

Informe final de pasantía

**“MONITOREO E IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE RIESGO PARA LA
PROTECCIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO
HUMANO DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A E.S.P.”**

Presentado por:

JORGE EDUARDO RAMIREZ VELASCO

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN 2009**

Informe final de trabajo pasantía

**“MONITOREO E IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE RIESGO PARA LA
PROTECCIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO
HUMANO DEL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A E.S.P.”**

Presentado por:
JORGE EDUARDO RAMIREZ VELASCO

Director de pasantía:
PAULO MAURICIO ESPINOSA E.
Ingeniero químico MSc.

TRABAJO DE GRADO
Presentado a la facultad de Ingeniería Civil
Programa de Ingeniería Ambiental de la
Universidad del Cauca como requisito parcial para optar al título de
INGENIERO AMBIENTAL

POPAYÁN

2009

Nota de aceptación

Director

Jurado

Jurado

Popayán, noviembre de 2009

RESUMEN

La pasantía se realizó en la División Ambiental del Acueducto y Alcantarillado de Popayán S.A E.S.P. en actividades de monitoreo, protección y control de la calidad del agua para consumo humano tanto en la fuente de abastecimiento “Subcuenca Río Las Piedras”, como en la planta de potabilización “Tablazo”. En cada visita se realiza el informe respectivo donde se da a conocer la situación encontrada. El monitoreo realizado en la fuente de abastecimiento consta de dos actividades:

La toma de muestras de agua realizada en las estaciones de monitoreo adoptadas por la empresa y sus respectivos análisis realizados en el laboratorio de la empresa, reflejaron en muchos de los casos la buena calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del río “Las Piedras”, presentando solo problemas de turbiedad y color aparente; los cuales corresponden tan solo al 5% del total de parámetros medidos.

Y las visitas a las comunidades pertenecientes a la subcuenca, en las cuales se encontró una deficiencia en el uso del suelo, principalmente por el sobrepastoreo de la ganadería extensiva que se presenta en un 74.15% de la zona; donde se realizaron obras de aislamiento para la protección y recuperación de bosques nativos que protegen microcuencas o nacimientos.

En el monitoreo a la planta de potabilización se encontró un buen manejo en todos sus procesos, lo cual se refleja en el cumplimiento de la resolución 2115 de 2007 con respecto a las muestras del agua tratada; y los pocos inconvenientes encontrados en los sistemas de aducción, coagulación, desinfección y en los tanques de almacenamiento durante la inspección realizada en el primer semestre del año 2009 son de pequeñas correcciones o sugerencias.

Durante el desarrollo de la pasantía se realizaron treinta y cuatro (34) visitas técnicas cumpliendo de esta manera con los objetivos pactados con el AAPSA y la Universidad del Cauca.

AGRADECIMIENTOS Y/O RECONOCIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos:

A LA UNIVERSIDAD DEL CAUCA

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL, PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL. Universidad del Cauca.

Al ingeniero Paulo Mauricio Espinosa. Director de trabajo de grado, por su apoyo en las actividades académicas.

AL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A E.S.P., especialmente a la ecóloga Liliana Recamán y al ingeniero Rodrigo Velasco por su apoyo y asesoría técnica en la realización de las actividades.

A Libardo Ahumada y al resto del personal de la División Ambiental y de la planta de tratamiento “El Tablazo” del AAPSA por su colaboración con el desarrollo de las actividades de la pasantía.

A todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron para que este trabajo de grado se hiciera realidad.

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	19
2. OBJETIVOS.....	20
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3. EMPRESA RECEPTORA DE LA PASANTÍA.....	22
4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	27
4.1 AGUA CRUDA.....	27
4.2 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL AGUA	27
4.3 DOSIS LETAL MEDIA – DL ₅₀	28
4.4 TRATAMIENTO O POTABILIZACIÓN.....	28
4.5 AGUA POTABLE.....	28
4.6 CARACTERÍSTICA.....	28
4.7 CALIDAD DEL AGUA.....	29
4.8 REGISTRO DE CONTROL DE CALIDAD.....	29
4.9 RIESGO.....	29
4.10 FACTORES DE RIESGO.....	29
4.11 MAPA DE RIESGO DE CALIDAD DE AGUA.....	30
4.12 CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	30
4.13 MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA.....	31
4.13.1 Muestra puntual o simple.....	31
4.13.2 Muestra compuesta o integrada.....	32
4.13.3 Caracterización de aguas.....	32
4.14 INSPECCIÓN SANITARIA.....	36
4.14.1 Inspección Sanitaria Tipo I.....	37

4.14.2 Inspección Sanitaria Tipo II	37
4.15 NORMATIVA LEGAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE RIESGO PARA LA PROTECCIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	38
4.16 INSTRUMENTO NORMATIVO.....	41
5. METODOLOGÍA, PROCEDIMIENTOS, MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS	48
5.1 METODOLOGÍA, PROCEDIMIENTO, MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL SEGUIMIENTO Y/O MONITOREO A LOS RESULTADOS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA DE LA FUENTE DE CAPTACIÓN...	49
5.1.1 Descripción de la actividad	49
5.1.2 Materiales y equipos utilizados	50
5.2 METODOLOGÍA, PROCEDIMIENTO, MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL SEGUIMIENTO Y/O MONITOREO A LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	51
5.2.1 Descripción de la actividad	51
5.2.2 Materiales y equipos utilizados	52
5.3 METODOLOGÍA, PROCEDIMIENTO, MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LA INSPECCIÓN SANITARIA REALIZADA A LA PLANTA DE TRATAMIENTO “TABLAZO”.....	53
5.3.1 Descripción de la actividad	53
5.3.2 Materiales y equipos utilizados	53
5.4 METODOLOGÍA, PROCEDIMIENTO, MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LAS ACCIONES DE MEJORAMIENTO DEL USO DEL SUELO.....	54
5.4.1 Descripción de la actividad	54

5.4.2 Materiales y equipos utilizados.....	54
6. DESARROLLO DE LA PASANTÍA EN EL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POAYÁN S.A. E.S.P.....	55
6.1 VISITAS TÉCNICAS REALIZADAS.....	55
6.2 DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS ENCONTRADOS EN EL DESARROLLO DE LA PASANTÍA.....	57
6.2.1 Identificación de factores de riesgo de acuerdo con los resultados de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río “Las Piedras”.....	57
6.2.1.1 Descripción general de la “Subcuenca del río las Piedras”.....	57
6.2.1.2 Descripción general de las estaciones de monitoreo.....	60
6.2.1.3 Resultados obtenidos.....	111
6.2.2 Identificación de factores de riesgo de acuerdo con los resultados de los análisis de las muestras de agua para consumo humano exigidas para el control, de acuerdo con la Resolución 2115 de 2007.....	115
6.2.2.1 Procedimientos de muestreo y análisis.....	115
6.2.2.2 Resultados obtenidos.....	126
6.2.3 Identificación de factores de riesgo existentes en los procesos de tratamiento para la potabilización del agua.....	129
6.2.3.1 Descripción general del sistema de tratamiento..	129
6.2.3.2 Resultados obtenidos.....	159
6.2.4 Identificación de factores de riesgo de acuerdo con el uso del suelo aguas arriba de la captación.....	167
6.2.4.1 Uso del suelo en la Subcuenca Piedras.....	167

6.2.4.2 Resultados obtenidos.....	174
7. CONCLUSIONES.....	175
8. RECOMENDACIONES.....	177
9. BIBLIOGRAFÍA.....	180
ANEXOS.....	185

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Marco Legal aplicado en la pasantía.....	39
Tabla 2. Características físicas.....	42
Tabla 3. Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana.....	42
Tabla 4. Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana.....	43
Tabla 5. Características químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana.....	44
Tabla 6. Características químicas de sustancias utilizadas en la potabilización.....	45
Tabla 7. Características químicas relacionadas con los plaguicidas y otras sustancias.....	46
Tabla 8. Características microbiológicas.....	46
Tabla 9. Visitas técnicas realizadas en el AAPSA.....	55
Tabla 10. Valores de parámetros aceptables para aguas superficiales destinadas para fuentes de abastecimiento de agua	71
Tabla 11. Rangos de conductividad.....	75
Tabla 12. Grados de dureza.....	89
Tabla 13. Valores de cloruros del agua del río “Las Piedras”.....	100
Tabla 14. Valores de la DBO ₅ del agua del río “Las Piedras”.....	102
Tabla 15. Valores de la DQO del agua del río “Las Piedras.....	104
Tabla 16. Material y metodología utilizada para la medición de las variables fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río “Las Piedras”.....	116
Tabla 17. Valores promedio mensuales de los análisis fisicoquímicos del	

agua tratada de la planta “Tablazo” para el año 2008.....	123
Tabla 18. Valores promedio mensuales de los análisis microbiológicos del agua tratada de la planta “Tablazo” para el año 2008.....	124
Tabla 19. Valores promedio mensuales de los residuales de las sustancias químicas utilizadas en la potabilización de la planta “Tablazo” para el año 2008.....	125
Tabla 20. Cálculo de la eficiencia de remoción del sistema de sedimentación.....	141
Tabla 21. Cálculo de la eficiencia de remoción del sistema de filtración.....	145
Tabla 22. Puntos de muestreo en la red de distribución de la planta “Tablazo”.....	155

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura organizacional AAPSA.....	24
Figura 2. Estructura organizacional de División Ambiental del AAPSA...	26
Figura 3. Estación Puente Alto.....	60
Figura 4. Estación Bocatoma Diviso.....	62
Figura 5. Estación Descarga Diviso.....	64
Figura 6. Estación Puente Carretera.....	66
Figura 7. Estación Bocatoma Acueducto.....	68
Figura 8. Cuenca río “Las Piedras” y sus estaciones de monitoreo.....	70
Figura 9. Efecto de la escorrentía invernal sobre la turbiedad.....	111
Figura 10. Revegetalización de laderas degradadas.....	112
Figura 11. Sistemas silvopastoriles.....	112
Figura 12. Aislamientos “Cercas Eléctricas”.....	112
Figura 13. Toma de muestras y medición en campo.....	116
Figura 14. Captación río “Las Piedras”.....	130
Figura 15. Canal de aducción entre la captación y los desarenadores...	130
Figura 16. Desarenador.....	131
Figura 17. Primer tramo de aducción.....	132
Figura 18. Aliviadero.....	132
Figura 19. Tercer tramo de aducción con tubería nueva (HD).....	133
Figura 20. Planta de tratamiento “Tablazo”.....	134
Figura 21. Tratamiento convencional de potabilización.....	135
Figura 22. Oxigenación por la cascada.....	136
Figura 23. Prueba de jarras.....	136
Figura 24. Dosificador de coagulante.....	137
Figura 25. Aplicación en el punto de mezcla.....	137

Figura 26. Edificio de almacenamiento del coagulante.....	138
Figura 27. Floculadores hidráulicos.....	139
Figura 28. Flóculos al final de la unidad.....	139
Figura 29. Sedimentador de placas.....	140
Figura 30. Operación de limpieza.....	140
Figura 31. Filtro rápido.....	143
Figura 32. Válvulas de control de ciclos.....	143
Figura 33. Lavado y desagüe.....	143
Figura 34. Mantenimiento de filtros.....	143
Figura 35. Canal de desagüe de la planta.....	144
Figura 36. Sistema automático para controlar el lavado de filtros.....	144
Figura 37. Cloradores.....	147
Figura 38. Cilindros de cloro gaseoso.....	148
Figura 39. Caseta de cloración.....	148
Figura 40. Punto aplicación de cal.....	149
Figura 41. Tanque de contacto.....	149
Figura 42. Dosificador de cal.....	149
Figura 43. Sitio de almacenamiento de cal.....	149
Figura 44. Tanques de almacenamiento.....	150
Figura 45. Drenaje del reservorio.....	152
Figura 46. Ventilación del reservorio.....	152
Figura 47. Bombas impulsoras.....	153
Figura 48. Estación de bombeo.....	153
Figura 49. Sistema de control de bombas.....	153
Figura 50. Manómetro.....	153
Figura 51. Unidad de energía auxiliar.....	154
Figura 52. Tanque de combustible.....	154
Figura 53. Laboratorio para análisis microbiológico.....	157

Figura 54. Laboratorio para análisis fisicoquímico.....	158
Figura 55. Primer tramo sin tubería alterna.....	159
Figura 56. Daños en la estructura del primer tramo.....	159
Figura 57. Medidores automáticos para el control dañados.....	160
Figura 58. Corrosión en el punto de aplicación de coagulante.....	161
Figura 59. Único equipo dosificador de cal.....	162
Figura 60. Drenaje de la caseta de cloración sin sellar.....	163
Figura 61. Tapas de acceso a los tanques de almacenamiento abiertas..	164
Figura 62. Medidor de nivel dañado.....	165
Figura 63. Analizador automático dañado.....	165
Figura 64. Corrosión en las escaleras de acceso a los tanques.....	165
Figura 65. Compostaje.....	170
Figura 66. Bocashi.....	170
Figura 67. Instalación de cerca eléctrica.....	171
Figura 68. Revegetalización.....	171
Figura 69. Carga de plántulas de aliso.....	172
Figura 70. Nódulos en las raíces.....	172
Figura 71. Realización de trazados para la siembra de plántulas.....	173
Figura 72. Área con ganadería extensiva.....	173
Figura 73. Área con sistema silvopastoril.....	173

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Conductividad del agua del río “Las Piedras”.....	75
Gráfica 2. Turbiedad del agua del río “Las Piedras”.....	78
Gráfica 3. Color aparente del agua del río “Las Piedras”.....	80
Gráfica 4. pH del agua del río “Las Piedras”.....	83
Gráfica 5. Alcalinidad total del agua del río “Las Piedras”.....	86
Gráfica 6. Dureza total del agua del río “Las Piedras”.....	88
Gráfica 7. Hierro total del agua del río “Las Piedras”.....	91
Gráfica 8. Sólidos disueltos totales del agua del río “Las Piedras”.....	93
Gráfica 9. Nitritos del agua del río “Las Piedras”.....	95
Gráfica 10. Oxígeno disuelto del agua del río “Las Piedras”.....	98
Gráfica 11. Coliformes fecales del agua del río “Las Piedras”.....	106
Gráfica 12. Coliformes totales del agua del río “Las Piedras”.....	108
Gráfica 13. Mesófilos del agua del río “Las Piedras”.....	110

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Determinación de la eficiencia de remoción.....	140

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Formato de registro de muestreo de calidad.....	185
ANEXO B. Formato de inspección sanitaria.....	186
ANEXO C. Formato de reporte de novedades inspección de cuencas....	187
ANEXO D. Acta de entrega y recibo de materiales.....	188
ANEXO E. Análisis de características fisicoquímicas y microbiológicas del río “Las Piedras”.....	189
Tabla E.1. Conductividad del río “Las Piedras”.....	189
Tabla E.2. Turbiedad del río “Las Piedras”.....	189
Tabla E.3. Color aparente del río “Las Piedras”.....	190
Tabla E.4. pH del río “Las Piedras”.....	190
Tabla E.5. Alcalinidad total del río “Las Piedras”.....	191
Tabla E.6. Dureza total del río “Las Piedras”.....	191
Tabla E.7. Hierro total del río “Las Piedras”.....	192
Tabla E.8. Sólidos disueltos totales del río “Las Piedras”.....	192
Tabla E.9. Nitritos del río “Las Piedras”.....	193
Tabla E.10. Oxígeno disuelto del río “Las Piedras”.....	193
Tabla E.11. DQO del río “Las Piedras”.....	194
Tabla E.12. DBO ₅ del río “Las Piedras”.....	194
Tabla E.13. Cloruros del río “Las Piedras”.....	195
Tabla E.14. Coliformes fecales del río “Las Piedras”.....	195
Tabla E.15. Coliformes totales del río “Las Piedras”.....	196
Tabla E.16. Mesófilos del río “Las Piedras”.....	196
ANEXO F. Análisis de características fisicoquímicas y microbiológicas en los procesos de tratamiento de la planta “tablazo”.....	197

Tabla F.1. Resultados promedio del mes de enero de 2008.....	197
Tabla F.2. Resultados promedio del mes de febrero de 2008.....	197
Tabla F.3. Resultados promedio del mes de marzo de 2008.....	198
Tabla F.4. Resultados promedio del mes de abril de 2008.....	198
Tabla F.5. Resultados promedio del mes de mayo de 2008.....	198
Tabla F.6. Resultados promedio del mes de junio de 2008.....	199
Tabla F.7. Resultados promedio del mes de julio de 2008.....	199
Tabla F.8. Resultados promedio del mes de agosto de 2008.....	199
Tabla F.9. Resultados promedio del mes de septiembre de 2008.....	200
Tabla F.10. Resultados promedio del mes de octubre de 2008.....	200
Tabla F.11. Resultados promedio del mes de noviembre de 2008.....	200
Tabla F.12. Resultados promedio del mes de diciembre de 2008.....	201
ANEXO G. Análisis de características fisicoquímicas y microbiológicas en los puntos de muestreo de la red de distribución.....	202
Tabla G.1. Resultados promedio de las características fisicoquímicas del agua tratada en la red de distribución.....	202
Tabla G.2. Resultados promedio de las características microbiológicas del agua tratada en la red de distribución.....	202

LISTA DE SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

A.R	Aguas residuales
P.T.A.R	Planta de tratamiento de aguas residuales
RAS	Reglamento técnico de agua potable y saneamiento básico
AAPSA	Acueducto y alcantarillado de Popayán S.A. E.S.P.
POMCH	Plan de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas
O&M	Operación y mantenimiento
EPA	Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos
WHO	Organización mundial de la salud
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria
SSPD	Superintendencia de servicios públicos domiciliarios
C.R.C	Corporación autónoma regional del Cauca
IDEAM	Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales
mg/L	Miligramo por litro
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
OD	Oxígeno disuelto
NO ₂	Nitritos
pH	Potencial Hidrógeno
M.O	Materia orgánica
NMP	Número más probable
UFC	Unidad formadora de colonias
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
LPS	Litros por segundo
HD	Hierro dúctil
Ha	Hectárea
N	Norte
W	Oeste

1. INTRODUCCIÓN

La pasantía se realizó en la División Ambiental del Acueducto y Alcantarillado de Popayán la cual se encarga ejercer programas de protección y control en las subcuencas abastecedoras para así asegurar la buena calidad del vital líquido a la cabecera municipal de Popayán y algunas veredas del mismo municipio.

La acción principal consistió en la identificación de factores de riesgo que afectan la calidad del agua para consumo humano, de los que trata el numeral 5 del artículo 3 del proyecto de resolución del 24 de abril de 2008, los cuales pueden ser de origen natural o antrópico. Mediante monitoreos e inspecciones tanto en la subcuenca del río “Las Piedras”, como en la planta de tratamiento “Tablazo”.

La contaminación de las fuentes de aguas superficiales hace cada vez más costoso y difícil su tratamiento. Si no hay un óptimo proceso de potabilización y acciones de prevención en las cuencas hidrográficas se podría afectar en un futuro cercano la salud de los Payaneses con enfermedades transmitidas a través del agua. Además de esto los sistemas de distribución pueden afectar la calidad del agua debido a las condiciones de la tubería y a la operación del sistema. A partir de esta situación el Ministerio de la Protección Social, mediante el decreto 1575 de 2007 en su artículo 15 pretenden implementar un mapa de riesgo de la calidad de agua para consumo humano mediante acciones de inspección, vigilancia, control y de reducción de los factores de riesgo que pueden alterar la calidad del agua. Debido a esto, el presente trabajo brinda un punto de partida para priorizar los aspectos objeto de intervención, con el fin de garantizar agua potable sin riesgo sanitario para la ciudad de Popayán.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar los factores de riesgo que alteran ó pueden alterar las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua en la Subcuenca del Río las Piedras y en la planta de tratamiento “El Tablazo” del AAPSA; y las respectivas acciones preventivas o correctivas que se deben tomar.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la procedencia de las características fisicoquímicas y microbiológicas que modifiquen la calidad del agua del río “Las piedras”, a partir de la observación directa y mediante un análisis interpretativo de estas mismas en función de la geología, geomorfología, clima, vegetación y actividades antrópicas presentes en la subcuenca.
- Realizar el seguimiento y estudio de los resultados de los análisis de las muestras de agua para consumo humano exigidas para el control, de acuerdo con la Resolución 2115 de 2007, con base en el registro de control de calidad realizado por el laboratorio de la empresa para el año 2008.
- Verificar si la planta de tratamiento tiene la capacidad para tratar el agua, mediante la inspección de la planta física, personal, laboratorio y de los procesos de tratamiento existentes para la potabilización del agua.
- Implementar acciones junto con las comunidades pertenecientes a la subcuenca, que permitan la optimización del uso del suelo aguas arriba del

sitio de captación mediante aislamientos de zonas de sobrepastoreo, revegetalización en laderas degradadas, implementación de sistemas silvopastoriles con especies nativas.

3. EMPRESA RECEPTORA DE LA PASANTÍA

En Colombia la normatividad en cuanto a servicios públicos domiciliarios está regulada bajo la Ley 142 de 1994, por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y en su artículo 76 crea la superintendencia de servicios públicos domiciliarios que es una entidad descentralizada de carácter técnico, con personería jurídica, autonomía administrativa y patrimonial.¹

El primer acueducto de Popayán se inauguró en 1928 con la Planta de Tulcán, la cual captaba agua del río Molino. Esta ciudad fue uno de los primeros centros urbanos del país que construyó su planta de tratamiento. Con el aumento de la población se hizo necesaria la construcción de un nuevo acueducto (Tablazo), cuyas obras comenzaron en el año de 1955, el cual tendría como fuentes de abastecimiento el río Las Piedras y el río Cauca. Aunque solamente en época de estiaje el río Cauca se toma como fuente de abastecimiento alterna.

Después de varios cambios y ajustes en su naturaleza jurídica, el AAPSA es hoy una sociedad anónima colombiana clasificada legalmente como empresa de servicios públicos mixta, por razón del servicio pertenece al orden municipal, sociedad en la que el estado posee más del 90% de su capital social, sometida en todo a lo que no disponga directamente la Constitución Política, al régimen general de las empresas de servicios públicos y demás normas concordantes

El objeto social de la empresa lo constituye la prestación del servicio público de acueducto y alcantarillado, que consiste en la distribución municipal de agua apta para el consumo humano incluida su conexión y medición, a las actividades complementarias tales como captación de agua y su procesamiento, tratamiento,

¹ Decreto 990 de 2002. Artículo 2

almacenamiento, conducción y transporte. El servicio público de alcantarillado, es la recolección municipal de residuos principalmente líquidos por medio de tuberías y conductos a las actividades complementarias de transporte, tratamiento y disposición final de tales residuos. Para su cumplimiento, la empresa se encuentra estructurada como una organización divisional en donde se distinguen tres grandes funciones: gerencia y apoyo, administrativa y financiera, técnica-operativa.²

² Manual de gestión de la calidad del AAPSA, 2007, p.7.

En la figura 1, se encuentra la estructura organizacional de la empresa receptora de la pasantía AAPSA.

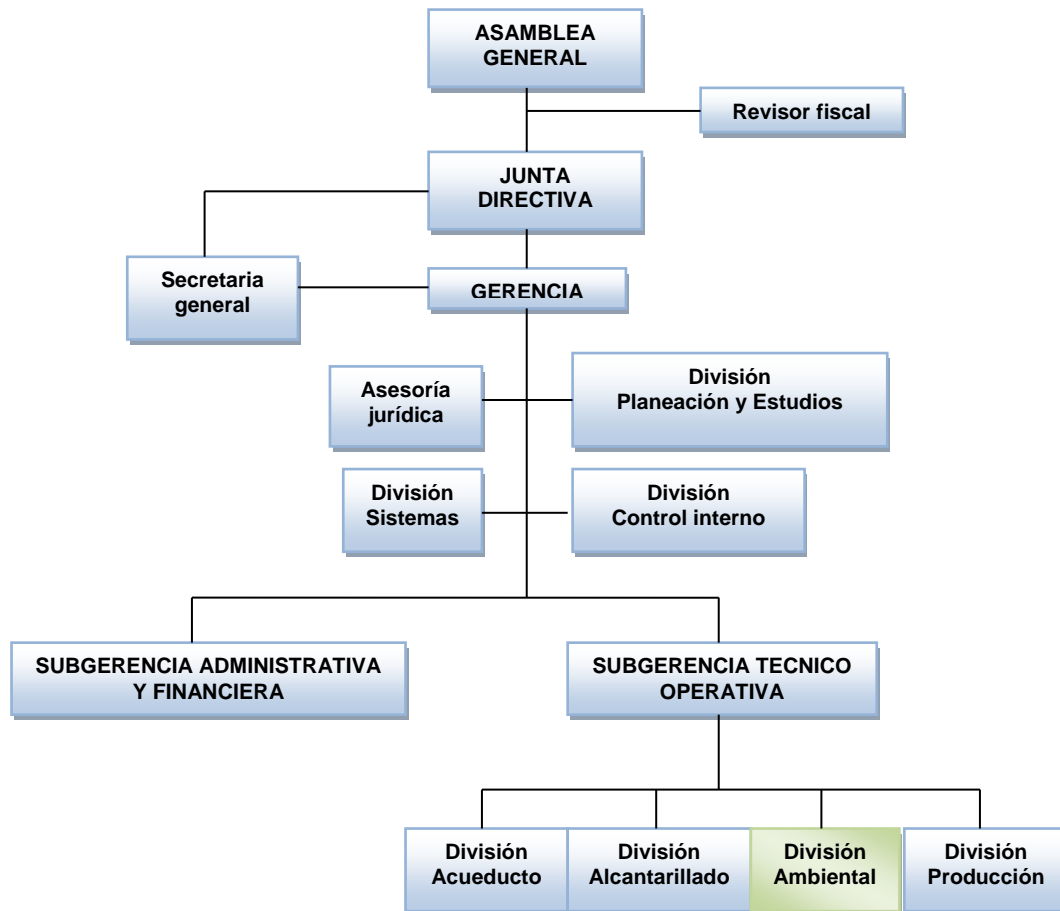


Figura 1. Estructura Organizacional AAPSA.³

La División Ambiental del AAPSA tiene como función general desarrollar actividades tendientes a mitigar y proteger la diversidad e integridad del ambiente y conservación de las áreas de especial importancia ecológica, conciliando estos

³ Ibíd., p.8.

objetivos con la buena cobertura y la costeabilidad de los servicios de acueducto y alcantarillado.

Una de sus funciones específicas es la de coordinar con las distintas entidades públicas y privadas encargadas del manejo de los recursos naturales, lo concerniente a la conservación y mantenimiento de las cuencas hidrográficas de los ríos que forman parte de las fuentes de abastecimiento del municipio de Popayán. Su otra función específica es la de realizar los estudios limnológicos necesarios e indispensables para el cumplimiento de las metas y propósitos establecidos mediante acciones como:

- Desarrollo de proyectos de carácter ambiental que formen parte integral del plan de desarrollo de la empresa.
- Implantar programas de monitoreo y atención de calidad y cantidad de las fuentes que abastecen al acueducto de Popayán.
- Participar en la evaluación de los estudios de las fuentes alternas para el abastecimiento del municipio, así como en el plan de descontaminación de la ciudad.
- Fortalecimiento de procesos en organización y participación comunitaria.
- Educación ambiental.
- Caracterización ambiental.
- Reforestación, restauración ambiental, producción limpia.
- Sistemas silvopastoriles, sistemas silvoagrícolas, seguridad alimentaria.
- Producción de plántulas en viveros y producción de abono orgánico.
- Ejecución de proyectos de saneamiento básico con énfasis en solución de agua a través de construcción y mejoramiento de acueductos veredales.
- Construcción de unidades sanitarias con sistemas de tratamiento de aguas residuales para pequeñas comunidades.
- Rectificación y recuperación de cauces.

- Recuperación de espacio público a través de construcción de senderos ecológicos.

En la figura 2, se encuentra la estructura organizacional de la División Ambiental del AAPSA.

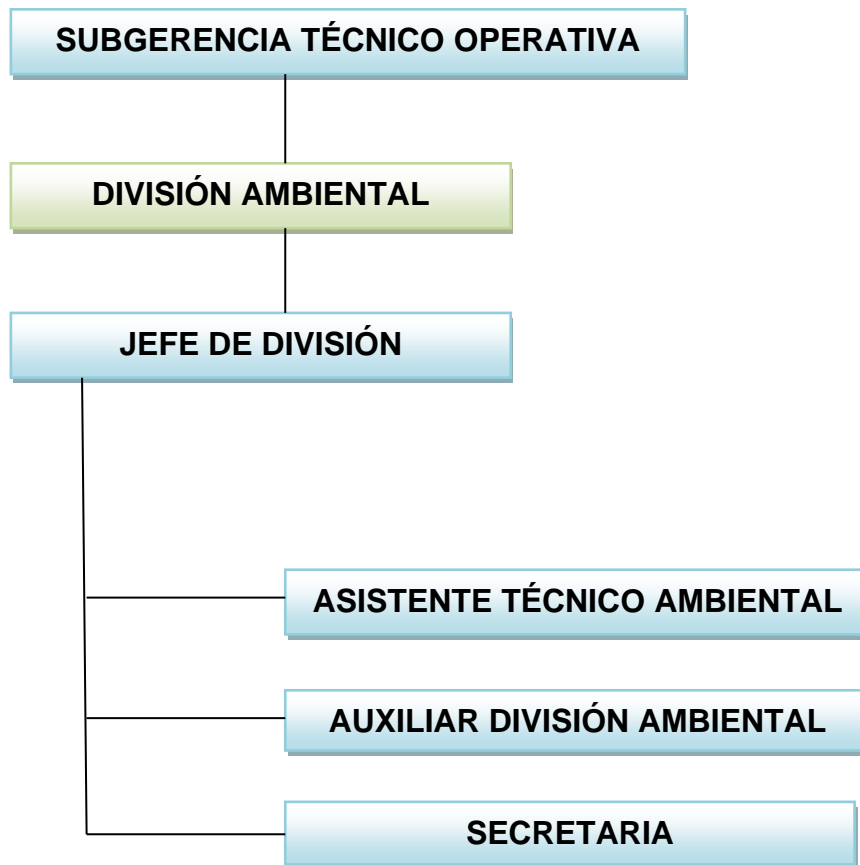


Figura 2. Estructura organizacional de División Ambiental del AAPSA.⁴

⁴ Manual de funciones. Subgerencia técnico operativa del AAPSA, 2007, p.234.

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para establecer una actividad dentro del programa de monitoreo e identificación de factores de riesgo que afectan la calidad del agua para consumo humano de la División Ambiental del AAPSA, se empieza por entender en teoría, cada aspecto relacionado en la protección y control de la calidad del recurso agua para el abastecimiento de la ciudad.

4.1 AGUA CRUDA

El agua cruda es el agua tal como se encuentra en las fuentes, en estado natural, sin tratamiento. Se pueden identificar como fuentes de “agua cruda” a los cursos superficiales o subterráneos, entre ellos, los ríos, arroyos, lagos, lagunas y acuíferos, que el hombre usa como materia prima para abastecerse. [1]

4.2 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL AGUA

Son aquellos procedimientos de laboratorio que se efectúan a una muestra de agua para consumo humano para evaluar sus características físicas, químicas, tipo y cantidad de microorganismos.⁵

⁵ Resolución 2115 de 2007. Artículo 1

4.3 DOSIS LETAL MEDIA – DL₅₀

Estimación estadística de la dosis mínima necesaria para matar el 50% de una población de animales de laboratorio bajo condiciones controladas. Se expresa en miligramos de tóxico por kilogramo de peso del animal.⁶

4.4 TRATAMIENTO O POTABILIZACIÓN

Es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla apta para el consumo humano.⁷

4.5 AGUA POTABLE

Es aquélla que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, en las condiciones señaladas en la resolución 2115 de 2007 y demás normas que la reglamenten, es apta para consumo humano. Se utiliza en bebida directa, en la preparación de alimentos o en la higiene personal.⁸

4.6 CARACTERÍSTICA

Término usado para identificar elementos, compuestos, sustancias y microorganismos presentes en el agua para consumo humano.⁹

⁶ *Ibíd.*

⁷ Resolución 2115 de 2007. Artículo 1

⁸ Decreto 1575 de 2007. Artículo 2

⁹ Resolución 2115 de 2007. Artículo 1

4.7 CALIDAD DEL AGUA

Es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia.¹⁰

4.8 REGISTRO DE CONTROL DE CALIDAD

Es aquel donde la persona prestadora que suministra o distribuye agua para consumo humano consigna los resultados obtenidos de los análisis de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua suministrada a la población, la cantidad de agua captada y enviada a las redes, la cantidad de productos químicos utilizados y las novedades presentadas.¹¹

4.9 RIESGO

Probabilidad de que un agente o sustancia produzca o genere una alteración a la salud como consecuencia de una exposición al mismo.¹²

4.10 FACTORES DE RIESGO

En el contexto de este estudio se asumen como factores de riesgo:

- 1) La procedencia de los parámetros químicos, físicos y microbiológicos que alteran la calidad del agua, localizados tanto en la fuente abastecedora como al interior de la infraestructura necesaria para la prestación del servicio.
- 2) La capacidad de tratar el agua hasta alcanzar los parámetros químicos, físicos y microbiológicos aptos para consumo humano y conservarla hasta el usuario final.¹³

¹⁰ Decreto 1575 de 2007. Artículo 2

¹¹ Decreto 1575 de 2007. Artículo 2

¹² *Ibíd.*

4.11 MAPA DE RIESGO DE CALIDAD DE AGUA

Instrumento que define las acciones de inspección, vigilancia y control del riesgo asociado a las condiciones de calidad de las cuencas abastecedoras de sistemas de suministro de agua para consumo humano, las características físicas, químicas y microbiológicas del agua de las fuentes superficiales o subterráneas de una determinada región, que puedan generar riesgos graves a la salud humana si no son adecuadamente tratadas, independientemente si provienen de una contaminación por eventos naturales o antrópicos.¹⁴

4.12 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Los ríos, lagos y mares recogen, desde tiempos inmemoriales, las basuras producidas por la actividad humana. El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que se arrojan los residuos producidos por nuestras actividades. Pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc., se encuentran, en cantidades mayores o menores, al analizar las aguas de los más remotos lugares del mundo. Muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida. [2]

¹³ Proyecto de Resolución 24 Abril de 2008. Artículo 2

¹⁴ Decreto 1575 de 2007. Artículo 2

4.13 MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA

Es el proceso programado de muestreo y registro subsecuente de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua, frecuentemente con el fin de hacer una estimación conforme a objetivos especificados. Las principales razones para el establecimiento de programas de monitoreo de la calidad del agua tienen que ver con la necesidad de verificar si la calidad del recurso cumple con las condiciones para los usos requeridos, con la determinación de las tendencias de la calidad del ambiente acuático y como éste se ve afectado por el vertimiento de contaminantes originados por actividades humanas. Debido a que el recurso hídrico tiene gran cantidad de usos, el monitoreo debe reflejar las necesidades de información de los diferentes usuarios involucrados. Cuando un programa de monitoreo para la calidad del agua está siendo planeado, los administradores del recurso o autoridades similares, deben buscar que éste genere información valiosa que les permita tomar decisiones sobre su manejo. [3]

Para realizar un monitoreo en aguas superficiales, se hace necesario que durante la toma de muestras se empleen los protocolos establecidos por el IDEAM en su guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas.

Antes describir los pasos a realizar de acuerdo al protocolo del IDEAM para el monitoreo se hace necesario tener presente los siguientes conceptos.

4.13.1 Muestra puntual o simple

Muestra recolectada en un sitio específico durante un periodo corto, de minutos a segundos. Representa un instante en el tiempo y un punto en el espacio del área de muestreo. Las muestras *puntuales discretas* son aquellas que corresponden a un sitio seleccionado, a una profundidad y tiempo definidos. Una muestra *puntual*

integrada en profundidad corresponde a la que es recolectada a profundidades definidas de la columna de agua, en un sitio y tiempo seleccionados. El diseño del muestreo deberá tener en consideración descargas cíclicas o temporales del cuerpo receptor en estudio.

4.13.2 Muestra compuesta o integrada

Provee un muestreo representativo de matrices heterogéneas, en la cual la concentración del o los analito(s) de interés pueden variar su concentración en el espacio o el tiempo. Las muestras compuestas pueden combinar porciones de varias muestras simples o las provenientes de sistemas automáticos de extracción. Las muestras integradas en el tiempo recurren a muestreadores con bombeo a un flujo continuo constante de muestra o la mezcla de volúmenes iguales recolectados a intervalos regulares. [4]

4.13.3 Caracterización de aguas

Se refiere a un análisis fisicoquímico y microbiológico de un cuerpo de agua, ya sea un vertimiento o un cauce natural. Los parámetros que conforman una caracterización de aguas por lo general corresponden a: pH, temperatura, color, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos en suspensión y sólidos sedimentables, aceites y grasas, concentración de tóxicos metálicos, nitrógeno, fósforo, amoníaco, y cloruros, coliformes totales y coliformes fecales. [5]

Se resume a manera general el proceso y recomendaciones necesarias para un programa de monitoreo de aguas superficiales. De acuerdo a la *“Guía para el monitoreo de vertimientos a aguas superficiales y subterráneas”* establecida por el IDEAM.

Medición para parámetros en campo. La medición de parámetros en campo (pH, OD, conductividad, turbidez y temperatura) se realiza generalmente mediante equipos portátiles, tales como sondas multiparamétricas, pHmetros y conductímetros. Es deseable que el valor de oxígeno disuelto se verifique con el método Winkler sobre al menos una alícuota de otra porción de muestra, evitando la agitación y la formación de burbujas

Recipientes para los análisis. Los recipientes comúnmente usados para análisis fisicoquímico son de plástico con capacidad mínima de 1 L y tapa rosca hermética, se debe de limpiar con agua mas detergente y su enjuague con agua destilada; los recipientes plásticos deben ser de polietileno, policarbonato o teflón y se usan para determinar sustancias inorgánicas, los de polietileno se limpian llenándolos con una solución de ácido nítrico al 10% o una solución 1M de ácido clorhídrico durante 30 minutos y enjuagando con agua destilada o deionizada. Los recipientes usados para análisis bacteriológico son de vidrio y deben estar previamente esterilizados con una solución acuosa al 3% de tiosulfatosódico, con capacidad de 500 mL y tapa rosca hermética. En caso que se requiera determinar silicatos, boro, surfactantes y fosfatos se recomienda no usar detergentes para la limpieza. Los recipientes deben estar marcadas con un rótulo en el que se indica código de campo (preestablecido de acuerdo con el formato de captura de datos), sitio de muestreo, el método analítico a que va destinada cada muestra, el tipo de muestreo (puntual, compuesto o integrado), la preservación necesaria y la identificación en caso de que se trate de muestra de control, blanco, testigo o muestra adicionada.

Toma de muestra para los análisis. Para recolección de muestra se hace necesario conocer el tipo de muestreos a realizar, este puede ser un muestreo puntual, muestreo compuesto o integrado dependiendo de lo que se pretenda seguir.

El procedimiento para la toma de muestras puntuales se podrá desarrollar a través de la utilización de un muestreador (agua superficial y subterránea) o de un balde (aguas superficiales y vertimientos). Si la muestra fue tomada mediante la utilización de un muestreador, traspase el volumen de agua a un balde.

Adicional a los parámetros medidos in-situ, análisis tales como: bacteriológicos y compuestos orgánicos volátiles (COV), entre otros, deberán ser analizados sobre muestras puntuales.

Para las muestras compuestas se compone tomando y mezclando en un mismo recipiente un volumen (alícuota) de muestra en intervalos de tiempo dependiendo de la frecuencia y duración del programa de monitoreo o de las características del cuerpo de agua o del vertimiento a muestrear.

Para el caso del muestreo integrado (aplicable a ríos de 10 a 100 metros de ancho), para la toma de las muestras puntuales es deseable el uso de un muestreador, de lo contrario se puede utilizar un balde. Se usa el método del incremento-de-ancho-igual (EWI) para obtener una serie de muestras puntuales, cada muestra puntual representa un volumen de agua tomado a anchos iguales, para emplear este método, se usa una cinta métrica para medir el ancho de orilla a orilla de la corriente en el canal; el ancho se divide en cuatro incrementos iguales, de manera que se obtengan 3 verticales para la toma de la muestra, esto es a $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ de la sección transversal del río. Luego se purga el muestreador y el recipiente para la integración de la muestra con agua del río.

Las botellas para las muestras adicionadas, una vez purgadas, se llenan de la siguiente manera: se vierte en la botella el contenido del correspondiente frasco rotulado como “adicionado”, se enjuaga el frasco con tres porciones de la muestra transfiriendo los enjuagues a la botella y se llena la botella con muestra dejando un espacio libre de aproximadamente dos centímetros; cuando sea necesario, se adiciona el reactivo de preservación, se agita para homogeneizar y se tapan las botellas. Desde el momento de la toma de muestras y hasta su llegada al laboratorio, éstas se deben conservar en refrigeración a 4°C, evitando la congelación.

Envío y/o entrega al laboratorio. todas las muestras de un mismo sitio de muestreo deberán ser almacenados en una misma nevera, para evitar posibles confusiones con muestras de otros sitios; sin embargo, si fueron tomados blancos estos deben ir empacados de igual manera que las otras muestras para que el laboratorio no los pueda identificar. Es importante tener en cuenta el tiempo recomendado de almacenamiento para realizar cada análisis. Determinaciones como cianuro, NO_3 , NO_2 , DBO_5 , entre otros, deberán ser realizadas a la mayor brevedad teniendo en cuenta el almacenamiento máximo de la muestra.

4.14 INSPECCIÓN SANITARIA

Las siguientes definiciones y recomendaciones son necesarias para la inspección sanitaria del sistema de tratamiento de agua potable. De acuerdo al manual “*Cómo realizar inspecciones sanitarias en pequeños sistemas de agua*” establecida por la EPA, OMS, OPS y CEPIS.

Una inspección sanitaria significa “la revisión *in situ* de la fuente de agua, instalaciones, equipo y O&M de un sistema público de agua a fin de evaluar la suficiencia de dicha fuente, instalaciones, equipo y O&M para producir y distribuir agua de bebida segura”. La inspección sanitaria involucra dos aspectos básicos:

Mantenimiento preventivo: es el que se efectúa con el fin de evitar problemas en el funcionamiento de los componentes de un sistema.

Mantenimiento correctivo: tiene en cuenta las acciones de reparación de daños causados por deterioros normales del uso de los sistemas o por acciones extrañas e imprevistas.

La inspección sanitaria está especificada en la ley. Los reglamentos están diseñados para prevenir el desarrollo de condiciones y prácticas que puedan contribuir a un riesgo sanitario. Hay reglamentos que indican que las inspecciones sanitarias se deben realizar cada tres a cinco años en los sistemas de agua públicos. El cumplimiento de este requerimiento es un buen indicador de la capacidad de un sistema para brindar un abastecimiento seguro y adecuado de agua potable. El inspector de la inspección sanitaria debe verificar si tal cumplimiento puede ser una condición de largo plazo o si es precario y posiblemente esté sujeto a un alto grado de riesgos sanitarios que podrían afectar la calidad o cantidad de agua y amenazar la salud pública.

Las actividades de la inspección sanitaria brindan un registro completo y exacto de los componentes de los sistemas de agua, evalúan las condiciones de funcionamiento y adecuación del sistema

4.14.1 Inspección Sanitaria Tipo I

La inspección sanitaria de tipo I es una evaluación integral *in situ* de todos los componentes de un sistema de agua y los procedimientos de O&M. La frecuencia de dicha inspección se basa, pero no se limita a, un número negociado por la EPA y el estado o se basa en un plan estatal de inspección sanitaria definido por el estado. Algunos estados establecen una frecuencia de inspecciones de cada 3 años para sistemas superficiales y de cada 5 años para sistemas subterráneos.

4.14.2 Inspección Sanitaria Tipo II

La inspección sanitaria de tipo II es una inspección "*in situ*" limitada, que se realiza a medida que se requiera. La inspección incluye, pero no se limita a, inspección de componentes específicos del sistema de agua, inspección de los procedimientos de O&M e inspección relacionada con quejas. Las inspecciones de tipo I hacen un seguimiento de las inspecciones previas o inspecciones realizadas como resultado de un problema o acción relacionada con el cumplimiento del reglamento. Una inspección de tipo II no substituye a una inspección de tipo I.

4.15 NORMATIVA LEGAL PARA LA IDENTIFICACIÓN DE FACTORES DE RIESGO PARA LA PROTECCIÓN Y CONTROL DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Para la identificación de los factores de riesgo para la protección y control de la calidad de agua para consumo se pueden aplicar normativas tales como: la ley 142 de 1994, decreto 1575 de 2007 “establecimiento de un sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano” que modifica el decreto 475 de 1998, decreto 1594 de 1984 “usos del agua y residuos líquidos”, resolución 1570 de 2004 “capacitación y asistencia técnica para el sector de agua potable, saneamiento básico y ambiental”, resolución 811 de 2008 “concertación de lugares y puntos de muestreo en la red de distribución”, resolución 2115 de 2007 “señala características, instrumentos básicos, frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo”; entre otros.

En la tabla 1, se clasifican de manera objetiva las distintas leyes, decretos, resoluciones y normas en las aplicaciones de actividades para la identificación de factores de riesgo para la calidad del agua para consumo humano, se debe tener en cuenta que entre la normatividad se pueden nombrar los reglamentos más importantes o generales que servirán de herramienta para las actividades antes mencionadas.

Tabla 1. Marco legal aplicado en la pasantía

REGLAMENTO / ENTIDAD	DETALLES
<p>Constitución Política de 1991 Presidencia de la República</p>	<p>Art. 311 - Le corresponde al municipio garantizar la prestación de los servicios públicos.</p>
<p>Ley 142 de 1994 Presidencia de la República</p>	<p>Art. 76 – Creación y naturaleza jurídica de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.</p>
<p>Decreto 1575 de 2007 Ministerio de la Protección Social</p>	<p>Art. 1 – El objetivo del presente decreto es establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua. Art. 9 – Responsabilidad de las personas prestadoras en relación con el control sobre la calidad del agua para consumo humano. Art. 15 – Elaboración del mapa de riesgo de la calidad de agua para consumo humano, por parte de la autoridad sanitaria competente. Art. 17 – Indica los procesos básicos del control y vigilancia para garantizar la calidad del agua para consumo humano. Art. 19 - Las personas prestadoras deberán hacer los respectivos reportes de control de la calidad de agua para consumo humano. Art. 35 – Derogatoria del decreto 475 de 1998.</p>
<p>Decreto 1594 de 1984 (usos del agua y residuos líquidos) Ministerio de Salud y Ministerio de Agricultura</p>	<p>Art. 38 – Fija las concentraciones máximas admisibles de calidad de agua para uso humano y doméstico, cuando solo se requiere de tratamiento convencional para su potabilización. Art. 39 - Fija las concentraciones máximas admisibles de calidad de agua para uso humano y doméstico, cuando solo se requiere desinfección para su potabilización.</p>
<p>Resolución 1570 de 2004 Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial</p>	<p>Art. 1 – Certificación de competencias laborales realizadas por parte del SENA, hacia los trabajadores vinculados a las entidades prestadoras de los servicios de acueducto y alcantarillado.</p>

Continuación Tabla 1. Marco legal aplicado en la pasantía

REGLAMENTO / ENTIDAD	DETALLES
<p>Resolución 811 de 2008 Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial</p>	<p>Art. 7 – Suscripción de un acta de conformidad de los puntos de muestreo en la red de distribución para la calidad de agua para consumo humano, realizada por la autoridad sanitaria y la persona prestadora.</p>
<p>Resolución 2115 de 2007 Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial</p>	<p>Capítulo II “Características Físicas y Químicas del Agua para Consumo Humano”, artículos 2 al 9 fija los valores máximos aceptables de las características fisicoquímicas del agua y de las utilizadas en el proceso de potabilización. Art. 11 – fija valores máximos aceptables desde el punto de vista microbiológico. Art. 33 – Plazos para adecuar los sistemas de suministro de agua para consumo humano a la característica de turbiedad. Art. 34 – Plazos para realizar la vigilancia y el control de las características de COT, residual del coagulante utilizado, nitritos, fluoruros, giardia y cryptosporidium.</p>
<p>Proyecto de Resolución del 24 de abril de 2008 Ministerio de la Protección Social y Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial</p>	<p>Art. 1 – El objetivo del presente decreto es Identificar los factores de riesgo, naturales o antrópicos, que alteran las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de los sistemas de abastecimiento y distribución; que pueden generar riesgos graves a la salud humana si no son oportuna y adecuadamente tratados. Art. 3 – Lineamientos generales para elaborar el mapa de riesgo por persona prestadora.</p>
<p>Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000 Ministerio de Desarrollo Económico</p>	<p>Título B – Sistemas de Acueductos. Título C – Sistemas de Potabilización.</p>

Fuente: elaboración propia

En cumplimiento del **numeral 5, del artículo 3 del proyecto de resolución del 24 de abril de 2008** el que indica cual será información básica y actualizada que deberán presentar las entidades que conforman el grupo de trabajo según el numeral 4 del mismo artículo, en la primera reunión convocada por la autoridad sanitaria competente para la elaboración del mapa de riesgo de la calidad del agua para consumo humano de que trata el artículo 15 del decreto 1575 de 2007. La información que le corresponde presentar al AAPSA comprende la identificación de factores de riesgo determinantes de acuerdo con:

- Resultados de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua de la fuente de captación (agua cruda) si existen.
- Resultados de los análisis de las muestras de agua para consumo humano exigidas para el control, de acuerdo con la Resolución 2115 de 2007.
- Procesos de tratamiento existentes para la potabilización del agua.
- Uso del suelo aguas arriba de la captación de fuentes superficiales, si existe.

En la tarea de identificación de todos estos posibles factores de riesgo, es donde se encuentra el apoyo técnico mediante la pasantía.

4.16 INSTRUMENTO NORMATIVO

El instrumento normativo utilizado en el desarrollo de la pasantía es la **Resolución 2115 de 2007**, la cual califica el estado de calidad de agua para consumo humano mediante parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tales como la turbiedad, el color aparente, los nitratos, los cloruros, la dureza total, el cloro residual, los coliformes fecales y sustancias tóxicas, entre otras, mediante concentraciones máximas aceptables que permitan asegurar que el agua es de óptima calidad para el consumo de la población.

En la tabla 2 se encuentran los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas del agua para consumo humano.

Tabla 2. Características físicas

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE
Conductividad	μS/cm	1000
Turbiedad	UNT	2
Color aparente	Pt-Co	15
pH	Unidades	6.5 – 9.0
Olor y sabor	Aceptable ó no aceptable	Aceptable

Fuente: resolución 2115 de 2007

En la tabla 3 se encuentran los valores máximos aceptables de las características químicas del agua para consumo humano de los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias que al sobrepasar los valores máximos aceptables tienen reconocido efecto adverso en la salud humana.

Tabla 3. Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana

CARACTERÍSTICAS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (mg/L)
Antimonio	0.02
Arsénico	0.01
Bario	0.7
Cadmio	0.003
Cianuro libre y disociable	0.05
Cobre	1.0

Continuación Tabla 3. Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana

CARACTERÍSTICAS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (mg/L)
Cromo total	0.05
Mercurio	0.001
Níquel	0.02
Plomo	0.01
Selenio	0.01
Trihalometanos totales (THMs)	0.2
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	0.01
Otras sugerencias	Si los compuestos de trihalometanos totales o los de hidrocarburos policíclicos aromáticos, exceden los valores máximos aceptables, es necesario identificarlos y evaluarlos, de acuerdo a lo señalado por la autoridad sanitaria

Fuente: resolución 2115 de 2007

En la tabla 4 se encuentran los valores máximos aceptables de las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana.

Tabla 4. Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana

CARACTERÍSTICAS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (mg/L)
Carbono orgánico total (COT)	5.0
Nitritos (NO ₂ ⁻)	0.1
Nitratos (NO ₃ ⁼)	10
Fluoruros (F ⁻)	1.0

Continuación Tabla 4. Características químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana

CARACTERÍSTICAS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (mg/L)
Otras sugerencias	Cualquier incremento en las concentraciones habituales de carbono orgánico total, debe ser investigado conjuntamente por la persona prestadora que suministra o distribuye agua para consumo humano y la autoridad sanitaria, con el fin de establecer el tratamiento correspondiente para su reducción.

Fuente: resolución 2115 de 2007

En la tabla 5 se encuentran los valores máximos aceptables de las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos y compuestos químicos que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud; y en la tabla 6 se registran los valores máximos aceptables de las características de otras sustancias químicas utilizadas en el tratamiento del agua.

Tabla 5. Características químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana

CARACTERÍSTICAS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (mg/L)
Calcio (Ca ⁺)	60
Alcalinidad total (CaCO ₃)	200
Cloruros (Cl ⁻)	250
Aluminio (Al ³⁺)	0.2
Dureza total (CaCO ₃)	300
Hierro total (Fe ³⁺)	0.3
Magnesio (Mg ²⁺)	36
Manganeso (Mn ²⁺)	0.1
Molibdeno (Mo ⁺)	0.07

Continuación Tabla 5. Características químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana

CARACTERÍSTICAS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (mg/L)
Sulfatos ($\text{SO}_4^{=}$)	250
Zinc (Zn^{2+})	3
Fosfatos (PO_4^{3-})	0.5

Fuente: resolución 2115 de 2007

Tabla 6. Características químicas de sustancias utilizadas en la potabilización

CARACTERÍSTICAS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (mg/L)
Residual de aluminio (Al^{3+})	0.2
Coagulante basado en sales de hierro	0.3
Cloro residual libre	0.3 – 2.0
Otras sugerencias	En el caso de utilizar otras sustancias químicas en el tratamiento del agua para consumo humano, el valor aceptable para el residual correspondiente u otras consideraciones al respecto, serán las reconocidas por las guías de la calidad de agua vigentes de la organización mundial de la salud y adoptadas por el Ministerio de la Protección Social, quien tendrá en cuenta el respectivo concepto toxicológico del producto para expedir el concepto técnico.

Fuente: resolución 2115 de 2007

Los valores máximos aceptables para las características químicas relacionadas con los plaguicidas y otras sustancias reconocidas por el Ministerio de la Protección Social como carcinogénicas, mutagénicas y teratogénicas; se registran en la tabla 7.

Tabla 7. Características químicas relacionadas con los plaguicidas y otras sustancias

CARACTERÍSTICAS	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (mg/L)
Sustancias químicas cuyo valor DL ₅₀ oral mínimo <= 20 mg/Kg	0.0001
Sustancias químicas cuyo valor DL ₅₀ oral mínimo esté entre 21 mg/Kg y 200 mg/Kg	0.001
Sustancias químicas cuyo valor DL ₅₀ oral mínimo esté entre 201 mg/Kg y 2000 mg/Kg	0.01

Fuente: resolución 2115 de 2007

En la tabla 8 se encuentran los valores máximos aceptables de las características microbiológicas del agua para consumo humano, los cuales son establecidos teniendo en cuenta los límites de confianza del 95% y para técnicas con habilidad de detección desde una (1) unidad formadora de colonia (UFC) ó un (1) microorganismo (NMP) en 100 cm³ de muestra.

Tabla 8. Características microbiológicas

CARACTERÍSTICAS	TÉCNICA UTILIZADA	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE
Coliformes totales	Sustrato definido	0 NMP
Coliformes fecales	Sustrato definido	0 NMP
Microorganismos mesófilos	Filtración por membrana	100 UFC

Fuente: resolución 2115 de 2007

Los plazos establecidos para algunas acciones teniendo en cuenta el tamaño de la población atendida por el AAPSA, independiente de la vigencia de la resolución a partir de julio de 2007 son las siguientes:

- Tres (3) años para adecuar los sistemas de suministro de agua con el fin de cumplir con el valor máximo aceptable de turbiedad.
- Dos (2) años para que las autoridades sanitarias y las personas prestadoras realicen la vigilancia y el control de COT, residual del coagulante utilizado, nitritos, fluoruros; y cuatro (4) años para la Giardia y Cryptosporidium, cuyas técnicas de análisis no están aun implementadas o no se cuenta con laboratorios autorizados.

5. METODOLOGÍA, PROCEDIMIENTOS, MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS

La metodología para la identificación de factores de riesgo que afectan la calidad del agua para consumo aplicada en la pasantía depende de las actividades a desarrollar, tales como:

- Seguimiento y/o monitoreo a los resultados de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de la fuente de captación río “Las Piedras”, para el año 2008.
- Seguimiento y/o monitoreo a los resultados de los análisis de las muestras de agua para consumo humano para el año 2008 y exigidas para el control, de acuerdo con la resolución 2115 de 2007.
- Inspección sanitaria a la planta de tratamiento de agua potable “Tablazo”.
- Ejecución de acciones junto con las comunidades pertenecientes a la subcuenca río “Las Piedras”, para un óptimo uso del suelo aguas arriba de la captación.

Se aclara que todas las actividades desarrolladas durante el trabajo de pasantía, se realizaron en compañía de funcionarios del AAPSA que le compete tales acciones; en el cual la presentación de los informes se dirige a la División Ambiental y a la División Producción con las firmas de todo el grupo colaborador de la actividad.

5.1 METODOLOGÍA, PROCEDIMIENTO, MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL SEGUIMIENTO Y/O MONITOREO A LOS RESULTADOS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA DE LA FUENTE DE CAPTACIÓN

5.1.1 Descripción de la actividad

Para la identificación de factores de riesgo de acuerdo con los resultados de las características del agua de la fuente de captación “Río las Piedras”, se hizo un análisis interpretativo de estos resultados teniendo en cuenta la geología, geomorfología, clima, vegetación y las actividades antrópicas de las zonas de estudio que influyen en la calidad del agua de cada estación de monitoreo para el año 2008, mediante:

- Información secundaria consultada sobre las características generales de la subcuenca.
- Comparación entre los valores de las características del agua de la fuente de captación y los datos de otros documentos acerca de valores de parámetros físicoquímicos y microbiológicos para aguas superficiales poco contaminadas, ya que se carece de normatividad colombiana en esta materia.
- Observación directa realizada durante las visitas técnicas y los muestreos realizados.

Parte de esta actividad se realizó en compañía de personal adscrito a la División Ambiental del AAPSA.

5.1.2 Materiales y equipos utilizados

- Cámara fotográfica.
- GPS con tolerancia de 3 metros.
- Libreta de apuntes.
- Vehículo de transporte.
- Registro de control de calidad del AAPSA.
- Bibliografía consultada.

5.2 METODOLOGÍA, PROCEDIMIENTO, MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS PARA EL SEGUIMIENTO Y/O MONITOREO A LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

5.2.1 Descripción de la actividad

Para la identificación de factores de riesgo de acuerdo con los resultados de los análisis de las muestras de agua para consumo exigidas para el control, se deben seguir los protocolos para monitoreo de aguas superficiales del IDEAM.

Se realizan los muestreos una vez al mes, en las respectivas estaciones de monitoreo establecidas por el AAPSA, contando con el equipo y las medidas de precaución necesarias durante la jornada del muestreo.

Los parámetros de campo que se tomen deben especificar en su mayoría la fecha, la hora y las observaciones encontradas en cada visita a las estaciones de monitoreo; y presentar una copia de este registro de muestreo de calidad al laboratorio del AAPSA.

Una vez se obtengan los resultados de los análisis de las muestras de agua para consumo, se identifican los posibles factores de riesgo a partir de las concentraciones máximas aceptables de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de acuerdo con el instrumento normativo encontrado en las tablas 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8.

Esta actividad se realizó en compañía de personal adscrito a la División Ambiental del AAPSA.

5.2.2 Materiales y equipos utilizados

- Recipientes de recolección de muestras fisicoquímicas y microbiológicas.
- Medidores multiparámetros.
- Cámara fotográfica.
- GPS con tolerancia de 3 metros.
- Formato de registro de muestreo de calidad. (Anexo A)
- Nevera.
- Hielo.
- Cinta de enmascarar.
- Vehículo de transporte.

5.3 METODOLOGÍA, PROCEDIMIENTO, MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LA INSPECCIÓN SANITARIA REALIZADA A LA PLANTA DE TRATAMIENTO “TABLAZO”

5.3.1 Descripción de la actividad

Para la identificación de factores de riesgo sobre la calidad del agua de acuerdo con los procesos de tratamiento existentes para la potabilización del agua, se sigue el manual de Inspección sanitaria desarrollado por el CEPIS, OPS, OMS y la EPA.

Se visitó la planta “Tablazo” dos (2) veces al mes, contando con el material adecuado y la disponibilidad del personal durante la jornada de la inspección.

Las observaciones encontradas en cada visita a la planta que puedan sugerir algún factor de riesgo sobre la calidad del agua, se registran en un formato de inspección sanitaria de elaboración propia, para que se les realice las respectivas actividades de seguimiento.

Esta actividad se realizó en compañía de personal adscrito a la División Producción del AAPSA.

5.3.2 Materiales y equipos utilizados

- Cámara fotográfica.
- Formato de inspección sanitaria de elaboración propia. (Anexo B)

5.4 METODOLOGÍA, PROCEDIMIENTO, MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LAS ACCIONES DE MEJORAMIENTO DEL USO DEL SUELO

5.4.1 Descripción de la actividad

Las diferentes comunidades pertenecientes a la subcuenca del río las piedras se dirigen a la División Ambiental del AAPSA, para concertar obras de recuperación del suelo en sus predios.

Primero se identifica si el problema de uso del suelo corresponde a sobrepastoreo o a un fenómeno de remoción en masa, esta situación encontrada se dirige a la División Ambiental, donde se ordena la realización de la respectiva acción de recuperación.

Esta actividad se realizó en compañía de personal adscrito a la División Ambiental del AAPSA.

5.4.2 Materiales y equipos utilizados

- Cámara fotográfica.
- Formato de reporte de novedades inspección de cuencas. (Anexo C)
- Acta de entrega y recibo de materiales. (Anexo D)
- Accesorios para instalación de cercas eléctricas.
- Plántulas de especies endémicas.
- Biomanto o mantillo.
- Abono 10-30-10
- Calfos.
- Vehículo de transporte.

6. DESARROLLO DE LA PASANTÍA EN EL ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A. E.S.P.

6.1 VISITAS TÉCNICAS REALIZADAS

La pasantía en el Acueducto y Alcantarillado de Popayán basada en la identificación de factores de riesgo que afectan la calidad del agua para consumo, que como empresa prestadora del servicio de agua potable le compete; se soporta mediante treinta y cuatro (34) visitas técnicas de apoyo a misiones de la División Ambiental en la Subcuenca “Río las Piedras” y a visitas de inspección a la Planta de tratamiento “Tablazo”. En la Tabla 9 se registra el número de visitas técnicas que se realizaron en sus correspondientes fechas. Las actividades se ordenan de la siguiente manera:

- **Actividad 1.** Seguimiento y/o monitoreo de las muestras de agua para consumo humano.
- **Actividad 2.** Inspección sanitaria a la planta de tratamiento.
- **Actividad 3.** Ejecución de acciones para mejorar el uso del suelo.

Tabla 9. Visitas técnicas realizadas en el AAPSA

ACTIVIDAD	No.	LUGAR DE LA VISITA TÉCNICA	FECHA ACTIVIDAD
1	1	Estaciones del río “Las Piedras”	19 de Enero 2009
	2	Estaciones del río “Las Piedras”	16 de Febrero 2009
	3	Estaciones del río “Las Piedras”	16 de Marzo 2009
	4	Estaciones del río “Las Piedras”	20 de Abril 2009
	5	Estaciones del río “Las Piedras”	11 de Mayo 2009

Continuación Tabla 9. Visitas técnicas realizadas en el AAPSA

ACTIVIDAD	No.	LUGAR DE LA VISITA TÉCNICA	FECHA ACTIVIDAD
2	1	Bocatoma del río "Las Piedras"	16 de Enero 2009
	2	Planta tratamiento "Tablazo"	20 de Febrero 2009
	3	Tubería de conducción	23 de Febrero 2009
	4	Planta tratamiento "Tablazo"	27 de Febrero 2009
	5	Planta tratamiento "Tablazo"	20 de Marzo 2009
	6	Planta tratamiento "Tablazo"	27 de Marzo 2009
	7	Planta tratamiento "Tablazo"	24 de Abril 2009
	8	Planta tratamiento "Tablazo"	8 de Mayo 2009
	9	Bocatoma del río "Las Piedras"	15 de Mayo 2009
	10	Tubería de conducción	20 de Mayo 2009
3	1	Señor, Alfonso Escobar	15 de Enero 2009
	2	Predio "La Sardina"	20 de Enero 2009
	3	Predio "San Francisco"	21 de Enero 2009
	4	Señor, Argelino Mariaca	26 de Enero 2009
	5	Predio "La María"	27 de Enero 2009
	6	Predio "El Garrochal"	28 de Enero 2009
	7	Señor, José María Lame	5 de Febrero 2009
	8	Predio "La Pequeñita"	9 de Febrero 2009
	9	Predio "Los Llanitos"	12 de Febrero 2009
	10	Señora, Filomena Payo	5 de Marzo 2009
	11	Señor, Mauricio Lame	11 de Marzo 2009
	12	Predio "Cajamarca"	11 de Marzo 2009
	13	Predio "San Vicente"	31 de Marzo 2009
	14	Predio " Las Juntas"	14 de Abril 2009

Continuación Tabla 9. Visitas técnicas realizadas en el AAPSA

ACTIVIDAD	No.	LUGAR DE LA VISITA TÉCNICA	FECHA ACTIVIDAD
3	15	Predio “La Pequeñita”	15 de Abril 2009
	16	Zonas de Reserva	16 de Abril 2009
	17	Predio “El Laurel”	17 de Abril 2009
	18	Señor, José Aníbal Escobar	21 de Abril 2009
	19	Predio “El Naranjal”	4 de Mayo 2009

Fuente: elaboración propia

6.2 DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS ENCONTRADOS EN EL DESARROLLO DE LA PASANTÍA

6.2.1 Identificación de factores de riesgo de acuerdo con los resultados de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río “Las Piedras”

Para el desarrollo de esta actividad, empezaremos por la descripción general del área de estudio “Subcuenca Piedras” y de sus respectivas estaciones de monitoreo. Para esta descripción se toma como base el POMCH del río “Las Piedras” del año 2006 y se adaptan algunas características de la subcuenca para el año 2008 mediante la observación realizada durante las visitas.

6.2.1.1 Descripción general de la “Subcuenca del río las Piedras”

La subcuenca del río “Las Piedras” pertenece a la parte alta de la cuenca Cauca, cuenta con un área de 6626 Hectáreas; limita al norte con la “Subcuenca Palacé”,

al oriente con el “Parque Natural Puracé”, al sur con la “Subcuenca Vinagre” y al occidente con las subcuencas Pisojé, Molino y la ciudad de Popayán. Su red de drenaje está conformada por 11 microcuencas principales: Aguas Claras, Peñas Blancas, San Pedro, Palmichal, La Chorrera, Arrayanales, Pichagua, El Vado, El Limonar, Carnicería y Santa Teresa.

La Subcuenca se dividió en tres zonas (alta, media y baja), en la parte alta se encuentran las veredas de Santa Teresa, gran parte de Quintana y una pequeña parte de San Ignacio; en la parte media se encuentra la otra gran parte de la vereda San Ignacio, San Juan, El Canelo y la otra pequeña parte de Quintana; en la parte baja se encuentran las veredas de Laureles, La Laguna, Las Huacas y San Isidro. Las 11 microcuencas son las principales fuentes de abastecimiento de agua para estas 9 veredas que hacen parte de la población de la subcuenca río “Las Piedras”.

El año 2008 correspondiente a este estudio, estuvo enmarcado por un periodo de lluvias, no obstante los periodos de lluvia más intensos se presentan entre los meses de Octubre y Diciembre. El promedio anual de precipitación de la Subcuenca Piedras es de 1926 mm y la evaporación de 921 mm, esto implica que 1005 mm son considerados como escurrimiento superficial, almacenamiento en la matriz del suelo e infiltración. La fluctuación media mensual de temperatura oscila entre los 18.4 °C en la parte baja y los 10.4 °C en el páramo; los vientos provenientes del páramo del “Parque Natural Puracé”, son portadores de abundante nubosidad que origina lluvias en las horas de la tarde.

El río “Las Piedras” tiene un comportamiento de río de montaña con caudales máximos muy altos y poco duraderos en el tiempo, caudales medios máximos poco sostenidos y caudales medios permanentes durante gran parte del año, finalmente caudales mínimos muy severos.

La subcuenca del río “Las Piedras” presenta una forma de oval redonda a oval oblonga, se observa una amplia variación de la pendiente proporcional al trayecto del río y la pendiente general de la subcuenca siendo estas altas. Estas características sugieren un escurrimiento rápido de forma crecientes súbitas y altos picos en los caudales. Los caudales medios y mínimos son regulados más por la composición de los suelos que por la cobertura vegetal.

La elevación media de la subcuenca es de 2.624 m.s.n.m, la pendiente 0.35 m/m. estos parámetros influyen sobre la velocidad del flujo. La pendiente de las vertientes varía desde suaves a fuertes. Sus pendientes en las zonas altas, sumado a los demás parámetros sugieren también un carácter fluvial de respuesta rápida con altas velocidades.

La relación entre los perímetros de la cuenca y un círculo de igual área es lo que se denomina coeficiente de compacidad (K_c). Si este $K_c > 1$ (como es el caso de la Subcuenca del río Las Piedras, cuyo valor es $K_c = 1.38$), permite predecir un régimen torrencial, a esto se suma la una pendiente moderada de 0.35 m/m.

La densidad hidrográfica representa el número de canales de flujo por unidad de superficie. En el caso de la subcuenca el valor es de 6.2 cauces/km², lo que evidencia una “**Alta Escorrentía**”. Los resultados morfométricos la definen como una cuenca en estado de desequilibrio o juventud clasificándola como “**Erosiva**”. Además de las acciones antrópicas, estas características de la subcuenca son las que más influyen sobre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua.

6.2.1.2 Descripción general de las estaciones de monitoreo

Para el monitoreo de la calidad del agua del río “Las Piedras”, el AAPSA ha definido cinco (5) estaciones, las cuales se describen a continuación:

- **Estación 1: Puente Alto**



Figura 3. Estación Puente Alto

Características de la estación:

Ubicación. Altura 2456 m.s.n.m, coordenadas **N** 02° 26' 02.6" **W** 76 ° 27' 06.3"

Clima. Presenta un clima frío y húmedo.

Tributarios. Se tiene el drenaje de la parte más alta de la subcuenca, conformada por las microcuencas “Peñas Blancas” y “Aguas Claras”; además de las descargas de A.R, escorrentía de producción agrícola y ganadera de varios grupos de indígenas pertenecientes al cabildo Puracé.

Relieve. Coluvial, coluvial torrencial y volcánico estructural.

Red de Drenaje. El cauce principal de esta parte de la subcuenca presenta pendientes superiores al 35%; adicionalmente la subcuenca ha sufrido el impacto

de la actividad ganadera con fuerte presencia de procesos de deforestación y pérdida significativa del suelo productivo.

Geología. El área está constituida por flujos de lava andesita, los cuales están conformados principalmente por plagioclasas (Aluminosilicatos de Na y Ca) y biotita (Silicatos de Fe y Mg). En el área se presentan las formaciones geológicas superficiales de tipo arenosa y arcillosa.

Geomorfología. Los fenómenos de remoción en masa (erosión laminar-deslizamientos) de esta zona representan alta amenaza; son producidos principalmente por las intensas precipitaciones, el uso inadecuado del suelo y las pendientes abruptas de esta parte alta de la subcuenca.

Suelos. Áreas con relieves quebrados, pendientes empinadas. Se atribuye su fertilidad moderada a los suelos con pH ligeramente ácido a ácidos, altos contenidos de carbono orgánico, bajos en fósforo y potasio, bajos contenidos de aluminio intercambiable, alta capacidad de intercambio catiónico.

- **Estación 2: Bocatoma Diviso**

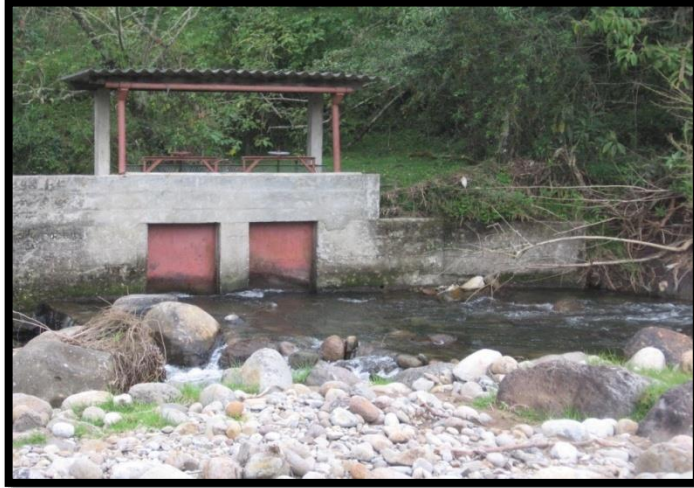


Figura 4. Estación Bocatoma Diviso

Características de la estación:

Ubicación. Altura 2310 m.s.n.m, coordenadas **N** 02° 26' 36.7" **W** 76 ° 28' 50.7"

Clima. Presenta un clima frio y húmedo.

Tributarios. En ésta estación han confluído otras cuatro microcuencas “El Palmichal”, “La Chorrera”, “Pichagua” y “Arrayanales”; además de las descargas de A.R, esorrentía de producción agrícola y ganadera provenientes de las veredas de Quintana y San Ignacio, mas los tributarios de la estación anterior.

Relieve. Coluvial, coluvial torrencial, eólico volcánico y volcánico estructural.

Red de Drenaje. El cauce principal presenta pendientes entre los 16% y 35%, esta pendiente fuerte influencia y promueve la velocidad del agua de esorrentía, promoviendo el lavado y arrastre de la poca materia orgánica vegetal acumulada por descomposición.

Geología. El área está constituida por flujos de lava andesita, los cuales están conformados principalmente por plagioclasas (Aluminosilicatos de Na y Ca) y biotita (Silicatos de Fe y Mg). En el área se presentan las formaciones geológicas superficiales de tipo rocosa y arenosa.

Geomorfología. Zona con amenaza alta por los fenómenos de remoción en masa (erosión laminar-deslizamientos).

Suelos. Se atribuye su fertilidad moderada a los suelos con pH ligeramente ácido a ácidos, altos contenidos de carbono orgánico, bajos en fósforo y potasio, bajos contenidos de aluminio intercambiable, alta capacidad de intercambio catiónico.

- **Estación 3: Descarga Diviso**

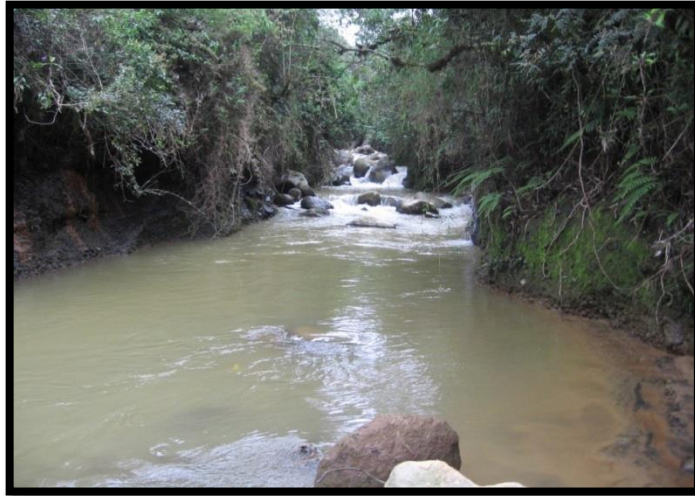


Figura 5. Estación Descarga Diviso

Características de la estación:

Ubicación. Altura 2218 m.s.n.m, coordenadas **N** 02° 26' 18.8" **W** 76 ° 28' 49.4"

Clima. Presenta un clima frio y húmedo.

Tributarios. En esta estación se produce la descarga más contaminante de la subcuenca que corresponde a la piscifactoría "El Diviso", aunque según personal de la Subdirección de Gestión ambiental de la C.R.C, esta cuenta con una PTAR con tratamiento secundario, la cual cumple con la remoción y permiso de vertimiento estipulado en el capítulo VIII del Decreto 1594 de 1984; además se suman también los mismos tributarios de las estaciones anteriores mas la quebrada "El Vado"; además de las descargas de A.R, escorrentía de producción agrícola, ganadera y de la vía destapada.

Relieve. Coluvial, coluvial torrencial, eólico volcánico y volcánico estructural.

Red de Drenaje. El cauce principal presenta pendientes entre los 16% y 35%, esta pendiente fuerte influencia y promueve la velocidad del agua de escorrentía, promoviendo el lavado y arrastre de la poca materia orgánica vegetal acumulada por descomposición.

Geología. El área está constituida por depósitos de flujos de ceniza y caída de ceniza, meteorizados con textura granular y minerales de color blanco. Se presentan fragmentos de cuarzo bipiramidal rotos (Dióxido de silicio SiO_2), plagioclasas (Aluminosilicatos de Na y Ca) y en poca proporción biotita (Silicatos de Fe y Mg). Por este motivo se describe el área como formación rocosa y arenosa.

Geomorfología. Zona con amenaza alta por los fenómenos de remoción en masa (erosión laminar-deslizamientos).

Suelo. Se atribuye su fertilidad moderada a los suelos con pH ligeramente ácido a ácidos, altos contenidos de carbono orgánico, bajos en fósforo y potasio, bajos contenidos de aluminio intercambiable, alta capacidad de intercambio catiónico.

- **Estación 4: Puente Carretera**

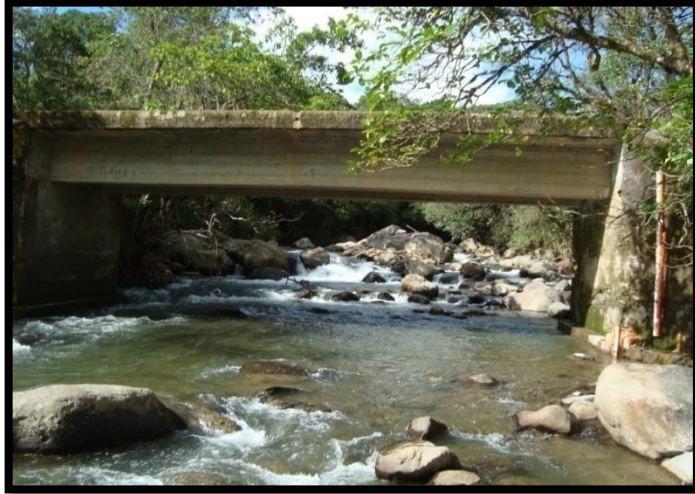


Figura 6. Estación Puente Carretera

Características de la estación:

Ubicación. Altura 1998 m.s.n.m, coordenadas **N** 02° 27' 02.1" **W** 76 ° 31' 02.1"

Clima. Presenta un clima medio y húmedo.

Tributarios. En ésta estación han confluído tres microcuencas más: "Santa Teresa", "Carnicería" y "El Limonar"; además de las descargas de A.R, escorrentía de producción agrícola, ganadera y de la vía, provenientes de las veredas Santa Teresa, El Canelo, Los Laureles, San Juan y La laguna; mas los tributarios de las estaciones anteriores.

Relieve. Coluvial torrencial y denudativo.

Red de Drenaje. En esta parte de la subcuenca la pendiente del cauce principal se homogeneiza entre 3% y 15%, presenta una desmejorada cobertura vegetal en las riberas del río a medida que este avanza.

Geología. El área está constituida por depósitos de flujos de ceniza y caída de ceniza, meteorizados con textura granular y minerales de color blanco. Se presentan fragmentos de cuarzo bipiramidal rotos (Dióxido de silicio SiO₂),

plagioclasas (Aluminosilicatos de Na y Ca) y en poca proporción biotita (Silicatos de Fe y Mg). Por este motivo se describe el área como formación arenosa.

Geomorfología. Los fenómenos de remoción en masa (erosión laminar-deslizamientos) de esta zona son producidos principalmente por las intensas precipitaciones y el uso inadecuado del suelo (agricultura-ganadería-vía destapada).

Suelos. Se atribuye su baja fertilidad a causa de las condiciones del mal manejo sobretodo en la parte baja donde por largos periodos de tiempo las tierras han sido explotadas sin que se les haya hecho alguna compensación de los nutrientes extraídos a través de fertilizantes u otros materiales.

- **Estación 5: Bocatoma Acueducto Popayán**

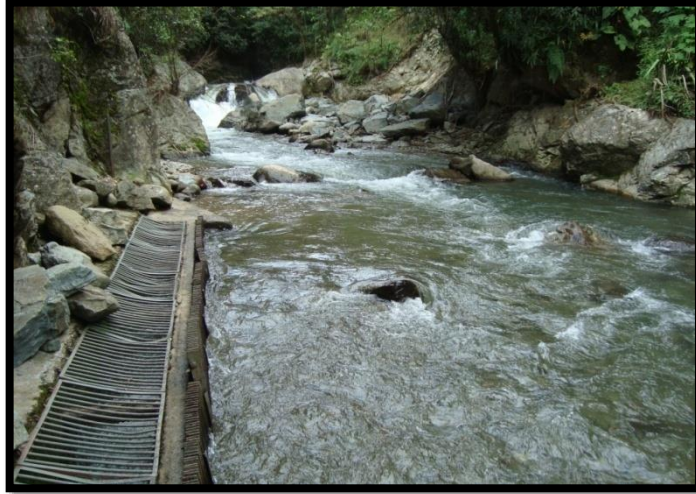


Figura 7. Estación Bocatoma Acueducto

Características de la estación:

Ubicación. Altura 1820 m.s.n.m, coordenadas **N** 02° 26' 56.5" **W** 76 ° 31' 33.0"

Clima. Presenta un clima medio y húmedo.

Tributarios. En ésta estación se presentan los mismos tributarios de las estaciones anteriores; además de las descargas de A.R, escorrentía de producción agrícola y ganadera provenientes de las veredas Las Huacas y San Isidro.

Relieve. Coluvial torrencial y denudativo.

Red de Drenaje. En esta parte de la subcuenca la pendiente del cauce principal se comporta igual que en la estación anterior, pero adquiere mayor velocidad debido a que el río se encañona.

Geología. En el área se presenta un conjunto de esquistos verdes o metabasitas, de color verde grisáceo y oscuro, compuestos principalmente por minerales de anfíbol (Metasilicatos de Ca, Mg y Fe), clorita (Aluminosilicatos de Fe y Mn), plagioclasas (Aluminosilicatos de Na y Ca), epidota (sorosilicatado de Ca, Al y Fe)

y calcita (caliza o carbonato de Ca). En el área se presenta la formación geológica superficial de tipo arenosa.

Geomorfología. Los fenómenos de remoción en masa (erosión laminar-deslizamientos) de esta zona son producidos principalmente por las intensas precipitaciones, el uso inadecuado del suelo (agricultura-ganadería) y por la misma corriente turbulenta del río en esta zona.

Suelos. Se atribuye su baja fertilidad a causa de las condiciones del mal manejo sobretodo en la parte baja donde por largos periodos de tiempo las tierras han sido explotadas sin que se les haya hecho alguna compensación de los nutrientes extraídos a través de fertilizantes u otros materiales.

En la figura 8. Se puede observar la subcuenca piedras con sus respectivas estaciones de monitoreo.

Una vez descrita el área de estudio “Subcuenca Piedras”, se procede a realizar el análisis interpretativo de las características fisicoquímicas y microbiológicas teniendo en cuenta la geología, geomorfología, clima, vegetación y las actividades antrópicas de las zonas de estudio que influyen en la calidad del agua de cada estación de monitoreo para el año 2008. También para este análisis se lleva a cabo una comparación con la tabla 10. La cual contiene las normas para aguas destinadas para consumo humano según decreto 1594/84” de la guía ambiental para sistemas de acueducto del Ministerio del Medio Ambiente (2002) y los datos de otros documentos acerca de valores de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para aguas superficiales poco contaminadas, ya que se carece de normatividad Colombiana en esta materia. Hay que tener en cuenta que los datos de cada mes no son representativos ya que se muestrea tan solo una vez al mes.

Tabla 10. Valores de parámetros aceptables para aguas superficiales destinadas para fuentes de abastecimiento de agua

PARÁMETRO	UNIDADES	LÍMITE ADMISIBLE Decreto 1594/Artículo 38	LÍMITE ADMISIBLE Otros documentos
CONDUCTIVIDAD	μS/cm		1000 II
TURBIEDAD	UNT		40 III
COLOR	Pt-Co	75	
pH	Unidades	5.0 – 9.0	
ALCALINIDAD	mg/L – CaCO ₃		160 I
DUREZA	mg/L – CaCO ₃		100 I
HIERRO	mg/L - Fe		0.3 IV
S.D.T	mg/L		1000 IV
NITRITOS	mg/L – NO ₂	1.0	

Continuación Tabla 10. Valores de parámetros aceptables para aguas superficiales destinadas para fuentes de abastecimiento de agua

PARÁMETRO	UNIDADES	LÍMITE ADMISIBLE Decreto 1594/Artículo 38	LÍMITE ADMISIBLE Otros documentos
O.D	mg/L – O ₂		6 - 8 II
DQO	mg/L – O ₂		20 II
DBO	mg/L – O ₂		2 II
CLORUROS	mg/L – Cl ⁻	250	
COLIFORMES T.	NMP/100 mL	20000	
COLIFORMES F.	NMP/100 mL	2000	

Fuente: elaboración propia

I U.S GEOLOGICAL SURVEY – Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water; p.109, 159.

II Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring; p. 83, 86, 98, 99.

III RAS 2000 CAP.B.3 tabla B.2.1

IV Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes; p. 29, 148.

- **Características Físicas**

Conductividad: el origen de este fenómeno se debe a la disolución y lixiviación de la gran cantidad de sales minerales presentes en el suelo y en la litología de la subcuenca. [6] Por esta razón la conductividad refleja el grado de mineralización de las aguas y su productividad potencial. [7]

Sus valores promedio fluctúan entre 59.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 76.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$, este rango de valores es característico de los ríos de alta montaña y poco contaminados; la geología y geomorfología de esta área indican que son suelos moderadamente ácidos, con poco substrato silíceo y poco mineralizados, por lo tanto hay poco aporte de estos minerales y sales inorgánicas disueltas al agua, aunque las características de la red de drenaje sean muy favorables para el arrastre de estos minerales por parte de la escorrentía invernal.

En cuanto a las comunidades que habitan la subcuenca, también se puede decir que aportan muy poco en cuanto a contenido sales inorgánicas y materia orgánica, producto de sus actividades diarias como la agricultura, ganadería y sus aguas residuales domésticas. Incluyendo a la piscifactoría “El Diviso”.

La relación directa entre la conductividad y la concentración de sulfatos y cloruros en el agua de la subcuenca, refleja claramente la dependencia de este parámetro de la geología y suelos de la subcuenca, constatándose una tendencia al aumento de los valores medios de conductividad según se acerca a los tramos bajos. [8]

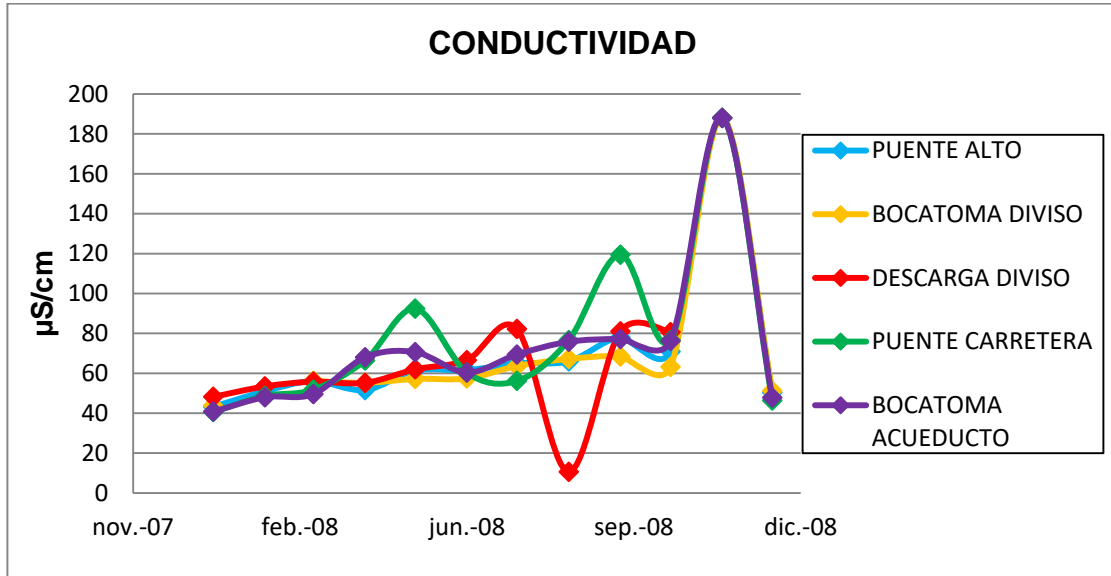
Algo peculiar es que el mínimo valor de todo el año 2008 se presenta en la estación de mayor impacto de la subcuenca piedras “Descarga Diviso”, cuya conductividad en el mes de agosto es de 10.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$; es un valor aceptable para este parámetro ya que no supera el límite admisible establecido en la tabla 10.

Este valor se pudo deber a que en los días previos al muestreo de este mes haya habido algunas precipitaciones, lo que produjera un mayor efecto de dilución sobre las sales inorgánicas, minerales y materia orgánica provenientes del suelo, las rocas, y de actividades antrópicas de esta parte de la subcuenca, incluyendo a las A.R de la piscifactoría “El Diviso”, y por ende una menor salinidad.

El máximo valor de 188 $\mu\text{S}/\text{cm}$, presentado en el mes de noviembre en todas las estaciones muestreadas, es un valor aceptable para este parámetro ya que no supera el límite admisible establecido en la tabla 10. Este valor pudo ser causado por el mayor régimen de precipitaciones del año transcurrido en este mes, lo que produjo una escorrentía que transportó sales inorgánicas, minerales y materia orgánica provenientes del suelo, las rocas, y de actividades antrópicas. También se pudo deber a un error humano debido a que este valor puede haber sido mayor si se hubiera trabajado con el rango de la sonda de 20 mS/cm y no con el rango de 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Aunque el valor de 188 $\mu\text{S}/\text{cm}$ no concuerda con la relación o factor de 0.5 con respecto a los valores de los sólidos disueltos totales presentados por las estaciones para este mismo mes. [9]

Los valores representan un buen comportamiento ya que ninguno de estos supera el límite admisible establecido en la tabla 10, con pequeñas fluctuaciones en forma creciente a medida que transcurre el año y la temporada invernal. Con excepción del mes de agosto en la estación “Descarga Diviso”. En la gráfica 1. Se puede observar de mejor manera el comportamiento de la conductividad del agua del río “Las Piedras” para el año 2008.

Gráfica 1. Conductividad del agua del río “Las Piedras”



Fuente: elaboración propia

Con base en los rangos de conductividad de la tabla 11 y teniendo en cuenta que la temperatura del agua fluctúa entre 14°C y 17°C, se puede inferir que la subcuenca presenta aguas de baja salinidad.

Tabla 11. Rangos de conductividad

RANGO	UNIDAD	CLASIFICACIÓN
CE 25°C < 250	µS/cm	Aguas no salinas
250 < CE 25°C < 750	µS/cm	Aguas con salinidad media
750 < CE 25°C < 2250	µS/cm	Aguas con salinidad fuerte
2250 < CE 25°C < 5000	µS/cm	Aguas con salinidad muy fuerte
CE 25°C > 5000	µS/cm	Aguas con salinidad excesiva

Fuente: W. Medrano Vargas. [10]

Los valores para la construcción de la gráfica se muestran en el anexo E.

Turbiedad: es producida por materias en suspensión, como arcilla, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros microorganismos; tales partículas varían en tamaño desde 0.1 nm a 1000 nm de diámetro. [11]

Sus valores promedio fluctúan entre 3.5 UNT y 22.0 UNT, este rango de valores es característico de los ríos de alta montaña ya que el grado de turbulencia del agua aumenta con tendencia a causar desbordamientos conforme el río avanza; la geología y geomorfología de esta área indican que la mayoría de formaciones geológicas superficiales son de tipo arenosa y que se presentan algunos fenómenos de remoción en masa a lo largo de la subcuenca. Por lo tanto hay un moderado aporte de estos materiales en suspensión gracias a las características de la red de drenaje y a la temporada invernal.

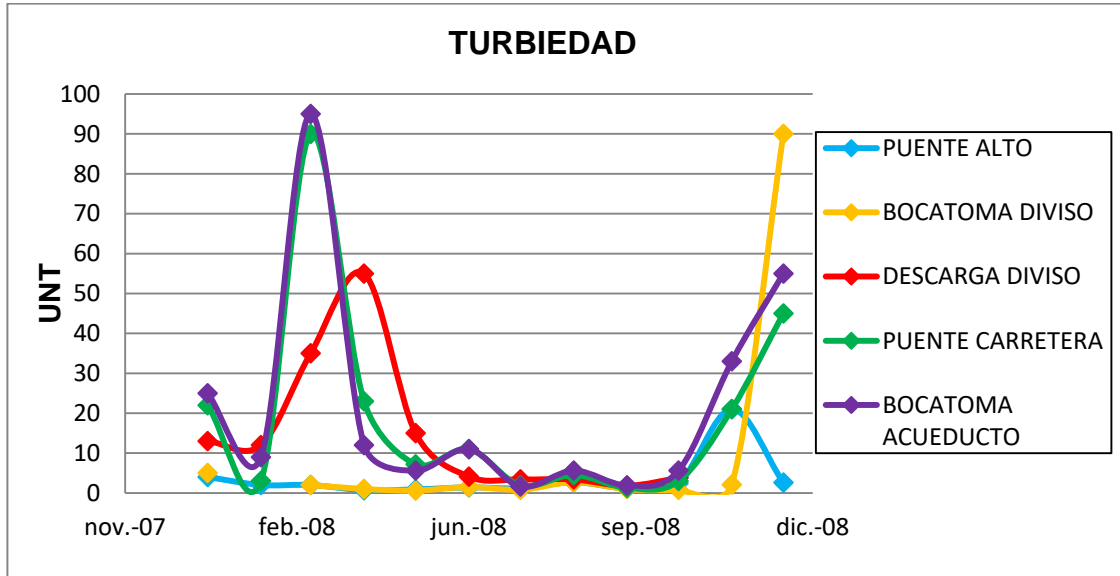
Las actividades agrícolas y ganaderas realizadas por las comunidades que habitan la subcuenca, suelen alterar la capa superior del suelo y por lo tanto ayudar a la contribución de turbiedad a las aguas.

El máximo valor de 95 UNT, presentado en el mes de marzo en la estación “Bocatoma Acueducto”, es un valor no aceptable para este parámetro ya que supera ampliamente el límite admisible establecido en la tabla 10. Este valor se pudo deber a que en los días previos al muestreo de este mes se hayan presentado muchas precipitaciones, lo que produjera condiciones de alta turbulencia debido al encañonamiento del río en esta zona, desbordamientos, fenómenos de remoción en masa que aportan sedimentos por la erosión laminar y una escorrentía que transportó material suspendido de tipo inorgánico proveniente de la textura y composición del suelo, también material suspendido de tipo orgánico proveniente de actividades antrópicas que alteran el suelo y nutrientes inorgánicos como nitrógeno y fósforo provenientes de la piscifactoría “El Diviso” los cuales producen también turbiedad adicional.

La concentración de sólidos en suspensión a lo largo del curso fluvial de una cuenca puede evidenciar varios factores de alteración de las condiciones naturales de la misma. Por un lado, los procesos de erosión naturales se ven incrementados notablemente por diferentes causas de origen humano que provocan la falta de protección de los suelos, lo que ocasiona grandes arrastres de materiales por escorrentía superficial en los fenómenos de fuertes precipitaciones. [12] La turbiedad presenta otros cinco (5) valores en el año que también superan el límite admisible establecido en la tabla 10.

El comportamiento de los valores indican que las grandes fluctuaciones producidas en los meses de marzo para las estaciones “Puente Carretera” y “Bocatoma Acueducto”, en abril para la estación “Descarga Diviso” y en diciembre, son producto de grandes precipitaciones ocurridas en estas épocas y corresponden a los valores que superan el límite admisible establecido en la tabla 10. En la gráfica 2. Se puede observar de mejor manera el comportamiento de la turbiedad del agua del río “Las Piedras” para el año 2008.

Gráfica 2. Turbiedad del agua del río “Las Piedras”



Fuente: elaboración propia

Los valores para la construcción de la gráfica se muestran en el anexo E.

Color Aparente: es en importancia, la segunda característica física del agua, el color aparente mide indirectamente la turbiedad del agua, pero se presenta como una característica independiente de ella. [13] El color aparente se debe a la presencia de partículas pigmentadas en suspensión como las arcillas o arenas que enturbien el agua. Diferentes especies de fitoplancton y zooplancton también brindan color aparente al agua (Water Quality Assessments, 1996).

Sus valores promedio fluctúan entre 10.4 Pt-Co y 59.6 Pt-Co, este rango de valores es característico para ríos de montaña como este, debido a las características de la subcuenca como su geología que en su mayoría se presenta como formación superficial de tipo arenosa, sus tributarios, su geomorfología y suelos; son propicios para se produzcan remociones en masa y que la escorrentía

arrastre todo tipo de materiales orgánicos e inorgánicos pigmentados en suspensión, lo que produce coloración en el agua. Gracias a las características de su red de drenaje y a que presenta una desmejorada cobertura vegetal en las riberas del río para las últimas estaciones de monitoreo.

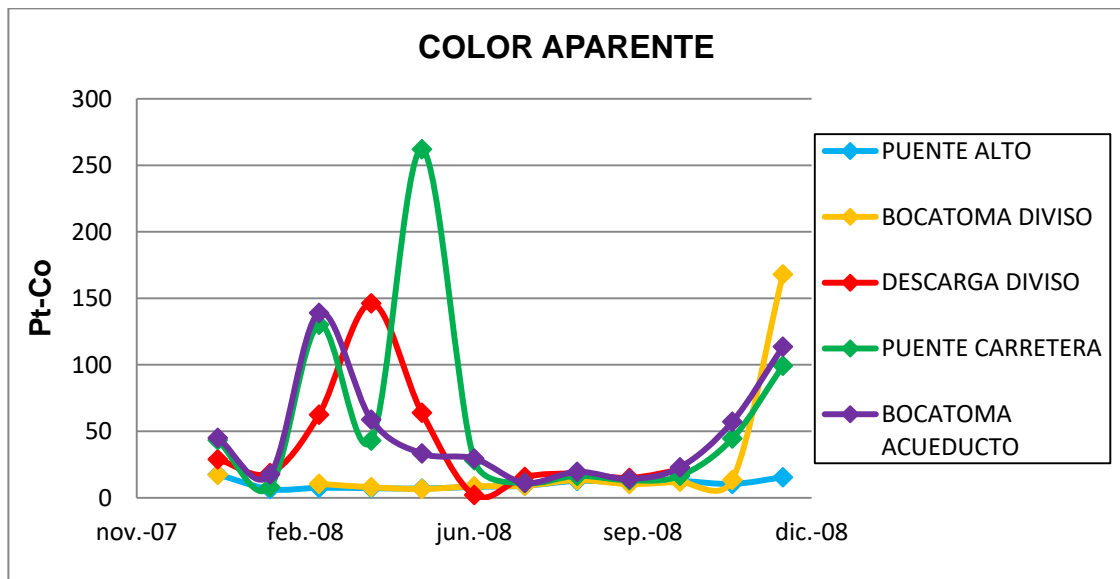
En general el agua del río “Las Piedras” posee valores altos para el color aparente, debido a que en la subcuenca se presentan ambientes ricos en materia orgánica, cauces arenosos-arcillosos y la presencia de material vegetal que le confieren esta característica, que aumenta a medida que el agua recorre la subcuenca y cuando aumentan las precipitaciones.

El máximo valor de 262.0 Pt-Co, presentado en el mes de mayo en la estación “Puente Carretera”, es un valor no aceptable para este parámetro ya que supera ampliamente el límite admisible establecido en la tabla 10. Este valor se pudo deber a que en los días previos al muestreo de este mes se hayan presentado demasiadas precipitaciones y según las características de esta estación más el aporte de la vía destapada, se produjeran fenómenos de remoción en masa y escorrentías que transportaron materiales orgánicos e inorgánicos pigmentados en suspensión, de origen natural y antrópico como el aporte de nutrientes por parte de la agricultura orgánica de la zona y de las A.R de la piscifactoría “El Diviso”, las cuales contribuyen con el crecimiento de algas de río presentadas en las últimas estaciones de muestreo y que suelen desarrollarse en algunas estructuras del sistema de tratamiento, pero estas se remueven mediante mantenimiento periódico. El color aparente presenta otros seis (6) valores en el año que también superan el límite admisible establecido en la tabla 10.

Ya que el color aparente está relacionado con la turbiedad, el comportamiento de estos dos parámetros es muy similar a lo largo del año 2008 con las mismas grandes fluctuaciones que corresponden a los valores que superan el límite admisible establecido en la tabla 10, con excepción del mes de mayo en la

estación que presenta el máximo valor de color aparente. En la gráfica 3. Se puede observar de mejor manera el comportamiento del color aparente del agua del río “Las Piedras” para el año 2008.

Gráfica 3. Color aparente del agua del río “Las Piedras”



Fuente: elaboración propia

Los valores para la construcción de la gráfica se muestran en el anexo E.

Potencial Hidrógeno: En aguas poco contaminadas, el pH es controlado principalmente por el balance entre el dióxido de carbono, los iones carbonato y bicarbonato; también por otros componentes naturales como los ácidos húmicos y fúlvicos. Bajos valores de pH se deben a la dilución de altos contenidos orgánicos y valores altos de pH se dan por eutrofización. Su valor define en parte la capacidad de autodepuración de una corriente y, por ende, su contenido de materia orgánica (DQO, DBO), además de la presencia de otros contaminantes, como metales pesados. [14]

Sus valores promedio permanecen casi constantes entre 7.3 y 7.4, este rango de valores es normal y característico del agua de este tipo de ríos, estos valores permiten deducir que el agua del río las piedras tiene un comportamiento neutro y que estos valores mes a mes no presentan variaciones significativas, lo que significa que los procesos geológicos, geomorfológicos y de solubilización que puedan generar acidez en las aguas de la subcuenca son neutralizados naturalmente. Este rango de valores se debe también a la buena capacidad del sistema para estabilizar sus valores pH por bajo efecto buffer del mismo. Además el suministro de oxígeno atmosférico al agua se utiliza para liberar el exceso de CO₂. [15]

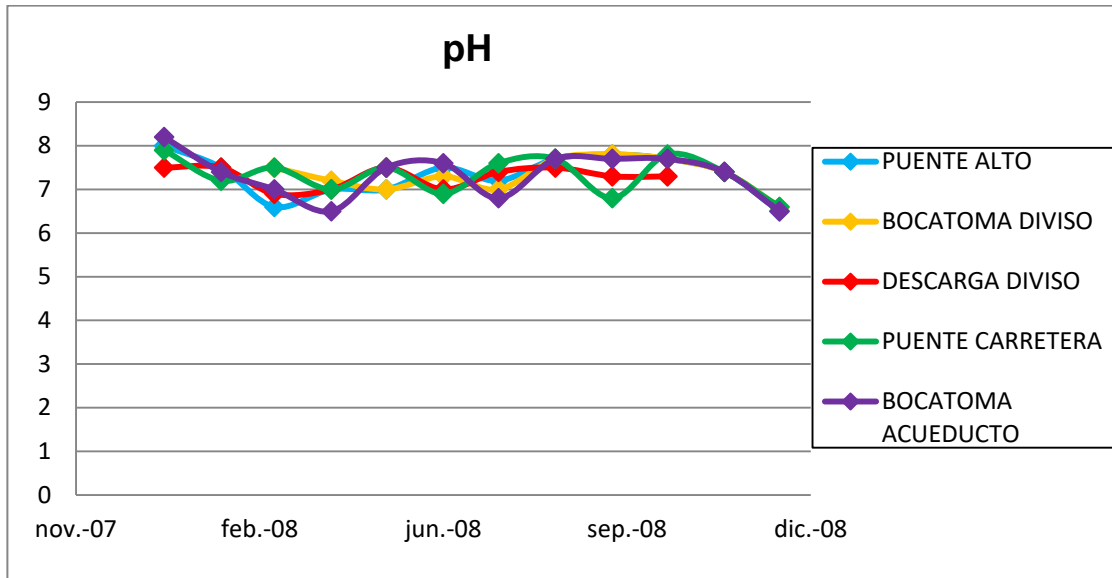
En cuanto a las comunidades que habitan la subcuenca, se puede decir que no influyen en el comportamiento del pH, debido a sus actividades diarias de agricultura y ganadería. Incluyendo las descargas de la piscifactoría “El Diviso”.

El pH mínimo de 6.5, presentado en los meses de abril en la estación “Bocatoma Acueducto” y en diciembre en las estaciones “Puente Alto” y “Bocatoma Acueducto”; para ser el valor mínimo es aceptable ya que se mantiene dentro del rango admisible establecido en la tabla 10. Este valor se pudo deber a una mayor dilución de contenidos orgánicos al agua o por una mayor disolución del CO₂ atmosférico y/o del suelo en el agua a una baja temperatura; los valores bajos de pH influyen en las diferentes reacciones que se llevan a cabo en el agua como la solubilización de algunas especies químicas (Sawyer, 2000).

El pH máximo de 8.2, presentado en el mes de enero en la estación “Bocatoma Acueducto”, para ser el valor máximo es aceptable ya que también se mantiene dentro del rango admisible establecido en la tabla 10; y según las características de esta estación se pudo deber a una poca o menor dilución de contenidos orgánicos y gases como el CO₂ en el agua; los altos valores de pH influyen en las reacciones de precipitación de algunas especies químicas en el agua (Sawyer, 2000).

Los valores tienen un buen comportamiento ya que no se presentan variaciones significativas y todos estos se encuentran dentro del rango admisible establecido en la tabla 10. En la gráfica 4. Se puede observar de mejor manera el comportamiento del pH del agua del río “Las Piedras” para el año 2008.

Gráfica 4. pH del agua del río "Las Piedras"



Fuente: elaboración propia

Los valores para la construcción de la gráfica se muestran en el anexo E.

- **Características Químicas**

Alcalinidad Total: este parámetro se presenta por las reacciones químicas entre algunos gases atmosféricos y los minerales del suelo; la reacción entre los aluminosilicatos presentes en la litología de la subcuenca y el ácido carbónico ($\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$), conlleva a la formación de cationes como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , algunos silicatos disueltos (SiO_2) y a la formación de bicarbonatos (HCO_3^-). Algunas concentraciones de los bicarbonatos se originan de minerales de carbonato ($\text{CO}_3^{=}$) y otras provienen del dióxido de carbono (CO_2) presente en la atmosfera y/o en el suelo. El dióxido de carbono y los bicarbonatos causantes de la alcalinidad, también pueden ser incorporados al agua por medio de organismos autótrofos (Water Quality Assessments, 1996).

Sus valores promedio fluctúan muy poco, entre 30.8 mg CaCO_3/L y 33.9 mg CaCO_3/L , este rango de valores es característico de los ríos de alta montaña y poco contaminados, ya que la geología y geomorfología de la subcuenca indican que son suelos moderadamente ácidos conformados por silicatos pero en pequeñas cantidades (sales de ácido silícico) y por calcita (CaCO_3), las cuales son sales de ácidos débiles que le proporcionan algo de alcalinidad al agua (Sawyer, 2000).

También significa que las comunidades que habitan la subcuenca, prácticamente influyen muy poco en el comportamiento de la alcalinidad, aunque la mayoría de sus fertilizantes y abonos como la cal dolomita, calfos, 10-30-10 entre otros; contienen Ca^{2+} y demás cationes que aportan alcalinidad al agua, incluyendo el poco aporte presentado por las A.R de la piscifactoría “El Diviso”.

El máximo valor de 47.0 mg CaCO_3/L , presentado en el mes de octubre en la estación “Puente Alto”, es un valor aceptable para este parámetro ya que se encuentra por debajo del límite admisible establecido en la tabla 10. Este valor

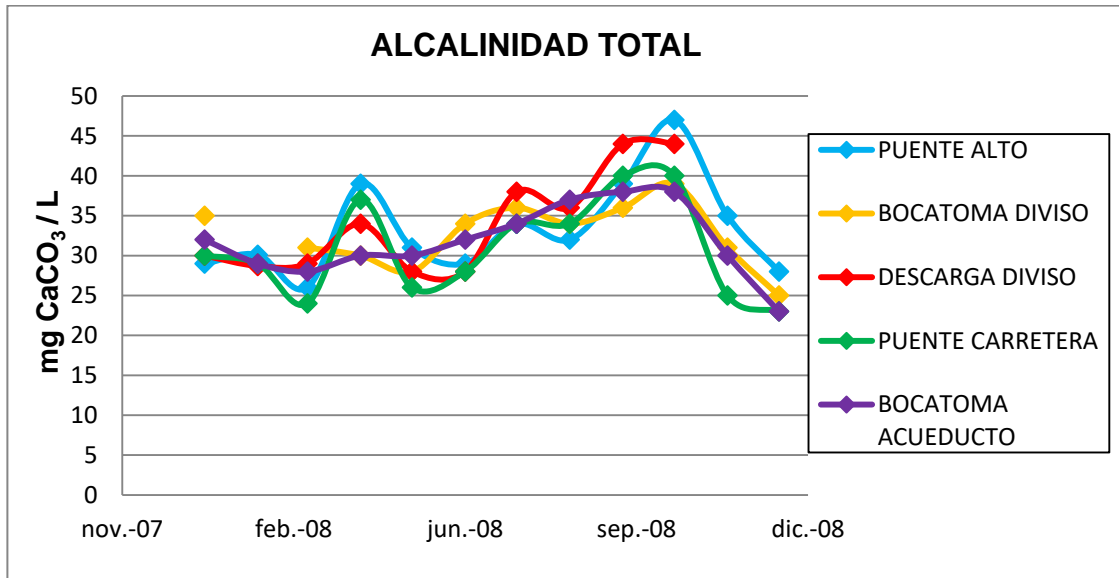
pudo ser causado por la poca disolución de sales de ácidos débiles (silicatos) presentes en la mayoría de la litología de la subcuenca, pero en menor proporción en la parte alta de la subcuenca. También se pudo deber a la formación de bicarbonatos producto de la acción del CO_2 sobre materia básica del suelo en esta zona ($\text{CO}_2 + \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^+ + 2\text{HCO}_3^-$) (Sawyer, 2000).

Las aguas con baja alcalinidad ($< 24 \text{ mg CaCO}_3/\text{L}$) como las presentadas en el mes de diciembre para las dos (2) últimas estaciones, tienen un bajo efecto buffer y por lo tanto pueden ser sufrir alteraciones en su pH (Water Quality Assessments, 1996), y se deben a que en la litología de la parte baja de la subcuenca hay mayor contenido de silicatos.

En general en la subcuenca se presentan valores bajos que permiten analizar que son aguas con alcalinidad muy débil, producto de origen de sustratos ácidos.

Los valores de alcalinidad total presentan un buen comportamiento ya que todos estos se encuentran por debajo del límite admisible establecido en la tabla 10; con pequeñas fluctuaciones en forma creciente y decreciente. En la gráfica 5. Se puede observar de mejor manera el comportamiento de la alcalinidad total del agua del río “Las Piedras” para el año 2008.

Gráfica 5. Alcalinidad total del agua del río “Las Piedras”



Fuente: elaboración propia

Los valores para la construcción de la gráfica se muestran en el anexo E.

Dureza Total: la dureza del agua natural depende principalmente de la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio (Water Quality Assessments, 1996). Al igual que la conductividad, La dureza refleja el grado de mineralización de las aguas y su productividad potencial. [16] Los cationes y aniones causantes de la dureza del agua son Ca^{2+} con HCO_3^- y Mg^{2+} con SO_4^{2-} (Sawyer, 2000).

Al igual que con la alcalinidad, sus valores promedio fluctúan muy poco, entre 29.2 mg CaCO_3/L y 31.9 mg CaCO_3/L , este rango de valores es característico de los ríos de alta montaña y poco contaminados, debido a que la capa superior del suelo es delgada y la geología del lugar presenta muy poca o nula piedra caliza (Sawyer, 2000), aunque hay formaciones de silicatos que gracias a la red de drenaje de la subcuenca son disueltos por el agua de lluvia y pasan a convertirse en bicarbonatos solubles pero en muy pocas cantidades como lo reflejan los bajos valores de Dureza total. El dióxido de carbono y los bicarbonatos causantes de la dureza, también pueden ser incorporados al agua por medio de organismos autótrofos. Las variaciones climáticas influyen en la dureza del agua, presentando valores altos para temporadas de estiaje y valores bajos durante inundaciones (Water Quality Assessments, 1996).

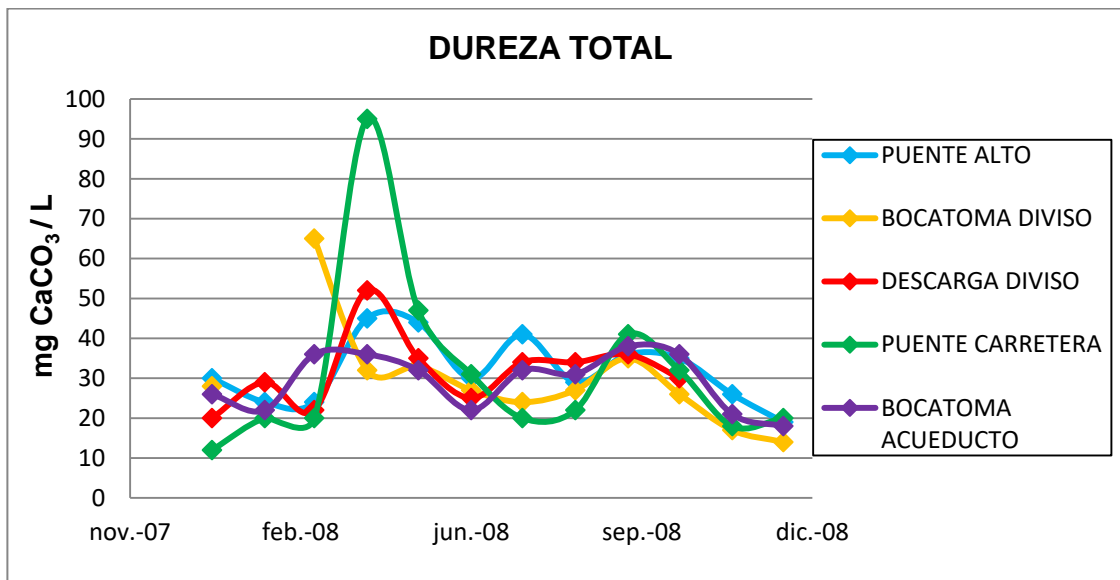
También significa que las comunidades que habitan la subcuenca, prácticamente influyen muy poco en el comportamiento de la dureza. Incluyendo las A.R de la piscifactoría “El Diviso”.

El máximo valor de 95 mg CaCO_3/L , presentado en el mes de abril en la estación “Puente Carretera” es un valor aceptable ya que se mantiene justo bajo el límite establecido en la tabla 10. Este valor pudo ser causado por un periodo de pocas lluvias previo al día del muestreo, mediante el cual se pudieron disolver las diferentes clases de silicatos presentes en la litología de esta parte de la subcuenca, para convertirlos en bicarbonatos solubles y así contribuir con la dureza. Como el pH del agua del río “Las Piedras” es casi neutro, los principales

cationes causantes de la dureza (Ca^{2+} y Mg^{2+}) no tienden a solubilizarse bien; como si lo harían bajo condiciones ácidas.

Al igual que la alcalinidad total, los valores de la dureza total presentan un buen comportamiento ya que todos estos se encuentran por debajo del límite admisible establecido en la tabla 10; con pequeñas fluctuaciones en forma creciente y decreciente, con excepción del mes de abril en la estación que presenta el máximo valor de dureza. En la gráfica 6. Se puede observar de mejor manera el comportamiento de la dureza total del agua del río “Las Piedras” para el año 2008.

Gráfica 6. Dureza total del agua del río “Las Piedras”



Fuente: elaboración propia

Las aguas comúnmente se clasifican en términos del grado de dureza, tal como indica la tabla 12, la cual clasifica al agua del río las piedras como “Blanda”, con la única excepción del valor máximo de 95 mg CaCO₃/L, en este punto el agua es clasificada como moderadamente dura.

Tabla 12. Grados de dureza

mg CaCO ₃ / L	CLASIFICACIÓN
0 - 75	Blandas
75 - 150	Moderadamente duras
150 - 300	Duras
300 y más	Muy duras

Fuente: Sawyer N. Clair; Química para Ingeniería Ambiental.

Los valores para la construcción de la gráfica se muestran en el anexo E.

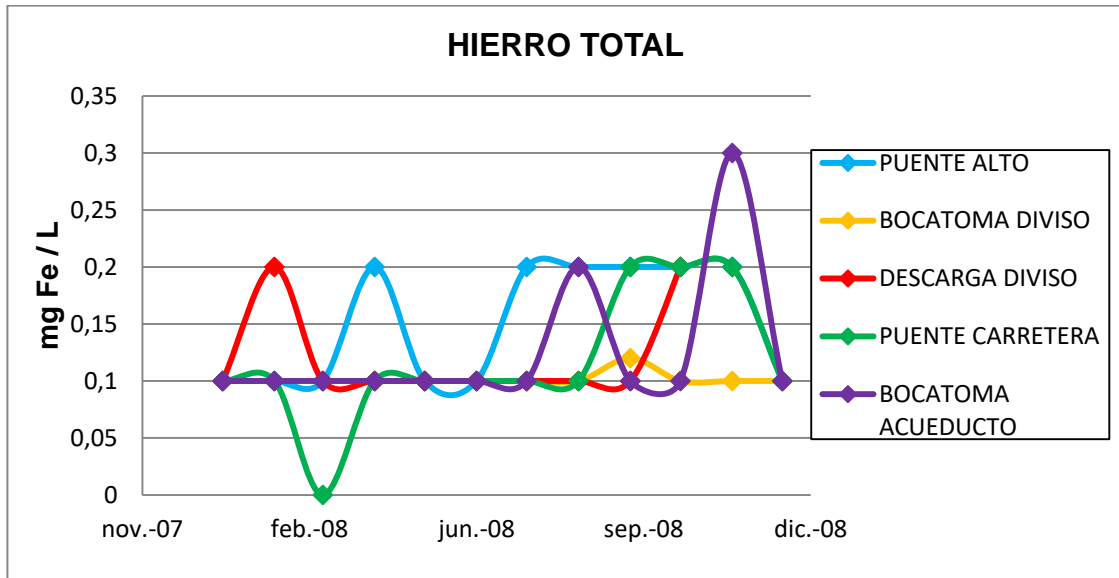
Hierro Total: el origen de este parámetro es la lixiviación natural de gran cantidad de sales y metales presentes en la litología de la subcuenca, la que se caracteriza por tener rocas de origen volcánico fracturadas. [17]

Sus valores promedio fluctúan entre 0.10 mg/L y 0.15 mg/L, este rango de valores son buenos. La geología indica que todos los minerales silicatos que están presentes en toda la subcuenca contienen pequeñas trazas de hierro, la geomorfología y los suelos indican que hay pequeñas cantidades de hierro en forma insoluble pero que puede solubilizarse con el agua gracias a algunas reacciones biológicas del suelo (Sawyer, 2000). Pero lo que más influye en la calidad de estos valores, es la cantidad suficiente de oxígeno disuelto para evitar las condiciones anaerobias que son las favorables para que el Hierro pueda solubilizarse con el agua.

El máximo valor de 0.3 mg/L, presentado en el mes de noviembre en la estación “Bocatoma Acueducto”, es un valor aceptable ya que llega al límite establecido por la tabla 10. Este valor pudo ser causado por la temporada de mayores precipitaciones del año 2008, las cuales disolvieron la mayoría de minerales del suelo con trazas de hierro en esta parte de la subcuenca; también se pudo deber a una mayor actividad microbiana del suelo que produjo las condiciones anaerobias favorables para la solubilización del hierro en el agua.

En general los valores de este parámetro presentan un buen comportamiento ya que todos estos se encuentran por debajo del límite admisible establecido en la tabla 10; con pequeñas fluctuaciones en forma creciente y decreciente. En la gráfica 7. Se puede observar de mejor manera el comportamiento del hierro total del agua del río “Las Piedras” para el año 2008.

Gráfica 7. Hierro total del agua del río “Las Piedras”



Fuente: elaboración propia

Los valores para la construcción de la gráfica se muestran en el anexo E.

Sólidos Disueltos Totales: es la suma de todo lo disuelto en el agua. Incluye sales inorgánicas, materia orgánica y otros materiales. Las sales están compuestas de calcio, magnesio, bicarbonato, silicatos, cloruros, sodio, sulfatos y minerales traza. Un valor aproximado de este parámetro puede obtenerse mediante el cálculo de la conductividad eléctrica (Water Quality Monitoring, 1996).

Sus valores promedio fluctúan entre 28.8 mg/L y 32.6 mg/L, este rango de valores es característico de los ríos de alta montaña y poco contaminados; la geología y geomorfología de la subcuenca indican que son suelos moderadamente ácidos, con poco substrato silíceo y poco mineralizados, por lo tanto hay poco aporte de estos minerales y sales inorgánicas disueltas al agua, aunque las características

de la red de drenaje sean muy favorables para el arrastre de estos minerales por parte de la escorrentía invernal.

En cuanto a las comunidades que habitan la subcuenca, también se puede decir que aportan muy poco en cuanto a contenido sales inorgánicas y materia orgánica, producto de sus actividades diarias de agricultura y ganadería. Incluyendo las descargas de las A.R de la piscifactoría “El Diviso”.

Al igual que con la conductividad la relación directa entre los sólidos disueltos totales y la concentración de sulfatos y cloruros en el agua de la subcuenca, refleja claramente la dependencia de este parámetro de la geología y suelos de la subcuenca, constatándose una tendencia al aumento de los valores medios de los sólidos disueltos totales según se acerca a los tramos bajos.

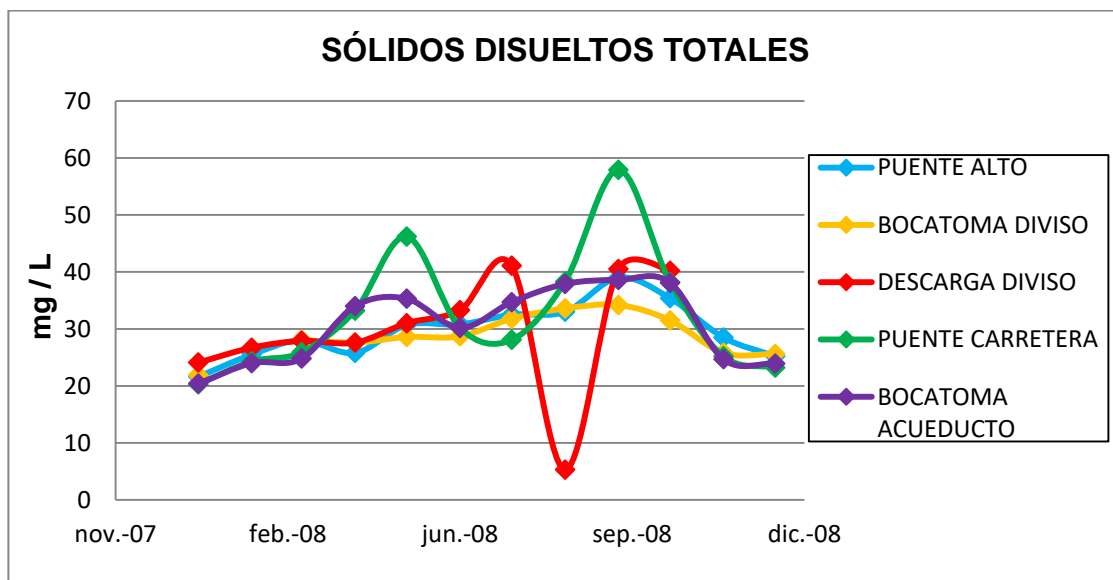
Al igual que con la conductividad el mínimo valor de todo el año 2008 se presenta en la estación de mayor impacto de la subcuenca piedras “Descarga Diviso”, cuyo valor de sólidos disueltos totales en el mes de agosto es de 5.3 mg/L (correspondiendo con el factor de aproximadamente 0.5 respecto a la conductividad); es un valor aceptable ya que se encuentra por debajo del límite admisible establecido en la tabla 10. Este valor se pudo deber a que en los días previos al muestreo de este mes haya habido algunas precipitaciones, lo que produjera mayor efecto de dilución sobre las sales inorgánicas, minerales y materia orgánica provenientes del suelo, las rocas, y de actividades antrópicas de esta parte de la subcuenca, incluyendo las A.R de la piscifactoría “El Diviso”, y por ende una menor salinidad.

El máximo valor de 57.9 mg/L, presentado en el mes de septiembre en la estación “Puente Carretera”, es un valor aceptable ya que se encuentra muy por debajo del límite admisible establecido en la tabla 10. Este valor pudo ser causado por algunas lluvias previas al día del muestreo lo que produjera escorrentías que

transportaran sales inorgánicas, materia orgánica y minerales provenientes del suelo, las rocas y de actividades antrópicas, principalmente de la vía destapada.

Los valores representan un buen comportamiento ya que todos estos se encuentran por debajo del límite admisible establecido en la tabla 10; con pequeñas fluctuaciones en forma creciente a medida que transcurre el año y la temporada invernal; con excepción del mes de agosto en la estación “Descarga Diviso”. En la gráfica 8. Se puede observar de mejor manera el comportamiento de los sólidos disueltos totales del agua del río “Las Piedras” para el año 2008.

Gráfica 8. Sólidos disueltos totales del agua del río “Las Piedras”



Fuente: elaboración propia

Los valores para la construcción de la gráfica se muestran en el anexo E.

Nitritos (NO₂): el nitrógeno orgánico se compone principalmente de sustancias proteínicas como aminoácidos, ácidos nucleídos, las excretas animales; y del producto de sus transformaciones bioquímicas como los ácidos húmicos y fúlvicos. El incremento en la concentración de nitrógeno orgánico puede indicar la contaminación de un cuerpo de agua (Water Quality Assessments, 1996). Con el tiempo el nitrógeno orgánico se transforma en nitrógeno amoniacal, después este se oxida y se forman los nitritos. La oxidación de amoníaco a nitrito, en presencia de oxígeno, es rápida, por lo tanto su presencia se debe a contaminación reciente por aparición de organismos patógenos (pues el cuerpo los expulsa en esta forma amoniacal), aunque haya desaparecido el amoníaco. Esta oxidación se puede dar por la acción de bacterias nitrificantes. [18] Los nitritos se pueden formar también por la desnitrificación (reducción microbiana) del nitrato a nitrito en las condiciones anaerobias del suelo (NO₃ → NO₂) (WHO, 2004).

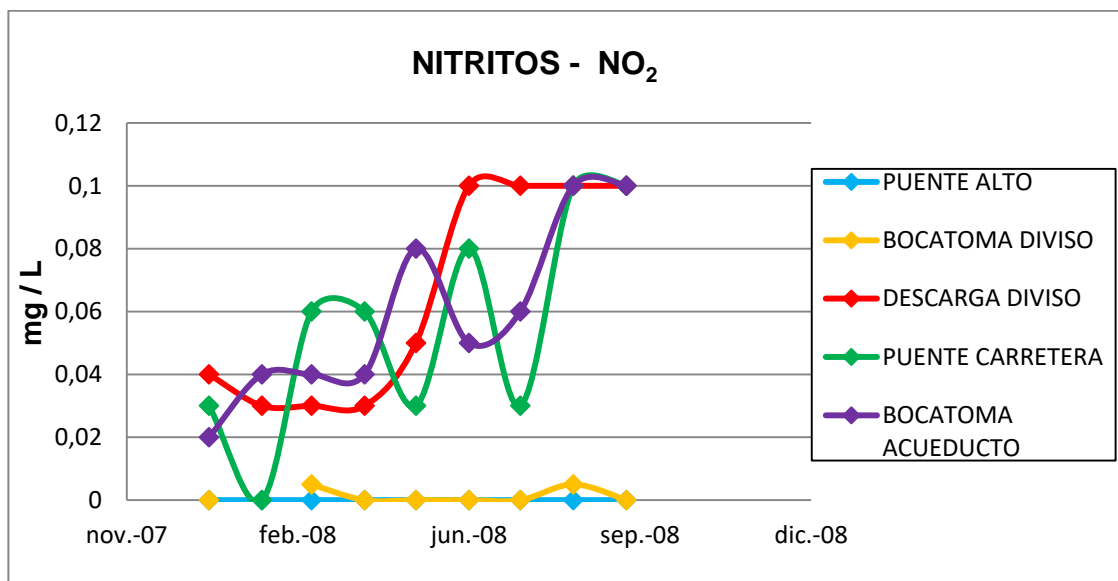
Sus valores promedio fluctúan entre 0 mg/L y 0.06 mg/L, este rango de valores indica muy poca contaminación debido al poco aporte de nitrógeno orgánico por parte de las actividades antrópicas y de procesos naturales de nitrificación; pero después de la estación “Descarga Diviso” como era de esperarse, hay un incremento en los valores debido a la gran cantidad de nutrientes provenientes de la actividad piscícola, como se puede observar en la gráfica 9.

Los máximos valores calculados de 0.1 mg/L, presentados en los meses de junio hasta septiembre en la estación “Descarga Diviso”; agosto y septiembre en las dos (2) últimas estaciones, son valores aceptables ya que se encuentran por debajo del límite admisible establecido en la tabla 10. Estos valores se deben a una mayor contribución de nitrógeno orgánico y/o nitrógeno amoniacal al agua por parte de las actividades diarias ejercidas por las comunidades de estas zonas de la subcuenca y en especial por la descarga de las A.R de la piscifactoría “El Diviso”, la cual aporta el mayor contenido de nutrientes al río “Las Piedras”.

Los nitritos rara vez se encuentran en concentraciones > 0.1 mg/L en las aguas superficiales, por eso su medición se hace difícil y engorrosa.

Los valores describen un comportamiento ya que todos estos se encuentran por debajo del límite admisible establecido en la tabla 10; con pequeñas fluctuaciones en forma creciente a medida que transcurre el año y la temporada invernal; con excepción de las dos (2) primeras estaciones de monitoreo (en los últimos 3 meses, no se analizó este parámetro). En la gráfica 9. Se puede observar de mejor manera el comportamiento de los nitritos del agua del río “Las Piedras” para el año 2008.

Gráfica 9. Nitritos del agua del río “Las Piedras”



Fuente: elaboración propia

Los valores para la construcción de la gráfica se muestran en el anexo E.

Oxígeno Disuelto: la concentración de oxígeno disuelto en el agua de los ríos va a depender de la altitud, la temperatura, la salinidad, la turbulencia y los procesos de producción primaria y descomposición de la materia orgánica. La solubilidad del oxígeno disminuye con el aumento de la temperatura, la salinidad y la velocidad de oxidación biológica (Sawyer, 2000).

Sus valores promedio fluctúan poco, entre 6.5 mg O₂/L y 7.5 mg O₂/L, este rango de valores es muy bueno, característico de los ríos de alta montaña el cual nos indica que esta agua presenta muy poca contaminación por acción biológica y/o termal; en la subcuenca del río “Las Piedras” se presenta un buen contenido de oxígeno disuelto debido a las características de su red de drenaje de alta pendiente, mediante la cual el agua a medida que baja, cae y se golpea con las rocas se va oxigenando. Otros factores que ayudan a que el oxígeno se solubilice mejor en la subcuenca del río “Las Piedras” son las bajas temperaturas y los bajos contenidos de cloruros; aunque la solubilidad del oxígeno atmosférico en el agua es muy baja por la poca presión atmosférica o por la altura del lugar. Pero la menor presión de oxígeno existente a grandes altitudes se compensa con temperaturas más bajas y viceversa. [19]

En general el agua del río las piedras presenta valores aceptables de oxígeno disuelto, que permite el desarrollo de especies acuáticas andinas; y también son aptas para usos múltiples como agua potable y desarrollo de proyectos agropecuarios entre otros (POMCH río “Las Piedras”, 2006).

El mínimo valor de 5.2 mg O₂/L, se presenta en el mes de septiembre en la estación de mayor impacto “Descarga Diviso” como era de suponerse debido al gran aporte de nutrientes y de materia orgánica, que al degradarse incrementa el consumo de oxígeno por parte de la oxidación biológica (Water Quality Assessments, 1996); es un valor no aceptable ya que se encuentra por fuera del rango admisible establecido en la tabla 10. Este valor también se pudo deber a un

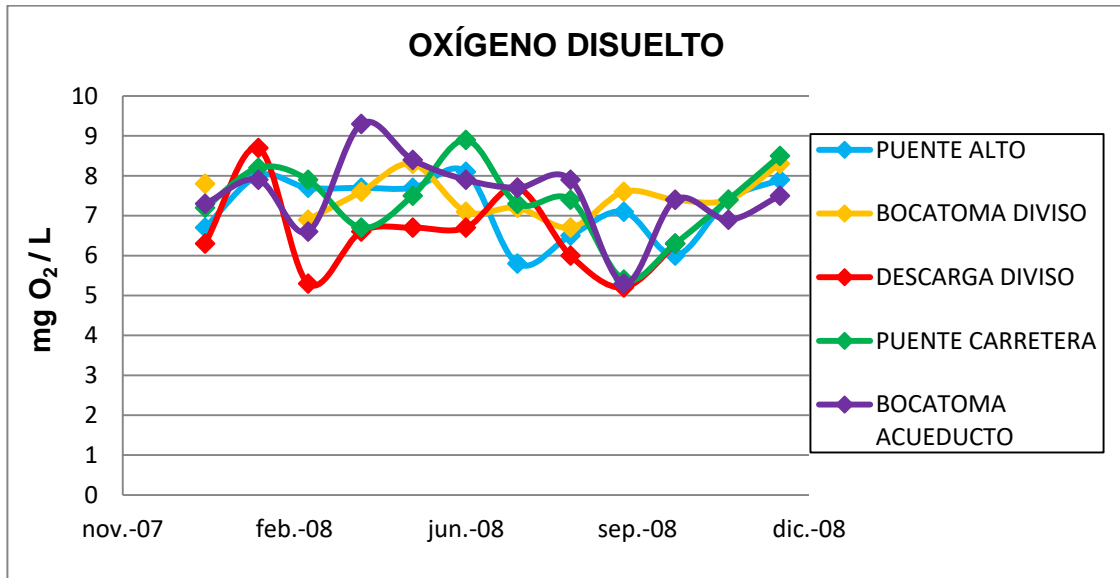
aumento en la temperatura del agua lo que provoca una menor solubilidad del oxígeno o a un descenso en el caudal por lo que no hay buena oxigenación en esta parte de la subcuenca.

El oxígeno disuelto presenta otros cuatro (4) valores en el año que también están por debajo del rango admisible establecido en la tabla 10.

En cuanto al valor máximo de 9.3 mg O₂/L, que se presenta en el mes de abril en la estación “Bocatoma Acueducto” y a otros ocho (8) valores que superan los 8.0 mg O₂/L, son producto de un error de cálculo debido a una mala calibración de la sonda que mide este parámetro, ya que estos valores son muy grandes y no corresponden a la zona de la subcuenca piedras.

Los valores describen un buen comportamiento aunque aproximadamente el 24% de estos se encuentran por fuera del rango admisible establecido en la tabla 10; con pequeñas fluctuaciones para todas las estaciones de monitoreo. En la gráfica 10. Se puede observar de mejor manera el comportamiento del oxígeno disuelto del agua del río “Las Piedras” para el año 2008.

Gráfica 10. Oxígeno disuelto del agua del río “Las Piedras”



Fuente: elaboración propia

Los valores para la construcción de la gráfica se muestran en el anexo E.

Cloruros: los cloruros existen en todas las aguas naturales en concentraciones muy variadas. Normalmente, el contenido de cloruro aumenta a medida que aumenta el contenido de los minerales. Por lo general, las fuentes de las tierras altas y de las montañas tienen bajo contenido de cloruros (Sawyer, 2000).

Los pocos valores calculados durante el año fluctúan entre 4.0 mg/L y 14.0 mg/L, este rango de valores es muy bueno e indica un bajo contenido de minerales en el agua provenientes del suelo, las excretas animales como la orina y de las aguas residuales de las comunidades que son transportados por la escorrentía de las lluvias; incluyendo la descarga de las A.R de la piscifactoría “El Diviso”. Lo anterior puede observarse en los demás valores de otros parámetros que dependen también del contenido mineralógico. (Bajos valores de conductividad, alcalinidad, dureza, sólidos disueltos, entre otros)

El máximo valor de 14 mg/L, presentado en el mes de abril en la estación “Puente Alto”, es un valor aceptable ya que se encuentra muy por debajo del límite admisible establecido en la tabla 10. Este valor se pudo deber a que el día del muestreo solo haya llovido en la parte alta de la subcuenca, lo que produjo una escorrentía que transportó sales inorgánicas, minerales y materia orgánica provenientes del suelo, las rocas, y de actividades antrópicas. Todos los valores.

En la tabla 13, se presentan los únicos valores calculados durante los meses de enero, marzo y abril. A pesar que los valores de los cloruros están por debajo del límite admisible establecido en la tabla 10, son constituyentes normales del agua y no tienen efectos tóxicos sobre la salud humana, deberían calcularse durante todos los meses del año.

Tabla 13. Valores de cloruros del agua del río “Las Piedras”

FECHA	ESTACIÓN	CLORUROS (mg/L)
Enero 2008	Puente Alto	6.0
	Bocatoma Diviso	10.0
	Descarga Diviso	6.0
	Puente Carretera	8.0
	Bocatoma Acueducto	8.0
Marzo 2008	Puente Alto	8.0
	Bocatoma Diviso	6.0
	Descarga Diviso	10.0
	Puente Carretera	4.0
	Bocatoma Acueducto	6.0
Abril 2008	Puente Alto	14.0
	Bocatoma Diviso	6.0
	Descarga Diviso	8.0
	Puente Carretera	6.0
	Bocatoma Acueducto	8.0

Fuente: elaboración propia

Demanda Bioquímica de Oxígeno: la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) es una medida de la cantidad de oxígeno consumido en el proceso biológico de degradación de la materia orgánica en el agua; el término degradable puede interpretarse como expresión de la materia orgánica que puede servir de alimento a las bacterias; a mayor DBO₅, mayor grado de contaminación (Sawyer, 2000).

Los pocos valores calculados durante el año fluctúan entre 0.4 mg/L y 2.4 mg/L, este rango de valores es bueno e indica que hay poca contaminación en la subcuenca del río “Las Piedras” por aporte de materia orgánica biodegradable al agua, también puede indicar que hay poca actividad bacteriana debido a que se presentan muy buenas condiciones de oxígeno pero no hay materia orgánica que descomponer y que hay muy poca nitrificación como se observó en los valores de nitritos (bacterias nitrificantes consumen el OD y aumentan la DBO).

Algo peculiar y contradictorio en este parámetro, es que los valores más bajos de las dos (2) únicas muestras tomadas en el año, se presentan en la estación “Descarga Diviso”.

Los valores de DBO₅ son aceptables ya que están por debajo del límite admisible establecido en la tabla 10, con la única excepción del valor registrado por la estación “Bocatoma Diviso” en el mes de enero que fue de 2.4 mg/L.

Según el jefe de la división producción del AAPSA, la DBO₅ no se calcula debido a que no es una característica exigida por la resolución 2115 de 2007.

En la tabla 14, se presentan los únicos valores calculados durante los meses de enero y agosto.

Tabla 14. Valores de la DBO₅ del agua del río “Las Piedras”

FECHA	ESTACIÓN	DBO (mg O ₂ /L)
Enero 2008	Puente Alto	1.3
	Bocatoma Diviso	2.4
	Descarga Diviso	0.9
	Puente Carretera	1.8
	Bocatoma Acueducto	1.9
Agosto 2008	Puente Alto	0.8
	Bocatoma Diviso	0.9
	Descarga Diviso	0.4
	Puente Carretera	1.6
	Bocatoma Acueducto	1.0

Fuente: elaboración propia

Demanda Química de Oxígeno: la Demanda Química de Oxígeno (DQO) es una medida de la susceptibilidad a la oxidación de los materiales orgánicos e inorgánicos presentes en los cuerpos de agua y en los efluentes de aguas domésticas y plantas industriales, pero no es un indicador del carbono orgánico total presente en el cuerpo de agua, puesto que algunos compuestos orgánicos no son oxidados por el dicromato de potasio, mientras que algunos compuestos inorgánicos sí lo son. La materia orgánica se oxida hasta dióxido de carbono y agua, mientras el nitrógeno orgánico se convierte en amoníaco. [20]

Los pocos valores calculados durante el año fluctúan entre 0.6 mg/L y 13.1 mg/L, este rango de valores es bueno y al igual que los de la DBO₅ indican que hay poco aporte de materia orgánica tanto biodegradable como inerte en la subcuenca del río “Las Piedras” para su oxidación. También podría indicar que una parte considerable de la materia oxidable en el agua es de naturaleza no biodegradable. Por esta razón la DQO siempre será mayor que la DBO₅ cuando se presenta materia orgánica biológicamente resistente como la lignina y porque la DQO está sujeta a interferencia por cloruros, ya que estos poseen materia orgánica químicamente degradable (urea).

Como era de esperarse, al igual que la DBO₅, los valores más bajos de DQO de las dos (2) únicas muestras tomadas en el año, se presentan en la estación “Descarga Diviso” ya que la DQO permite hacer estimaciones de la DBO₅.

Todos los valores de DQO son aceptables ya que están por debajo del límite admisible establecido en la tabla 10.

Según el jefe de la división producción del AAPSA, la DQO tampoco se calcula debido a que no es una característica exigida por la resolución 2115 de 2007.

En la tabla 15, se presentan los únicos valores calculados durante los meses de enero y agosto.

Tabla 15. Valores de la DQO del agua del río “Las Piedras”

FECHA	ESTACIÓN	DQO (mg O ₂ /L)
Enero 2008	Puente Alto	6.4
	Bocatoma Diviso	13.0
	Descarga Diviso	5.2
	Puente Carretera	11.9
	Bocatoma Acueducto	13.1
Agosto 2008	Puente Alto	1.2
	Bocatoma Diviso	1.4
	Descarga Diviso	0.6
	Puente Carretera	2.4
	Bocatoma Acueducto	1.5

Fuente: elaboración propia

- **Características Microbiológicas**

Coliformes Fecales: los coliformes fecales son microorganismos con una estructura parecida a la de una bacteria común que se llama *Escherichia coli* y se transmiten por medio de los excrementos. Estos microorganismos no son exclusivos del intestino humano, sino que forman parte también de la flora intestinal de diversos animales de sangre caliente, reflejando así la presencia de contaminación fecal. Los coliformes fecales se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. Esta es la característica que diferencia a coliformes totales y fecales. La capacidad de los coliformes fecales de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas en el agua como materia orgánica, pH, temperatura, humedad, turbidez, poca acidez y poca salinidad. [21]

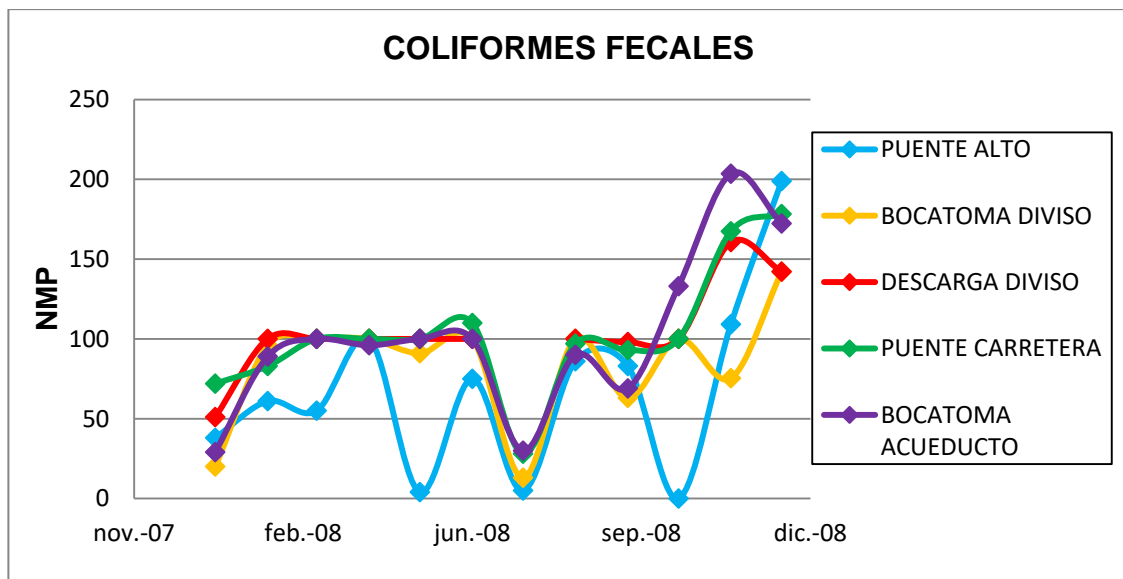
Sus valores promedio fluctúan entre 67.9 NMP y 104.7 NMP, este rango de valores es bueno, característico de los ríos que presentan escasa actividad antrópica en sus riberas, el cual nos indica que esta agua presenta poca contaminación de tipo fecal. La actividad ganadera (incluyendo las especies menores) de la subcuenca del río “Las Piedras” y la piscifactoría “El Diviso” son las actividades que mayor número de coliformes fecales aporta al agua, ya que la mayoría de la población deposita sus excretas en letrinas. Aunque hay otros factores en la subcuenca que favorecen el crecimiento de estas bacterias como la poca salinidad, la turbiedad y las características de la red de drenaje; aunque los valores de coliformes fecales sean bajos, se hace necesario que el agua de la subcuenca piedras requiera de tratamiento para ser utilizada como fuente de abastecimiento.

El máximo valor de 203.5 NMP, presentado en el mes de noviembre para la estación “Bocatoma Acueducto”, es un valor aceptable ya que se encuentra muy

por debajo del límite admisible establecido en la tabla 10. Este valor se debe a que en este mes se presentó el mayor régimen de precipitaciones lo que produjo un mayor lavado de excretas por parte de la escorrentía.

Los valores describen un comportamiento casi constante hasta junio, en julio bajan todos, para después incrementarse en los últimos meses del año donde se presentan mayores precipitaciones. La excepción es la estación “Puente Alto” cuyo comportamiento es totalmente fluctuante. Pero en general el comportamiento es bueno ya que todos los valores están muy por debajo del límite admisible establecido en la tabla 10. En la gráfica 11. Se puede observar de mejor manera el comportamiento de las coliformes fecales del agua del río “Las Piedras” para el año 2008.

Gráfica 11. Coliformes fecales del agua del río “Las Piedras”



Fuente: elaboración propia

Los valores para la construcción de la gráfica se muestran en el anexo E.

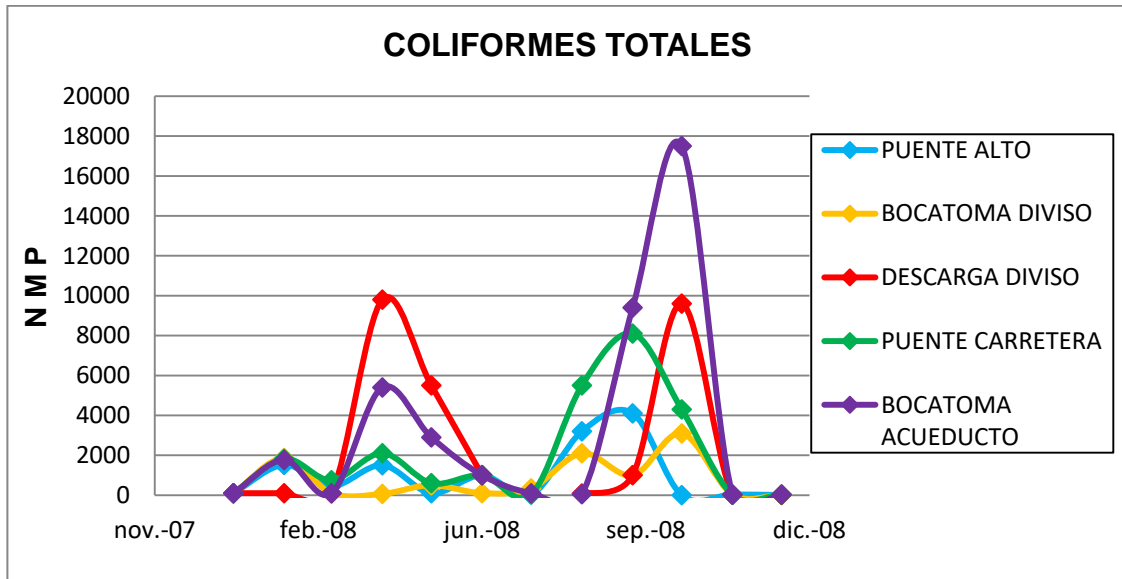
Coliformes Totales: no todos los coliformes son de origen fecal, también se encuentran en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales. Los coliformes totales comprenden la totalidad del grupo coliforme (*Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*). Desde el punto de vista de la salud pública es importante diferenciar entre coliformes fecales y coliformes totales, puesto que permite asegurar con alto grado de certeza que la contaminación que presenta el agua es de origen fecal. [22]

Sus valores promedio fluctúan entre 776.2 NMP y 3197.1 NMP, este rango de valores es bueno, característico de los ríos que presentan corrientes capaces de mantenerlos libres de restos vegetales durante su recorrido y que presenten suelos de substrato ácido y con poca actividad microbiana en su estructura; este rango de valores nos indica que al igual que las coliformes fecales, esta agua presenta poca contaminación por parte de estas bacterias, incluyendo las A.R de la piscifactoría “El Diviso”.

El máximo valor de 17500 NMP, presentado en el mes de octubre para la estación “Bocatoma Acueducto”, es un valor aceptable ya que se encuentra por debajo del límite admisible establecido en la tabla 10. Este valor se pudo deber a que en los días previos al muestreo se hayan presentado intensas precipitaciones, produciendo así un grandes escorrentías que arrastran la capa superior del suelo, que es la que aporta el mayor contenido de estas bacterias.

Los valores describen buen comportamiento, ya que todos estos se encuentran por debajo del límite admisible establecido en la tabla 10; con fluctuaciones moderadas en forma creciente y decreciente, con excepción de los meses de abril y octubre. En la gráfica 12. Se puede observar de mejor manera el comportamiento de las coliformes totales del agua del río “Las Piedras” para el año 2008.

Gráfica 12. Coliformes totales del agua del río “Las Piedras”



Fuente: elaboración propia

Los valores para la construcción de la gráfica se muestran en el anexo E.

Mesófilos: estos microorganismos son indicadores de la presencia de materia orgánica, incluye todos los géneros aerobios y facultativos, capaces de crecer en un medio de agar nutritivo. Este recuento de colonias es útil para evaluar el estado de los recursos de agua en su origen y la eficacia del proceso de tratamiento de las aguas destinadas al consumo humano e indica la limpieza y el estado de los sistemas de distribución. De igual modo, permite detectar cambios anómalos en el número de microorganismos en la red de distribución. Así, todo aumento repentino del número obtenido puede advertir de la existencia de un foco de contaminación y requeriría su inmediata investigación. [23]

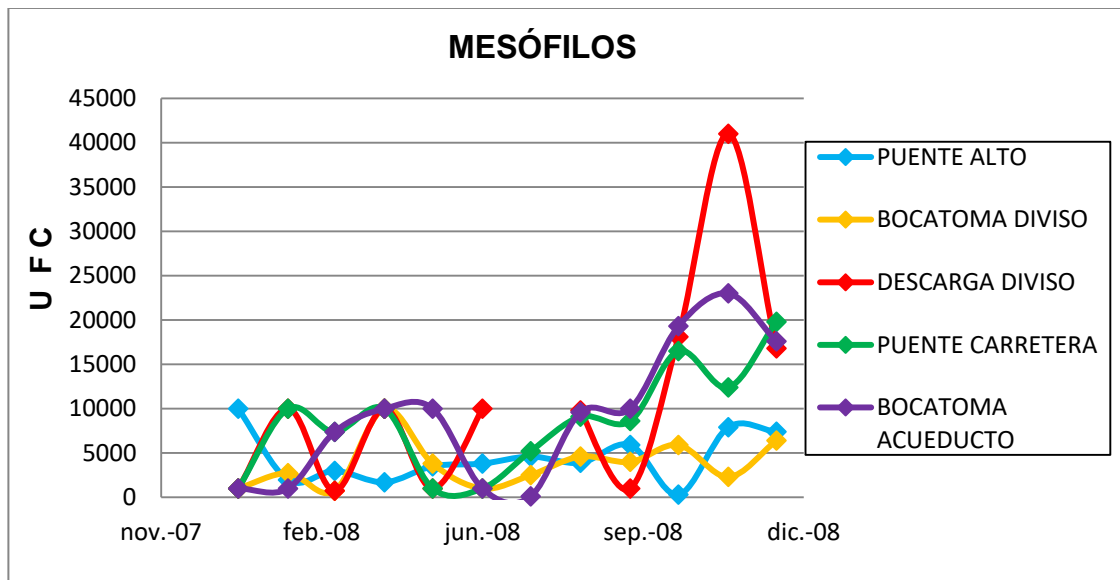
Sus valores promedio fluctúan entre 3746,5 UFC y 10858 UFC, este rango de valores es característico de los ríos que presentan un moderado aporte de materia orgánica, debido a la gran variedad de estos microorganismos y que están presentes en grandes cantidades tanto en el suelo como en el agua; esto se puede observar en los bajos valores de DBO₅, DQO y a que los suelos de la subcuenca presentan bajo contenido de M.O y/o fertilidad moderada; este rango de valores nos indica una leve contaminación por parte de materia orgánica. Cabe aclarar que los microorganismos mesófilos son menos peligrosos para la salud pública que el grupo coliforme.

El máximo valor de 41000 UFC, presentado en el mes de noviembre para la estación "Descarga Diviso", como era de esperarse debido a las aguas residuales de la piscifactoría y a que este mes fue el de mayores precipitaciones durante todo el año, lo que produjo un gran aporte de estos microorganismos por parte de la escorrentía causada.

La tabla 10. No contiene este parámetro, ya que no se encontraron límites admisibles en las aguas naturales para estos microorganismos en la bibliografía consultada.

Los valores describen un comportamiento con pequeñas fluctuaciones en forma creciente y decreciente, pero estos se incrementan en los últimos tres (3) meses del año donde se presentan mayores precipitaciones, en especial en la estación “Descarga Diviso”. En la gráfica 13. Se puede observar de mejor manera el comportamiento de los mesófilos del agua del río “Las Piedras” para el año 2008.

Gráfica 13. Mesófilos del agua del río “Las Piedras”



Fuente: elaboración propia

Los valores para la construcción de la gráfica se muestran en el anexo E.

6.2.1.3 Resultados obtenidos

A continuación se presentan los posibles factores de riesgo, su procedencia y las respectivas acciones correctivas o preventivas a implementar; encontrados de acuerdo con los resultados de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua del “Río las Piedras”:

Factor de riesgo físico: turbiedad.



Figura 9. Efecto de la escorrentía invernal sobre la turbiedad

Nivel de riesgo: medio.

Valores: [43.9 – 56 – 57 – 90 – 91 – 97] UNT

Procedencia:

- a) *Fenómenos de remoción en masa.*
- b) *Ganadería extensiva.*
- c) *Agricultura.*
- d) *A.R de la piscifactoría “El Diviso”.*

Acciones a implementar:

- a) *Obras de bioingeniería, revegetalización, reforestación, cunetas y drenajes sobre la vía destapada.*



Figura 10. Revegetalización de laderas degradadas

b) Aislamientos e implementación de sistemas silvopastoriles.



Figura 11. Sistemas silvopastoriles

Figura 12. Aislamientos “Cercas Eléctricas”

- c) Sembrar siguiendo las curvas de nivel, con cultivos de buenos sistemas radiculares (ramificados y profundos), cultivos de cobertura, aplicación de abono verde y de abonos orgánicos, implementar sistemas de labranza reducida, construir zanjas de contorno y drenaje.
- d) Las acciones de seguimiento sobre la P.T.A.R de la piscifactoría “El Diviso”, le compete a la autoridad ambiental de la zona (C.R.C).

Factor de riesgo físico: color aparente.

Nivel de riesgo: medio.

Valores: [99.3 – 113.6 – 130 – 139 – 146.2 – 167.9 – 262] Pt-Co

Procedencia:

- a) *Fenómenos de remoción en masa.*
- b) *Ganadería extensiva.*
- c) *Agricultura.*
- d) *A.R de la piscifactoría “El Diviso”.*

Acciones a implementar:

- a) Obras de bioingeniería, revegetalización, reforestación, cunetas y drenajes sobre la vía destapada.
- b) Aislamientos e implementación de sistemas silvopastoriles.
- c) Sembrar siguiendo las curvas de nivel, con cultivos de buenos sistemas radicales (ramificados y profundos), cultivos de cobertura, aplicación de abono verde y de abonos orgánicos, implementar sistemas de labranza reducida, construir zanjas de contorno y drenaje.
- d) Las acciones de seguimiento sobre la P.T.A.R de la piscifactoría “El Diviso”, le compete a la autoridad ambiental de la zona (C.R.C).

Factor de riesgo químico: oxígeno disuelto.

Nivel de riesgo: bajo.

Valores: [5.2 – 5.3 – 5.4 – 5.8] mg O₂/L

Procedencia:

- a) *A.R de la piscifactoría “El Diviso”.*
- b) *Agricultura.*
- c) *Ganadería extensiva.*

Acciones a implementar:

- a) Las acciones de seguimiento sobre la P.T.A.R de la piscifactoría “El Diviso”, le compete a la autoridad ambiental de la zona (C.R.C).

- b) Sembrar siguiendo las curvas de nivel, con cultivos de buenos sistemas radiculares (ramificados y profundos), cultivos de cobertura, aplicación de abono verde y de abonos orgánicos, implementar sistemas de labranza reducida, construir zanjas de contorno y drenaje.
- c) Aislamientos e implementación de sistemas silvopastoriles.

6.2.2 Identificación de factores de riesgo de acuerdo con los resultados de los análisis de las muestras de agua para consumo humano exigidas para el control, de acuerdo con la resolución 2115 de 2007

6.2.2.1 Procedimientos de muestreo y análisis:

La campaña de muestreo se realizó en los días correspondientes al tercer lunes de cada mes del año 2009 como puede verse en la tabla 9. Las variables medidas en campo mediante sondas son: conductividad, sólidos disueltos totales, temperatura, oxígeno disuelto y porcentaje de saturación del oxígeno. El estudio comprende la caracterización puntual y cuantitativa, sin repetición de muestras, de la calidad del agua.

La tabla 16, indica los materiales y métodos utilizados para la medición de las diferentes variables fisicoquímicas y microbiológicas. Los análisis fueron realizados en el laboratorio de la planta “Tablazo” de AAPSA. Se utilizaron recipientes estériles de vidrio de 500 mL para las muestras microbiológicas y recipientes plásticos de 2 litros para las muestras fisicoquímicas. Todas las muestras se rotularon indicando el sitio, la fuente, los funcionarios presentes, el municipio, la hora y la fecha; se conservaron a 4°C y se llevaron antes de 24 horas al laboratorio para su análisis.



Figura 13. Toma de muestras y medición en campo

Tabla 16. Material y metodología utilizada para la medición de las variables fisicoquímicas y microbiológicas del agua del río “Las Piedras”

VARIABLES	UNIDAD	MATERIAL Y/O MÉTODO
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	Conductímetro
Turbiedad	UNT	Turbidímetro - Nefelométrico
Color aparente	Pt-Co	Espectrofotómetro
pH	-	pH-metro
Alcalinidad total	mg CaCO_3/L	Titulación 0.02N H_2SO_4
Dureza total	mg CaCO_3/L	Tritriplex
Nitritos – NO_2	mg/L	Ácido Sulfanílico
Oxígeno disuelto	mg O_2/L	Kit Merck
Hierro total	mg/L	1.10 Fenantrolina
Cloruros	mg/L	Morh
DBO_5	mg O_2/L	Oxitop
DQO	mg O_2/L	Dicromato de Potasio
Sólidos disueltos t.	mg/L	Conductímetro
Coliformes fecales	NMP/100 mL	Sustrato definido
Coliformes totales	NMP/100 mL	Sustrato definido
Mesófilos	UFC/100 mL	Filtración por membrana

Fuente: elaboración propia

En el anexo E, se encuentran los resultados de los análisis de las muestras de agua para consumo humano (en las cinco estaciones vistas) exigidas para el control durante el año 2008, de acuerdo con la resolución 2115 de 2007; y en el

anexo F se encuentran los correspondientes resultados promedio de las muestras de agua en las etapas de tratamiento de la planta “Tablazo” del AAPSA.

Comparando los valores de los análisis de las muestras de agua de las cinco (5) estaciones de monitoreo del río “Las Piedras” durante el año 2008 (anexo E), con las concentraciones máximas aceptables de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de acuerdo con el instrumento normativo encontrado en las tablas 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8; y teniendo en cuenta los plazos establecidos para el cálculo de algunos parámetros, se tiene lo siguiente:

- **Estación 1: “Puente Alto”**

TURBIEDAD: el 8.33% de los valores, no cumplen con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 5 UNT

Valor máximo: 21.0 UNT – noviembre de 2008

COLOR APARENTE: el 16.66% de los valores, no cumplen con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 15 Pt-Co

Valor máximo: 17.5 Pt-Co – enero de 2008

COLIFORMES FECALES: el 91.66% de los valores, no cumplen con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 0 NMP/100 mL

Valor máximo: 198.9 NMP – diciembre de 2008

COLIFORMES TOTALES: el 91.66% de los valores, no cumplen con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 0 NMP/100 mL

Valor máximo: 4100 NMP – septiembre de 2008

MESÓFILOS: ningún valor cumple con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 100 UFC/100 mL

Valor máximo: 11000 UFC – enero de 2008

- **Estación 2: “Bocatoma Diviso”**

TURBIEDAD: el 9.09% de los valores, no cumplen con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 5 UNT

Valor máximo: 90 UNT – diciembre de 2008

COLOR APARENTE: el 18.18% de los valores, no cumplen con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 15 Pt-Co

Valor máximo: 167.9 Pt-Co – diciembre de 2008

COLIFORMES FECALES: ningún valor cumple con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 0 NMP/100 mL

Valor máximo: 142.1 NMP – diciembre de 2008

COLIFORMES TOTALES: ningún valor cumple con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 0 NMP/100 mL

Valor máximo: 3100 NMP – octubre de 2008

MESÓFILOS: ningún valor cumple con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 100 UFC/100 mL

Valor máximo: 11000 UFC – abril de 2008

- **Estación 3: “Descarga Diviso”**

TURBIEDAD: el 50% de los valores, no cumplen con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 5 UNT

Valor máximo: 55 UNT – abril de 2008

COLOR APARENTE: el 80% de los valores, no cumplen con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 15 Pt-Co

Valor máximo: 146.2 Pt-Co – abril de 2008

COLIFORMES FECALES: ningún valor cumple con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 0 NMP/100 mL

Valor máximo: 160.7 NMP – noviembre de 2008

COLIFORMES TOTALES: ningún valor cumple con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 0 NMP/100 mL

Valor máximo: 9800 NMP – abril de 2008

MESÓFILOS: ningún valor cumple con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 100 UFC/100 mL

Valor máximo: 41000 UFC – noviembre de 2008

- **Estación 4: “Puente Carretera”**

TURBIEDAD: el 58.33% de los valores, no cumplen con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 5 UNT

Valor máximo: 90 UNT – marzo de 2008

COLOR APARENTE: el 75% de los valores, no cumplen con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 15 Pt-Co

Valor máximo: 262.0 Pt-Co – mayo de 2008

COLIFORMES FECALES: ningún valor cumple con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 0 NMP/100 mL

Valor máximo: 178.2 NMP – diciembre de 2008

COLIFORMES TOTALES: ningún valor cumple con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 0 NMP/100 mL

Valor máximo: 8100 NMP – septiembre de 2008

MESÓFILOS: ningún valor cumple con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 100 UFC/100 mL

Valor máximo: 19800 UFC – diciembre de 2008

- **Estación 5: “Bocatoma Acueducto”**

TURBIEDAD: el 83.33% de los valores, no cumplen con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 5 UNT

Valor máximo: 95 UNT – marzo de 2008

COLOR APARENTE: el 83.33% de los valores, no cumplen con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 15 Pt-Co

Valor máximo: 139.0 Pt-Co – marzo de 2008

COLIFORMES FECALES: ningún valor cumple con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 0 NMP/100 mL

Valor máximo: 203.5 NMP – noviembre de 2008

COLIFORMES TOTALES: ningún valor cumple con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 0 NMP/100 mL

Valor máximo: 17500 NMP – octubre de 2008

MESÓFILOS: ningún valor cumple con la resolución 2115 de 2007.

Valor aceptable: 100 UFC/100 mL

Valor máximo: 23000 UFC – noviembre de 2008

En las tablas 17 y 18, se presentan los valores promedio mensuales para el año 2008 de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tomados al agua tratada de la planta “Tablazo”. (Extraídos del anexo F)

Tabla 17. Valores promedio mensuales de los análisis fisicoquímicos del agua tratada de la planta “Tablazo” para el año 2008

Fecha	Turbiedad (UNT)	Color aparente (Pt-Co)	pH	Alcalinidad total (mg/L)	Dureza total (mg/L)	Hierro total (mg/L)
Ene/08	2.5	7.5	6.9	33.7	39.7	-
Feb/08	3.7	8.9	6.9	25.6	33.6	-
Mar/08	4.0	8.9	6.9	20.3	36.6	-
Abr/08	3.6	8.4	7.3	31.3	37.5	-
May/08	1.3	6.3	7.7	39.5	54.5	-
Jun/08	3.2	8.9	6.9	25.4	33.5	-
Jul/08	1.6	8.7	7.0	29.1	31.9	0.07
Ago/08	1.6	9.0	7.0	29.8	28.6	0.1
Sep/08	1.9	8.9	7.2	33.0	33.2	0.09
Oct/08	2.4	10.0	6.9	32.4	28.6	-
Nov/08	3.2	13.3	6.4	23.8	21.0	0.07
Dic/08	5.0	13.1	6.5	20.4	18.6	0.1

Fuente: registro de control de calidad del AAPSA

Tabla 18. Valores promedio mensuales de los análisis microbiológicos del agua tratada de la planta “Tablazo” para el año 2008

Fecha	Coliformes fecales (NMP/100 mL)	Coliformes totales (NMP/100 mL)	Mesófilos (UFC/100 mL)
Ene/08	0	0	34.9
Feb/08	0	0	97.5
Mar/08	0	0	34.3
Abr/08	0	0	41.7
May/08	0	0	50.2
Jun/08	0	0	57.9
Jul/08	0	0	39.2
Ago/08	0	0	55.6
Sep/08	0	0	49.1
Oct/08	0	0	15.8
Nov/08	0	0	20.3
Dic/08	0	0	36.7

Fuente: registro de control de calidad del AAPSA

En la tabla 19, se presentan los valores promedio mensuales para el año 2008 de los residuales de las sustancias químicas utilizadas en la potabilización. (Extraídos del anexo F)

Tabla 19. Valores promedio mensuales de los residuales de las sustancias químicas utilizadas en la potabilización de la planta “Tablazo” para el año 2008

Fecha	Cloro residual libre (mg/L)	Residual de Aluminio (mg/L)
Ene/08	1.0	-
Feb/08	1.0	-
Mar/08	1.0	-
Abr/08	1.0	-
May/08	0.9	-
Jun/08	1.0	-
Jul/08	1.2	0.1
Ago/08	1.1	0.13
Sep/08	1.0	0.07
Oct/08	1.1	-
Nov/08	1.2	0.25
Dic/08	1.3	0.12

Fuente: registro de control de calidad del AAPSA

Como se pudo observar en la tabla anterior ninguna de las sustancias químicas utilizadas en la potabilización sobrepasa el límite aceptable de la resolución 2115 de 2007, consignado en la tabla 6. Excepto en el mes de noviembre que corresponde al mes que presentó mayor turbiedad y color aparente del agua cruda que ingresó a la planta (anexo F) y por lo tanto se tuvo que adicionar mayor contenido de coagulante (sulfato de aluminio) para su remoción.

6.2.2.2 Resultados obtenidos

No se presentan factores de riesgo para el año 2008 de acuerdo con los resultados de los análisis de las muestras de agua para consumo humano exigidas para el control, de acuerdo con la resolución 2115 de 2007.

Ya que los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de las estaciones de monitoreo que sobrepasan el límite admisible por la norma, luego del proceso de potabilización los análisis de estos mismos parámetros correspondientes al mismo mes, ya cumplen con la resolución 2115 de 2007. Los parámetros son:

- ***Turbiedad***

Para cumplir con el valor máximo aceptable exigido por la resolución 2115 de 2007, el AAPSA tiene un plazo de tres (3) años a partir de la vigencia de esta resolución, por esta razón aun se trabaja con el valor máximo aceptable exigido por el decreto 475 de 1998.

Valor aceptable: 5 UNT; algunos valores no cumplieron con el decreto, siendo de mayor interés el máximo valor obtenido en la estación "Bocatoma Acueducto" durante el mes de marzo que fue de 97.0 UNT. (anexo E)

Remoción en los procesos de: coagulación-floculación, principalmente en la sedimentación y filtración.

Valor promedio del agua tratada para el mes de marzo: 4.0 UNT

Solamente en el mes de diciembre se presenta un valor promedio de 5.0 UNT alcanzando pero no sobrepasando el valor máximo aceptable por el decreto 475 de 1998. Tal como lo muestra la tabla 17.

- **Color aparente**

Valor aceptable: 15 Pt-Co; algunos valores no cumplieron con la resolución, siendo de mayor interés el máximo valor obtenido en la estación “Puente Carretera” durante el mes de mayo que fue de 262.0 Pt-Co. (anexo E)

Remoción en los procesos de: coagulación-floculación, principalmente en la sedimentación y filtración.

Valor promedio del agua tratada para el mes de mayo: 6.3 Pt-Co

Los demás meses del año también cumplen con la resolución. Tal como lo muestra la tabla 17.

- **Coliformes totales y fecales**

Valor aceptable: 0 NMP/100 mL; el único valor aceptable por la resolución se dio en la estación “Puente Alto” para el mes de octubre; de resto todos los valores obtenidos durante el año en todas las estaciones no cumplieron con la resolución, siendo de mayor interés los máximos valores obtenidos en la estación “Bocatoma Acueducto” durante el mes de noviembre para coliformes fecales que fue de 203.5 NMP y en octubre para coliformes totales que fue de 17500 NMP. (anexo E)

Remoción en los procesos de: coagulación-floculación, sedimentación y principalmente en la filtración y desinfección.

Valor promedio del agua tratada para los meses de octubre y noviembre: 0 NMP. Los demás meses del año también cumplen con la resolución. Tal como lo muestra la tabla 18.

- **Mesófilos**

Valor aceptable: 100 UFC/100 mL; todos los valores obtenidos durante el año en todas las estaciones no cumplieron con la resolución, siendo de mayor interés el máximo valor obtenido en la estación “Descarga Diviso” durante el mes de noviembre que fue de 41000 UFC. (anexo E)

Remoción en los procesos de: coagulación-floculación, sedimentación y principalmente en la filtración y desinfección.

Valor promedio del agua tratada para el mes de noviembre: 20.3 UFC

Los demás meses del año también cumplen con la resolución. Tal como lo muestra la tabla 18.

6.2.3 Identificación de factores de riesgo existentes en los procesos de tratamiento para la potabilización del agua

Para el desarrollo de esta actividad, empezaremos por la descripción general de la zona de estudio: planta de tratamiento “Tablazo” y de su respectiva captación y aducción. Esta descripción se realiza teniendo en cuenta las visitas y entrevistas realizadas al personal perteneciente a la planta.

6.2.3.1 Descripción general del sistema de tratamiento

Captación: se encuentra ubicada al oriente del municipio de Popayán dentro del predio de la hidroeléctrica “Florida II” y del AAPSA a unos 300 metros de la hacienda “Las Huacas”, con el fin de evitar la entrada de personas y animales extraños a la zona de la bocatoma. Las aguas del río “Las Piedras” ingresan por una bocatoma de captación lateral, constituida por un muro también lateral el cual asegura un nivel mínimo de las aguas, protege y acondiciona la entrada de agua al conducto o canal de la aducción; este canal de entrada está provisto de una rejilla con barras paralelas a la dirección de la corriente, que impide el acceso de materiales flotantes extraños y de una compuerta que permite que el operador de la bocatoma “Germán Hernández”, realice operaciones de limpieza y mantenimiento cada dos (2) días o en menor tiempo según las condiciones climáticas e hidrológicas de la zona.

El canal de entrada tiene una longitud aproximada de 200 metros, provisto de una cubierta de protección pero con algunas de sus tapas fracturadas. El agua es conducida por gravedad hasta el desarenador.



Figura 14. Captación río “Las Piedras”



Figura 15. Canal de aducción entre la captación y los desarenadores

Desarenador: consta de tres (3) módulos que operan de forma independiente ante la posibilidad de que uno de ellos quede fuera de servicio; el operador de la bocatoma mantiene en perfecto estado de funcionamiento todas las estructuras que forman parte integral de los desarenadores, limpiándolos cada dos (2) días en temporada invernal y cada ocho (8) días en verano, también lubricando los accesorios; las tuberías de alivio y desagüe depositan sus aguas al río Cauca. El desarenador cuenta con un vertedero rectangular a la salida, el cual indica caudales dentro del rango de 900 LPS a 1100 LPS dependiendo de las

condiciones climáticas e hidrológicas de la zona. Los caudales son registrados diariamente por el operador de la bocatoma.



Figura 16. Desarenador

Aducción: transporta por gravedad el agua cruda proveniente del desarenador hasta la planta de tratamiento “Tablazo”, a través de dos (2) tipos de aducciones (canales y conductos a presión¹⁵) en tramos sucesivos; el primer tramo corresponde a un viaducto de hierro-cemento que atraviesa el río Cauca y luego sigue por vía subterránea hasta llegar a un aliviadero que también funciona como un desarenador mas.

El segundo tramo consiste en dos (2) canales subterráneos que parten desde el aliviadero hasta una cámara ubicada en la vereda “Pisoje Alto”, donde se acoplan con otros dos (2) conductos a presión correspondientes al tercer tramo que llevan el agua cruda hasta su destino final en la planta de tratamiento.

Debido a que el primer y segundo tramo de la aducción tiene una antigüedad de 50 años, existe la posibilidad de fallas o rupturas.

¹⁵ RAS 2000. Título B. (consulta: julio, 2009); p.92.

El tercer tramo en estos últimos meses ha sido cambiado por completo por tuberías de hierro dúctil (HD), pero es en la primera cámara de este tramo donde cuatro (4) familias de la comunidad de “Pisojé Alto” hace sus “acometidas de servidumbre” para obtener agua, ya que el AAPSA hizo un acuerdo con estas familias y obtuvo una autorización de la SSPD para poder suministrar agua cruda desde la aducción.

Las tuberías (conductos a presión) de la aducción tiene un diámetro de 24 pulgadas y la longitud total de la aducción es de 7.2 Km.

Nota: el diseño de todas las estructuras pertenecientes al sistema de tratamiento debe cumplir con la norma sismo resistente, ya que el municipio de Popayán se encuentra en una zona de amenaza sísmica ALTA afectada principalmente por la “Falla de Romeral” y se encuentra también en la zona de amenaza BAJA del “Volcán Puracé”. [24]



Figura 17. Primer tramo de aducción



Figura 18. Aliviadero



Figura 19. Tercer tramo de aducción con tubería nueva (HD)

PLANTA DE TRATAMIENTO “TABLAZO”



Figura 20. Planta de tratamiento “Tablazo”

La planta de potabilización de agua “Tablazo” con una población (atendida) servida de 200000 habitantes, trata el 90% de las aguas que consumen los habitantes de la ciudad de Popayán; se encuentra ubicada al norte de la ciudad, en ella se realizan procesos de tratamiento, conocidos como convencionales y que consisten básicamente en procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, que permiten remover los contenidos de las sustancias presentes en el agua que es captada de la fuente de abastecimiento río “Las Piedras”, hasta por debajo de los límites exigidos por la norma de calidad para agua potable (Resolución 2115 de 2007).

El caudal de entrada a la planta está dentro del rango de 700 LPS a 800 LPS, comparándolo con el caudal registrado en el desarenador, se asume que hay pérdidas de alrededor de 200 LPS en la aducción.

La planta recibe cada mes una certificación sanitaria favorable por parte de la secretaría municipal de salud, que corresponde a un informe de reporte de

cumplimiento en cuanto a la protección y control de la calidad del agua, según el decreto 1575 de 2007 y resolución 2115 de 2007.

Las descripciones de los procesos de tratamiento se realizan con la ayuda de los operadores de Planta: Javier Rivera, José Alirio Ordoñez y Julio Molina.

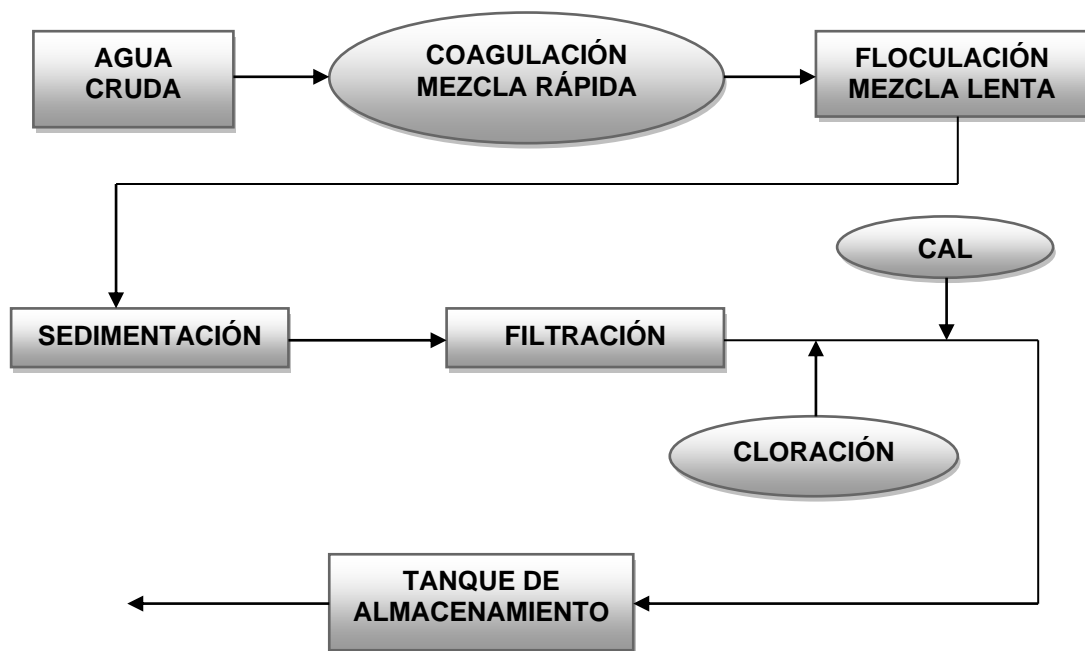


Figura 21. Tratamiento convencional de potabilización

Coagulación-Mezcla Rápida: luego de pasar por un proceso de oxigenación por la cascada, el agua es mezclada rápidamente con el sulfato de aluminio mediante un resalto hidráulico generado por un vertedero rectangular que a su vez sirve medir el caudal de entrada de la planta. Debido a que el sulfato de aluminio es una sal química cargada positivamente que desplaza los iones negativos de las impurezas más pequeñas del agua cruda, reduce efectivamente el tamaño de carga de las impurezas. Por la calidad del agua cruda y por costos no hay necesidad de adicionar polímeros que ayuden en el proceso de coagulación.



Figura 22. Oxigenación por la cascada Figura 23. Prueba de jarras

Para determinar la dosis óptima del coagulante, los operadores de la planta realizan la prueba de jarras diariamente o cada vez que haya un cambio significativo en la turbiedad, para el control de este proceso es importante contar con instrumentos de medición automática de caudal, turbiedad y pH, los cuales están fuera de servicio debido a las tormentas eléctricas; por lo tanto estas variables se miden en el laboratorio y se asumen como constantes durante el transcurso de un día. Los operadores calculan los g/min de coagulante a partir de mg/L de solución de alumbre; y llevan registros diarios de operación de las dosis y las cantidades totales usadas de coagulante.

Se cuenta con dos (2) dosificadores en seco gravimétricos de sulfato de aluminio (uno como equipo alternativo) el cual es diluido por una tubería proveniente de la cascada y aplicado uniformemente justo en el punto de la mezcla rápida mediante un tubo perforado. El encargado de la operación y mantenimiento de estos equipos es el Jefe de taller “Jorge Zambrano” quien cuenta con los repuestos necesarios para calibrarlos y repararlos cada vez que se reporten como defectuosos por parte del operador de turno; también es el encargado de limpiar, lubricar y verificar las condiciones eléctricas del motor.



Figura 24. Dosificador de coagulante Figura 25. Aplicación en el punto de mezcla

El interior del edificio donde se almacena el sulfato de aluminio (el mismo donde se encuentra la cámara de mezcla rápida) es seguro, adecuado y de fácil acceso, ya que siempre se mantiene limpio, ordenado y seco. En este se mantiene una provisión de 21 toneladas para una semana de altas turbiedades o 3.5 toneladas para una semana de baja turbiedad aproximadamente.



Figura 26. Edificio de almacenamiento del coagulante

Floculación-Mezcla Lenta: el agua mezclada con el sulfato de aluminio (coagulación), pasa a una serie de cuatro (4) floculadores hidráulicos de flujo horizontal, donde es agitada a una velocidad correcta sin presentar problemas de cortocircuito para una buena formación de “*Flóculos*”, los cuales incrementan su tamaño y su rápida aglomeración, disminuyendo así el tiempo de sedimentación de las partículas.

Cuando hay poca formación de flóculos, estos son eliminados por el caudal y el viento. Cuando su formación es considerable se remueven manualmente depositándolos en el canal de desagüe que conduce al río Cauca. La operación de limpieza de los floculadores hidráulicos se realiza cada tres (3) meses o antes si se necesita.



Figura 27. Floculadores hidráulicos



Figura 28. Flóculos al final de la unidad

Sedimentación: el agua pasa ahora a través de cuatro (4) sedimentadores de alta tasa con flujo horizontal, que consta de placas paralelas inclinadas para no presentar problemas de cortocircuito, debido a que con la inclinación el agua asciende por las placas con flujo laminar. El agua es separada de los sólidos que no se removieron en el proceso anterior, mediante el trasiego de la capa superior después de que la materia más pesada ha sedimentado.

El material flotante se retira a diario, la operación de limpieza de los sedimentadores se realiza también cada tres (3) meses; consiste en la remoción de lodos y partículas sedimentadas en el fondo, las paredes y en las placas del decantador con la ayuda de una manguera a presión de tres (3) pulgadas de diámetro impulsada por un compresor de aire y con la ayuda de cepillos. Los lodos son drenados mediante válvulas de descarga sobre el canal de desagüe de la planta.



Figura 29. Sedimentador de placas



Figura 30. Operación de limpieza

La eficiencia de remoción, se calcula en función de la turbiedad de entrada (N_o) y la turbiedad de salida (N_t) del sistema de sedimentación, es decir:

$$\text{Eficiencia (\%)} = [1 - (N_t / N_o)] * 100$$

Ecuación 1. Determinación de la eficiencia de remoción ¹⁶

En la tabla 20 se calcula una eficiencia de remoción promedio para el sistema de sedimentación durante el año 2008, aplicando la ecuación anterior con los datos promedio mensuales de la turbiedad del agua cruda (tomándola como entrada) y sedimentada del anexo F.

¹⁶ RAS 2000. Titulo C. (consulta: julio, 2009); p.58.

Tabla 20. Cálculo de la eficiencia de remoción del sistema de sedimentación

MES	EFICIENCIA (%)
Enero 2008	33.85
Febrero 2008	58
Marzo 2008	58.23
Abril 2008	34.57
Mayo 2008	21.43
Junio 2008	54.61
Julio 2008	40.91
Agosto 2008	61.33
Septiembre 2008	61.54
Octubre 2008	59
Noviembre 2008	92.20
Diciembre 2008	88.23
PROMEDIO 2008	55.32

Fuente: elaboración propia

La eficiencia de remoción promedio anual del sistema de sedimentación es de un 55.32%. Esto significa que en la mayoría de los meses del año 2008, los sedimentadores de la planta de tratamiento removieron más de la mitad de la turbiedad de entrada.

Filtración-Rápida: una vez que se ha decantado el agua y queda libre de flóculos, se hace pasar por una etapa de filtración rápida descendente, que consta de ocho (8) filtros cuya función es retener en un medio filtrante las partículas sólidas suspendidas del agua que no sedimentaron. Sometiendo así al agua a una mayor purificación, pero aun no está apta para consumo.

El medio filtrante utilizado se compone de una capa de antracita seguida de una de arena, sobre un lecho de grava fina y gruesa como soporte. Para evitar fluctuaciones rápidas de caudal que permitan generar problemas de agrietamientos, depresiones, corto circuito y pérdida de carga variable a través de los filtros, se cuenta con controladores de velocidad, que permiten unas velocidades de filtración y de lavado adecuadas. Mediante unas válvulas de control de ciclos (apertura - desagüe); la operación de lavado ascendente se realiza cada 15 horas si se presenta demasiada turbiedad o cada 60 horas si hay poca presencia de esta; y se complementa mediante un lavado superficial del lecho con la ayuda de una manguera a presión. Para esta operación se cuenta con la ayuda de dos (2) bombas que traen agua tratada desde los tanques de almacenamiento, las bombas se mantienen en perfecta operación. El encargado de reparar, mantener las bombas y sus motores es también el jefe de taller “Jorge Zambrano”.



Figura 31. Filtro rápido



Figura 32. Válvulas de control de ciclos

Las paredes de los filtros se limpian cada tres (3) meses y hace ocho (8) años que no se cambia todo este material del medio filtrante.



Figura 33. Lavado y desagüe



Figura 34. Mantenimiento de filtros



Figura 35. Canal de desagüe de la planta

Se cuenta con un sistema automático para controlar el lavado de los filtros, pero se encuentra dañado por descargas eléctricas.

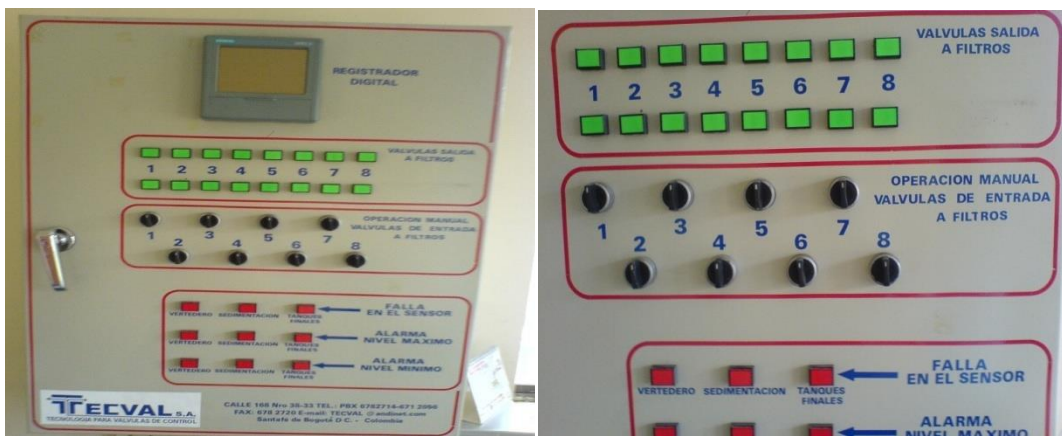


Figura 36. Sistema automático para controlar el lavado de filtros

El rendimiento de la filtración se evalúa mediante el monitoreo diario de la turbiedad, color aparente, pH, alcalinidad total, dureza total del agua sedimentada y tratada. (anexo F)

La eficiencia de remoción, se calcula en función de la turbiedad de entrada (N_0) y la turbiedad de salida (N_t) del sistema de filtración.

En la tabla 21 se calcula una eficiencia de remoción promedio para el sistema de filtración durante el año 2008, aplicando la ecuación 1, con los datos promedio mensuales de la turbiedad del agua sedimentada y tratada (tomándola como salida) del anexo F.

Tabla 21. Cálculo de la eficiencia de remoción del sistema de filtración

MES	EFICIENCIA (%)
Enero 2008	41.86
Febrero 2008	41.27
Marzo 2008	43.66
Abril 2008	32.07
Mayo 2008	40.91
Junio 2008	45.76
Julio 2008	38.46
Agosto 2008	44.83
Septiembre 2008	36.66
Octubre 2008	41.46
Noviembre 2008	58.97
Diciembre 2008	50
PROMEDIO 2008	42.99

Fuente: elaboración propia

La eficiencia de remoción promedio anual del sistema de filtración es de un 42.99%. Esto significa que en la mayoría de los meses del año 2008, los filtros de la planta de tratamiento removieron un poco menos de la mitad de la turbiedad que no se logró remover en el sistema de sedimentación.

Desinfección: la etapa final del proceso de tratamiento de aguas potables siempre es la desinfección, para este proceso la planta utiliza cloro gaseoso, la aceptación del cloro es debida a 3 factores: su capacidad de oxidar sustancias inorgánicas (hierro, manganeso, nitritos, etc) que causan mal sabor, corrosión y deterioro en las líneas de transmisión del agua. La acción microbicida del cloro como algicida, bactericida y en menor medida virucida. Y la capacidad de mejorar los procesos de coagulación y floculación, ya que favorece la formación de flóculos.

Adicionalmente a las ventajas anteriores su uso es de bajo costo y es bastante seguro. El equipo que requiere para su dosificación no es sofisticado ni complejo. [25]

Se cuenta con dos (2) cloradores de solución al vacío (uno como equipo alternativo), la dosificación se determina a través de la curva de demanda de cloro, la dosis calculada para la planta es de 150 Kg/día de cloro gaseoso generado a partir de la vaporización de cloro líquido almacenado bajo presión en un cilindro; este valor se aplica mediante un inyector de operación manual y se mezcla con agua tratada proveniente de los tanques de almacenamiento, para formar una solución que luego es conducida mediante una tubería con llegada sumergida al tanque de contacto. Este tanque genera una mezcla rápida, uniforme y eficiente entre el cloro y el agua; con un tiempo de detención aproximado de cinco (5) minutos. El control se realiza midiendo diariamente el pH en el tanque de contacto y el cloro residual libre en los tanques de almacenamiento.

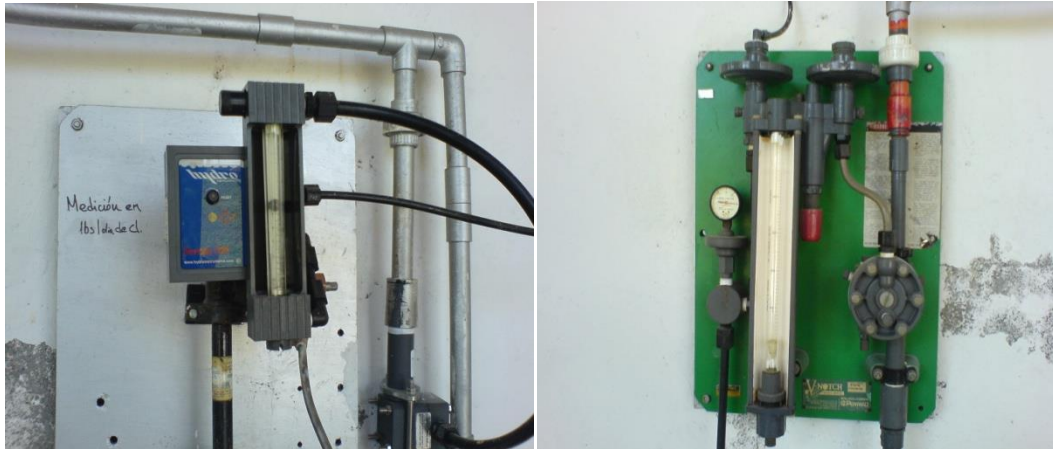


Figura 37. Cloradores

La caseta de cloración es un edificio amplio, lo que permite que la atmosfera del sitio esté siempre ventilada, aunque no cuenta con detectores de fugas. Se manejan cilindros de una (1) tonelada, para un buen almacenamiento y evitar su caída, estos se aseguran mediante cadenas; los operadores siguen un procedimiento estándar escrito por parte de la empresa proveedora “Prodesal” para la seguridad en el cambio de cilindros y su conexión al sistema.

El mantenimiento, calibración y limpieza de los cloradores se realiza anualmente, según el registro de mantenimiento y reparación del jefe de taller de la planta.



Figura 38. Cilindros de cloro gaseoso Figura 39. Caseta de cloración

Adición de cal: el proceso de coagulación disminuye el pH del agua por la adición de sales de aluminio; este valor bajo de pH aumenta la eficiencia en el proceso de desinfección. Debido a esto se aplica una dosis de cal cuando el pH está por debajo de 6.5 unidades (esta situación no ocurre todo el tiempo), esto con el fin de evitar la corrosión en la tubería de la red de distribución.

Para obtener la dosis de cal, también se realiza la prueba de jarras pero en función del pH, a través muestras tomadas en el tanque de contacto; mediante cálculos realizados en la planta se ha llegado a la conclusión de que la dosis de cal es equivalente al 10% de la dosis de coagulante. Se tiene un (1) solo dosificador, el cual cuenta con una escala del 1 al 5, cada escala corresponde a un rango de variación de 10 g de peso, entonces según la dosis calculada se cuadra y trabaja a una escala definida. La cal es diluida con agua tratada proveniente de los tanques de almacenamiento y es aplicada en el tanque de contacto mediante una tubería por encima de la superficie del agua.



Figura 40. Punto aplicación de cal



Figura 41. Tanque de contacto

El sitio de almacenamiento solo cuenta con un techo, dejando así a la cal sujeta al clima. Los operadores llevan registros diarios de operación de las dosis y las cantidades totales usadas de cal, la provisión es de aproximadamente una (1) tonelada al mes.



Figura 42. Dosificador de cal



Figura 43. Sitio de almacenamiento de cal

El encargado de la operación y mantenimiento del dosificador es el Jefe de taller “Jorge Zambrano” quien cuenta con los repuestos necesarios para calibrarlo y repararlo cada vez que se reporte como defectuoso por parte del operador de

turno; también es el encargado de limpiar, lubricar y verificar las condiciones eléctricas del motor.

Tanques de almacenamiento-reservorios: una vez que el agua ha sido sometida a todos los procesos de tratamiento de potabilización, es conducida hasta tres (3) tanques de almacenamiento subterráneos, el más grande cuenta con una capacidad de 3000 m³ y los dos (2) pequeños cuentan con una capacidad de 1200 m³ cada uno. Debido a su tamaño estos tanques proporcionan un tiempo de contacto adicional del cloro de aproximadamente 30 minutos.

En casos de interrupción del servicio de agua potable por cualquier motivo, la capacidad de almacenamiento de los tanques solo dura tres (3) horas. La altura a la que está ubicada la planta “Tablazo” y por ende sus tanques de almacenamiento, es suficiente para mantener la presión de distribución en todo el sistema. Excepto para la parte norte de la ciudad que se encuentra a una altura mayor que la de los reservorios, por lo tanto para la prestación del servicio de agua potable en esta zona, se utilizan tres (3) bombas impulsoras.



Figura 44. Tanques de almacenamiento

La verificación de los niveles de agua en los tanques, se realizan mediante chequeos visuales, ya que los indicadores automáticos se encuentran fuera de servicio debido a las sobrecargas eléctricas causadas por las tormentas.

Los tanques de almacenamiento son de concreto reforzado, herméticos, cuentan con un sistema de drenaje en su techo, para prevenir el empozamiento de agua lluvia y el ingreso de cualquier tipo de contaminante al agua tratada; también cuentan con un sistema de ventilación para prevenir que los tanques se rompan. Las tuberías de rebose de los tanques se conectan mediante un sistema de tuberías con el desagüe de la planta, el cual deposita estas aguas al río Cauca.

En general los tanques son estructuralmente sólidos, se mantienen a más de 20 metros de cualquier tubería de alcantarillado y cada uno se puede aislar del sistema para su respectivo mantenimiento o limpieza que se realiza dos (2) veces al año. Para evitar fluctuaciones de la presión en el sistema de distribución durante el mantenimiento de los tanques, se suspende el servicio notificando previamente a todos los usuarios y a la estación de bomberos para que implementen planes alternativos de conservación.

El jefe de taller es el encargado del mantenimiento de las válvulas y demás accesorios para la operación de los tanques, excepto para los equipos automatizados que son reparados por un electricista contratado por la empresa.



Figura 45. Drenaje del reservorio



Figura 46. Ventilación del reservorio

Estación de bombeo: la planta de tratamiento “Tablazo” cuenta con tres (3) bombas centrífugas de una sola etapa, utilizadas para enviar el agua tratada hacia el norte de la ciudad. Además de contar con otras dos (2) bombas pequeñas, utilizadas en la operación de lavado ascendente de los filtros.

Las condiciones estructurales de la planta física de la estación de bombeo son buenas, cuenta con un drenaje adecuado para que el equipo no se inunde en caso de que se rompa una tubería, con una buena ventilación para reducir el calor, la humedad y la corrosión. Para las operaciones de mantenimiento y reparación del equipo de bombeo, se tiene una buena iluminación, el equipo puede trasladarse mediante un diferencial de carga hasta el taller de la planta, donde se cuenta con los repuestos y las herramientas adecuadas para esta labor.



Figura 47. Bombas impulsoras



Figura 48. Estación de bombeo

La estación cuenta con un sistema automático de control de bombas, el cual se encuentra en una cabina protegido. Debido a que el sistema no cuenta con alarma en caso de fallas, el operador mantiene un chequeo visual continuo.



Figura 49. Sistema de control de bombas



Figura 50. Manómetro

Unidad de energía auxiliar: esta funciona con ACPM y se activa automáticamente después de un corte de energía, pero se puede operar manualmente. La unidad abastece a todos los sistemas eléctricos de la planta de tratamiento exceptuando las tres (3) bombas impulsoras de agua tratada, que se encuentran en la estación de bombeo.

Tanto la unidad como su tanque de combustible están protegidos y se mantienen en buen estado.



Figura 51. Unidad de energía auxiliar



Figura 52. Tanque de combustible

Laboratorio: el laboratorio de calidad de agua de la empresa se encuentra autorizado para la realización de análisis fisicoquímicos y microbiológicos según resolución No 004645 del 15 diciembre de 2005 y ha participado consecutivamente, en el programa de control de calidad interlaboratorios (PICCAP), liderado por el Instituto Nacional de Salud.

Este desarrolla un programa de monitoreo de la calidad del agua antes de su tratamiento, durante el proceso y del agua que se distribuye a la ciudad mediante la red de distribución. Durante el año 2009, se ha venido realizando el monitoreo

de la red de distribución de acuerdo con la resolución 811 de 2008, en la cual el AAPSA y la secretaria municipal de salud (autoridad sanitaria) realizan un acta de conformidad de los puntos de muestreo para la calidad de agua para consumo humano; estos puntos son consignados en la tabla 22.

Tabla 22. Puntos de muestreo en la red de distribución de la planta “Tablazo”

Código	Descripción de ubicación punto de toma	Tipo de dispositivo
0101	Carrera 34N # 12-40	Llave
0102	Salida del tanque de la planta	Llave
0103	Tanque la Paz	Llave
0104	Penitenciaria San Isidro	Llave
0105	Manjar Blanco	Llave
0106	Hospital Norte	Llave
0107	Carrera 18 # 54 N-55	Llave
0108	Colegio Gabriela Mistral	Llave
0109	Transversal 4B # 35 N-22	Llave
0110	Clínica Antonio Nariño I.S.S	Llave
0111	Hospital Universitario San José	Llave
0112	Parqueadero Estación Policía Nacional	Llave
0113	Carrera 23 con calle 2ª CAI Pandiguando	Llave
0114	Calle 1 # 30-46 Barrio Junín	Llave
0115	CAI María Occidente	Llave
0116	Carrera 15 # 21ª-89 Barrio Chapinero	Llave
0117	Centro de Salud Barrio 31 de Marzo	Llave
0118	Calle 3 Parqueadero frente a sede acueducto	Llave
0119	Calle 1 con carrera 8 esquina	Llave
0120	Carrera 17 con calle 6 esquina	Llave

Continuación Tabla 22. Puntos de muestreo en la red de distribución de la planta “Tablazo”

Código	Descripción de ubicación punto de toma	Tipo de dispositivo
0121	Hospital Susana López	Llave
0122	Estación de servicio Los Faroles	Llave
0123	Carrera 10ª # 10-04 Barrio Las Américas	Llave
0124	Carrera 1B # 18ª-25 Barrio Alameda	Llave
0125	Carrera 54 # 2C-12	Llave

Fuente: elaboración propia

El monitoreo se realiza de lunes a jueves, el muestreo de los días lunes se realiza en conjunto con personal adscrito a la secretaria municipal de salud; diariamente se toman de 7 muestras de los diferentes puntos de la tabla 22, analizándose los parámetros de turbiedad, color aparente, pH, alcalinidad total, dureza total, cloro residual, coliformes fecales y totales. El resultado promedio mensual de este monitoreo se consigna en el anexo G.

Del anexo G cabe destacar, que el rango de los valores promedio mensuales del cloro residual que ingresa al sistema de distribución está entre 0.4 mg/L y 0.9 mg/L, cumpliendo así con el límite admisible establecido por la resolución 2115 de 2007 y que se encuentra en la tabla 6.

También se obtiene un resultado adecuado de 0 NMP para las coliformes, durante todo este año en todos los puntos de muestreo.

Nota: según lo anterior el sistema de distribución no presenta factores de riesgo que puedan alterar la calidad del agua transportada; cuando ocurre un daño en la tubería se pierde presión, impidiendo que el agua contaminada llegue hasta el usuario final. El AAPSA cuenta con 24 horas para atender y solucionar este tipo de problemas. Entonces la red de distribución solo presenta problemas de presión cuando hay algún daño y/o cuando no hay suministro de energía para accionar las tres (3) bombas de impulsión de la planta y otra ubicada en el tanque del barrio “La Paz”.



Figura 53. Laboratorio para análisis microbiológico

El laboratorio mantiene muy buenas condiciones de iluminación, ventilación, orden y limpieza. Cuenta con un inventario de todas las sustancias y reactivos químicos peligrosos e información sobre la seguridad y manejo de dichas sustancias. Se realiza el mantenimiento y calibración periódica de los equipos por parte de los jefes de cada laboratorio, ya que estos son muy sensibles.



Figura 54. Laboratorio para análisis fisicoquímico

Personal: la planta “Tablazo” cuenta con un personal altamente calificado, del cual hacen parte: diez (10) operadores, un (1) mecánico industrial (jefe de taller) encargado de la operación y mantenimiento de bombas y equipos mecánicos, una (1) microbióloga, un (1) ingeniero químico (jefe de producción) y dos (2) auxiliares de laboratorio.

Los operadores y auxiliares de laboratorio se capacitan mediante competencias laborales en operación de sistemas de potabilización de agua realizadas por parte del SENA una vez al año, según la resolución 1570 de 2004; y reciben información en cuanto a procedimientos de manejo y seguridad de sustancias químicas peligrosas por parte de los mismos proveedores y del cuerpo de bomberos de la ciudad.

6.2.3.2 Resultados obtenidos

- **ADUCCIÓN**

Factor de riesgo 1: el primer tramo no cuenta con tubería alterna.



Figura 55. Primer tramo sin tubería alterna

Nivel de riesgo: alto.

Acción a implementar: instalación de tubería alterna.

Factor de riesgo 2: el primer tramo presenta dos (2) daños en su estructura.



Figura 56. Daños en la estructura del primer tramo

Nivel de riesgo: medio.

Acción a implementar: inspección y reparación de daños o cambio de tubería.

Factor de riesgo 3: cuatro (4) familias de la vereda de “Pisojé Alto”, toman el agua cruda de la aducción.

Nivel de riesgo: bajo.

Acción implementada: el AAPSA hizo un acuerdo con estas familias y obtuvo una autorización de la SSPD para poder suministrar agua cruda desde la aducción.

- ***COAGULACIÓN***

Factor de riesgo 1: los medidores automáticos de caudal, turbiedad y pH se encuentran dañados, por lo tanto estos parámetros se asumen como constantes durante el transcurso del día.



Figura 57. Medidores automáticos para el control dañados

Nivel de riesgo: bajo.

Acción a implementar: debe suministrarse la protección necesaria a estos equipos con respecto a sobretensiones eléctricas. Como la planta de tratamiento cuenta con un dispositivo de pararrayos que al parecer no funciona, entonces este se debe de revisar o cambiar.

Factor de riesgo 2: el punto de aplicación del coagulante y sus cercanías se encuentran corroídos.



Figura 58. Corrosión en el punto de aplicación de coagulante

Nivel de riesgo: bajo.

Acción a implementar: implementar un programa de control de corrosión, mediante análisis de plomo y cobre del agua que ingresa y sale de la planta; o en menor medida proteger todos los materiales corroídos con pintura bituminosa o epóxica.

- **ADICIÓN DE CAL**

Factor de riesgo: no se cuenta con equipo dosificador de cal alterno.



Figura 59. Único equipo dosificador de cal

Nivel de riesgo: bajo.

Acción a implementar: adquirir otro equipo dosificador de cal.

- **CLORACIÓN**

Factor de riesgo 1: no hay detectores de fugas en la caseta de cloración y su drenaje no se encuentra sellado.



Figura 60. Drenaje de la caseta de cloración sin sellar

Nivel de riesgo: bajo.

Acción a implementar: instalar un sistema de alarma en caso de fuga y sellar los drenajes cuando no se usen para la limpieza.

Factor de riesgo 2: interrupción del proceso de desinfección durante el cambio del cilindro (entre 8 y 10 minutos).

Nivel de riesgo: bajo.

Acción a implementar: disponer de algún interruptor automático para suplir la falta de cloro mientras se cambia el cilindro o trabajar mediante un sistema donde los cilindros se encuentren interconectados.

Factor de riesgo 3: no se cuenta con un plan de emergencia en caso de fugas.

Nivel de riesgo: bajo.

Acción a implementar: la planta debe tener un plan de evacuación por escrito en caso de emergencias y se debe hacer simulacros.

- **ALMACENAMIENTO-RESERVORIOS**

Factor de riesgo 1: las tapas de los tanques de almacenamiento se mantienen abiertas.



Figura 61. Tapas de acceso a los tanques de almacenamiento abiertas

Nivel de riesgo: medio.

Acción a implementar: mantener las tapas de acceso al tanque cerradas y aseguradas.

Factor de riesgo 2: los medidores automáticos de nivel del agua y el analizador automático del cloro residual, pH y turbiedad en los tanques de almacenamiento, se encuentran dañados.



Figura 62. Medidor de nivel dañado



Figura 63. Analizador automático dañado

Nivel de riesgo: bajo.

Acción a implementar: debe suministrarse la protección necesaria a estos equipos con respecto a sobretensiones eléctricas. Como la planta de tratamiento cuenta con un dispositivo de pararrayos que al parecer no funciona, entonces este se debe de revisar o cambiar.

Factor de riesgo 3: se presenta corrosión en las escaleras de acceso a los tanques, ya que las tapas permanecen abiertas para poder mirar el nivel del agua.



Figura 64. Corrosión en las escaleras de acceso a los tanques

Nivel de riesgo: bajo.

Acción a implementar: reparar los medidores automáticos de nivel del agua y proteger las escaleras de acceso con pintura bituminosa o epóxica.

- ***UNIDAD DE ENERGÍA AUXILIAR***

Factor de riesgo: no suministra energía para las bombas de impulsión de agua tratada hacia el norte de la ciudad.

Nivel de riesgo: medio.

Acción a implementar: adquirir otra unidad de energía auxiliar destinada solo para la estación de bombeo.

6.2.4 Identificación de factores de riesgo de acuerdo con el uso del suelo aguas arriba de la captación.

Para el desarrollo de esta actividad, empezaremos por la descripción general del uso del suelo en la subcuenca río “Las Piedras”. Para esta descripción se toma como base el POMCH del río “Las Piedras” del año 2006 y se tiene en cuenta las observaciones realizadas durante las visitas.

6.2.4.1 Uso del suelo en la Subcuenca Piedras

Las unidades de cobertura del suelo tienen un uso de acuerdo a su localización y a su oferta ambiental. En la actualidad, la zona de Quintana (parte alta) se encuentra conformada, por campesinos e indígenas, lo cual genera unas condiciones especiales de distribución y utilización de la tierra.

Sin embargo se puede determinar que la actividad principal es la ganadería, y los cultivos de subsistencia que se encuentran limitados por cercas vivas en sembrados de fique. Además se destacan otras formas de uso como:

Uso de protección: el paramo y subparamo (considerado para la subcuenca desde los 3.200 m.s.n.m) hace parte de la zona de amortiguación del “Parque Natural Puracé”, tiene como usos los de protección-conservación, regeneración, producción agrícola y pecuaria. La oferta hídrica y el clima, aún determinan la cobertura vegetal y condicionan el uso agropecuario de las tierras, en las áreas húmedas por debajo del páramo, dominan los pastizales, en las semihúmedas los cultivos y las zonas semiáridas permanecen en uso agropecuario de subsistencia.

Tala selectiva: se presenta principalmente en las zonas de bosque abierto donde la intervención del hombre ofrece una cobertura menor del 80% al suelo. Este tipo de cobertura tiene las características del bosque denso, pero se diferencia por presentar estrato herbáceo y vegetación arbustiva lo cual evidencia una tala selectiva. Corresponde de manera general a la unidad de vegetación natural más intervenida y de menor representación, pues en la mayor parte de las áreas donde es posible el trabajo agrícola la cobertura original ha desaparecido.

Comercialización de la madera: la comercialización de madera se presenta en el bosque plantado el cual corresponde al establecimiento de especies foráneas de rápido crecimiento en un área determinada, generalmente con características de deterioro o degradación. El uso actual del suelo es de producción o comercialización de la madera.

Regeneración natural o descanso: la regeneración natural se presenta en las unidades donde hay presencia de rastrojo, que es un tipo de vegetación que ha surgido en forma natural y se encuentra en casi toda la subcuenca. Este estrato vegetal tiene el uso de descanso de la tierra y la propiedad de permitir la regeneración natural, por lo general estas áreas está vinculadas a actividades ganaderas. Los Arbustales densos y bosques nativos, son desplazados por pastizales y algunos cultivos; pero la susceptibilidad de estas tierras a la degradación, ha acelerado el proceso de inestabilidad, mostrando actualmente serios procesos de erosión como las cárcavas, remoción en masa y terracetos.

Ganadería extensiva: las áreas que desarrollan la actividad ganadera están conformadas por zonas de subpáramo, bosque abierto, misceláneos y pastizales naturales que conforman un área total de 4913.31 Ha (74.15% del área de

subcuenca). La actividad principal y más dañina es la extensiva, ya que el pastoreo del ganado va generando áreas con pendientes relativamente altas lo cual ocasiona procesos de desgaste de los suelos y de erosión en virtud al desplazamiento continuo de la capa arable y el humus.

Así, la tala de árboles realizada para la ampliación de los potreros de forma indiscriminada, produce la desprotección de las zonas de pasto, lo que conlleva la desviación de la vida microbiológica necesaria para la descomposición de materias vegetales; animales, cuyos minerales se filtran en la tierra y la hacen fértil.

Áreas agrícolas y pecuarias, de protección y extracción: estos usos se presentan en las coberturas misceláneas donde se concentran diferentes tipos de uso del suelo, son zonas pequeñas para el mantenimiento de algunas familias donde se encuentran cultivos de mora, maíz, uchuva, guineo, cebolla, tomate de árbol, entre otros. Es un conjunto de diferentes especies de plantas con un fin específico determinado por la concentración de estas, en un área donde se asocian los cultivos con arreglos de siembras o huertas de pancoger. En la parte pecuaria, son las áreas donde se presenta una mezcla de varias especies de gramíneas y forrajes.

Además se detallaron y actualizaron algunas hectáreas no muy significativas dedicadas a cultivos permanentes y/o misceláneos como plátano, yuca, maíz, frijol, otras hectáreas son dedicadas a cultivos intensivos de caña panelera, café y otras con cultivos menores como tomate, mora de castilla y aromáticas. Cabe decir que desde hace ocho (8) años se viene implementando en los suelos de la subcuenca la agricultura ecológica, mediante buenas prácticas de laboreo,

rotación de cultivos, preparación de abonos orgánicos (compost, bocashi, lombricultura, etc) y controles biológicos de plagas.



Figura 65. Compostaje



Figura 66. Bocashi

Uso de minería o de recuperación: este uso corresponde a coberturas degradadas o eriales que son áreas donde la cobertura vegetal original y el suelo que la sostiene han sido reducidos y presentan suelos completamente desnudos.

Su característica más sobresaliente la constituye el estar severamente afectadas por procesos erosivos fuertes como las cárcavas que son el resultado de la combinación de agentes naturales como la baja cohesión del sustrato rocoso, la acción de los vientos secantes y la torrencialidad de las lluvias, con el uso intensivo en minería de extracción de materiales de arrastre en cantera (arena, balasto y graba) en extracción o actividad agropecuaria actual. Esta unidad comprende dos clases de cobertura, las tierras erosionadas y material rocoso en superficie.

Espacio construido: corresponde al sector de Quintana donde se ubica la iglesia y algunas viviendas dispersas ubicado a 30 minutos de la cabecera Municipal de Popayán, por carretera destapada.

La División Ambiental del AAPSA ha realizado una serie de proyectos de conservación, repoblamiento y reforestación de los nacimientos, márgenes de ríos y quebradas ampliando la cobertura de bosque natural en la subcuenca, especialmente en la parte alta de la misma.

Los principales proyectos que se realizan desde hace varios años en toda la subcuenca, son la implementación de sistemas silvopastoriles, realizando actividades de mejoramiento de praderas, incremento del banco de proteínas, instalación de cercas eléctricas donde las condiciones lo permitan e implementación de nuevos sistemas para ampliar la cobertura y mejorar los sistemas ya establecidos. También hay otros proyectos importantes de bioingeniería y revegetalización en los cuales se trabaja especialmente con las zonas que presentan problemas erosivos relacionados con factores tanto naturales como antrópicos; los naturales corresponden a pendientes de moderadas a abruptas, formaciones superficiales deleznales e intensas precipitaciones; las antrópicas están relacionadas con el uso inadecuado del suelo, cambios de uso, construcción de vías y caminos.



Figura 67. Instalación de cerca eléctrica Figura 68. Revegetalización

Para la implementación de los sistemas silvopastoriles, se llevan de 210 a 420 plántulas dependiendo del área concertada con el dueño del predio (el área concertada debe ser como mínimo de media hectárea); con su respectivo abono (70 g de 10-30-10 y 10 g de bórax por cada plántula), las plántulas son compradas al vivero de la vereda “Las Huacas”, estas tienen que ser especies endémicas y/o que fijen nutrientes al suelo. Se trabaja principalmente con plántulas de Aliso (*Alnus acuminata*) ya que estas son rápido prendimiento y fijan nitrógeno por ósmosis inversa al suelo mediante “nódulos” presentes en sus raíces.



Figura 69. Carga de plántulas de aliso Figura 70. Nódulos en las raíces

Estando en el área, se realiza un trazado con una línea principal que divida el terreno por la mitad aproximadamente, luego se sacan líneas perpendiculares a la línea principal cada 8 metros, hasta tener una cuadrícula en todo el terreno. En los puntos de la cuadrícula se siembran las plántulas con el respectivo abono.



Figura 71. Realización de trazados para la siembra de plántulas

Una vez sembradas las plántulas, se aísla el terreno mediante cercas vivas o cercas eléctricas durante dos (2) años hasta que sean árboles del tamaño suficiente para no ser devorados por el ganado, mientras pasa este periodo de tiempo se hace rotación del ganado por otras praderas; quedando así implementado el sistema silvopastoril.



Figura 72. Área con ganadería extensiva Figura 73. Área con sistema silvopastoril

6.2.4.2 Resultados obtenidos

Factor de riesgo: la Ganadería Extensiva.

Nivel de riesgo: medio.

Acciones implementadas:

- Aislamiento del ganado mediante cercas vivas o cercas eléctricas.
- Implementación de sistemas silvopastoriles, con ayuda de especies endémicas fijadoras de nutrientes.

7. CONCLUSIONES

- Se pudo comprobar visualmente y mediante los resultados de los análisis correspondientes al año 2008, que la calidad de agua del río “Las Piedras” es muy buena, ya que el 81.25 % de sus características están por debajo del límite establecido en la tabla 10. Viéndose afectada solamente por el fenómeno de “Escorrentía” que es el causante de que la turbiedad se incremente por encima de 40 UNT y el color aparente se incremente por encima de 75 Pt-Co; provocando así una leve disminución del oxígeno disuelto que llega a alcanzar valores de hasta 5.2 mg O₂/L.
- La escorrentía en la subcuenca del río “Las Piedras” es producto de sus características morfométricas (pendiente media de la subcuenca, pendiente de la corriente principal, densidad de drenaje, densidad hidrográfica, etc.), las cuales la definen como una subcuenca en estado de desequilibrio o juventud clasificándola como erosiva; también de las prácticas agropecuarias que ocupan un 75.11% del área total y de la temporada invernal que predominó durante la mayoría del año 2008.
- Todos los análisis realizados al agua tratada de la planta “Tablazo” y a su respectiva red de distribución, cumplen con el control de calidad de agua para consumo humano según la resolución 2115 de 2007. Por esta razón la secretaría municipal de salud (autoridad sanitaria) entrega periódicamente un certificado sanitario favorable al AAPSA que corresponde a un informe de reporte de cumplimiento en cuanto a la protección y control de la calidad del agua, de acuerdo con el decreto 1575 de 2007.

- Durante la inspección sanitaria realizada a la planta de tratamiento “Tablazo” para el primer semestre del año 2009, se encontraron buenas prácticas sanitarias por parte de todo el personal. Por lo tanto la mayoría de factores de riesgo encontrados en los procesos de tratamiento se consideran de bajo nivel ya que son fáciles de prevenir o corregir.
- El óptimo tratamiento de potabilización llevado a cabo por la planta “Tablazo” permite que los contenidos de las sustancias del agua del río “Las Piedras”, se lleven por debajo de los límites establecidos en la resolución 2115 de 2007. Especialmente la turbiedad, color aparente, organismos coliformes y mesófilos.
- Hace más de diez (10) años que la División Ambiental del AAPSA viene trabajando con las comunidades de la subcuenca del río “Las Piedras” en cuanto a un óptimo uso del suelo, mediante el mejoramiento de prácticas agropecuarias y principalmente la recuperación de alrededor de 400 Ha de zonas de pradera y de bosques naturales, ya que estos ofrecen una alta cobertura al suelo, controlando hasta un 80% de la escorrentía y en consecuencia, contribuyendo a regular el ciclo hidrológico de grandes áreas.
- El AAPSA se preocupa por investigar los orígenes y la solución inmediata de los factores de riesgo presentes en las subcuencas abastecedoras mediante labores de protección y recuperación de suelos; y en la plantas de tratamiento mediante un buen control en todos sus procesos.

8. RECOMENDACIONES

Debido a que la subcuenca del río “Las Piedras” se encuentra cercana a la ciudad, se deberían de realizar como mínimo dos (2) muestreos al mes. Para así tener una mejor representatividad de los datos de las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua cruda.

En alusión a mejorar la calidad de los monitoreos se debe siempre de contar con todo el equipo necesario para su labor, para así obtener un mejor concepto técnico sobre la calidad del agua. En el caso de la medición “*in situ*” se debe contar con sondas multiparámetro que midan el pH, turbiedad y oxígeno disuelto. En el caso de la recolección de muestras siempre se debe mantener la nevera con hielo para una óptima refrigeración.

Para un mejor control de la calidad del agua es muy importante realizar periódicamente el cálculo de:

- El índice de calidad del agua (ICA) para las subcuencas abastecedoras, aunque se sepa que como fuentes para aprovisionamiento de agua, son de buena calidad.
- El índice de riesgo de calidad del agua (IRCA), el cual permite globalizar las diferentes mediciones realizadas en un solo valor con fines de clasificar el estado general de una fuente de una manera rápida y eficiente. No obstante la resolución 2115 de 2007 presenta unos plazos en función de la población para el cálculo de este índice.

- La DBO₅ y DQO para conocer de mejor manera la capacidad autodepuradora del río “Las Piedras”.

Realizar durante todos los meses del año los análisis de:

- Cloruros para el agua cruda; aunque estos no sean tan perjudiciales para la salud y sus pocos valores calculados indican concentraciones muy bajas.
- Nitritos para el agua cruda, ya que no se analiza ninguna otra característica que indique la concentración de nutrientes orgánicos en el agua. (como el nitrógeno amoniacal, nitratos y fosfatos)
- Sulfatos para el agua cruda, debido a sus efectos fisiológicos catárticos en las personas y otros inconvenientes.
- Hierro total y residual de aluminio para el agua tratada.
- Trihalometanos para el agua tratada, ya que son cancerígenos y pueden aparecer debido a los altos valores de color aparente junto con el cloro gaseoso de la desinfección.

El rango admisible del pH del agua (6.5 a 9.0), debería estar relacionado con la corrosión interna de las redes y componentes del sistema y no solo expresado como un valor, puesto que pierde importancia su determinación. El decreto 1575 y la resolución 2115 expedidos en el año 2007, no reflejan el problema que implica la corrosión en los sistemas de abastecimiento público de agua, como tampoco lo hace el RAS 2000.

Para todo el sistema de tratamiento se recomienda implementar las acciones correctivas o preventivas que sean necesarias para mitigar cada factor de riesgo encontrado, por ejemplo:

- La aducción hay que Inspeccionarla con mayor frecuencia y si es posible cambiar los dos (2) primeros tramos de la tubería como ya se hizo con el tercer y último tramo. Instalando también una tubería alterna para el primer tramo.
- Cambiar por completo el material del medio filtrante, ya que según los operadores de la planta, este no se cambia hace aproximadamente ocho (8) años. Aunque el RAS 2000 no indique nada en cuanto a un periodo de cambio de todo el medio filtrante.
- En la caseta de cloración es indispensable la implementación de un sistema de alarma de fugas, ya que el cloro gaseoso es peligroso y letal para la salud.
- Cambiar el pararrayos de la planta para evitar sobretensiones en el sistema eléctrico y poder así utilizar todos los equipos analizadores automáticos, evitando largos análisis y el uso de reactivos costosos.
- Instalar una unidad de energía auxiliar para las bombas de impulsión de agua tratada hacia el norte de la ciudad.

Continuar los proyectos de mejoramiento del uso del suelo con las comunidades de la subcuenca del río “Las Piedras”, ya que aún queda mucha área de la subcuenca bajo la acción de la ganadería extensiva.

9. BIBLIOGRAFIA

[1] Agua cruda. En:

http://www.aysa.com.ar/index.php?id_seccion=88 - 45k-

[2] Contaminación del agua. En:

<http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/hipertexto/11cagu/100coacu.htm> - 26k-

[3] IDEAM. Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. En:

<http://www.ideam.gov.co/biblio/paginaabierta/guia.pdf>.

[4] RONCO, Alicia *et al.* Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. Cáp. 2. Monitoreo ambiental. 2004. En:

http://www.idrc.ca/en/ev-84461-201-1-DO_TOPIC.html.

[5] Adaptación de texto recogido de la página web:

<http://www.cepis.org.pe/bvsatr/fulltext/operacion/cap7.pdf>.

[6] Diagnostico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad cuenca del río ISLUGA. En:

http://www.sinia.cl/1292/articles-31018_Isluga.pdf

[7] Evaluación de la calidad del agua. En:

<http://www.cnpml.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID74.pdf>

[8] Calidad de las aguas de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED. En:

http://www.limnetica.com/Limnetica/limne21b/L21b63_Caracteristicas_fisicoquimicas_rios_proyecto_GUADALMED.pdf

[9] Adaptación de texto recogido de la página web:

<http://www.ideam.gov.co/indicadores/calidad6.htm>

[10] Adaptación de texto recogido de la página web:

<http://www.umss.edu.bo/epubs/earts/downloads/71.pdf>

[11] Turbidez. En:

<http://www.ideam.gov.co/indicadores/calidad5.htm>

[12] Calidad de las aguas de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED.

En:

http://www.limnetica.com/Limnetica/limne21b/L21b63_Caracteristicas_fisicoquimicas_rios_proyecto_GUADALMED.pdf

[13] Adaptación de texto recogido de la página web:

<http://www.acodal.org.co/news/articulos.htm?x=20156764&cmd%5B230%5D=c-1-198&cmd%5B231%5D=c-1-198>

[14] Análisis de pH. En:

<http://www.ideam.gov.co/indicadores/calidad2.htm>

[15] Adaptación de texto recogido de la página web:

<http://www.scielo.org.ve/scielo.php?Pid=S1316>

[16] Evaluación de la calidad del agua. En:

<http://www.cnpml.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID74.pdf>

[17] Diagnostico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad cuenca del río ISLUGA. En:

http://www.sinia.cl/1292/articles-31018_Isluga.pdf

[18] Adaptación de texto recogido de la página web:

<http://www.cnpml.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID74.pdf>

[19] Calidad de las aguas de los ríos mediterráneos del proyecto GUADALMED.

En:

http://www.limnetica.com/Limnetica/limne21b/L21b63_Caracteristicas_fisicoquimicas_rios_proyecto_GUADALMED.pdf

[20] DQO. En:

<http://www.ideam.gov.co/indicadores/calidad3.htm>

[21] Coliformes fecales. En:

http://www.upct.es/~minaees/analisis_microbiologico_aguas.pdf

[22] Coliformes totales. En:

[http://www.es.wikipedia.org/wiki/Coliforme.](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Coliforme)

[23] Adaptación de texto recogido de la página web:

<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/e/cdcaqua/normas/lac/05.COL/01.norma.pdf>

[24] Adaptación de las páginas web:

<http://www.Losconstructores.com/bancoconocimiento/n/nrs/Prefacio.pdf> y

http://intranet.ingeminas.gov.co/popayan/Imagen:Mapa_Amenaza_Purace.pdf

[25] Adaptación de texto recogido de la página web:

<http://www.scielo.org.ve/scielo.php?Pid =S1316>

- Sawyer N. Clair; Química para Ingeniería Ambiental, Editorial Mc Graw Hill. Santa fé de Bogotá, 2000.
- EPA. Manual del inspector. Cómo realizar inspecciones sanitarias en pequeños sistemas de agua. Editorial Sr. Washington Macutela. Imprenta de la OPS/CEPIS. Honduras 1990.
- Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. NORMA RAS. Título B. *SISTEMAS DE ACUEDUCTO. BOGOTA D.C., NOVIEMBRE DE 2.000* República de Colombia.
- Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. NORMA RAS. Título C. *SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN. BOGOTA D.C., NOVIEMBRE DE 2.000* República de Colombia.
- Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Piedras 2006. Corporación Autónoma regional del Cauca. CRC. Oficina asesora de planeación – Equipo de Cuencas.
- Ministerio del Medio Ambiente, Guía ambiental para sistemas de acueducto. Dirección general ambiental sectorial, 2002.
- Water Quality Assessments, A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring, Published by E&FN Spon, an imprint of Chapman & Hall, Second edition 1996 © UNESCO/WHO/UNEP.

- Water Quality Monitoring, A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes, Edited by Jamie Bartram and Richard Balance, Published on behalf of United Nations Environment Programme and the World Health Organization © 1996 UNEP/WHO.

- WHO. Guidelines for drinking water quality. Volume.1: recommendations; 3.ed; 2004.

- Corporación Autónoma Regional Del Valle del Cauca y Universidad del Valle. 1998. Proyecto metodología para la distribución del recurso hídrico. Cali: CVC. 204 p.

ANEXOS
ANEXO A.

FORMATO	CODIGO: F.CRH.A11.001
REGISTRO DE MUESTREO DE CALIDAD	FECHA DE VIGENCIA: 26/11/2008
	VERSIÓN: 1.0

SITIO	
FUENTE	
FUNCIONARIO (S)	
MUNICIPIO	
HORA	
FECHA	

PARAMETRO	RESULTADO	CONCEPTO	
		ACEPTABLE	NO ACEPTABLE
CONDUCTIVIDAD			
TURBIEDAD			
COLOR APARENTE			
ALCALINIDAD TOTAL			
DUREZA TOTAL			
HIERRO TOTAL			
SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES			
NITRITOS			
OXIGENO DISUELTO			
% DE SATURACIÓN DE OXIGENO			
DBO			
DQO			
TEMPERATURA			
CLORUROS			
COLIFORMES FECALES			
COLIFORMES TOTALES			

OBSERVACIONES: _____

Firma: _____

Cargo: _____

ANEXO B.

FORMATO DE INSPECCIÓN SANITARIA

FECHA DE LA INSPECCIÓN: _____

SISTEMA DE TRATAMIENTO: PLANTA "TABLAZO"

CUENCA ABASTECEDORA: RÍO "LAS PIEDRAS"

PROCESO DE TRATAMIENTO	FACTOR DE RIESGO ENCONTRADO	OBSERVACIONES

OPERADOR DE TURNO: _____

RESPONSABLE: JORGE RAMIREZ VELASCO

ANEXO C.

FORMATO	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">CODIGO:</td> <td>F.CRH.A1.001</td> </tr> <tr> <td>FECHA DE VIGENCIA:</td> <td>26/11/2008</td> </tr> <tr> <td>VERSIÓN:</td> <td>2.0</td> </tr> </table>	CODIGO:	F.CRH.A1.001	FECHA DE VIGENCIA:	26/11/2008	VERSIÓN:	2.0
CODIGO:	F.CRH.A1.001						
FECHA DE VIGENCIA:	26/11/2008						
VERSIÓN:	2.0						
REPORTE DE NOVEDADES INSPECCIÓN DE CUENCAS							

CONVENIO:	
PROYECTO:	
MICROCUENCA:	MUNICIPIO:
SECTOR:	LUGAR:
FUNCIONARIO:	USUARIO:
VISITA ACTUAL	PROXIMA VISITA
FECHA:	
DIA MES AÑO	DIA MES AÑO

OBJETO DE LA VISITA

SITUACION ENCONTRADA

RECOMENDACIONES – COMPROMISOS

Funcionario: _____

Cargo: _____

ANEXO D.

FORMATO	CODIGO: F.RDC.A8.001 FECHA DE VIGENCIA: 26/11/2008 VERSIÓN: 2.0
ACTA DE ENTREGA Y RECIBO DE MATERIALES	

PROYECTO: _____ **AÑO 200** _____
SIDO LAS: ____ **DEL DIA:** ____ **DEL MES:** ____ **DEL AÑO:** ____ **SE REUNIERON : EL SEÑOR**
 _____ **CON CEDULA DE CIUDADNIA N°** _____
EN REPRESENTACIÓN DE LA COMUNIDAD Y EL SEÑOR: _____
CON CEDULA DE CIUDANIA N° _____ **EN REPRESENTACIÓN DE LA INSTITUCIÓN**
 _____ **PARA HACER ENTREGA Y RECIBO DE LOS**
MATERIALES REQUERIDOS PARA LA EJECUCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE ESTE PROYECTO
SEGÚN LA ORDEN DE REGISTRO N° _____ **CONVENIO:** _____
SUBCUENCA: _____ **PREDIO:** _____

ITEM	UNIDAD	CANT	DESCRICIÓN ARTICULO	DESTINO

ENTREGA: _____ **RECIBE:** _____
C.C: _____ **C.C:** _____

**EL PRESENTE DOCUMENTO NO APLICA TRASLADO DE DOMINIO NI POSESIÓN DE TERRENOS
 SIMPLEMENTE ES FACILITADOR PARA EL AISLAMIENTO Y PROTECCIÓN DE RECURSOS
 NATURALES Y LA CONSTANCIA DE LO QUE SE HA INVERTIDO EN EL SECTOR.**

ANEXO E.

ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL RÍO “LAS PIEDRAS”

Tabla E.1. Conductividad del Río “Las Piedras” [$\mu\text{S}/\text{cm}$]

	Puente Alto	Bocatoma Diviso	Descarga Diviso	Puente Carretera	Bocatoma Acueducto
Ene-08	43.2	43.8	48.2	40.6	40.8
Feb-08	51.0	-	53.4	48.6	48.0
Mar-08	56.0	56.2	55.8	51.8	49.6
Abr-08	51.6	55.2	55.2	66.4	68.0
May-08	61.4	57.2	62.0	92.4	70.6
Jun-08	61.6	57.4	66.6	60.4	60.4
Jul-08	65.0	63.6	82.2	56.2	69.4
Ago-08	66.0	67.2	10.6	76.6	75.8
Sep-08	78.0	68.4	81.0	119.4	77.2
Oct-08	70.9	63.2	80.6	76.6	76.2
Nov-08	188.0	188.0	-	188.0	188.0
Dic-08	50.4	51.2	-	46.4	47.8
Promedio	70.3	70.1	59.6	76.9	72.6

Tabla E.2. Turbiedad del Río “Las Piedras” [UNT]

	Puente Alto	Bocatoma Diviso	Descarga Diviso	Puente Carretera	Bocatoma Acueducto
Ene-08	4.0	5.0	13.0	22.0	25.0
Feb-08	2.0	-	12.0	3.0	9.0
Mar-08	2.0	2.0	35.0	90.0	95.0
Abr-08	0.7	1.0	55.0	23.0	12.0
May-08	0.9	0.6	15.0	7.2	5.6
Jun-08	1.4	1.5	4.1	11.0	11.0
Jul-08	1.2	0.8	3.4	1.9	1.6
Ago-08	2.7	2.7	3.4	4.5	5.6
Sep-08	1.2	1.0	1.8	1.3	1.9
Oct-08	2.4	0.8	3.8	3.0	5.6
Nov-08	21.0	2.1	-	21.0	33.0
Dic-08	2.6	90.0	-	45.0	55.0
Promedio	3.5	9.8	15.0	19.0	22.0

Tabla E.3. Color Aparente del Río “Las Piedras” [Pt-Co]

	Puente Alto	Bocatoma Diviso	Descarga Diviso	Puente Carretera	Bocatoma Acueducto
Ene-08	17.5	17.2	28.9	43.3	45.0
Feb-08	6.5	-	18.5	8.1	17.6
Mar-08	7.5	10.5	62.5	130.0	139.0
Abr-08	7.2	7.9	146.2	42.9	58.7
May-08	6.9	6.6	63.9	262.0	33.3
Jun-08	8.2	8.6	2.0	28.1	29.5
Jul-08	9.0	9.0	15.7	11.2	11.2
Ago-08	12.7	13.3	18.1	16.5	19.5
Sep-08	11.5	10.3	14.9	13.2	14.1
Oct-08	12.6	12.0	21.2	16.5	22.9
Nov-08	10.4	13.3	-	44.5	57.1
Dic-08	15.4	167.9	-	99.3	113.6
Promedio	10.4	25.1	39.2	59.6	46.8

Tabla E.4. pH del Río “Las Piedras”

	Puente Alto	Bocatoma Diviso	Descarga Diviso	Puente Carretera	Bocatoma Acueducto
Ene-08	8.0	7.9	7.5	7.9	8.2
Feb-08	7.5	-	7.5	7.2	7.4
Mar-08	6.6	7.5	6.9	7.5	7.0
Abr-08	7.0	7.2	7.0	7.0	6.5
May-08	7.0	7.0	7.5	7.5	7.5
Jun-08	7.5	7.3	7.0	6.9	7.6
Jul-08	7.2	7.0	7.4	7.6	6.8
Ago-08	7.7	7.7	7.5	7.7	7.7
Sep-08	7.8	7.8	7.3	6.8	7.7
Oct-08	7.7	7.7	7.3	7.8	7.7
Nov-08	7.4	7.4	-	7.4	7.4
Dic-08	6.5	6.6	-	6.6	6.5
Promedio	7.3	7.4	7.3	7.3	7.3

Tabla E.5. Alcalinidad Total del Río “Las Piedras” [mg CaCo₃/L]

	Puente Alto	Bocatoma Diviso	Descarga Diviso	Puente Carretera	Bocatoma Acueducto
Ene-08	29.0	35.0	30.0	30.0	32.0
Feb-08	30.1	-	28.7	29.0	29.0
Mar-08	26.0	31.0	29.0	24.0	28.0
Abr-08	39.0	30.0	34.0	37.0	30.0
May-08	31.0	28.0	28.0	26.0	30.0
Jun-08	29.0	34.0	28.0	28.0	32.0
Jul-08	34.0	36.0	38.0	34.0	34.0
Ago-08	32.0	34.0	36.0	34.0	37.0
Sep-08	39.0	36.0	44.0	40.0	38.0
Oct-08	47.0	39.0	44.0	40.0	38.0
Nov-08	35.0	31.0	-	25.0	30.0
Dic-08	28.0	25.0	-	23.0	23.0
Promedio	33.3	32.6	33.9	30.8	31.7

Tabla E.6. Dureza Total del Río “Las Piedras” [mg CaCo₃/L]

	Puente Alto	Bocatoma Diviso	Descarga Diviso	Puente Carretera	Bocatoma Acueducto
Ene-08	30	28	20	12	26
Feb-08	24	-	29	20	22
Mar-08	24	65	22	20	36
Abr-08	45	32	52	95	36
May-08	44	33	35	47	32
Jun-08	30	27	25	31	22
Jul-08	41	24	34	20	32
Ago-08	29	27	34	22	31
Sep-08	36	35	36	41	38
Oct-08	35	26	30	32	36
Nov-08	26	17	-	18	21
Dic-08	19	14	-	20	18
Promedio	31.9	29.8	31.7	31.5	29.2

Tabla E.7. Hierro Total del Río “Las Piedras” [mg Fe/L]

	Puente Alto	Bocatoma Diviso	Descarga Diviso	Puente Carretera	Bocatoma Acueducto
Ene-08	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Feb-08	0.1	-	0.2	0.1	0.1
Mar-08	0.1	0.1	0.1	0	0.1
Abr-08	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
May-08	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Jun-08	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Jul-08	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
Ago-08	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2
Sep-08	0.2	0.12	0.1	0.2	0.1
Oct-08	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1
Nov-08	0.2	0.1	-	0.2	0.3
Dic-08	0.1	0.1	-	0.1	0.1
Promedio	0.15	0.1	0.12	0.12	0.12

Tabla E.8. Sólidos Disueltos Totales del Río “Las Piedras” [mg/L]

	Puente Alto	Bocatoma Diviso	Descarga Diviso	Puente Carretera	Bocatoma Acueducto
Ene-08	21.6	21.9	24.1	20.3	20.4
Feb-08	25.5	-	26.7	24.3	24.0
Mar-08	28.0	28.1	27.9	25.9	24.8
Abr-08	25.8	27.6	27.6	33.2	34.0
May-08	30.7	28.6	31.0	46.2	35.3
Jun-08	30.8	28.7	33.3	30.2	30.2
Jul-08	32.5	31.8	41.1	28.1	34.7
Ago-08	33.0	33.6	5.3	38.3	37.9
Sep-08	39.0	34.2	40.5	57.9	38.6
Oct-08	35.4	31.5	40.2	38.2	38.1
Nov-08	28.5	25.8	-	25.2	24.7
Dic-08	25.2	25.6	-	23.2	23.9
Promedio	29.7	28.8	29.8	32.6	30.5

Tabla E.9. Nitritos del Río “Las Piedras” [mg/L]

	Puente Alto	Bocatoma Diviso	Descarga Diviso	Puente Carretera	Bocatoma Acueducto
Ene-08	0	0	0.04	0.03	0.02
Feb-08	0	-	0.03	0	0.04
Mar-08	0	0.005	0.03	0.06	0.04
Abr-08	0	0	0.03	0.06	0.04
May-08	0	0	0.05	0.03	0.08
Jun-08	0	0	0.1	0.08	0.05
Jul-08	0	0	0.1	0.03	0.06
Ago-08	0	0.005	0.1	0.1	0.1
Sep-08	0	0	0.1	0.1	0.1
Oct-08	-	-	-	-	-
Nov-08	-	-	-	-	-
Dic-08	-	-	-	-	-
Promedio	0	0.001	0.06	0.05	0.06

Tabla E.10. Oxígeno Disuelto del Río “Las Piedras” [mg O₂/L]

	Puente Alto	Bocatoma Diviso	Descarga Diviso	Puente Carretera	Bocatoma Acueducto
Ene-08	6.7	7.8	6.3	7.2	7.3
Feb-08	8.0	-	8.7	8.2	7.9
Mar-08	7.7	6.9	5.3	7.9	6.6
Abr-08	7.7	7.6	6.6	6.7	9.3
May-08	7.7	8.3	6.7	7.5	8.4
Jun-08	8.1	7.1	6.7	8.9	7.9
Jul-08	5.8	7.2	7.7	7.3	7.7
Ago-08	6.5	6.7	6.0	7.4	7.9
Sep-08	7.1	7.6	5.2	5.4	5.3
Oct-08	6.0	7.4	6.3	6.3	7.4
Nov-08	7.4	7.4	-	7.4	6.9
Dic-08	7.9	8.3	-	8.5	7.5
Promedio	7.2	7.5	6.5	7.4	7.5

Tabla E.11. DQO del Río “Las Piedras” [mg O₂/L]

	Puente Alto	Bocatoma Diviso	Descarga Diviso	Puente Carretera	Bocatoma Acueducto
Ene-08	6.4	13.0	5.2	11.9	13.1
Feb-08	-	-	-	-	-
Mar-08	-	-	-	-	-
Abr-08	-	-	-	-	-
May-08	-	-	-	-	-
Jun-08	-	-	-	-	-
Jul-08	-	-	-	-	-
Ago-08	1.2	1.4	0.6	2.4	1.5
Sep-08	-	-	-	-	-
Oct-08	-	-	-	-	-
Nov-08	-	-	-	-	-
Dic-08	-	-	-	-	-
Promedio	3.8	7.2	2.9	7.1	7.3

Tabla E.12. DBO del Río “Las Piedras” [mg O₂/L]

	Puente Alto	Bocatoma Diviso	Descarga Diviso	Puente Carretera	Bocatoma Acueducto
Ene-08	1.3	2.4	0.9	1.8	1.9
Feb-08	-	-	-	-	-
Mar-08	-	-	-	-	-
Abr-08	-	-	-	-	-
May-08	-	-	-	-	-
Jun-08	-	-	-	-	-
Jul-08	-	-	-	-	-
Ago-08	0.8	0.9	0.4	1.6	1.0
Sep-08	-	-	-	-	-
Oct-08	-	-	-	-	-
Nov-08	-	-	-	-	-
Dic-08	-	-	-	-	-
Promedio	1.05	1.65	0.65	1.70	1.45

Tabla E.13. Cloruros del Río “Las Piedras” [mg/L]

	Puente Alto	Bocatoma Diviso	Descarga Diviso	Puente Carretera	Bocatoma Acueducto
Ene-08	6.0	10.0	6.0	8.0	8.0
Feb-08	-	-	-	-	-
Mar-08	8.0	6.0	10.0	4.0	6.0
Abr-08	14.0	6.0	8.0	6.0	8.0
May-08	-	-	-	-	-
Jun-08	-	-	-	-	-
Jul-08	-	-	-	-	-
Ago-08	-	-	-	-	-
Sep-08	-	-	-	-	-
Oct-08	-	-	-	-	-
Nov-08	-	-	-	-	-
Dic-08	-	-	-	-	-
Promedio	9.3	7.3	8.0	6.0	7.3

Tabla E.14. Coliformes Fecales del Río “Las Piedras” [NMP]

	Puente Alto	Bocatoma Diviso	Descarga Diviso	Puente Carretera	Bocatoma Acueducto
Ene-08	38	20	51	72	29
Feb-08	61	96	100	83	89
Mar-08	55	100	100	100	100
Abr-08	100	100	100	100	96
May-08	4	91	100	100	100
Jun-08	75	100	100	110	100
Jul-08	5	13	-	28	30
Ago-08	86	100	100	97	90
Sep-08	83	63	98	93	69
Oct-08	0	100	100	100	133
Nov-08	109.2	75.4	160.7	167.4	203.5
Dic-08	198.9	142.1	142.1	178.2	172.3
Promedio	67.9	83.4	104.7	102.4	101

Tabla E.15. Coliformes Totales del Río “Las Piedras” [NMP]

	Puente Alto	Bocatoma Diviso	Descarga Diviso	Puente Carretera	Bocatoma Acueducto
Ene-08	100	100	100	100	100
Feb-08	1520	1860	100	1820	1760
Mar-08	450	100	100	750	100
Abr-08	1500	63	9800	2100	5400
May-08	100	500	5500	600	2900
Jun-08	1000	100	1000	1000	1000
Jul-08	30	340	-	40	100
Ago-08	3200	2100	84	5500	47
Sep-08	4100	1000	1000	8100	9400
Oct-08	0	3100	9600	4300	17500
Nov-08	34.7	34.7	17.3	21.4	29
Dic-08	10.1	16.4	16.4	23.7	29.8
Promedio	1003.7	776.2	2483.4	2029.6	3197.1

Tabla E.16. Mesófilos del Río “Las Piedras” [UFC]

	Puente Alto	Bocatoma Diviso	Descarga Diviso	Puente Carretera	Bocatoma Acueducto
Ene-08	10000	1000	1000	1000	1000
Feb-08	1960	2720	10000	10000	1000
Mar-08	2980	738	738	7380	7380
Abr-08	1700	10000	10000	10000	10000
May-08	3500	3800	1000	1000	10000
Jun-08	3800	1000	10000	1000	1000
Jul-08	4600	2500	-	5200	100
Ago-08	3900	4600	9800	9100	9600
Sep-08	5900	4000	1000	8600	10000
Oct-08	300	5900	18100	16500	19300
Nov-08	7900	2300	41000	12400	23000
Dic-08	7400	6400	16800	19800	17600
Promedio	4495	3746.5	10858	8498.3	9165

Fuente: Registro de control de calidad del AAPSA

ANEXO F.

ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS EN LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LA PLANTA “TABLAZO”

Tabla F.1. Resultados promedio del mes de Enero de 2008

VARIABLES	TOMA DE MUESTRAS DE AGUA			
	CRUDA	SEDIMENTADA	FILTRADA	TRATADA
Turbiedad	6.5	4.3	-	2.5
Color Aparente	14.3	9.3	-	7.5
pH	7.5	6.9	-	6.9
Alcalinidad Total	37.6	-	-	33.7
Dureza total	39.3	-	-	39.7
Cloro Residual	-	-	-	1.0
Coliformes Fecales	42.6	-	1.3	0
Coliformes Totales	132.3	-	41.7	0
Mesófilos	400	-	100	34.8

Tabla F.2. Resultados promedio del mes de Febrero de 2008

VARIABLES	TOMA DE MUESTRAS DE AGUA			
	CRUDA	SEDIMENTADA	FILTRADA	TRATADA
Turbiedad	15.0	6.3	-	3.7
Color Aparente	24.9	12.1	-	8.9
pH	7.5	6.9	-	6.9
Alcalinidad Total	32.1	-	-	25.6
Dureza total	35.8	-	-	33.6
Cloro Residual	-	-	-	1.0
Coliformes Fecales	85	-	0	0
Coliformes Totales	100	-	37	0
Mesófilos	1000	-	68	97.5

Tabla F.3. Resultados promedio del mes de Marzo de 2008

VARIABLES	TOMA DE MUESTRAS DE AGUA			
	CRUDA	SEDIMENTADA	FILTRADA	TRATADA
Turbiedad	16.0	7.1	-	4.0
Color Aparente	26.7	12.2	-	8.9
pH	7.5	6.9	-	6.9
Alcalinidad Total	31.5	-	-	20.3
Dureza total	37.4	-	-	36.6
Cloro Residual	-	-	-	1.0
Coliformes Fecales	79.5	-	0	0
Coliformes Totales	100	-	74.5	0
Mesófilos	749.3	-	673.7	34.3

Tabla F.4. Resultados promedio del mes de Abril de 2008

VARIABLES	TOMA DE MUESTRAS DE AGUA			
	CRUDA	SEDIMENTADA	FILTRADA	TRATADA
Turbiedad	8.1	5.3	-	3.6
Color Aparente	15.9	11.0	-	8.4
pH	7.7	7.3	-	7.3
Alcalinidad Total	32.8	-	-	31.3
Dureza total	38.4	-	-	37.5
Cloro Residual	-	-	-	1.0
Coliformes Fecales	63.3	-	21.2	0
Coliformes Totales	320	-	74.7	0
Mesófilos	5900	-	665	41.7

Tabla F.5. Resultados promedio del mes de Mayo de 2008

VARIABLES	TOMA DE MUESTRAS DE AGUA			
	CRUDA	SEDIMENTADA	FILTRADA	TRATADA
Turbiedad	2.8	2.2	-	1.3
Color Aparente	9.6	7.7	-	6.3
pH	8.0	7.7	-	7.7
Alcalinidad Total	39.7	-	-	39.5
Dureza total	53.6	-	-	54.5
Cloro Residual	-	-	-	0.9
Coliformes Fecales	100	-	12.7	0
Coliformes Totales	76.5	-	99.3	0
Mesófilos	5050	-	3600	50.2

Tabla F.6. Resultados promedio del mes de Junio de 2008

VARIABLES	TOMA DE MUESTRAS DE AGUA			
	CRUDA	SEDIMENTADA	FILTRADA	TRATADA
Turbiedad	13.0	5.9	-	3.2
Color Aparente	24.7	12.0	-	8.9
pH	7.5	6.9	-	6.9
Alcalinidad Total	32.1	-	-	25.4
Dureza total	35.8	-	-	33.5
Cloro Residual	-	-	-	1.0
Coliformes Fecales	233.3	-	1.3	0
Coliformes Totales	400	-	100	0
Mesófilos	6766.7	-	333.7	57.8

Tabla F.7. Resultados promedio del mes de Julio de 2008

VARIABLES	TOMA DE MUESTRAS DE AGUA			
	CRUDA	SEDIMENTADA	FILTRADA	TRATADA
Turbiedad	4.4	2.6	-	1.6
Color Aparente	21.3	11.6	-	8.7
pH	7.3	7.1	-	7.0
Alcalinidad Total	30.7	-	-	29.1
Dureza total	30.0	-	-	31.9
Cloro Residual	-	-	-	1.2
Sulfatos	-	-	-	3.3
Hierro Total	-	-	-	0.07
Aluminio Residual	-	-	-	0.1
Coliformes Fecales	248	-	48	0
Coliformes Totales	260	-	28	0
Mesófilos	2606.6	-	400	41.3

Tabla F.8. Resultados promedio del mes de Agosto de 2008

VARIABLES	TOMA DE MUESTRAS DE AGUA			
	CRUDA	SEDIMENTADA	FILTRADA	TRATADA
Turbiedad	7.4	2.9	-	1.6
Color Aparente	22.5	12.6	-	9.0
pH	7.5	7.1	-	7.0
Alcalinidad Total	36.4	-	-	29.8
Dureza total	30.6	-	-	28.6
Cloro Residual	-	-	-	1.1
Sulfatos	-	-	-	6.3
Hierro Total	-	-	-	0.1
Aluminio Residual	-	-	-	0.13
Coliformes Fecales	160	-	6.3	0
Coliformes Totales	1096.7	-	98	0
Mesófilos	1600	-	400	55.6

Tabla F.9. Resultados promedio del mes de Septiembre de 2008

VARIABLES	TOMA DE MUESTRAS DE AGUA			
	CRUDA	SEDIMENTADA	FILTRADA	TRATADA
Turbiedad	7.8	3.0	-	1.9
Color Aparente	20.2	12.0	-	8.9
pH	7.7	7.3	-	7.2
Alcalinidad Total	37.8	-	-	33.0
Dureza total	32.0	-	-	33.2
Cloro Residual	-	-	-	1.0
Sulfatos	-	-	-	5.1
Hierro Total	-	-	-	0.09
Aluminio Residual	-	-	-	0.07
Coliformes Fecales	43.4	-	14	0
Coliformes Totales	4340	-	1337.7	0
Mesófilos	8300	-	2300	49.1

Tabla F.10. Resultados promedio del mes de Octubre de 2008

VARIABLES	TOMA DE MUESTRAS DE AGUA			
	CRUDA	SEDIMENTADA	FILTRADA	TRATADA
Turbiedad	10.0	4.1	-	2.4
Color Aparente	27.4	15.1	-	10.0
pH	7.6	7.0	-	6.9
Alcalinidad Total	38.8	-	-	32.4
Dureza total	31.3	-	-	28.6
Cloro Residual	-	-	-	1.1
Coliformes Fecales	97	-	9.8	0
Coliformes Totales	2600	-	634.2	0
Mesófilos	7000	-	2494	15.8

Tabla F.11. Resultados promedio del mes de Noviembre de 2008

VARIABLES	TOMA DE MUESTRAS DE AGUA			
	CRUDA	SEDIMENTADA	FILTRADA	TRATADA
Turbiedad	105.0	7.8	-	3.2
Color Aparente	141.4	19.1	-	13.3
pH	7.2	6.6	-	6.4
Alcalinidad Total	28.6	-	-	23.8
Dureza total	21.6	-	-	21.0
Cloro Residual	-	-	-	1.2
Hierro Total	-	-	-	0.07
Aluminio Residual	-	-	-	0.25
Coliformes Fecales	148.9	-	26.4	0
Coliformes Totales	424.5	-	61.3	0
Mesófilos	3933.3	-	800	20.3

Tabla F.12. Resultados promedio del mes de Diciembre de 2008

VARIABLES	TOMA DE MUESTRAS DE AGUA			
	CRUDA	SEDIMENTADA	FILTRADA	TRATADA
Turbiedad	85.0	10.0	-	5.0
Color Aparente	131.7	20.1	-	13.1
pH	7.0	6.5	-	6.5
Alcalinidad Total	25.3	-	-	20.4
Dureza total	19.3	-	-	18.6
Cloro Residual	-	-	-	1.3
Hierro Total	-	-	-	0.1
Aluminio Residual	-	-	-	0.12
Coliformes Fecales	322	-	11	0
Coliformes Totales	274.7	-	49.8	0
Mesófilos	1000	-	703.3	36.7

Fuente: Elaboración propia, tomado del registro de control de calidad del AAPSA

ANEXO G.

ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS EN LOS PUNTOS DE MUESTREO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN

Tabla G.1. Resultados promedio de las características fisicoquímicas del agua tratada en la red de distribución

	Turbiedad	Color Aparente	pH	Alcalinidad Total	Dureza Total	Cloro Residual
Ene-09	3.7	7.8	7.2	26.0	36.1	0.5
Feb-09	2.9	6.6	7.0	29.1	37.2	0.4
Mar-09	4.6	9.0	7.0	31.6	48.0	0.6
Abr-09	1.1	5.3	7.4	37.2	56.7	0.8
May-09	4.0	8.3	7.1	24.1	39.5	0.6
Jun-09	1.2	5.8	6.9	29.4	24.2	0.9

Fuente: Registro de control de calidad del AAPSA

Tabla G.2. Resultados promedio de las características microbiológicas del agua tratada en la red de distribución

	Coliformes Fecales	Coliformes Totales	Mesófilos
Enero – 2009	0	0	67.5
Febrero – 2009	0	0	95.4
Marzo – 2009	0	0	50.2
Abril – 2009	0	0	35.6
Mayo – 2009	0	0	48.8
Junio – 2009	0	0	20.5

Fuente: Registro de control de calidad del AAPSA