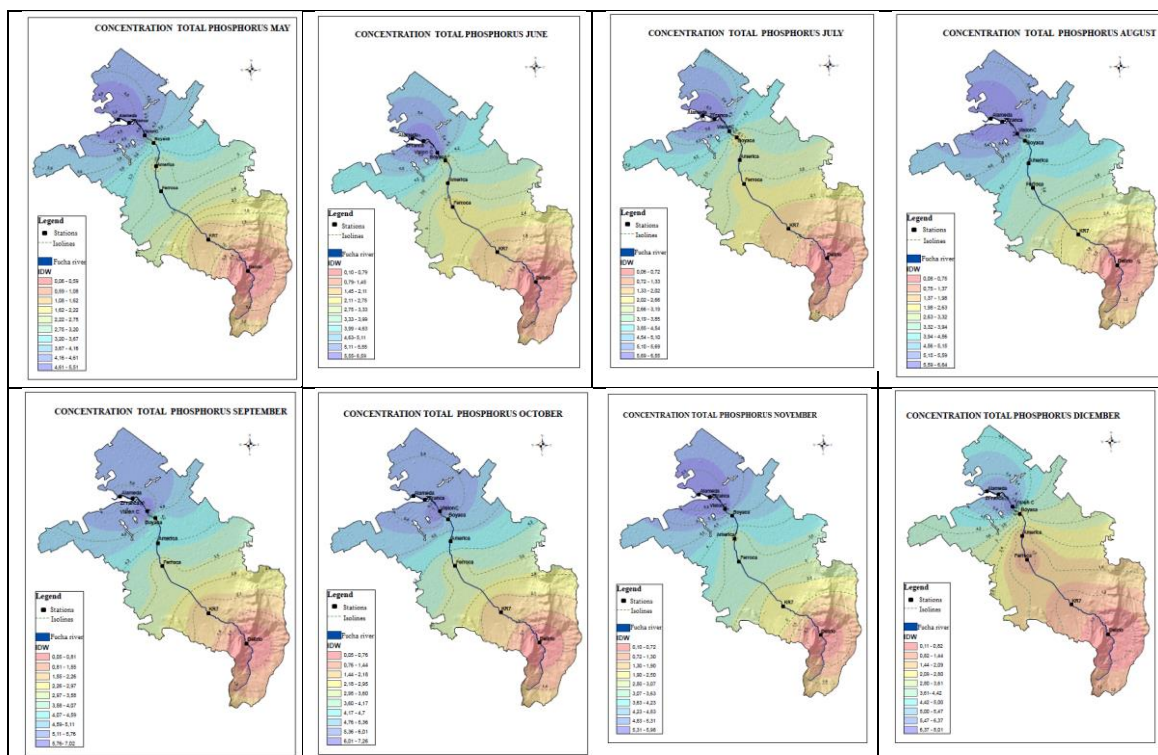


Anexo 66. Mapas por mes de Nitrógeno Total para el río Fucha

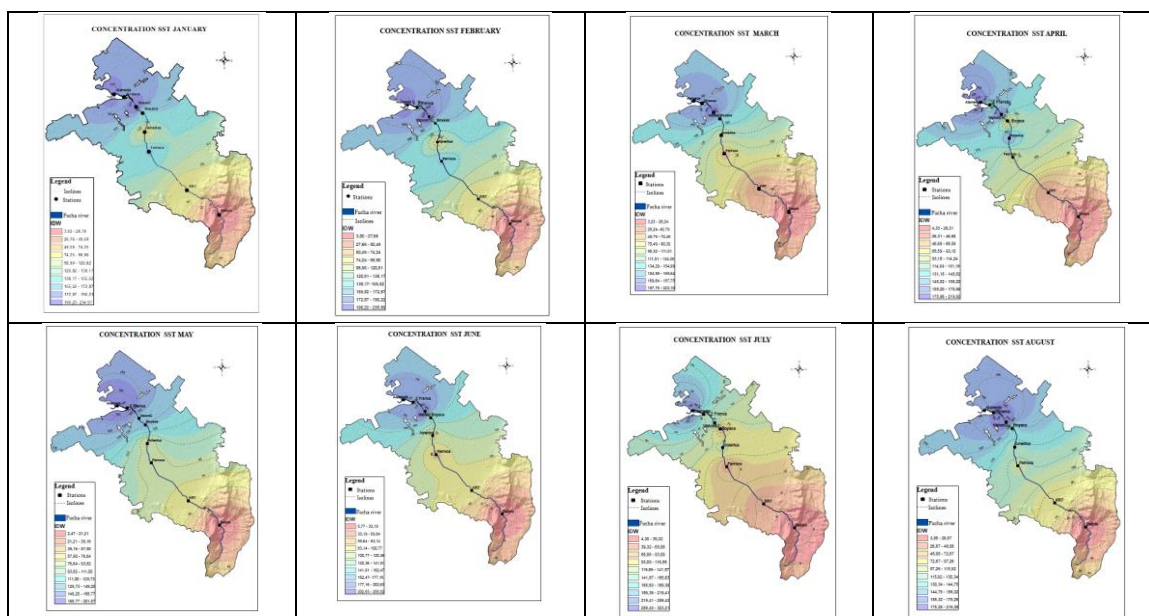


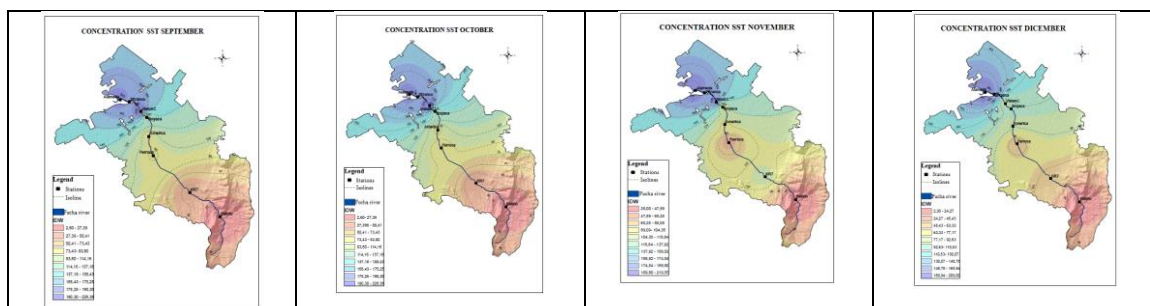
Anexo 67. Mapas por mes de Fosforo Total para el río Fucha



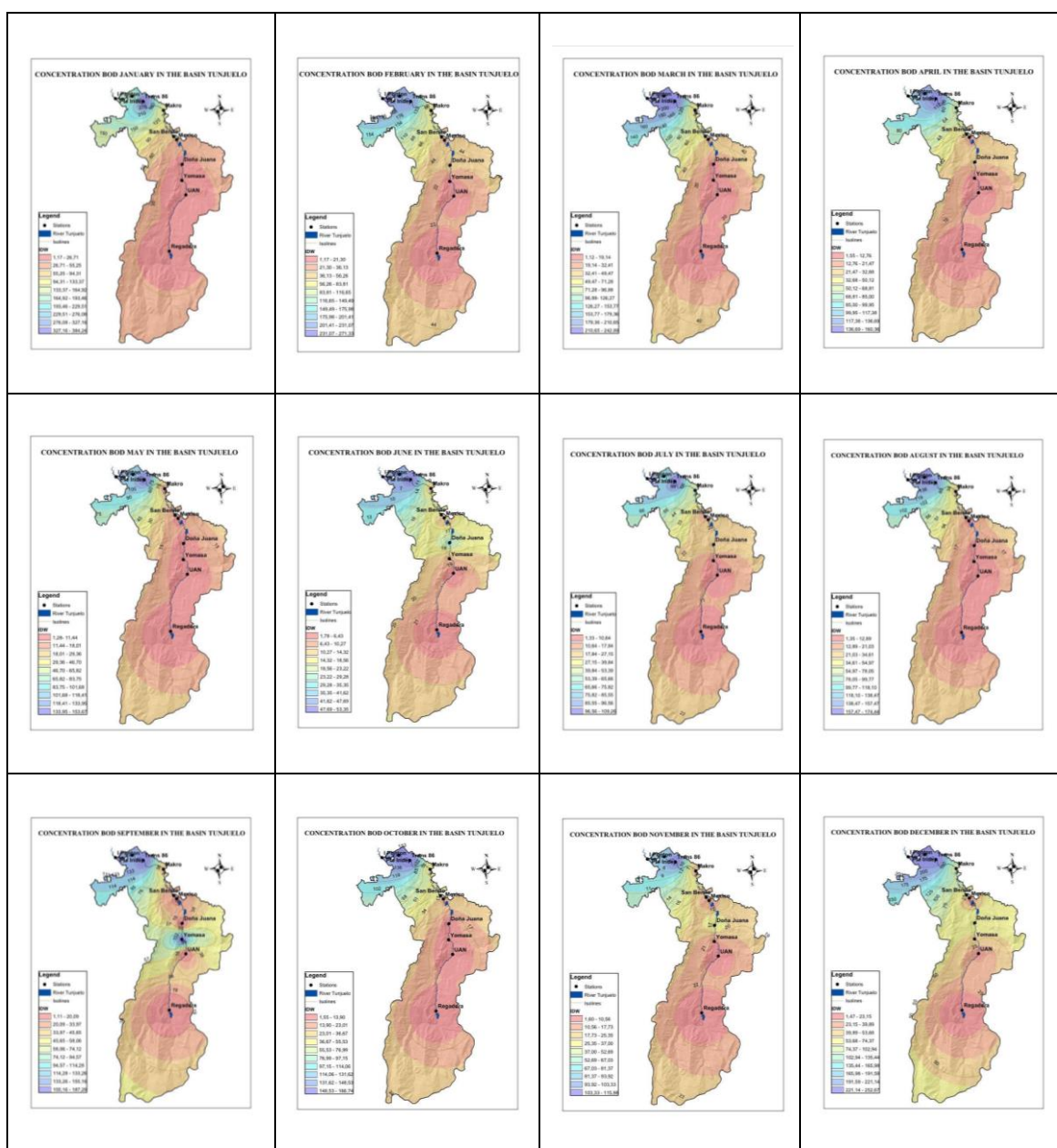


Anexo 68. Mapas por mes de SST para el rio Fucha

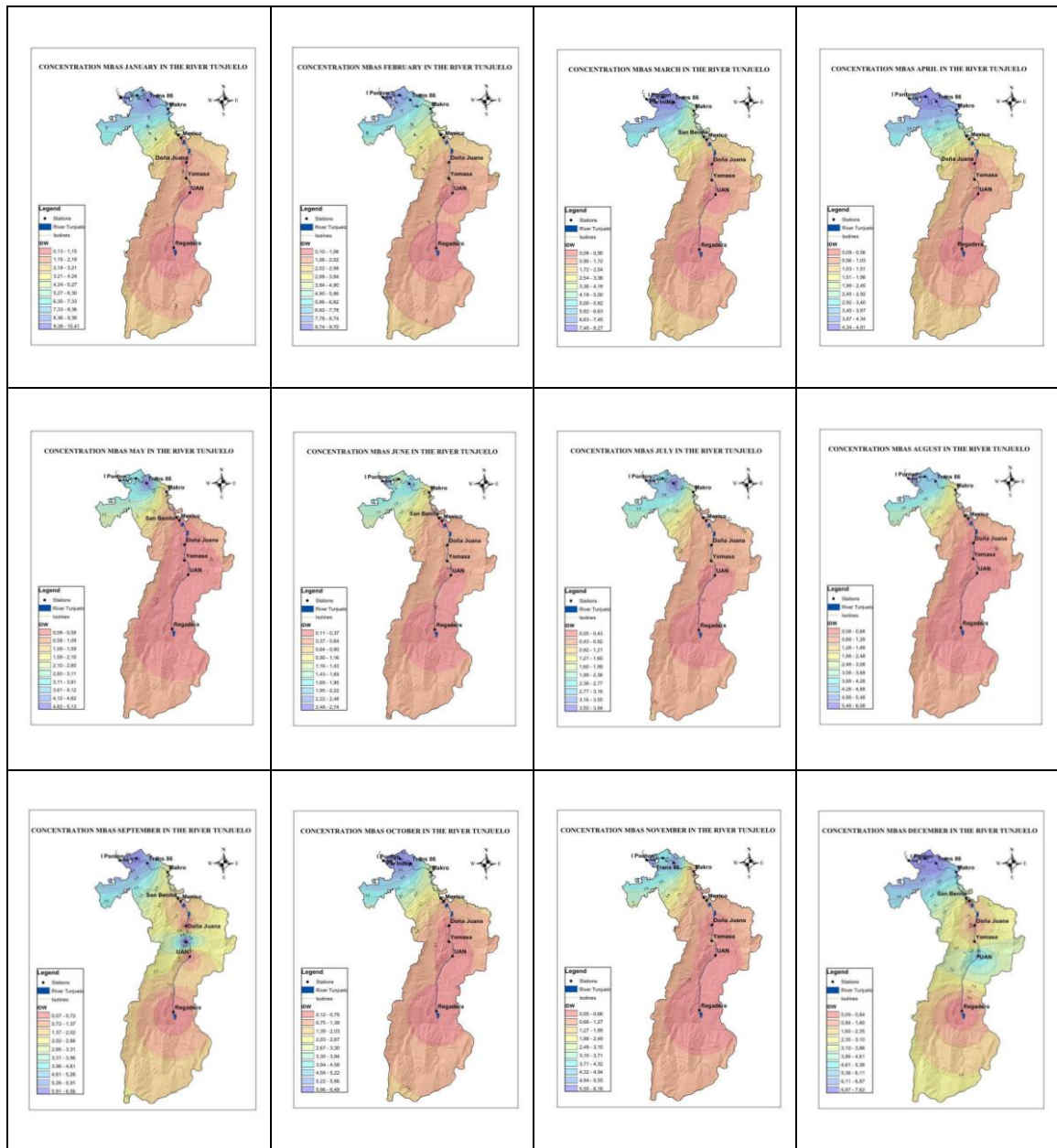




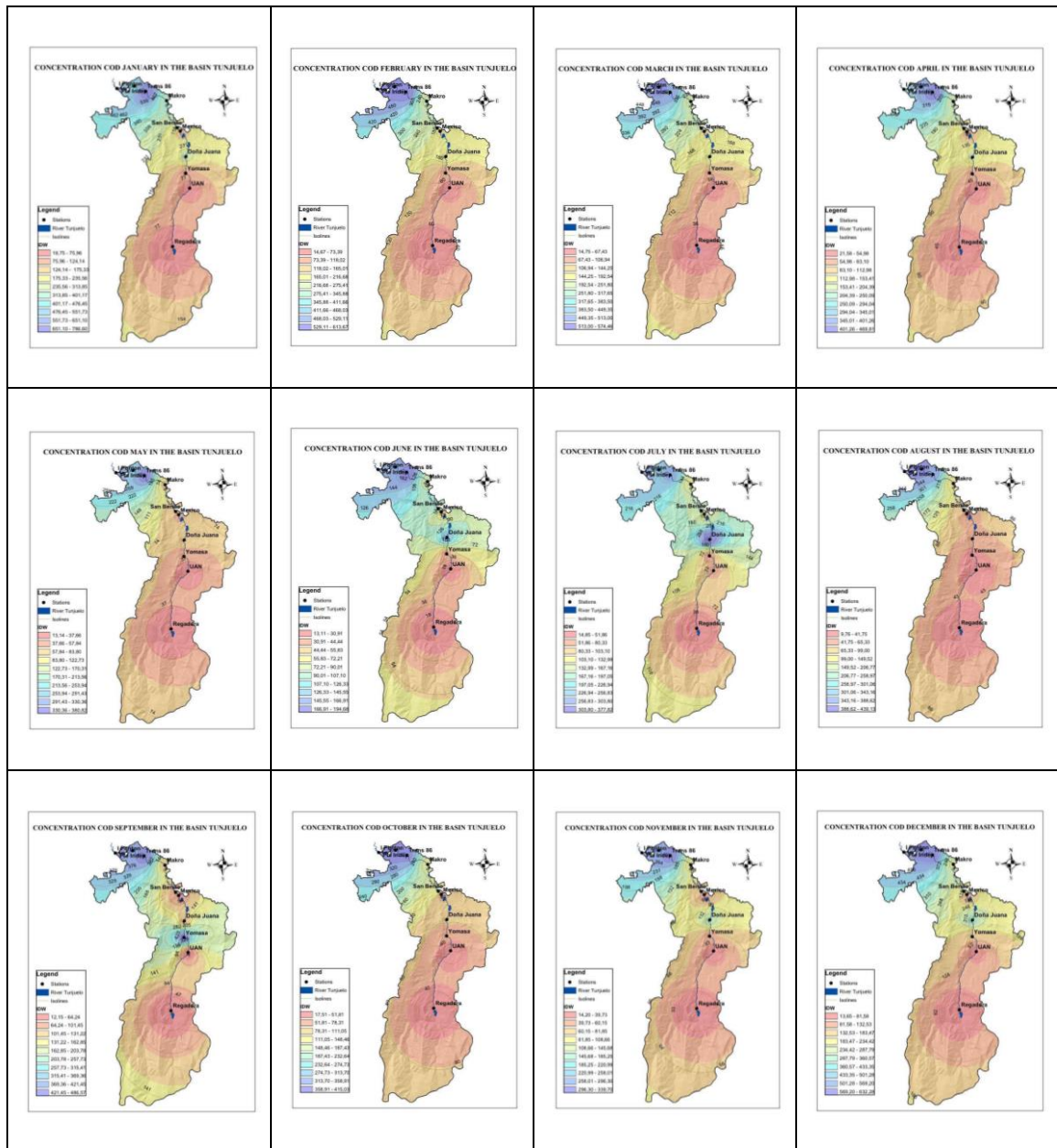
Anexo 69. Mapas por mes de DBO5 para el rio Tunjuelo



Anexo 70. Mapas por mes de SAAM para el río Tunjuelo



Anexo 71. Mapas por mes de DQO para el río Tunjuelo



Anexo 72. Mapas por mes de FT para el río Tunjuelo

