

DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO PARA LOS VERTIMIENTOS  
DE LAS QUEBRADAS BRIGHTON, BUQUE, ESCORIAL, JURADO Y  
SEMINARISTA EN EL SECTOR URBANO DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA,  
NORTE DE SANTANDER



YEISSON FERNANDO VILLAMIZAR MENDOZA

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y QUÍMICA  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
2017

DISEÑO DE LOS SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LOS VERTIMIENTOS DE  
LAS QUEBRADAS BRIHGTON, BUQUE, ESCORIAL, JURADO Y SEMINARISTA  
EN EL SECTOR URBANO DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA, NORTE DE  
SANTANDER

YEISSON FERNANDO VILLAMIZAR MENDOZA

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director  
Ph.D JAROL DERLEY RAMÓN VALENCIA  
Docente Ocasional



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y QUÍMICA  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
2017



## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

JURADO

---

JURADO

Pamplona, 18 Septiembre de 2017

enseñarme siempre a creer que el único riesgo de los sueños es que se te hagan realidad, siendo fuente de inspiración para nunca desfallecer en los momentos más difíciles, donde el camino parecía nublarse creyendo perder el rumbo y viendo un poco lejana esta meta llamada ingeniería ambiental.

Muchas gracias mujeres luchadoras y siempre hermosas, por estar a mi lado dándome su total apoyo y comprensión.

Dedicado a las mujeres de mi vida,  
madre, abuela, esposa e hija. Por

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios que me ha iluminado en este camino, llenándome de sabiduría y paciencia en momentos que no fueron fáciles.

A mis padres, abuela y a cada miembro de mi familia que me apoyo en este sueño, dándome su voto de confianza para siempre seguir adelante y nunca desistir.

A la empresa de servicios públicos del municipio de Pamplona (EMPOPAMPLONA) por su colaboración durante el muestreo y levantamiento topográfico, al equipo de auxiliares del laboratorio de control y calidad de la universidad de Pamplona y al laboratorio de EMPOPAMPLONA. A los ingenier@s Lizeth López, Alexander Araque, Issac Maldonado y Jarol Ramón por su guía para el desarrollo del este trabajo de grado.

A mis profesores que han sido una fuente de conocimiento en esta trayectoria, guiándome para ser un profesional íntegro y por último, y no menos importante a mis amigos, que han estado conmigo en momentos de tristezas y alegrías, siempre buscando soluciones a las adversidades que se presenten.



DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LOS VERTIMIENTOS DE LAS QUEBRADAS BRIGTON,  
BUQUE, ESCORIAL, JURADO Y SEMINARISTA EN EL SECTOR URBANO DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA,  
NORTE DE SANTANDER

---



## Contenido

1 RESUMEN .....	24
2 INTRODUCCIÓN .....	26
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....	27
4 OBJETIVOS.....	29
4.1    OBJETIVO GENERAL.....	29
4.2    OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	29
5 MARCO REFERENCIAL.....	30
5.1 ANTECEDENTES.....	30
5.1.1 NACIONALES .....	30
5.1.2 INTERNACIONALES.....	31
5.2 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	32
5.2.1 ALCANCES: .....	32
5.3 MARCO CONCEPTUAL .....	33
5.4 MARCO CONTEXTUAL .....	35
5.5 MARCO LEGAL.....	36
5.6 MARCO TEÓRICO .....	40
5.6.1 Recurso Hídrico.....	40
5.6.1.1 Fuentes del recurso hídrico.....	40
5.6.1.2 Cuenca hidrográfica .....	40
5.6.2 Características del agua.....	41
5.6.2.1 Características físicas .....	41
5.6.2.1.1 Turbiedad.....	41
5.6.2.1.2 Color .....	41
5.6.2.1.3 Temperatura .....	41
5.6.2.1.4 Olor y sabor .....	41
5.6.2.2 Características químicas .....	41
5.6.2.2.1 Acidez.....	41
5.6.2.2.2 Alcalinidad .....	41
5.6.2.2.3 PH.....	42
5.6.2.2.4 Dureza .....	42

5.6.2.2.5 Cloro residual.....	42
5.6.2.2.6 Sulfatos.....	42
5.6.2.3 Características bacteriológicas.....	42
5.6.3 Parámetros Físico Químicos para la caracterización de aguas crudas y residuales.....	42
5.6.3.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5 .....	42
5.6.3.1.1 Método Manométrico. ....	42
5.6.3 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	43
5.6.3.1 Sistemas centralizados .....	43
5.6.3.1.1 Pretratamiento .....	44
5.6.3.1.1.1 Rejilla de desbastes .....	44
5.6.3.1.1.2 Desarenadores.....	44
5.6.3.1.2 Tratamiento Primario .....	45
5.6.3.1.2.1 Tanque Imhoff .....	45
5.6.3.1.2 Sedimentador Primario.....	45
5.6.3.1.3 Tratamiento Secundario.....	45
5.6.3.1.3.1 Filtros Percoladores .....	45
5.6.3.1.3.2 Sedimentador Secundario.....	45
5.6.3.1.3.3 Lodos Activados .....	46
5.6.3.1.3.4 Lagunas de Estabilización.....	46
5.6.3.1.3.5 Reactor Anaerobio de flujo Ascendente (UASB).....	46
5.6.3.1.3 Tratamiento Terciario.....	46
5.6.3.1.3.1 Desinfección.....	46
5.6.3.1.3.2 Manejo de Lodos.....	46
5.6.3.2 Sistemas In Situ .....	46
5.6.3.2.1 Pretratamiento .....	46
5.6.3.2.1.1 Trampa de Grasas .....	47
5.6.3.2.2 tratamiento primario.....	47
5.6.3.2.2.1 Tanque Séptico .....	47
5.6.3.2.3 Postratamiento.....	47
5.6.3.2.3.1 Filtro Anaerobio de Flujo ascendente (FAFA) .....	47
5.6.3.2.3.2 Campo de Infiltración .....	47
5.6.3.2.3.3 Pozos de infiltración .....	48



5.6.3.2.3.4 Filtro intermitente.....	48
5.6.3.2.3.5 Humedales Artificiales de Flujo Sumergido .....	48
5.6.3.3 Parámetros de diseño para los sistemas In Situ .....	48
5.6.3.3.1 Tanque Séptico.....	48
5.6.3.3.1.1 Localización .....	48
5.6.3.3.1.2 parámetros de diseño.....	49
5.6.3.3.1.2.1 Volumen del tanque Séptico .....	49
5.6.3.3.1.2.2 Ancho del tanque Séptico .....	49
5.6.3.3.1.2.3 Largo del tanque Séptico.....	49
5.6.3.3.1.2.4 Altura Útil del tanque Séptico Corregida. ....	49
5.6.3.3.1.2.5 Volumen para el almacenamiento de espumas y natas del tanque Séptico.....	50
5.6.3.3.1.2.6 Altura de Natas del tanque Séptico .....	50
5.6.3.3.1.2.7 Altura De los Orificios del Primer Compartimiento del tanque Séptico .....	50
5.6.3.3.1.2.8 Largo Primer Compartimiento del tanque Séptico .....	50
5.6.3.3.1.2.9 Largo Segundo Compartimiento del tanque Séptico .....	51
5.6.3.3.1.2.10 Volumen de Lodos del tanque Séptico.....	51
5.6.3.3.1.2.11 Volumen de Lodos generados por la Población servida. ....	51
5.6.3.3.1.2.12 Limpieza de lodos en el Tanque Séptico. ....	51
5.6.3.3.1.2.13 Altura Total del Tanque Séptico.....	51
5.6.3.3.1.3 Dimensiones del Tanque Séptico.....	51
5.6.3.3.2 Filtro anaerobio de Flujo ascendente.....	52
5.6.3.3.3 Lecho de Secado.....	52
5.6.3.3.3.1 Dimensionamiento del Lecho de Secado .....	53
5.6.3.3.3.1.1 Volumen del lecho de Secado .....	53
5.6.3.3.3.1.2 Área del lecho de Secado .....	53
5.6.3.3.3.1.3 Longitud del Lecho de Secado .....	53
6 METODOLOGÍA .....	55
6.1. Revisión Bibliográfica .....	55
6.2 Selección de Puntos de Muestreo .....	56
6.3 Medición de Caudales .....	56
6.4 Caracterización In Situ .....	56

6.5 Caracterización Ex Situ .....	56
6.5.1 Calculo de Sólidos Sedimentables .....	57
6.5.2 Calculo de Sólidos Totales .....	57
6.5.3 Calculo de Sólidos Suspendidos Totales. ....	58
6.5.4 Calculo de Sólidos Suspendidos Volátiles. ....	59
6.5.5 Calculo de DQO .....	60
6.5.6 Calculo de DBO <sub>5</sub> .....	60
6:5.7 Determinación de la turbiedad.....	61
6.5.8 Determinación de Dureza.....	61
6.5.9 Determinación de cloruros.....	62
6.5.10 Determinación de Nitritos. ....	62
6.5.11 Determinación de Fosfatos.....	62
6.5.12 Determinación de Sulfatos. ....	63
6.5.13 Determinación de Color.....	63
6.5.14 Determinación de Alcalinidad. ....	63
6.6 Diagnósticos de las Microcuenca Brighton, Buque, Escorial, Jurado y Seminarista. ....	64
6.7 Determinación de la población. ....	64
6.8 Calculo del Caudal de Diseño para la estructura de Conducción.....	64
6.9 Dimensionamiento de la obra de conducción.....	65
6.10 Calculo del Caudal de Diseño de los sistemas de tratamiento. ....	65
6.11 Selección de la estructura de Tratamiento. ....	65
6.12 Diseño hidrosanitario.....	65
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	66
7.1 QUEBRADA JURADO .....	66
7.1.1 Caracterización IN Situ.....	66
7.1.1.1 Caracterización quebrada Jurado día 04/04/2017.....	66
7.1.1.2 Caracterización quebrada Jurado día 05/04/2017.....	68
7.1.1.3 Caracterización quebrada Jurado día 06/04/2017.....	69
7.1.2 Análisis de Laboratorio Quebrada Jurado .....	71
7.1.2.1 Sólidos .....	71
7.1.2.1.1 Sólidos Totales .....	71
7.1.2.1.2 Sólidos Suspendidos Totales.....	71

7.1.2.1.3 Sólidos suspendidos Volátiles .....	72
7.1.2.1.4 Sólidos Sedimentables .....	72
7.1.2.2 Caracterización Físico química .....	73
7.1.3 Diagnostico de la Quebrada Jurado .....	75
7.1.4 Soluciones para los Vertimientos de la Quebrada Jurado .....	76
7.1.4.1 Selección del Tratamiento .....	77
7.1.4.2 Diseño de los Sistemas de Tratamiento In Situ .....	78
7.1.4.2.1 Caudal de Diseño .....	78
7.1.4.2.1.1 cálculo de los caudales de diseño.....	79
7.1.4.2.2 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 1, <i>Quebrada Jurado</i> .....	80
7.1.4.2.2.1 Tanque Séptico para el tratamiento 1, <i>Quebrada Jurado</i> ...81	
7.1.4.2.2.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 1, <i>Quebrada Jurado</i> .....	82
7.1.5.2.3 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 2, <i>Quebrada Jurado</i> .....	83
7.1.5.2.3.1 Tanque Séptico para el tratamiento 2, <i>Quebrada Jurado</i> ...85	
7.1.5.2.3.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 2. <i>Quebrada Jurado</i> .....	87
7.1.5.2.4 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 3, <i>Quebrada Jurado</i> .....	88
7.1.5.2.4.1 Tanque Séptico para el tratamiento 3, <i>Quebrada Jurado</i> ...88	
7.1.5.2.4.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 3, <i>Quebrada Jurado</i> .....	90
7.1.5.2.5 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 4, <i>Quebrada Jurado</i> .....	91
7.1.5.2.6 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 5, <i>Quebrada Jurado</i> .....	92
7.1.5.2.6.1 Tanque Séptico para el tratamiento 5. ....	92
7.1.5.2.6.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 5, <i>Quebrada Jurado</i> .....	94
7.1.5.2.7 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 6, <i>Quebrada Jurado</i> .....	95
7.2 QUEBRADA ESCORIAL .....	96
7.2.1 Caracterización In Situ .....	96
7.2.1.1 Caracterización quebrada Escorial 18/04/2017 .....	96

7.2.1.2 Caracterización quebrada Escorial 19/04/2017 .....	98
7.2.1.2 Caracterización quebrada Escorial 20/04/2017 .....	99
7.2.2 Análisis de Laboratorio Quebrada Escorial .....	101
7.2.2.1 Sólidos .....	101
7.2.2.1.1 Sólidos Totales.....	101
7.2.2.1.2 Sólidos Suspendidos Totales .....	101
7.2.2.1.3 Sólidos suspendidos Volátiles.....	102
7.2.2.1.4 Sólidos Sedimentables.....	102
7.2.3 Caracterización Físico Química.....	102
7.2.4 Diagnostico de la Quebrada Escorial .....	104
7.2.5 Soluciones para los Vertimientos de la Quebrada Escorial .....	106
7.2.5.1 Selección del Tratamiento .....	107
7.2.5.2 Diseño de los Sistemas de Tratamiento In Situ .....	107
7.2.5.2.1 Caudal de Diseño.....	108
7.2.5.2.2 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 1. ....	108
7.2.5.2.2.1 Tanque Séptico para el tratamiento 1. ....	109
7.2.5.2.2.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 1.....	110
7.2.5.2.3 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 2. ....	111
7.2.5.2.3.1 Tanque Séptico para el tratamiento 2. ....	111
7.2.5.2.3.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 2.....	112
7.2.5.2.4 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 3. ....	113
7.2.5.2.4.1 Tanque Séptico para el tratamiento 3. ....	113
7.2.5.2.4.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 3. ....	114
7.2.5.2.5 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 4. ....	116
7.2.5.2.5.1 Tanque Séptico para el tratamiento 4. ....	116
7.2.5.2.5.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 4. ....	117
7.2.5.2.6 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 5. ....	118
7.2.5.2.7 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 6. ....	118
7.2.5.2.4.1 Tanque Séptico para el tratamiento 6. ....	118
7.2.5.2.4.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 6. ....	119

7.2.5.2.7 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 7. ....	120
7.2.5.2.7.1 Tanque Séptico para el tratamiento 7. ....	120
7.2.5.2.7.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 7. ....	121
7.3 QUEBRADA BRIGHTON.....	122
7.3.1 Caracterización IN Situ.....	123
7.3.1.1 Caracterización quebrada Brighton día 25/04/2017 .....	123
7.3.1.2 Caracterización quebrada Jurado día 26/04/2017 .....	124
7.3.1.3 Caracterización quebrada Brighton día 27/04/2017.....	125
7.3.2 Análisis de Laboratorio Quebrada Brighton.....	127
7.3.2.1 Sólidos.....	127
7.3.2.1.1 Sólidos Totales.....	127
7.3.2.1.2 Sólidos Suspendidos Totales .....	127
7.3.2.1.3 Sólidos Suspendidos volátiles.....	127
7.3.2.1.4 Sólidos Sedimentables.....	128
7.3.3 Caracterización Físico química.....	128
7.3.4 Diagnostico de la Quebrada Brighton.....	130
7.3.4 Soluciones para los Vertimientos de la Quebrada Brighton .....	131
7.3.4.1 Selección del Tratamiento .....	132
7.3.4.2 Diseño de los Sistemas de Tratamiento In Situ.....	133
7.3.4.2.1 Caudal de Diseño .....	133
7.3.4.2.1.1 cálculo de los caudales de diseño.....	133
7.3.4.2.2 Dimensionamiento de los sistemas de tratamiento 1,3 y 4. ....	134
7.3.4.2.2.1 Tanque Séptico para los tratamientos 1,3 y 4. ....	134
7.3.5.2.6.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para los tratamientos 1,3 y 4. ....	135
7.3.4.2.3 Dimensionamiento de los sistemas de tratamiento 2.....	136
7.3.4.2.3.1 Tanque Séptico para el tratamiento 2. ....	136
7.3.4.2.3.1 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 2. ....	137
7.4 QUEBRADA SEMINARISTA .....	138
7.4.1 Caracterización IN Situ.....	138
7.4.1.1 Caracterización quebrada Seminarista día 03/05/2017 .....	138
7.4.1.2 Caracterización quebrada Seminarista día 04/05/2017 .....	140

7.4.1.3 Caracterización quebrada Seminarista día 08/05/2017 .....	141
7.4.2 Análisis de Laboratorio Quebrada Seminarista .....	142
7.4.2.1 Sólidos .....	142
7.4.2.1.1 Sólidos Totales .....	142
7.4.2.1.2 Sólidos Suspendidos Totales .....	143
7.4.2.1.3 Sólidos Suspendidos volátiles .....	143
7.4.2.1.4 Sólidos Sedimentables .....	144
7.4.3 Caracterización Físico química .....	144
7.4.4 Diagnostico de la Quebrada Seminarista .....	146
7.5.5 Solución Para el Vertimiento de la Quebrada Seminarista .....	147
7.5 QUEBRADA BUQUE .....	148
7.5.1 Caracterización IN Situ .....	148
7.5.1.1 Caracterización quebrada Buque día 16/05/2017 .....	148
7.5.1.2 Caracterización quebrada Buque día 17/05/2017 .....	149
7.5.1.1 Caracterización quebrada Buque día 18/05/2017 .....	150
7.5.2 Análisis de Laboratorio Quebrada Buque .....	152
7.5.2.1 Sólidos .....	152
7.5.2.1.1 Sólidos Totales .....	152
7.5.2.1.2 Sólidos Suspendidos Totales .....	152
7.5.2.1.3 Sólidos Suspendidos volátiles .....	153
7.5.3 Caracterización Físico química .....	154
7.5.4 Diagnostico de la Quebrada Buque .....	155
7.5.5 Solución Para el Vertimiento de la Quebrada Buque .....	156
7.5.5.1 Diseño del Emisario de aguas Residuales Domesticas .....	157
7.5.5.1.1 Determinación del Nivel de Complejidad .....	158
7.5.5.1.2 Periodo de Diseño .....	158
7.5.5.1.3 Coeficiente de Rugosidad de Manning .....	158
7.5.5.1.4 Proyección de la Población .....	158
7.5.5.1.4.1 Método lineal .....	158
7.5.5.1.4.2 Método Geométrico .....	159
7.5.5.1.4.3 Método Logarítmico .....	159
7.5.5.1.4.4 Método Aritmético .....	160
7.5.5.1.5 Levantamiento Topográfico .....	161

7.5.5.1.6 Determinación de Área Aferente.....	162
7.5.5.1.7 Caudal de Diseño .....	162
7.5.5.1.7.1 Caudal Domestico .....	162
7.5.5.1.7.2 Factor de Mayoración .....	162
7.5.5.1.7.3 Caudal Máximo Horario .....	163
7.5.5.1.7.4 Caudal de Conexiones Erradas .....	163
7.5.5.1.7.5 Caudal de Infiltración .....	163
7.5.5.1.7.6 Caudal de Diseño .....	163
7.5.5.1.8 Cálculos del Pre-Diseño del Emisario.....	164
8. CONCLUSIONES .....	170
9. RECOMENDACIONES .....	171
10. BIBLIOGRAFÍA .....	172



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domesticas-ARD.....	38
Tabla 2. Volumen de muestra según el rango de valores de la DQO. ....	43
Tabla 3. Distancias mínimas de localización del tanque séptico.....	48
Tabla 4. Tiempo Requerido para la Digestión de Lodos. ....	53
Tabla 5. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Jurado 04/04/2017.....	67
Tabla 6. Caudales Quebrada Jurado 04/04/2017. ....	67
Tabla 7. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Jurado 05/04/2017.....	68
Tabla 8. Caudales Quebrada Jurado 05/04/2017. ....	69
Tabla 9. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Jurado 06/04/2017.....	70
Tabla 10. Caudales Quebrada Jurado 06/04/2017. ....	70
Tabla 11. Sólidos Totales Quebrada Jurado.....	71
Tabla 12. Sólidos Suspendidos Totales. Quebrada Jurado. ....	72
Tabla 13. Sólidos Suspendidos Volátiles. Quebrada Jurado. ....	72
Tabla 14. Sólidos Sedimentables. Quebrada Jurado.....	72
Tabla 15. Caracterización Físico Química Quebrada Jurado.....	73
Tabla 16. Censo Quebrada Jurado.....	75
Tabla 17. Opciones de tratamiento in situ frente a variables de decisión. ....	77
Tabla 18. Asignación de nivel de complejidad. ....	78
Tabla 19. Dotación Neta .....	79
Tabla 20. Calculo del Caudal de Diseño. Quebrada Jurado. ....	80
Tabla 21. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 1.....	81
Tabla 22. Cálculos del FAFA para el tratamiento 1, Quebrada Jurado.....	82
Tabla 23. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 2, Quebrada Jurado....	85
Tabla 24. Cálculos del FAFA para el tratamiento 2, Quebrada Jurado.....	87
Tabla 25. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 3, Quebrada Jurado....	89
Tabla 26. Cálculos del FAFA para el tratamiento 3, Quebrada Jurado.....	90
Tabla 27. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 5, Quebrada Jurado....	93
Tabla 28. Cálculos del FAFA para el tratamiento 5, Quebrada Jurado.....	94
Tabla 29. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Escorial 18/04/2017.97	
Tabla 30. Caudales Quebrada Escorial 18/04/2017. ....	97
Tabla 31. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Escorial 19/04/2017.98	
Tabla 32. Caudales Quebrada Escorial 19/04/2017. ....	99
Tabla 33. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Escorial 20/04/2017.99	
Tabla 34. Caudales Quebrada Escorial 20/04/2017. ....	100
Tabla 35. Sólidos Totales. Quebrada Escorial. ....	101
Tabla 36. Sólidos Suspendidos Totales. Quebrada Escorial. ....	101
Tabla 37 . Sólidos Suspendidos Volátiles. Quebrada Escorial.....	102
Tabla 38 . Sólidos Sedimentables. Quebrada Escorial. ....	102



Tabla 39. Caracterización Físico Química. Quebrada Escorial.....	103
Tabla 40. Censo Quebrada Escorial .....	105
Tabla 41. Calculo del Caudal de Diseño .....	108
Tabla 42. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 1.....	109
Tabla 43. Cálculos del FAFA para el tratamiento 1.....	110
Tabla 44. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 2.....	111
Tabla 45. Cálculos del FAFA para el tratamiento 2.....	112
Tabla 46 Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 3.....	113
Tabla 47. Cálculos del FAFA para el tratamiento 3.....	115
Tabla 48. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 4.....	116
Tabla 49. Cálculos del FAFA para el tratamiento 4.....	117
Tabla 50. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 6.....	118
Tabla 51. Cálculos del FAFA para el tratamiento 6.....	119
Tabla 52. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 7.....	120
Tabla 53. Cálculos del FAFA para el tratamiento 7.....	121
Tabla 54. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Brighton 25/04/2017. .....	123
Tabla 55. Caudales Quebrada Brighton 25/04/2017.....	124
Tabla 56. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Brighton 26/04/2017. .....	124
Tabla 57. Caudales Quebrada Brighton 26/04/2017.....	125
Tabla 58. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Brighton 27/04/2017. .....	126
Tabla 59. Caudales Quebrada Brighton 27/04/2017.....	126
Tabla 60. Sólidos Totales. Quebrada Brighton. ....	127
Tabla 61 . Sólidos Suspendidos Totales. Quebrada Brighton.....	127
Tabla 62. Sólidos Suspendidos Volátiles. Quebrada Brighton.....	128
Tabla 63. Sólidos Sedimentables. Quebrada Brighton. ....	128
Tabla 64. Caracterización Físico Química Quebrada Brighton. ....	128
Tabla 65. Censo Quebrada Brighton. ....	131
Tabla 66. Calculo del Caudal de Diseño.....	133
Tabla 67. Cálculo del Tanque Séptico. ....	134
Tabla 68. Cálculos del FAFA para los tratamientos 1,3 y 4. ....	135
Tabla 69. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 2.....	136
Tabla 70. Cálculos del FAFA para el Tratamiento 2 .....	137
Tabla 71. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Seminarista 03/05/2017.....	139
Tabla 72. Caudales Quebrada Seminarista 03/05/2017. ....	139
Tabla 73. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Seminarista 04/05/2017.....	140
Tabla 74. Caudales Quebrada Seminarista 04/05/2017. ....	141
Tabla 75. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Seminarista 08/05/2017.....	141
Tabla 76. Caudales Quebrada Seminarista 08/05/2017. ....	142
Tabla 77. Sólidos Totales. Quebrada seminarista. ....	142

Tabla 78. Sólidos Suspendidos Totales. Quebrada seminarista.....	143
Tabla 79. Sólidos Suspendidos Volátiles. Quebrada seminarista.....	143
Tabla 80 . Sólidos Sedimentables. Quebrada seminarista.....	144
Tabla 81. Caracterización Físico Química Quebrada seminarista. ....	144
Tabla 82. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Buque 16/05/2017. ....	148
Tabla 83. Caudales Quebrada Buque 16/05/2017.....	148
Tabla 84. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Buque 17/05/2017. ....	149
Tabla 85. Caudales Quebrada Buque 17/05/2017.....	150
Tabla 86. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Buque 18/05/2017. ....	150
Tabla 87. Caudales Quebrada Buque 18/05/2017.....	151
Tabla 88. Sólidos Totales. Quebrada Buque. ....	152
Tabla 89. Sólidos Suspendidos Totales. Quebrada Buque.....	152
Tabla 90. Sólidos Suspendidos Volátiles. Quebrada Buque.....	153
Tabla 91. Sólidos Sedimentables. Quebrada Buque. ....	153
Tabla 92. Caracterización Físico Química Quebrada Buque. ....	154
Tabla 93. Censos del Municipio de Pamplona. ....	158
Tabla 94. Población Proyectada. Método lineal. ....	159
Tabla 95. Población Proyectada. Método Geométrico. ....	159
Tabla 96 Cálculo de las Tasas de Crecimiento.....	159
Tabla 97. Población Proyectada. Método Logarítmico.....	160
Tabla 98. Promedios de los Métodos.....	160
Tabla 99. Coeficiente de Retorno de Aguas Residuales Domesticas. ....	162
Tabla 100. Caudal Del Diseño .....	164
Tabla 101. Coeficiente K.....	167

## LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1. Caudales Quebrada Jurado 04/04/2017.....	68
Gráfico 2. Caudales Quebrada Jurado 05/04/2017.....	69
Gráfico 3. Caudales Quebrada Jurado 06/04/2017.....	70
Gráfico 4. Caudales Quebrada Escorial 18/04/2017.....	98
Gráfico 5. Caudales Quebrada Escorial 19/04/2017.....	99
Gráfico 6. Caudales Quebrada Escorial 20/04/2017.....	100
Gráfico 7. Caudales Quebrada Brighton 25/04/2017. ....	124
Gráfico 8. Caudales Quebrada Brighton 26/04/2017. ....	125
Gráfico 9. Caudales Quebrada Brighton 27/04/2017. ....	126
Gráfico 10. Caudales Quebrada Seminarista 03/05/2017.....	140
Gráfico 11. . Caudales Quebrada Seminarista 04/05/2017.....	141
Gráfico 12. Caudales Quebrada Seminarista 08/05/2017.....	142
Gráfico 13. Caudales Quebrada Buque 16/05/2017. ....	149
Gráfico 14. Caudales Quebrada Buque 17/05/2017. ....	150
Gráfico 15. Caudales Quebrada Buque 18/05/2017. ....	151
Gráfico 16. Proyección de la Población .....	160

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. . Caracterización In Situ.....	56
Fotografía 2. Cono Imhoff. ....	57
Fotografía 3. Capsulas de Porcelanas en la plancha.....	58
Fotografía 4. . Equipo de filtración. ....	59
Fotografía 5. Capsula de Porcelana con filtro de fibra de vidrio.....	60
Fotografía 6. Tubos de digestión en el reactor.....	60
Fotografía 7. . Botellas de Oxitop.....	61
Fotografía 8. Turbidimetro.....	61
Fotografía 9. Determinación de Nitritos.....	62
Fotografía 10. Determinación de Fosfatos.....	63
Fotografía 11. Determinación de sulfatos. ....	63
Fotografía 12. Identificación de actividades antropogénicas.....	64
Fotografía 13. Censo en las Microcuencas.....	64
Fotografía 14. Actividades Agrícolas en la microcuenca Jurado.....	75
Fotografía 15. Actividades antropogénicas en la Quebrada Escorial.....	104
Fotografía 16. Actividades Agrícolas en la Quebrada Brighton.....	130
Fotografía 17. Actividades Ganaderas en la quebrada Brighton.....	130
Fotografía 18. Nacimiento Quebrada Semiarista .....	146
Fotografía 19. Nacimiento de la Quebrada Seminarista .....	146
Fotografía 20. Identificación De Metales.....	147
Fotografía 21. Vertimiento Santa Marta .....	156
Fotografía 22. Inicio Boxculvert.....	156
Fotografía 23. Levantamiento Topográfico .....	161

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Volumen del tanque séptico. ....	49
Ecuación 2. Ancho del Tanque Séptico .....	49
Ecuación 3. Largo del Tanque Séptico. ....	49
Ecuación 4. Altura Útil del Tanque Séptico Corregida .....	49
Ecuación 5. Volumen de natas .....	50
Ecuación 6. Altura de Natas.....	50
Ecuación 7. Altura de los Orificios. ....	50
Ecuación 8. Largo Compartimiento 1 .....	50
Ecuación 9. Largo Compartimiento 2.....	51
Ecuación 10. Volumen de Lodos en el tanque Séptico.....	51
Ecuación 11. Volumen de lodos generados.....	51
Ecuación 12. Limpieza de Lodos .....	51
Ecuación 13. Altura Total del Tanque Séptico. ....	51
Ecuación 14. Volumen del FAFA .....	52
Ecuación 15. Altura de la Grava del Fondo.....	52
Ecuación 16. Altura de la Grava Superior .....	52
Ecuación 17. Largo del FAFA .....	52
Ecuación 18. Tiempo de Retención Hidráulico del FAFA.....	52
Ecuación 19. Volumen de Lodo Lecho de Secado. ....	53
Ecuación 20. Sólidos Totales.....	57
Ecuación 21. Sólidos Suspendidos Totales .....	58
Ecuación 22. Sólidos Suspendidos Totales .....	59
Ecuación 23. Dureza.....	61
Ecuación 24. Cloruros.....	62
Ecuación 25. Caudal de diseño estructura de conducción. ....	64
Ecuación 26. Formula de Hazen Williams.....	65
Ecuación 27. Caudal de diseño .....	79
Ecuación 28. Dotación Bruta.....	80
Ecuación 29. Tasa de Crecimiento. ....	158
Ecuación 30. Población Proyectada. ....	159
Ecuación 31. Población Proyectada .....	159
Ecuación 32. Rata de Crecimiento.....	159
Ecuación 33. Población Proyectada. ....	159
Ecuación 34. Tasa de Crecimiento .....	159
Ecuación 35. Caudal medio Diario.....	162
Ecuación 36. Densidad de Población .....	162
Ecuación 37. Factor de Mayoración.....	163

Ecuación 38. Caudal Máximo Horario.....	163
Ecuación 39. Caudal de Diseño.....	163
Ecuación 40. Ecuación de Maning.....	165
Ecuación 41. Caudal a tubo lleno .....	165
Ecuación 42. Velocidad a Tubo Lleno.....	165
Ecuación 43. Energía Cinética.....	166
Ecuación 44. Radio Hidráulico Real.....	166
Ecuación 45. Condición del Flujo.....	167
Ecuación 46. Altura de Caída .....	168

## LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Localización General del área de estudio .....	35
Imagen 2. Ciclo hidrológico.....	40
Imagen 3. Tratamientos típicos de agua Residual .....	44
Imagen 4. Metodología de investigación.....	55
Imagen 5. Ubicación de puntos de muestreo. Quebrada Jurado.....	66
Imagen 6. Quebrada Jurado. Localización puntos de contaminación.....	76
Imagen 7. Sistema de Tratamiento 1. Quebrada Jurado .....	80
Imagen 8. Planos Sistema de Tratamiento 1, Quebrada Jurado. ....	83
Imagen 9. Sistema de Tratamiento 2. Quebrada Jurado. ....	84
Imagen 10. Sistema de Tratamiento 2, Quebrada Jurado. ....	87
Imagen 11. Sistema de Tratamiento 3. Quebrada Jurado. ....	88
Imagen 12. Sistema de Tratamiento 3, Quebrada Jurado. ....	90
Imagen 13. Sistema de Tratamiento 4. Quebrada Jurado .....	91
Imagen 14. Sistema de Tratamiento 5. Quebrada Jurado. ....	92
Imagen 15. Sistema de Tratamiento 5, Quebrada Jurado. ....	94
Imagen 16. Sistema de Tratamiento 6. Quebrada Jurado. ....	95
Imagen 17. Localización de puntos de muestreo Quebrada Escorial .....	96
Imagen 18. Quebrada Escorial. Localización Puntos de Contaminación.....	106
Imagen 19. Sistema de Tratamiento 1. Quebrada Escorial.....	110
Imagen 20. Sistema de Tratamiento 2. Quebrada Escorial.....	113
Imagen 21. Sistema de Tratamiento 3. Quebrada Escorial.....	115
Imagen 22. Sistema de Tratamiento 4. Quebrada Escorial.....	117
Imagen 23. Sistema de Tratamiento 6. Quebrada Escorial.....	120
Imagen 24. Sistema de tratamiento 7. Quebrada Escorial.....	122
Imagen 25. Ubicación del Punto de Muestreo. Quebrada Brighton. ....	123
Imagen 26. Quebrada Brighton. Localización de Viviendas.....	131
Imagen 27. Sistema de los Tratamientos 1,3 y 4 .....	136
Imagen 28. Sistema de los Tratamientos 2.....	138
Imagen 29 Localización de Área de contaminación Quebrada Buque.....	156
Imagen 30. Altura de Caída en el Pozo .....	168



## 1 RESUMEN

La contaminación del recurso hídrico proviene de fuentes naturales y antropogénicas que alteran sus propiedades físicas y químicas, por tal razón se debe conocer la fuente de dicha alteración.

Con la finalidad de determinar las características del recurso hídrico de las quebradas que atraviesan el casco urbano del municipio de Pamplona, se llevó a cabo la caracterización de las quebradas Jurado, Escorial, Brighton, Seminarista y Buque. Debido al costo que representa los análisis físicos químicos se decidió realizar la caracterización por medio de muestreos cada 4 horas, durante 3 días. En cada afluente del río Pamplonita se seleccionaron dos puntos de muestreo localizados en la desembocadura y parte alta de la microcuenca, obteniendo 6 muestras para cada quebrada. Durante cada muestreo se midieron parámetros In Situ como PH, OD, Conductividad y Temperatura. En cuanto a los análisis Ex Situ se llevaron a cabo en el laboratorio de control y calidad de la universidad de Pamplona y en el laboratorio de EMPOPAMPLONA.

Como resultado de la caracterización se obtuvo que las quebradas poseen cierto grado de contaminación identificado por la presencia de materia orgánica, determinada por medio de los parámetros DQO y DBO<sub>5</sub>. Esta contaminación proviene de aguas residuales domésticas y agrícolas, otras de las causas es el arrastre de materia orgánica propia del suelo debido a que se presentan procesos de erosión generándose transporte hacia la parte baja. Este proceso aumenta como consecuencia de la escorrentía producida por las precipitaciones.

Identificado el grado de contaminación se procedió a realizar un censo en la zona rural de las quebradas determinándose la ubicación de las viviendas y el número de habitantes. Debido a que los aportes de aguas residuales domésticas realizadas por las familias de las microcuencas se encuentran dispersas se decidió implementar un sistema de tratamiento en el sitio de origen de acuerdo a lo recomendado en el título J del RAS, en cuanto a la quebrada Buque (rio chiquito) se observó que la fuente de contaminación proviene de las aguas residuales del municipio de Pamplona por lo que se decide implementar un colector de aguas residuales.

Como medida de control y mitigación de la contaminación del recurso hídrico se realizó el diseño hidrosanitario de sistemas sépticos y de un colector para las aguas residuales vertidas en la quebrada Buque.

Los Sistemas sépticos constan de un tanque séptico y un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), el caudal de diseño de cada sistema se calculó conociendo la población, dotación bruta y el coeficiente de retorno. Con la finalidad de disminuir



la cantidad de sistemas se agruparon las viviendas más cercanas en un solo tratamiento.

## 2 INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico de la población produce la expansión de centros urbanos generando contaminación, producto de la utilización indiscriminada de los recursos naturales. Uno de los recursos más contaminados es el agua utilizada para todas las actividades antropogénicas en generación de bienes y servicios.

En el caso del municipio de Pamplona ubicado en la parte alta de la cuenca del río Pamplonita, el recurso hídrico es utilizado en agricultura y consumo humano, estos usos generan su contaminación con residuos de productos agroquímicos y con las aguas residuales domésticas producidas en el casco urbano y en la zona rural.

El casco urbano del municipio de Pamplona es atravesado por varias quebradas que han sido canalizadas con la finalidad de disminuir su contaminación, pero esta finalidad no se cumple, debido a que son utilizadas como canales de conducción de aguas residuales domésticas generando su contaminación, en el presente estudio se identificó cuáles están siendo contaminadas por aguas residuales domésticas.

La identificación de contaminación del recurso hídrico se llevó a cabo por medio de la caracterización para las quebradas Escorial, Seminarista, Jurado, Buque y Brighton, donde se tomaron muestras durante tres días, obteniéndose un total de seis muestras por quebrada, posteriormente se realizaron las pruebas de laboratorio para los parámetros fisicoquímicos, permitiendo determinar las características físicas y químicas, del agua que es vertida al río Pamplonita.

Como resultado de la caracterización se obtuvo que la contaminación más alta se registró en la quebrada buque producto de las aguas residuales domésticas, seguida de la quebrada Escorial en la que se registró una alta carga los días de precipitación debido a que en la zona existe un vertedero de excesos del alcantarillado además se presenta arrastre de materia orgánica proveniente de los suelos erosionados y sin cobertura vegetal.

Identificadas las características del agua se procedió al diseño de los sistemas de tratamiento in situ teniendo en cuenta los parámetros de diseño del RAS en el título J. seleccionando un sistema séptico el cual está conformado por un tanque séptico y un filtro anaerobio de flujo ascendente esperándose una remoción de DBO entre el 70-80 % y una operación satisfactoria sin mantenimiento de 18 a 24 meses de acuerdo a lo enunciado por Romero, 1999.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

El continuo crecimiento de la población humana ha provocado el aumento de la demanda de recursos naturales y la necesidad de vivienda. Estas necesidades han generado el crecimiento de los centros poblados por lo que se degradan los recursos naturales, por tal razón, se busca implantar medidas de protección del medio ambiente utilizando recursos como son las obras hidráulicas y sistemas de tratamiento para las aguas residuales.

En el caso del municipio de Pamplona ubicado sobre la ronda hídrica del río Pamplonita en su parte alta, la degradación de los recursos naturales se genera por la expansión urbana, invadiendo las zonas de recarga y nacimientos de los afluentes del mismo. Esta expansión urbana ha generado afectaciones en el recurso hídrico, principalmente debido a las aguas residuales aportadas por la comunidad urbana y rural.

Las aguas residuales domesticas producidas en la zona rural como urbana contiene alta carga orgánica generando la degradación de la calidad del recurso hídrico que atraviesa el municipio de Pamplona, además se generan aportes a causa de las actividades antropogénicas como la agricultura y ganadería en la parte alta de la cuenca del río Pamplonita.

La investigación consiste en determinar la calidad del agua que es canalizada, para la identificación de posibles conexiones erradas o fuentes que estén aportando contaminación a las diferentes quebradas que atraviesan el municipio de Pamplona, permitiendo la elaboración de planes de acción para controlar y prever dicha contaminación.

La medida más eficaz para el control de la contaminación del recurso hídrico, es la elaboración de sistemas de tratamiento, con la cual se disminuirá el impacto generado por los vertimientos en las quebradas que atraviesan el municipio de Pamplona. Con estos planes se beneficiará la comunidad Pamplonesa debido al mejoramiento de las condiciones físicas y químicas del agua de las quebradas, además se beneficiara la comunidad rural de las quebradas debido al mejoramiento de las condiciones de salubridad logrando evitar enfermedades.



DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LOS VERTIMIENTOS DE LAS QUEBRADAS BRIGTON,  
BUQUE, ESCORIAL, JURADO Y SEMINARISTA EN EL SECTOR URBANO DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA,  
NORTE DE SANTANDER

---



## 4 OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar el sistema de tratamiento para los vertimientos de las quebradas Brighton, Buque, Escorial, Jurado y Seminarista en el sector urbano del municipio de Pamplona, Norte de Santander

### 4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar la calidad del agua, a través de la caracterización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.
- Diagnosticar las condiciones de las zonas aledañas de las quebradas canalizadas en el municipio de Pamplona con la finalidad de conocer las fuentes de contaminación.
- Elaborar la estructura de conducción hacia la PTAR, de las quebradas Escorial, Jurado, Seminarista, Brighton y Buque.
- Proponer y diseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales que cumpla con la normativa ambiental Colombiana

## 5 MARCO REFERENCIAL

### 5.1 ANTECEDENTES

#### 5.1.1 NACIONALES

Las aguas residuales generan la contaminación del recurso hídrico, por tal razón es indispensable la implementación de sistemas de tratamiento para mejorar el efluente vertido. En el año 2014 se desarrolló el trabajo de grado titulado “DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL PARA EL MUNICIPIO DE SAN MARCOS DEPARTAMENTO DE SUCRE” por Hernández Torres, David y Sánchez Cuervo, Jhoan. El trabajo busca disminuir la contaminación generada por aguas residuales industriales provenientes de las plantas de sacrificio, el método de tratamiento elegido consta de una trampa de grasas, un sedimentador de forma cónica y un reactor anaeróbico de flujo ascendente, el cual cumple teóricamente con remoción superior al 80%, este diseño fue realizado siguiendo los parámetros de construcción establecidos en la norma RAS 2000, y las políticas de vertimientos de aguas residuales del país (Hernández et al. 2014)<sup>1</sup>. A demás encontramos el proyecto de grado realizado en el año 2010, titulado “DISEÑO HIDRÁULICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE GUACAMAYAS” por Blanco Buitrago, Katherine y Caicedo León, David , realizaron el estudio donde se identificó y diseño la línea de procesos para la planta de tratamiento de aguas residuales, para cumplir con la remoción exigida, el diseño consta de un desbaste, desarenador, neutralización, igualamiento, tanque Imhoff, aireación, filtro percolador y desinfección, como complemento se cuenta con la línea de lodos y gases. Debido a la materia orgánica cuantificada por medio de la DBO y los SST decidieron no implementar sedimentadores debido a la eficiencia de remoción (Blanco et al. 2010)<sup>2</sup>. Por otra parte encontramos el trabajo de grado para optar al título de especialista en ingeniería ambiental elaborado en el año 2007, titulado “DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO DE MACARAVITA DEPARTAMENTO DE SANTANDER” por Gutiérrez, Hugo Armando y Romero Olarte, Fernando. En la elaboración de este trabajo para la selección de la alternativa de tratamiento de aguas residuales se utilizó la Guía: Gestión para el Manejo, Tratamiento y Disposición final de las aguas residuales municipales, elaborado por el Ministerio Ambiente, vivienda y desarrollo Territorial. El diseño seleccionado para realizar el tratamiento consta de un reactor UASB y Filtro Percolador, además realizaron como proceso adicional al sistema el diseño de un Humedad Artificial de Flujo Subsuperficial para aumentar la eficiencia del diseño e intentar dar algún aprovechamiento al efluente obtenido (Gutiérrez et al. 2007)<sup>3</sup>.

### 5.1.2 INTERNACIONALES

A nivel internacional el tratamiento de aguas residuales se ha venido desarrollando desde la época de los grandes imperios como el romano y las civilizaciones del medio oriente. En el año 2015 se desarrolló en España el trabajo de fin de grado titulado “DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS PARA POBLACIONES ENTRE 20 Y 25 MIL HABITANTES”, por Domínguez Ollero, Roció. En este trabajo se definen el sistema de tratamiento de aguas residuales en una sola etapa, partiendo de una población promedio para el país de España y de datos existentes de cargas registradas. Establecidos los parámetros anteriormente determinaron que se debe implantar un sistema con oxidación prolongada que prescindiera de decantación primaria y digestión de fangos, ya que proporciona ventajas económicas y medio ambientales (Domínguez R., 2015)<sup>4</sup>. Por otra parte encontramos la tesis realizada en el año 2014 titulado “DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL MUNICIPIO DE SAN JUAN CHAMELCO, ALTA VERAPAZ”, por Morán, Diego. En primera medida realizaron análisis fisicoquímico y microbiológico en la desembocadura del alcantarillado, el análisis fue de tipo in situ y ex situ. Con los resultados obtenidos, diseñaron el sistema de tratamiento el cual consta de rejillas con un bypass, un desarenador, medidor percolador, digestor de lodos y un patio de secado cumpliendo con la normativa de Guatemala (Morán D., 2014)<sup>5</sup>. Otro de los estudios realizados para el tratamiento de aguas residuales es el titulado “PROYECTO EJECUTIVO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA LOCALIDAD DE XOCHIAPA, VER” de Fernández, Eduardo en el año 2010. El objetivo de la tesis era elaborar un proyecto viable económicamente para la elaboración de la planta de tratamiento de aguas residuales, este se cumpliría con el diseño de lechos humedales (Wetlands) es un proceso totalmente funcional para el tratamiento de las aguas residuales de dicho municipio (Fernández E., 2010)<sup>6</sup>.

## 5.2 ALCANCES Y LIMITACIONES

### 5.2.1 ALCANCES:

- Se realizara la caracterización de los vertimientos de las quebradas Brighton, Buque, Escorial, jurado y Seminarista.
- Se medirán parámetros in situ como lo son temperatura, PH, conductividad y oxígeno disuelto, con la utilización del multiparametro.
- Se efectuarán los análisis de laboratorio en los que se determinara DQO, DBO<sub>5</sub>, solidos, nitritos, fosfatos, sulfatos.
- Se llevara a cabo la identificación de la calidad del agua por medio de la comparación entre los puntos caracterizados.
- Se construirá un mapa en el que se identificaran las quebradas y vertimientos dentro del casco urbano por medio de la utilización del software ARC GIS y Google Earth.
- Se llevara a cabo una encuesta en las microcuencas realizando la localización de las viviendas y número de habitantes en la misma.
- Se realizara el dimensionamiento de las estructuras de tratamiento In situ de acuerdo a lo recomendado en el titulo J del RAS.
- Se realizara el levantamiento topográfico de la quebrada Buque

### 5.2.2 LIMITACIONES:

- Toma de muestras durante las horas de la noche debido a la falta de recursos económicos y por seguridad personal debido a la ubicación de los puntos de muestreo.
- Disponibilidad del multiparametro para ser usado durante la caracterización, debido a que es utilizado para diferentes trabajos, tesis y clases.
- Laboratorio ya que no se encuentra disponible durante toda la semana para realizar la caracterización de los parámetros físico químicos del agua.
- La no disponibilidad de equipos topográficos, lo que dificulto la localización de los sistemas de tratamiento.
- El alto costo de los reactivos necesarios para la caracterización de los parámetros físico químicos.



### 5.3 MARCO CONCEPTUAL

**Aguas residuales:** aguas que han sido utilizadas en procesos antropogénico, alterándose sus propiedades físicas y químicas.

**Aguas Residuales Domesticas:** son las aguas utilizadas en los hogares procedentes de las descargas de los retretes, servicios sanitarios y aseo personal.

**Aforo:** medición de la cantidad de agua que atraviesa por un punto determinado en un cause o vertimiento.

**Carga Hidráulica:** Corresponde al caudal de aguas residuales por unidad de área del reactor.

**Caudal de Diseño:** es la cantidad de fluido con la que se dimensiona la estructura hidráulica para su funcionamiento.

**Coliformes:** especie bacteriana que indican alto grado de contaminación del recurso hídrico.

**Concentración de una sustancia:** es la relación existente entre su peso y el volumen del líquido.

**DBO<sub>5</sub>:** Demanda Bioquímica de oxígeno a cinco días.

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno.

**FAFA:** Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente.

**IRCA:** índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano.

**Lecho de Secado:** Unidad que elimina el agua contenida en los lodos para que puedan ser manejados como material sólido.

**Lodo:** son los sólidos provenientes del tratamiento de las aguas residuales.

**Muestra Compuesta:** es la combinación de muestras puntuales tomadas en intervalos predeterminados de tiempo.

**OD:** Oxígeno disuelto.

**PH:** Potencial del Ion Hidrogeno, H<sup>+</sup>.

**Proceso Aerobio:** son procesos realizados en presencia de oxígeno generando como productos dióxido de carbono y agua.

**Proceso anaerobio:** son procesos que se realizan por bacterias en ausencia de oxígeno generando metano como subproducto.

**PTAR:** Planta de tratamiento de aguas residuales.

**Q:** Caudal.

**SS:** Sólidos suspendidos.

**ST:** Sólidos Totales.

**SST:** Sólidos Suspendidos Totales.

**SSV:** Sólidos suspendidos volátiles.

**T:** Temperatura.

**Tiempo de Retención hidráulico:** tiempo que permanece el agua residual en la unidad de tratamiento.

**Tratamiento In Situ:** Proceso y operación por el que se trata el agua residual en el lugar donde se genera.

**Tratamiento Convencional:** Procesos y operaciones por los cuales se potabiliza el agua, incluye coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

**Vertimiento Líquido:** Descarga líquida realizada a un cuerpo de agua o alcantarillado.

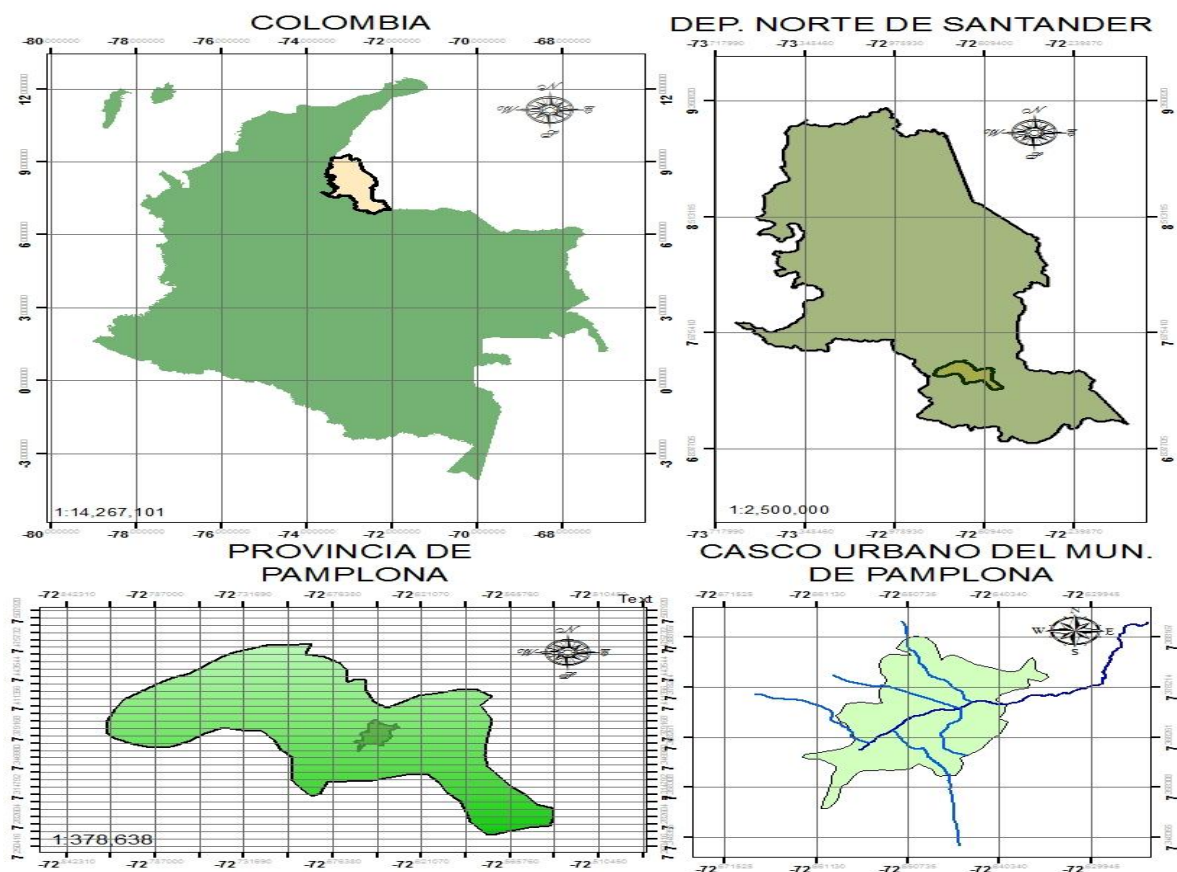
**Vertimiento no puntual:** son todos aquellos vertimientos en que no se puede especificar el punto exacto de descarga (escorrentía, aplicación de agroquímicos u otros similares).

**Zona de Mezcla:** área a partir del vertimiento en que se produce la mezcla homogénea de éste con el cuerpo receptor.

## 5.4 MARCO CONTEXTUAL

El municipio de Pamplona está ubicado en el departamento Norte de Santander en la cordillera oriental ver grafica 1. Fue fundado en 1549 por don Pedro de Ursúa y don Ortún Velazco de Velásquez, sobre las riveras del rio Pamplonita (Mincultura., 2015)<sup>7</sup>. El casco urbano del municipio es atravesado por las quebradas Brighton, Buque, Escorial, Jurado y Seminarista. Estas quebradas se encuentran rodeadas por los barrios: las Colinas, los Nazarenos, San Pedro, Barrios Unidos, Cote Lamus, Romero, la Esperanza, Pacho Valencia, Los Alpes, Jurado, Afanador y Cadena, Progreso, Chapinero, Brighton, Centro, Buque, Las Américas, San Ignacio, San Agustín, Humilladero y el Camellón.

Imagen 1. Localización General del área de estudio



Fuente: Autor, 2017.

## 5.5 MARCO LEGAL

Las normas ambientales Colombianas están encaminadas a la gestión, protección y mejoramiento del medio ambiente. A continuación se hace el recuento de la normativa ambiental en cuanto al recurso hídrico desde el año 1974 hasta el presente año.

Decreto 2811 de 1974 Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiental. El objetivo de este decreto es lograr la preservación y restauración de los recursos naturales renovables, prevenir y controlar los efectos negativos de la explotación de los recursos naturales no renovables. En cuanto al recurso hídrico regula las aguas en cualquiera de sus estados y se fija la tasa retributiva de servicios ambientales (Decreto 2811 de 1974)<sup>8</sup>.

Decreto 1541 de 1978 por el cual se reglamenta la parte III del libro II del decreto-ley 2811 de 1974: “de las aguas no marítimas” y parcialmente la ley 23 de 1973. Modificado por el decreto 2858 de 1981. Este decreto reglamenta las normas relacionadas con el recurso de aguas en todos sus estados, buscando asegurar su preservación, restricción y limitaciones en cuanto a su uso. Además las condiciones para la construcción de obras hidráulicas que garanticen la correcta y eficiente utilización del recurso. Asimismo se dividen las aguas en dos categorías: aguas de dominio público y aguas de dominio privado, y de los modos de adquirir derecho al uso de las aguas y sus cauces (Decreto 1541 de 1974)<sup>9</sup>.

Ley 9 de 1979 por la cual se dictan Medidas Sanitarias, para la protección del medio ambiente, preservar, restaurar y mejorar las condiciones sanitarias; los procedimientos y medidas para regular, legalizar y controlar las descargas de residuos y materiales que puedan afectar las condiciones sanitarias ambientales. Además, se ocupa del control sanitario de los usos del agua, residuos líquidos y de la disposición de excretas, área de captación, suministro de agua, aguas superficiales, lluvias y de su potabilización (Ley 9 de 1979)<sup>10</sup>.

Constitución política de 1991, en esta se encuentran diferentes artículos que buscan la protección del medio ambiente. Artículo 8. Es obligación del estado y de las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la nación. Artículo 49. La atención de la salud y el saneamiento ambiental son servicios públicos a cargo del estado. Artículo 79 todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizara la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines. Artículo 80, el estado planificara el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además deberá prevenir y

controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Artículo 95, toda persona está obligada a cumplir la Constitución y las Leyes. Son deberes de la persona y del ciudadano: Numeral 8. Proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano. (Constitución política de Colombia, 1991)<sup>11</sup>.

Ley 99 de 1993 por la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente, se reordena el sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. La ley 99 de 1993 da a conocer los fundamentos de la política ambiental colombiana guiada bajo la declaración de rio de Janeiro, buscando la protección de la biodiversidad garantizado el gozo de un ambiente sano y el desarrollo sostenible (Ley 99 de 1993)<sup>12</sup>.

Resolución 1096 del 2000 por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico- RAS. El reglamento tiene por objetivo señalar las condiciones técnicas que deben cumplir los diseños, obras y procedimientos en el sector de agua potable y saneamiento básico (Resolución 1096 del 2000)<sup>13</sup>.

Decreto 155 de 2004 por la cual se reglamenta el artículo 43 de la ley 99 de 1993 sobre tasa por utilización de aguas y su adoptan otras disposiciones. En este decreto se reglamentan las tasas por utilización de aguas superficiales, las cuales se incluye las aguas estuarinas, y las aguas subterráneas, incluyendo dentro de estas los acuíferos (Decreto 155 de 2004)<sup>14</sup>.

Decreto 3930 de 2010 Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. El objetivo de este decreto es establecer las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el ordenamiento del recurso hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados (Decreto 3930 de 2010)<sup>15</sup>.

Resolución 0631 de 2015 por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. En la presente resolución se encuentran los parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domesticas-ARD de las actividades industriales, comerciales o de servicios; y de las aguas residuales (ARD y ARnD) de los prestadores del servicio público de alcantarillado a cuerpo de aguas superficiales (tabla 1) (Resolución 0631 de 2015)<sup>16</sup>.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales domesticas-ARD.

PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS RESIDUALES-ARD DE LAS SOLUCIONES INDIVIDUALES DE SANEAMIENTO DE VIVIENDAS INIFAMILIARES O BIFAMILIARES	AGUAS RESIDUALES-ARD Y DE LAS AGUAS RESIDUALES (ARD-ARnD)DE LOS PRESTADORES DEL SERVICIO PÚBLICO DE ALCANTARILLADO A CUERPOS DE AGUAS SUPERFICIALES, CON UNA CARGA MENOR O IGUAL A 625 Kg/día DBO <sub>5</sub> .
Ph	Unidades de pH	6 a 9	6 a 9
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Mg/L O <sub>2</sub>	200	180
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Mg/L O <sub>2</sub>		90
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	Mg/L		90
Sólidos Sedimentables (SSED)	Mg/L		5
Grasas y Aceites	Mg/L		20
Sustancias Activas al Azul de	Mg/L		Análisis y Reporte

Metileno (SAAM)			
Hidrocarburos			
Hidrocarburos Totales (HTP)			Análisis y Reporte
Compuestos de Fósforo			
Ortofosfatos (P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )			Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)			Análisis y Reporte
Compuestos de nitrógeno			
Nitratos	Mg/L		Análisis y Reporte
Nitritos	Mg/L		Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal	Mg/L		Análisis y Reporte
Nitrógeno total	Mg/L		Análisis y Reporte

Fuente: Resolución 0631, 2015.

Resolución 0330 de 2017 por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (RAS) y se deroga las resoluciones número 1096 de 2000 (Resolución 0330 de 2017)<sup>17</sup>



## 5.6 MARCO TEÓRICO

### 5.6.1 Recurso Hídrico

#### 5.6.1.1 Fuentes del recurso hídrico

El agua circula en la tierra en un espacio llamado hidrosfera, que tiene una extensión de 15 kilómetros en la atmósfera y un kilómetro por debajo de la litosfera o corteza terrestre. La circulación en la hidrosfera se lleva cabo a través del ciclo hidrológico (Chow, 1994)<sup>18</sup>.

El ciclo hidrológico (imagen 2) es un ciclo continuo, en el que se producen cambios físicos, por lo tanto el recurso hídrico puede presentarse en forma de vapor de agua, líquido suspendido, lluvia y en estado sólido.

Imagen 2. Ciclo hidrológico.



Fuente: USGS, 2016.

El agua puede estar en la superficie en movimiento (ríos, arroyos), en reposo (lagos, lagunas) y en estado sólido (nieve, hielo). Estas están directamente expuestas a la contaminación por fuentes antropogénicas o naturales.

#### 5.6.1.2 Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica es una unidad territorial en el cual el agua que cae por precipitación se reúne y escurre a un punto común formando quebradas, arroyos o ríos. En esta área se realiza la interacción entre seres vivos y el entorno que los rodea (Franquet, 2005)<sup>19</sup>.

En la cuenca hidrográfica se presentan diferentes problemáticas que contribuyen a la contaminación del agua como lo son la agricultura intensiva, manejo inadecuado de residuos y desechos domésticos.



## 5.6.2 Características del agua

El agua en su estado natural no posee color, olor y sabor. Estas propiedades son alteradas por diferentes procesos naturales y humanos, lo que exige el tratamiento para ser utilizada nuevamente. El agua tiene características físicas, químicas y bacteriológicas.

### 5.6.2.1 Características físicas

Las características físicas del agua son aquellas propiedades que son percibidas por los sentidos tales como turbiedad, color, temperatura, olor y sabor.

#### 5.6.2.1.1 Turbiedad

La turbiedad indica el grado de falta de transparencia del agua, debido a la presencia de partículas que se encuentran en suspensión. Por lo tanto al existir mayor cantidad de sólidos, la sensación de suciedad será mayor (La guía, 2011)<sup>20</sup>.

#### 5.6.2.1.2 Color

El color en el agua depende de diferentes materiales colorantes dentro de estos encontramos los iones metálicos naturales, humus y materia orgánica disuelta. En la definición de color se deben tener en cuenta la definición de color verdadero y color aparente, el primero hace referencia al color del agua después de eliminar la turbiedad y la segunda define el color generado por sustancias disueltas.

#### 5.6.2.1.3 Temperatura

La temperatura en uno de los parámetros más importantes debido a que es capaz de acelerar procesos de degradación de la materia orgánica y producir cambios químicos en elementos presentes.

#### 5.6.2.1.4 Olor y sabor

El agua en su estado natural no contiene olor ni sabor, estas dos características son adquiridas por medio del sustrato en el que se deposita.

### 5.6.2.2 Características químicas

Debido a los electrodos exteriores de los átomos, el agua puede reaccionar de varias maneras para realizar combinaciones químicas determinado las características químicas. Estas están relacionadas con los compuestos químicos que se encuentran disueltos en el agua, como lo son:

#### 5.6.2.2.1 Acidez

La acidez es la capacidad de reaccionar con una base fuerte hasta determinado valor de PH, en cuerpo de aguas naturales la acidez se debe al dióxido de carbono, ácidos minerales del tipo ácido sulfhídrico o por sales fuertes provenientes de bases débiles (Gómez, 2010)<sup>21</sup>.

#### 5.6.2.2.2 Alcalinidad

La alcalinidad es la capacidad de neutralizar ácidos. En agua cruda se presenta debido a carbonatos, hidróxidos y aniones de bicarbonatos. La alcalinidad a la

fenolftaleína es la correspondiente a los iones hidróxidos más la mitad de la concentración de los iones carbonatos (Aguinaga et, 1996)<sup>22</sup>.

#### 5.6.2.2.3 PH

Potencial de hidrogeno este parámetro mide la concentración de iones de hidrogeno en el agua, determinando, si este se encuentra acida o alcalina.

#### 5.6.2.2.4 Dureza

La dureza es la cantidad de sales de elementos alcalinos térreos disueltos en el agua, asociados principalmente con la formación de incrustaciones calcáreas (Química del agua, 2012)<sup>23</sup>.

#### 5.6.2.2.5 Cloro residual

El cloro residual es la cantidad sobrante después de la desinfección del agua, se considera que es la parte sobrante del proceso de desinfección (OMS, 2004)<sup>24</sup>.

#### 5.6.2.2.6 Sulfatos

Los sulfatos son las sales del ácido sulfúrico que contienen un átomo de azufre en el centro de un tetraedro formado por 4 átomos de oxígeno. Se encuentran en las aguas naturales siendo uno de los principales componentes de las aguas lluvias encontrándose disuelto en ellas (Jimbo, 2009)<sup>25</sup>.

#### 5.6.2.3 Características bacteriológicas

La variedad de bacterias existentes están distribuidas en la naturaleza y las que hay en el agua tienen fundamental importancia sanitaria. El agua puede contener parásitos, bacterias, virus y protozoos que se descargan en el agua con los desperdicios del tipo animal y humano, debido a la costumbre del hombre de arrojar sus residuos a la corriente de agua más cercana. Encontramos en el agua, bacterias patógenas que causan enfermedades al hombre y a los animales.

### 5.6.3 Parámetros Físico Químicos para la caracterización de aguas crudas y residuales.

#### 5.6.3.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5

Es la cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable, se expresa en mg O<sub>2</sub>/L. Entre los métodos para su medición encontramos el método manométrico.

##### 5.6.3.1.1 Método Manométrico.

El método manométrico se basa en leer el contenido de O<sub>2</sub> registrado por el OXITOP el cual está conformado por un frasco negro y un manómetro, dependiendo de un factor según el volumen de la muestra de acuerdo como se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Volumen de muestra según el rango de valores de la DQO.

Volumen de Muestra (ml)	Rango de medida de la DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	Factor
432	0-40	1
365	0-80	2
250	0-200	5
164	0-400	10
97	0-800	20
43.5	0-2000	50
22.7	0.4000	100

Fuente: Guía de laboratorio química ambiental, 2007.

### 5.6.3 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

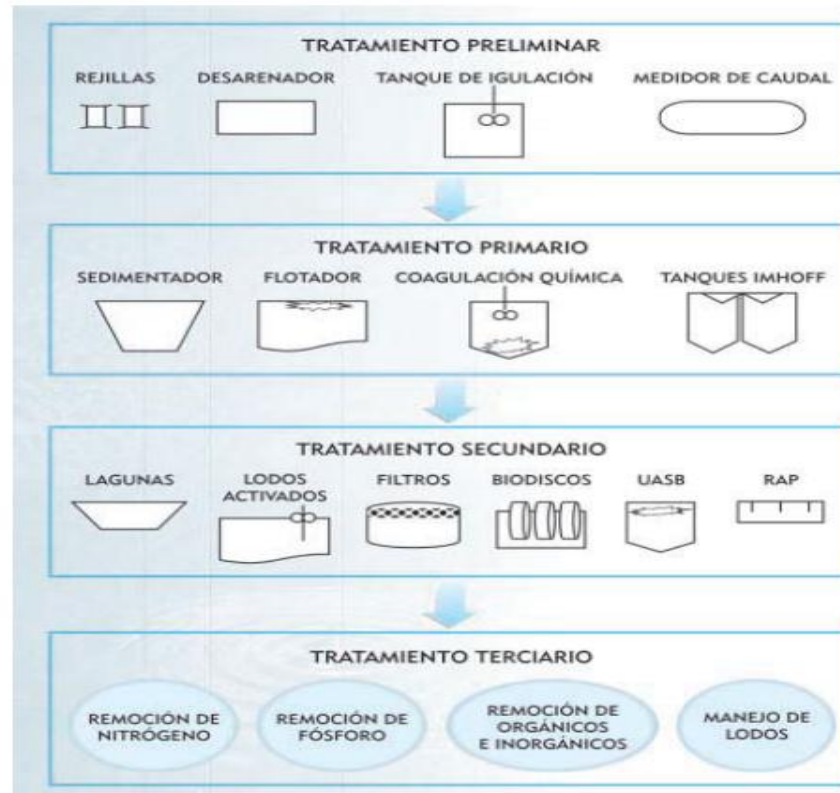
Los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas dependen del lugar del vertimiento y de la cantidad de los mismos por tal razón estas aguas pueden ser tratadas por sistemas centralizados y sistemas en el sitio de origen.

#### 5.6.3.1 *Sistemas centralizados*

Los sistemas centralizados para el tratamiento de aguas residuales domesticas tratan grandes volúmenes que no pueden ser manejadas en el origen, por tal razón se construyen estructuras de grandes dimensiones.

Los sistemas centralizados constan de Pretratamiento, tratamiento primario, secundario y en algunos casos terciario. En la imagen 3 se muestran algunos sistemas de uso común.

Imagen 3. Tratamientos típicos de agua Residual



Fuente: Guía de gestión para el manejo, tratamiento y disponibilidad final de las aguas residuales municipales.

#### 5.6.3.1.1 Pretratamiento

Su objetivo es remover sólidos grandes que pueden causar daños en los sistemas mecánicos o hidráulicos posteriores. A continuación, se mencionan algunos de los sistemas más utilizados.

##### 5.6.3.1.1.1 Rejilla de desbastes

Son las encargadas de la separación de sólidos flotantes como trapos, colchones, madera y objetos grandes. Estas pueden ser de limpieza manual o mecánica. Su localización debe ser aguas arriba del sistema de tratamiento primario.

##### 5.6.3.1.1.2 Desarenadores

Los desarenadores son estructuras usadas para remover arena, grava, partículas o cualquier otro material pesado que pueda sedimentarse. Los desarenadores se

encargan de proteger los equipos mecánicos contra la abrasión, reducen la cantidad de arenas en las tuberías de conducción y canales

#### 5.6.3.1.2 Tratamiento Primario

En el tratamiento primario se busca reducir la materia suspendida por medio de la sedimentación y reducir la carga orgánica. A continuación se muestran algunas de las estructuras más atizadas.

##### 5.6.3.1.2.1 Tanque Imhoff

El tanque Imhoff está compuesto por tres cámaras en las que se realizan los procesos de sedimentación y digestión. La sección superior, que se conoce como cámara de sedimentación, la sección inferior, que se conoce como cámara de digestión de lodos y el respiradero y cámara de natas o áreas de ventilación del gas. Pueden ser rectangulares o circulares (RAS 2016)<sup>26</sup>.

##### 5.6.3.1.2 Sedimentador Primario

Los sedimentadores primarios reciben el agua residual cruda la cual se mueve a lo largo de este con bajas velocidades, en la entrada existe una pantalla encargada de disminuir la velocidad y hacer que el flujo se dirija hacia abajo depositándose en el fondo los sólidos sedimentables. El principal objetivo de esta estructura es la remoción de sólidos suspendidos y DBO por medio del asentamiento de partículas.

#### 5.6.3.1.3 Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario se realiza para eliminar la materia orgánica disuelta. Este tratamiento puede ser de tipo aerobia o anaerobia.

##### 5.6.3.1.3.1 Filtros Percoladores

El filtro percolador está compuesto por un tanque que contiene un lecho de material grueso, compuesto de material sintético o piedras de diversas formas, con alta relación área/volumen, sobre el cual se aplican las aguas residuales por medio de brazos distribuidos fijos o móviles, alrededor del material se encuentran bacterias adheridas que se encargan de descomponer las aguas residuales a medida que estas percolan hacia el fondo. La capa bacteriana va creciendo a medida que el tiempo transcurre que se desprende hidráulicamente del lecho para pasar luego a un clarificador secundario en donde se efectúa la separación de los lodos formados (RAS 2016)<sup>26</sup>.

##### 5.6.3.1.3.2 Sedimentador Secundario

El sedimentador secundario clarifica el efluente proveniente del tratamiento primario, existen diferentes diseños de sedimentadores en los cuales están conformado por 4 partes las cuales son la zona de entrada, zona de sedimentación, zona de salida y zona de recolección de lodos.

#### 5.6.3.1.3.3 Lodos Activados

Los lodos activados es un tratamiento biológico que consiste en la agitación y aireación de una mezcla de agua residual y lodos biológicos, es un tratamiento aerobio en el cual los microorganismos degradan la materia orgánica en sustancias más simples (Aldana et al, 2011)<sup>27</sup>.

#### 5.6.3.1.3.4 Lagunas de Estabilización

Es un tipo de tratamiento de aguas residuales en las que las unidades son poco profundas existen lagunas aerobias, anaerobias, facultativas y de maduración. La principal limitación de este sistema se encuentra en el requerimiento de área.

#### 5.6.3.1.3.5 Reactor Anaerobio de flujo Ascendente (UASB)

Es un proceso de tratamiento de aguas residuales donde el afluente circula desde la parte de inferior hacia arriba por un manto de lodos o filtro donde se estabiliza la materia orgánica ofreciendo un porcentaje de remoción de 65-80% en términos de  $DBO_5$  y entre 60-70% de SS. Posee una estructura de sedimentación integrada al tanque que permite el retorno de lodos (RAS, 2016)<sup>17</sup>.

#### 5.6.3.1.3 Tratamiento Terciario

El tratamiento terciario es el encargado de remover contaminantes que debido a su naturaleza no pueden ser removidos en los tratamientos preliminares.

##### 5.6.3.1.3.1 Desinfección

Este proceso se realiza cuando el efluente representa peligros sobre la salud de las comunidades aguas abajo, existen diferentes tipos entre los que se encuentran la cloración y ultravioleta (RAS, 2016)<sup>17</sup>.

##### 5.6.3.1.3.2 Manejo de Lodos

Los lodos son generados como producto de la degradación de la materia orgánica, por lo tanto se debe realizar un tratamiento en los que se produzca su digestión en los lechos de secado y disposición final.

#### 5.6.3.2 *Sistemas In Situ*

Los sistemas de tratamiento in situ se realizan en lugares aislados, donde no exista alcantarillado o se requiera remover sólidos antes de verter al mismo. Los sistemas constan de trampas de grasa como pretratamiento. En el tratamiento primario la unidad más utilizada es el tanque séptico ofreciendo una remoción del 50% de la materia orgánica seguido por un postratamiento como los mencionados a continuación: campo de infiltración, pozos de infiltración, filtros intermitentes, filtro anaerobio de flujo ascendente, humedales artificiales de flujo sumergido y letrinas (RAS, 2010)<sup>28</sup>.

##### 5.6.3.2.1 Pretratamiento

Se encarga de dar un tratamiento preliminar encargado de remover sólidos y grasas del efluente.



#### 5.6.3.2.1.1 Trampa de Grasas

Son tanques donde las grasas suben a la superficie y son retenidas mientras que el agua clarificada sale hacia el siguiente tratamiento. Esta unidad no tiene partes mecánicas siendo de fácil su operación y construcción. La finalidad de la trampa de grasas es evitar que los jabones y grasas disminuyan la eficiencia de los tratamientos posteriores (RAS, 2010)<sup>28</sup>.

#### 5.6.3.2.2 tratamiento primario

Los tratamientos primarios se encargan de remover la materia orgánica y los sólidos mejorando la calidad del afluente para ser tratado finalmente en un postratamiento para su disposición final.

#### 5.6.3.2.2.1 Tanque Séptico

El tanque séptico es un tanque donde se depositan las aguas residuales provenientes de los inodoros, duchas, lavamanos, lavaderos de ropa y platos. El tratamiento desarrollado es de tipo biológico donde las aguas son sometidas a procesos de descomposición por procesos naturales de tipo anaerobio, durante este proceso se generan lodos que se precipitan en el fondo del tanque y gases que ascienden arrastrando partículas livianas que flotan formando una capa de natas (RAS, 2010)<sup>28</sup>.

#### 5.6.3.2.3 Postratamiento

Se encarga de eliminar la carga orgánica no tratada en el tratamiento primario con la finalidad de eliminar en su totalidad la carga contaminante, a continuación se describen algunos procesos de postratamiento.

#### 5.6.3.2.3.1 Filtro Anaerobio de Flujo ascendente (FAFA)

Son tanques enterrados compuestos por un lecho de grava y otro de arena, que cuentan con una altura óptima de 1,20 m, esta unidad ofrece un rendimiento de 70% en remoción de DBO y una operación sin mantenimiento de 18 a 24 meses (Romero, 1999). Los filtros son construidos a continuación del tanque séptico como un sistema integrado o independiente, este puede construirse con el mismo material y forma.

#### 5.6.3.2.3.2 Campo de Infiltración

Los campos o zanjas de infiltración son una serie de zanjas angostas y no muy profundas dispuestas en paralelo u otra configuración geométrica dependiendo de la topografía del terreno. El fondo está conformado por una capa de grava sobre la cual se encuentra una tubería perforada recubierta por una capa de grava fina recubierta por un material para evitar la pérdida de la capacidad de filtración (RAS, 2010)<sup>28</sup>.

#### 5.6.3.2.3.3 Pozos de infiltración

Son estructuras cilíndricas con un diámetro externo de excavación de 1.5 m y una profundidad útil de mayor a 5 m, sus paredes estas recubiertas por mampostería mixta (ladrillos y piedra) (RAS, 2010)<sup>28</sup>.

#### 5.6.3.2.3.4 Filtro intermitente

Los filtros intermitentes operan bajo el principio de filtración intermitente que es la aplicación de agua residual sedimentada, en un lecho de material granular (arena, grava, etc.) que es drenado para recoger y descargar el efluente final (RAS, 2010)<sup>28</sup>.

#### 5.6.3.2.3.5 Humedales Artificiales de Flujo Sumergido

Son sistemas que proporcionan tratamientos de aguas basado en procesos físicos, químicos y biológicos que se encuentran en los humedales naturales influenciados por las raíces de las plantas acuáticas que crecen de pie en aguas poco profundas, los humedales pueden ser aerobios y anaerobios (Estrada, 2010)<sup>29</sup>.

#### 5.6.3.3 *Parámetros de diseño para los sistemas In Situ*

La normativa ambiental colombiana exige el cumplimiento de dimensiones para las obras hidráulicas, este conjunto de normas están contenidas en el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. A continuación se anuncian los parámetros de diseño del tanque séptico y el FAFA de acuerdo a lo consignado en el título J Del RAS 2010.

#### 5.6.3.3.1 Tanque Séptico

El tanque séptico debe cumplir con las siguientes recomendaciones y dimensiones de acuerdo al título J del RAS.

##### 5.6.3.3.1.1 Localización

Se deben conservar las siguientes distancias mínimas mostradas en la tabla 3.

Tabla 3. Distancias mínimas de localización del tanque séptico

Parámetro	Distancia
Construcciones, límites de propiedad, sumideros y caminos peatonales.	1.5 m
Árboles y cualquier punto de redes públicas de abastecimiento de agua	3 m
Pozos de agua y cuerpos de agua de cualquier naturaleza	25 m



Cortes o terraplenes	8 m
Piscinas	3 m

Fuente: RAS 2010, título J.

#### 5.6.3.3.1.2 parámetros de diseño

##### 5.6.3.3.1.2.1 Volumen del tanque Séptico

El volumen del tanque séptico se calcula teniendo en cuenta el tiempo de retención hidráulico y el caudal de aguas residuales generadas durante el día.

$$V = Q * TRH \quad \text{Ecuación 1. Volumen del tanque séptico.}$$

V= Volumen del Tanque Séptico.

Q= Caudal de Diseño.

TRH= Tiempo de Retención Hidráulico.

##### 5.6.3.3.1.2.2 Ancho del tanque Séptico

El ancho del tanque séptico es calculado con la ecuación 2, en la que se relaciona el área el volumen, altura útil y la relación largo ancho.

$$B = \sqrt{\frac{V}{H_u * \frac{l}{b}}} \quad \text{Ecuación 2. Ancho del Tanque Séptico}$$

B= Ancho.

H<sub>u</sub>= Altura útil.

l/b=Relación largo Ancho.

##### 5.6.3.3.1.2.3 Largo del tanque Séptico

El largo del tanque del tanque séptico se calcula teniendo en cuenta la relación largo ancho asumido.

$$L = B * \frac{l}{b} \quad \text{Ecuación 3. Largo del Tanque Séptico.}$$

L= Largo del tanque séptico.

##### 5.6.3.3.1.2.4 Altura Útil del tanque Séptico Corregida.

Determinadas las dimensiones del tanque séptico se procede a calcular la altura del mismo teniendo en cuenta la ecuación 4.

$$H_u^* = \frac{V}{B * L} \quad \text{Ecuación 4. Altura Útil del Tanque Séptico Corregida}$$

#### 5.6.3.3.1.2.5 Volumen para el almacenamiento de espumas y natas del tanque Séptico

De acuerdo a la OPS/CEPIS el volumen mínimo de espuma y natas debe ser de  $0.7 \text{ m}^3$ , pero este se puede calcular por medio de la ecuación 5, extraída del título J del RAS 2010.

$$V_n = (T_n * P * N)/1000 \quad \text{Ecuación 5. Volumen de natas}$$

$V_n$ = Volumen de natas  $\text{m}^3$ .

$T_n$ =Tasa de acumulación de natas  $\text{l/h} \cdot \text{año}$ .

$P$ =Población aportante.

$N$ =numero asumido de años entre operación de limpieza.

Para la tasa de acumulación se toma como valor de referencia  $3.51 \text{ l/hab} \cdot \text{año}$  valor obtenido por las observaciones y mediciones realizadas en el proyecto ASAS, en cuanto al número de años entre operación de limpieza se debe tomar un valor entre 2 y 6 años.

#### 5.6.3.3.1.2.6 Altura de Natas del tanque Séptico

La altura de natas se calcula por medio de la ecuación 6

$$h_n = \frac{V_n}{A} \quad \text{Ecuación 6. Altura de Natas}$$

$h_n$ = Altura de natas  $\text{m}$ .

$A$ =área de superficie del tanque  $\text{m}^2$

#### 5.6.3.3.1.2.7 Altura De los Orificios del Primer Compartimiento del tanque Séptico

La mayoría de tanques sépticos son construidos con dos compartimientos por lo que determina la altura de los orificios de comunicación entre los compartimientos por medio de la ecuación 7.

$$h_o = 0.4 * H_u^* \quad \text{Ecuación 7. Altura de los Orificios.}$$

$h_o$ = Altura de los Orificios.

#### 5.6.3.3.1.2.8 Largo Primer Compartimiento del tanque Séptico

El largo del primer compartimiento se calcula de acuerdo con la ecuación 8, con la que se garantiza lo recomendado por el título J del RAS 2010.

$$L_1 = \frac{2}{3} L \quad \text{Ecuación 8. Largo Compartimiento 1}$$

$L_1$ = Largo Compartimiento 1.

#### 5.6.3.3.1.2.9 Largo Segundo Compartimiento del tanque Séptico

$$L_2 = \frac{1}{3}L \quad \text{Ecuación 9. Largo Compartimiento 2}$$

$L_2$ = Largo Compartimiento 2.

#### 5.6.3.3.1.2.10 Volumen de Lodos del tanque Séptico

El volumen de lodos es calculado con las dimensiones del primer compartimiento, como se observa en la ecuación 10.

$$V_{lod} = h_o * B * L \quad \text{Ecuación 10. Volumen de Lodos en el tanque Séptico.}$$

$V_{lod}$ = Volumen de lodos.

#### 5.6.3.3.1.2.11 Volumen de Lodos generados por la Población servida.

Se asume una producción per capital de  $0.05 \text{ m}^3/\text{hab}^* \text{ año}$

$$Lod = P * Tl \quad \text{Ecuación 11. Volumen de lodos generados}$$

$Lod$ = Volumen de Lodos generados.

$P$ = Población.

$Tl$ = Producción Per Capital.

#### 5.6.3.3.1.2.12 Limpieza de lodos en el Tanque Séptico.

La limpieza de los lodos sedimentados en el tanque séptico se calcula por medio de la ecuación 12.

$$L_{lod} = \frac{V_{lod}}{Lod} \quad \text{Ecuación 12. Limpieza de Lodos}$$

$L_{lod}$ = Limpieza de lodos.

#### 5.6.3.3.1.2.13 Altura Total del Tanque Séptico.

La altura total es calculada por medio de la sumatoria de las alturas determinadas anteriormente.

$$H = H_u^* + h_n + Bl \quad \text{Ecuación 13. Altura Total del Tanque Séptico.}$$

$H$ = Altura total del Tanque Séptico.

$Bl$ = Borde Libre.

#### 5.6.3.3.1.3 Dimensiones del Tanque Séptico

Las dimensiones del tanque séptico se calculan teniendo en cuenta los siguientes criterios dados por el título J del RAS 2010

- Relación largo y ancho será como mínimo de 2 a 1 y máximo de 5 a 1.
- La profundidad neta debe ser mayor a 0.75 m.
- El borde libre será como mínimo de 0.10 m
- Los diámetros mínimos internos de la tubería de entrada y salida del tanque serán de 100 mm y 75 mm respectivamente.
- Los dispositivos de entrada serán tees o pantallas.
- La batea de la tubería de salida del tanque séptico deberá estar situada 0.05 m por debajo de la batea de la tubería de entrada.
- Cuando el tanque tiene dos compartimientos el volumen del primero debe ser mayor al 50 % del volumen total.
- La pendiente del fondo del tanque deberá ser de 2% con dirección hacia el punto de entrada del efluente.

#### 5.6.3.3.2 Filtro anaerobio de Flujo ascendente

El dimensionamiento del FAFA tendrá un volumen de 0.05 m<sup>3</sup> por habitante servido (Ecuación 14) y está constituido por un falso fondo sobre el cual se colocara el lecho de grava lavada o triturada con una altura del 80% de la altura útil y un diámetro de 12 a 18 mm, mientras que el 20% estará formado por grava con diámetro entre 3 mm a 6 mm (Ecuaciones 15 y 16) (Romero, 1999)<sup>30</sup>.

$$V_{FAFA} = 0.05 * P \quad \text{Ecuación 14. Volumen del FAFA}$$

$$H_{gf} = 0.8 * H_u \quad \text{Ecuación 15. Altura de la Grava del Fondo}$$

$$H_{gs} = 0.2 * H_u \quad \text{Ecuación 16. Altura de la Grava Superior}$$

La tubería de salida estará localizada a una distancia máxima de 20 cm por debajo del techo del filtro, los diámetros mínimos de entrada y salida para el filtro son de 75 mm. Al igual que los tanques sépticos el FAFA debe estar dotado de por lo menos una tapa de inspección (RAS, 2010)<sup>28</sup>.

El largo del FAFA es calculado por medio de la ecuación 17, en la que se relaciona el volumen y la altura de la grava. Además el tiempo de retención hidráulico es calculado con la ecuación 18.

$$L_{FAFA} = \frac{V_{FAFA}}{B * H_{FAFA}} \quad \text{Ecuación 17. Largo del FAFA}$$

$$TRH = \frac{Q}{V_{FAFA}} \quad \text{Ecuación 18. Tiempo de Retención Hidráulico del FAFA}$$

#### 5.6.3.3.3 Lecho de Secado

Los lechos de secado son sistemas para la deshidratación de los lodos digeridos, este procedimiento es llevado a cabo mediante la evaporación del agua presente quedando como residuo un material sólido con contenido de humedad inferior al

70%. Este lodo seco puede ser utilizado como abono en los suelos o ser evacuado para su disposición final (Valencia, 2013)<sup>31</sup>.

#### 5.6.3.3.3.1 Dimensionamiento del Lecho de Secado

El diseño común del lecho de secado es una caja rectangular poco profunda que puede tener un sistema de drenaje o no. El lodo se aplica sobre el lecho en forma de capas de 20 a 40 cm de espesor y se deja secar a temperatura ambiente durante un tiempo requerido para su digestión según lo mostrado en la tabla 4. (Valencia, 2013)<sup>31</sup>.

Tabla 4. Tiempo Requerido para la Digestión de Lodos.

Temperatura °C	Tiempo de Digestión (días)
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

Fuente: CEPIS/OPS

#### 5.6.3.3.3.1.1 Volumen del lecho de Secado

El volumen de lodos es calculado a partir del despeje de la ecuación 12, obteniéndose la ecuación 19. El lecho de Secado tratara los lodos provenientes del tiempo de limpieza de las unidades anteriores.

$$V_{LS} = L_{lod} * Lod \quad \text{Ecuación 19. Volumen de Lodo Lecho de Secado.}$$

#### 5.6.3.3.3.1.2 Área del lecho de Secado

El área del lecho de secado se calcula por medio de la ecuación 20 en la que se relaciona el volumen de lodo a tratar y la altura de aplicación.

#### 5.6.3.3.3.1.3 Longitud del Lecho de Secado

La longitud del lecho de secado es calculado por medio de la ecuación 20, en la que se asume un ancho entre 3 y 6 m de acuerdo a lo recomendado por el CEPIS/OPS.



DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LOS VERTIMIENTOS DE LAS QUEBRADAS BRIGTON,  
BUQUE, ESCORIAL, JURADO Y SEMINARISTA EN EL SECTOR URBANO DEL MUNICIPIO DE PAMPLONA,  
NORTE DE SANTANDER

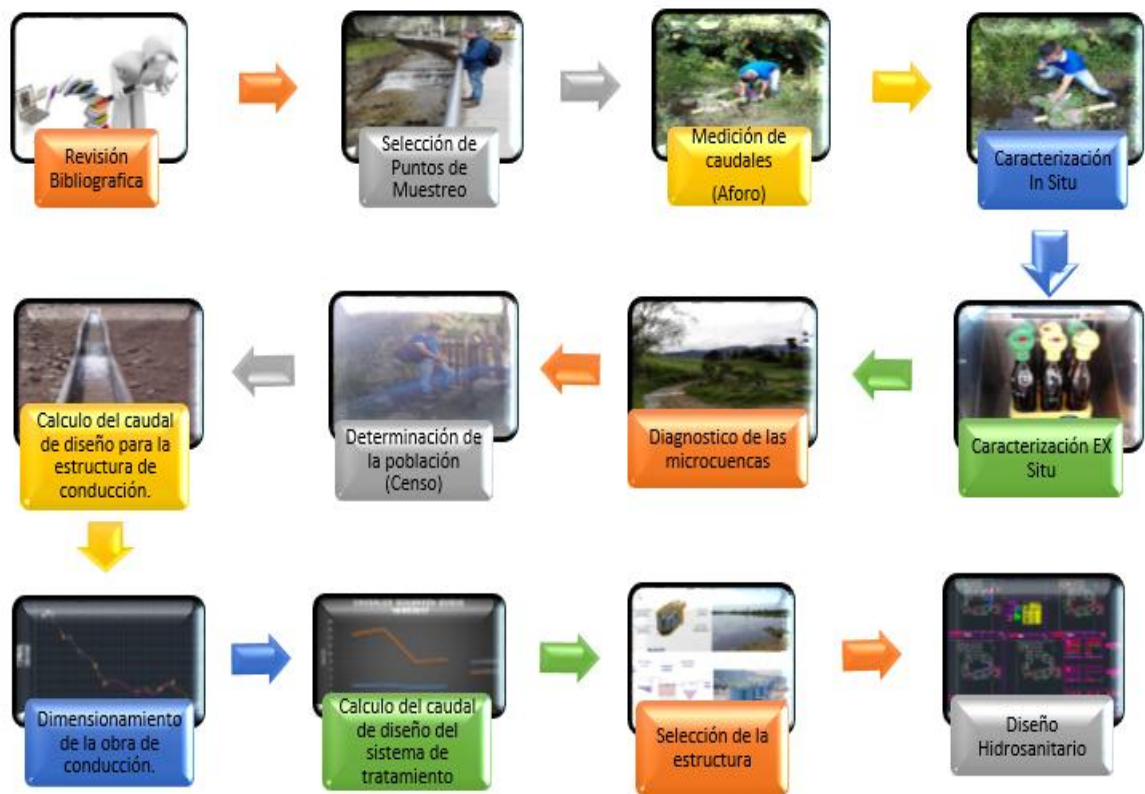
---



## 6 METODOLOGÍA

La metodología desarrollada en esta investigación es de tipo mixta, y fue desarrollada como se muestra en la imagen 4, permitiendo la determinación de las características físicas y químicas de las quebradas que atraviesan el casco urbano del municipio de Pamplona.

Imagen 4. Metodología de investigación



Fuente: Autor, 2017.

### 6.1. Revisión Bibliográfica

Como se observa en la imagen 4 la metodología parte de la revisión bibliográfica, la cual nos proporcionó información acerca de estudios realizados en el área de investigación, esta información fue proporcionada por la empresa de servicios públicos del municipio de Pamplona (Empopamplona S.A E.S.P). Además se utilizaron fuentes como internet y en la biblioteca de la universidad de Pamplona.



## 6.2 Selección de Puntos de Muestreo

Para cada quebrada se seleccionaron dos puntos de muestreo uno en la desembocadura marcado como punto 1 y otro aguas arriba (punto 2), con la finalidad de observar la diferencia de calidad entre el punto 1 y 2.

## 6.3 Medición de Caudales

El cálculo del caudal se realizó por medio del método volumétrico en que se utilizó un recipiente de 12 litros, estas mediciones se realizaron durante tres días a la semana, llevando a cabo cuatro aforos diarios distribuidos temporalmente en las horas diurnas 6 am, 10 am, 2 pm y 6 pm para la parte alta de la quebrada (punto 2), durante cada aforo se conservó un volumen de muestra para al finalizar el día conformar la muestra por medio de la alícuotas. El procedimiento se repitió en el punto 1 con una diferencia de media hora (6:30 am, 10:30 am, 2:30 pm y 6:30 pm) lo que posibilitó el desplazamiento entre la parte alta de la microcuenca y la desembocadura, logrando obtener dos muestras diarias y un total de seis muestras compuestas para cada quebrada estudiada, con la excepción de la quebrada Brighton donde se tomó solo el punto 2 debido a que no vierte directamente al río Pamplonita sino al emisario final del municipio mezclándose con todas las aguas residuales domésticas.

## 6.4 Caracterización In Situ

Por medio de la utilización del multiparametro (fotografía 1) se logró caracterizar el agua In Situ, identificando PH, Temperatura, Oxígeno disuelto y Conductividad, permitiendo tener mayor confiabilidad en los resultados obtenidos.

Fotografía 1. . Caracterización In Situ.



Fuente: Autor, 2017.

## 6.5 Caracterización Ex Situ

Se procedió a llevar las muestras compuestas al laboratorio de control y calidad, donde se identificó la presencia de sólidos Sedimentables, sólidos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, DQO, DBO, turbiedad, Dureza, Cloruros, Nitritos, Fosfatos, Sulfatos, Color y Alcalinidad. La metodología utilizada para la caracterización Ex Situ se muestran a continuación.



### 6.5.1 Calculo de Sólidos Sedimentables

La prueba se realizó en un cono Imhoff tal como se observa en la fotografía 2, con un tiempo de sedimentación de 1 hora en condiciones de quietud, el resultado se reporta en ml/L

Fotografía 2. Cono Imhoff.



Fuente: Autor, 2017.

### 6.5.2 Calculo de Sólidos Totales

La muestra se agito siendo homogenizada, posteriormente se midió entre 10 a 50 ml de muestra ( $V_1$ ), siendo transferidos a la capsula de porcelana previamente pesada ( $W_1$ ), se deja evaporar la muestra sobre una plancha, se enfría en un desecador y se pesó la capsula ( $W_2$ ). El cálculo se los sólidos totales se realizó por medio de la ecuación 20.

$$ST = \frac{W_2 - W_1}{V_1} * 1000 \quad \text{Ecuación 20. Sólidos Totales}$$

$$ST = \text{sólidos totales} \frac{mg \text{ ST}}{L}$$

$W_1$  = Peso de la capsula de porcelana.

$W_2$  = peso de la muestra  
+ peso de la capsula después del calentamiento en el horno.

$V_1$  = volumen de la muestra en litros.

1000 = factor de conversión de gramos a miligramos.

Fotografía 3. Capsulas de Porcelanas en la plancha.



Fuente: Autor, 2017.

#### 6.5.3 Calculo de Sólidos Suspendidos Totales.

Se pesó el crisol de porcelana con el filtro de fibra de vidrio ( $W_4$ ), posteriormente se filtra de 10 a 20 ml de muestra homogenizada ( $V_2$ ) en el equipo de filtración y se seca en el horno a 105 °C durante una hora, posteriormente se enfría y pesa ( $W_5$ ). Mediante la ecuación 21 se obtiene el resultado de SST.

$$SST = \frac{W_5 - W_4}{V_2} * 1000 \quad \text{Ecuación 21. Sólidos Suspendidos Totales}$$

$$SST = \text{Sólidos Suspendidos totales} \frac{mg}{L}$$

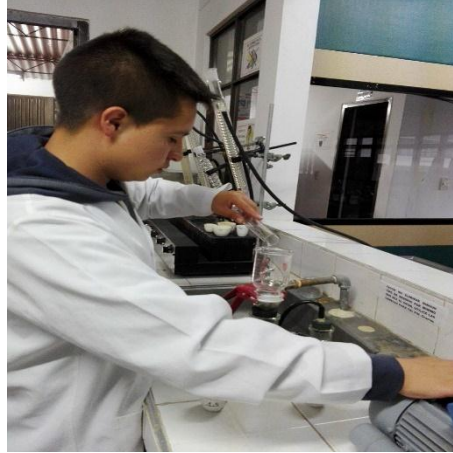
$W_4$  = peso de la capsula de porcela + papel filtro.

$W_5$  = peso de la muestra + peso del crisol después del calentamiento en el horno.

$V_2$  = volumen de la muestra (litros).

1000 = factor de conversión de gramos a miligramos.

Fotografía 4. . Equipo de filtración.



Fuente: Autor, 2017.

#### 6.5.4 *Calculo de Sólidos Suspendidos Volátiles.*

Se toma la capsula de porcelana anterior y se colocó en la mufla previamente calentada a 505°C durante una hora, se dejó enfriar y se pesa ( $W_6$ ), calculando los SSV en la muestra por medio de la ecuación 22.

$$SSV = \frac{W_5 - W_6}{V_2} * 1000 \quad \text{Ecuación 22. Sólidos Suspendidos Totales}$$

$$SSV = \text{Sólidos suspendidos volátiles} \frac{mg}{L}.$$

$W_5$  = peso de la muestra de sólidos suspendidos totales.

$W_6$  = peso de la muestra + peso del crisol después del calentamiento a 505 °C.

$V_2$  = volumen de la muestra (litros).

1000 = factor de conversión de gramos a miligramos.

Fotografía 5. Capsula de Porcelana con filtro de fibra de vidrio.



Fuente: Autor, 2017.

#### 6.5.5 Calculo de DQO

Se agregó una muestra de 2 ml en el tubo de digestión, posteriormente se añadieron 1.5 ml de solución digestora y 3.5 de solución catalizadora (reactivo de ácido sulfúrico). Se llevó el tubo de digestión al reactor para DQO durante dos horas y se deja enfriar a temperatura ambiente, finalmente se llevó al espectrofotómetro para leer con el programa 480.

Fotografía 6. Tubos de digestión en el reactor.



Fuente: Autor, 2017.

#### 6.5.6 Calculo de $DBO_5$

Para el cálculo de la  $DBO_5$  se utilizó el método manométrico que de acuerdo al resultado obtenido de la DQO se toma el volumen de la muestra según la tabla 2, que es llevado a la botella posteriormente se le agrega 3 gotas de inhibidor y 2 lentejuelas de NaOH. Colocando el manómetro en cero se deja incubar durante 5 días, obteniendo al final el consumo de oxígeno, determinando la  $DBO_5$  en mg/L.

Fotografía 7. . Botellas de Oxitop.

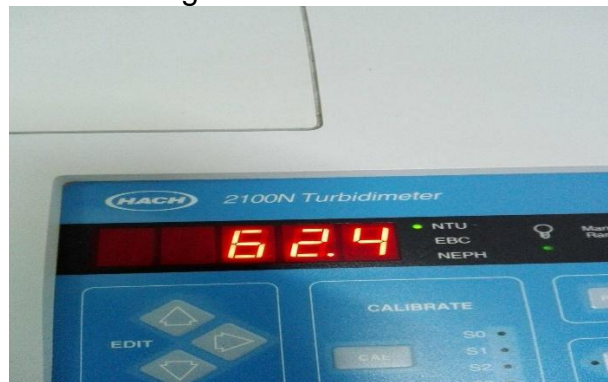


Fuente: Autor, 2017.

#### 6:5.7 Determinación de la turbiedad.

La turbiedad se determinó por medio de la utilización del turbidímetro en el que se introdujo la muestra para ser leída, obteniendo el resultado en unidades Nefelométricas tal como se muestra en la fotografía 8.

Fotografía 8. Turbidímetro.



Fuente: Autor, 2017.

#### 6.5.8 Determinación de Dureza.

Se tomó un volumen de muestra de 100 ml en un vaso de precipitado y se agregó 0.5 ml de solución buffer y 3 gotas de indicador negro de eriocromo T. Posteriormente se realizó el montaje de titulación con sustancia titulante EDTA determinando el volumen utilizado ( $V_2$ ). Finalmente se calcula la concentración por medio de la ecuación 23.

$$\frac{\text{Mg CaCO}_3}{L} = \frac{V_1 * [\text{EDTA}] * 100000}{V_2} \quad \text{Ecuación 23. Dureza}$$



$V_1 = \text{Volumen en ml de la sustancia titulante utilizada (EDTA)}.$

$[EDTA] = \text{concentración de la sustancia titulante}.$

$V_2 = \text{Volumen de la muestra en ml de la muestra utilizada}.$

#### 6.5.9 Determinación de cloruros.

El Método Argentométrico fue utilizado para determinar cloruros, inicialmente se tomó una muestra de 100 ml y se agregó 1 ml de solución indicadora, posteriormente se tituló con nitrato de plata hasta observarse un color amarillo-rosado, determinando el volumen utilizado para calcular los cloruros con la ecuación 24.

$$Cl \left( \frac{mg}{L} \right) = \frac{(A-B) * N * 35450}{V} \quad \text{Ecuación 24. Cloruros}$$

$A = \text{gasto de titulante en la valoración de la muestra, ml}.$

$B = \text{gasto de titulante por el blanco, ml}.$

$V = \text{volumen de muestra tomado para el ensayo, ml}.$

#### 6.5.10 Determinación de Nitritos.

Para la determinación de nitritos se tomó una muestra de 10 ml a la que se le agregó 3 gotas de indicador para nitritos y se deja reaccionar durante 20 minutos, posteriormente se llevó al espectrofotómetro donde se lee con el programa 371.

Fotografía 9. Determinación de Nitritos.



Fuente: Autor, 2017.

#### 6.5.11 Determinación de Fosfatos.

En la determinación de fosfatos se añade un volumen de muestra de 20 ml en un vaso de precipitado, posteriormente se agregó 5 ml de Vanadato Molibdato se homogeniza y se deja reaccionar durante 10 minutos. Se lee en el espectrofotómetro con el programa 490.

Fotografía 10. Determinación de Fosfatos

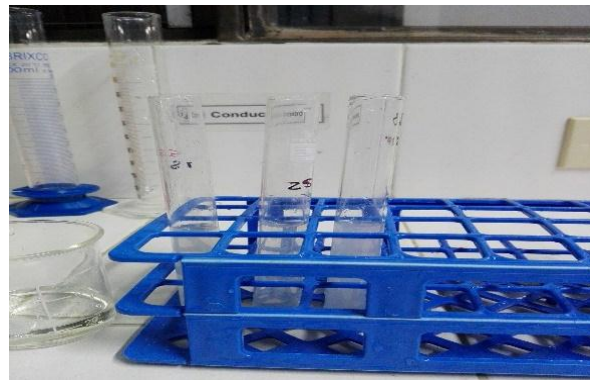


Fuente: Autor, 2017.

#### 6.5.12 Determinación de Sulfatos.

En una muestra de 10 ml se agrega una papeleta de reactivo para sulfatos y se deja reaccionar durante 5 minutos para ser leído en el espectrofotómetro con el programa 680.

Fotografía 11. Determinación de sulfatos.



Fuente: Autor, 2017.

#### 6.5.13 Determinación de Color.

Se tomó una muestra la cual fue depositada en la celda de cuarzo para ser llevada al fotómetro.

#### 6.5.14 Determinación de Alcalinidad.

Se tomó un volumen de muestra de 100 ml y se agregaron 3 gotas del indicador de fenolftaleína por medio de la titulación, utilizando como sustancia titulante ácido sulfúrico. Se determinó el volumen de titulante empleado cuando vira a un naranja ladrillo.

## 6.6 Diagnósticos de las Microcuenca Brighton, Buque, Escorial, Jurado y Seminarista.

Se realizaron recorridos de campo por las diferentes microcuencas identificando actividades antropogénicas, suelos y vegetación, con la finalidad de determinar cuáles son las causas de la contaminación identificada en la caracterización.

Fotografía 12. Identificación de actividades antropogénicas.



Fuente: Autor, 2017.

## 6.7 Determinación de la población.

Se realizó un censo en las microcuencas con la finalidad de conocer la población que vierten en las inmediaciones de los afluentes determinándose el número de habitantes y viviendas en cada zona.

Fotografía 13. Censo en las Microcuencas.



Fuente: Autor, 2017.

## 6.8 Calculo del Caudal de Diseño para la estructura de Conducción.

El cálculo del caudal de diseño de la estructura de conducción se realizó por medio de la ecuación 25, teniendo en cuenta las agrupaciones de los sistemas.

$$Q = P * D_{Bruta} * C \quad \text{Ecuación 25. Caudal de diseño estructura de conducción.}$$



### 6.9 Dimensionamiento de la obra de conducción.

Obtenido el caudal de diseño para cada sistema se procedió a calcular las dimensiones de la tubería por medio de la fórmula de Hazen Williams Ecuación 26.

$$D = \left( \frac{Q}{0.279 * C * S} \right)^{\frac{1}{2.63}} \quad \text{Ecuación 26. Formula de Hazen Williams}$$

### 6.10 Calculo del Caudal de Diseño de los sistemas de tratamiento.

El caudal de diseño de cada sistema de tratamiento se calculó utilizando la ecuación 25 mencionada anteriormente, teniendo en cuenta que cuando se agrupan varias viviendas en un mismo sistema se realiza la sumatoria de habitantes para el cálculo del gasto del sistema.

### 6.11 Selección de la estructura de Tratamiento.

Determinado el caudal de diseño se procedió a realizar una revisión bibliográfica de tratamientos in situ de aguas residuales, además se aplicó lo recomendado por el RAS en los titulo J para tratamiento de aguas residuales en el sitio de origen.

### 6.12 Diseño hidrosanitario.

Seleccionada la estructura de Tratamiento se procedió a realizar el dimensionamiento de las estructuras de los sistemas de tratamiento con la finalidad de dar cumplimiento a la normativa ambiental colombiana expuesta en la Resolución 1096 del 2000.

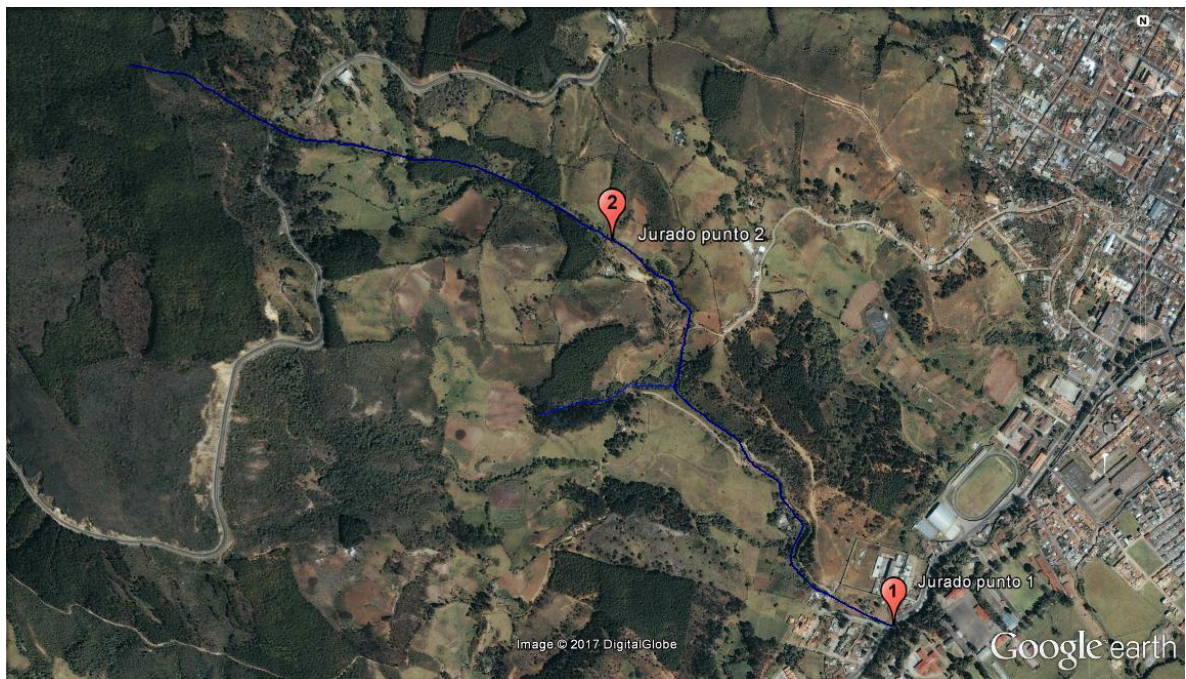
## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.1 QUEBRADA JURADO

La caracterización de la quebrada jurado se llevó a cabo en dos puntos de la microcuenca ubicados en la desembocadura (Punto 1) y en la parte media (punto 2) tal como se muestra en la imagen 5.

La caracterización inició el día 4 de abril y termino el día 6 de abril. Durante la caracterización se midieron parámetros In Situ y Ex Situ.

Imagen 5. Ubicación de puntos de muestreo. Quebrada Jurado.



Fuente: Autor. Hecho: Google Earth.

Los parámetros medidos In Situ fueron oxígeno disuelto, Ph, Temperatura y Conductividad, mientras que los parámetros Ex Situ fueron DQO, DBO5, ST, SST, SSV, SS, sulfatos, fosfatos, nitritos, turbiedad, color, cloruros, dureza y alcalinidad. Los resultados se muestran a continuación:

#### 7.1.1 Caracterización IN Situ

##### 7.1.1.1 Caracterización quebrada Jurado día 04/04/2017

Los resultados de la caracterización realizada el día 4 de abril se muestran en la tabla 5 donde se identificó que el oxígeno disuelto presenta su punto máximo en las horas de la mañana en la parte alta como en la baja, disminuyendo su

concentración a medida que aumenta la temperatura. Esta disminución se debe a que la velocidad de oxidación biológica aumenta con la temperatura y que la demanda de oxígeno aumenta simultáneamente, los rangos típicos registrados indican una condición aceptable siendo adecuada para la vida acuática. El PH se encuentra en los rangos de concentración permisibles para aguas dulces estando entre 6.45 y 8.5, al igual que los parámetros anteriores la conductividad indica que la calidad del agua es buena, aunque se observa que tiende a aproximarse a el rango de poco contaminada.

Tabla 5. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Jurado 04/04/2017.

Punto	Fecha	Hora	OD	PH	Conductividad	Temperatura
1	4/04/2017	6:30 am	7.02	7.6	142	13.9
1	4/04/2017	10:30am	6.56	8.69	150.4	17.7
1	4/04/2017	2:30 pm	6.02	8.62	148.5	17.7
1	4/04/2017	5:30 pm	6.68	8.21	148.1	16.7
2	4/04/2017	6:00 am	7.1	8.01	158.3	14.4
2	4/04/2017	10:00am	6.08	8.03	139.7	15
2	4/04/2017	2:00 pm	5.63	8.2	141.2	15.7
2	4/04/2017	5:00 pm	5.96	8.2	143.2	15

Fuente: Autor, 2017.

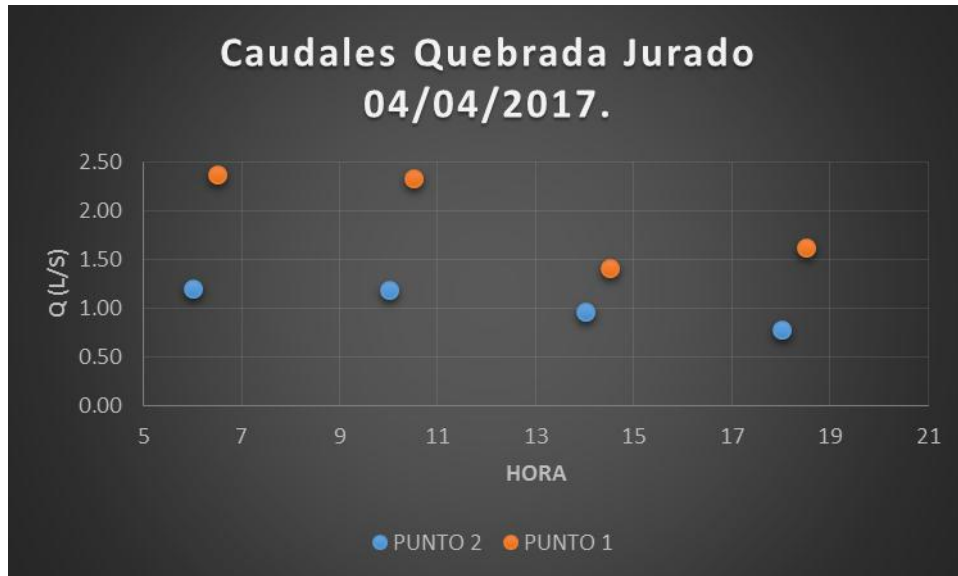
Los resultados de los aforos se presentan en la tabla 6 donde se observa el comportamiento del caudal durante el transcurso del día, siendo máximo en las horas de la mañana tanto en el punto 1 como en el 2. Presentándose caudales promedios de 1.93 l/s y 1.033 l/s respectivamente tal como se observa en el grafico 1, existiendo una diferencia de 0.9 l/s para el día 4 de abril entre los dos puntos caracterizados, parte de este caudal es aportado por una ramificación existente. En el grafico 1 se observa el comportamiento del caudal durante las 4 mediciones realizadas el día 4 de abril.

Tabla 6. Caudales Quebrada Jurado 04/04/2017.

PUNTO 1		PUNTO 2	
HORA	Q (L/S)	HORA	Q (L/S)
6:30 a. m.	2.3705822	6:00 a. m.	1.19862263
10:30 a. m.	2.33845244	10:00 a. m.	1.19142851
2:30 p. m.	1.42113908	2:00 p. m.	0.96009121
6:30 p. m.	1.62648464	6:00 p. m.	0.78503403

Fuente: Autor, 2017.

Gráfico 1. Caudales Quebrada Jurado 04/04/2017.



Fuente: Autor, 2017.

#### 7.1.1.2 Caracterización quebrada Jurado día 05/04/2017

En la tabla 7, se observa el comportamiento del oxígeno disuelto y su relación directa con la temperatura, actividades naturales y antrópicas, debido a disminuye en el transcurso del día. La conductividad presenta valores altos lo que indica la presencia de sales disueltas, además el agua está recibiendo un aporte de contaminación encontrándose casi en el valor de clasificación de agua poco contaminada. El PH indica que está teniendo a ser alcalina debido a la composición del suelo.

Tabla 7. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Jurado 05/04/2017.

Punto	Fecha	Hora	OD	PH	Conductividad	Temperatura
1	5/04/2017	6:30	7.16	8.36	156.3	13.2
1	5/04/2017	10:30	6.54	8.1	148.8	16.6
1	5/04/2017	2:30	6.11	8.06	153.6	18.2
1	5/04/2017	5:30	6.53	8.06	160.5	16.8
2	5/04/2017	6:00	6.6	8.31	142.6	13.9
2	5/04/2017	10:00	5.96	8.11	141.6	15.9
2	5/04/2017	2:00	5.89	8.22	142.5	17.8
2	5/04/2017	5:00	6.6	8.13	139.1	15.8

Fuente: Autor, 2017.

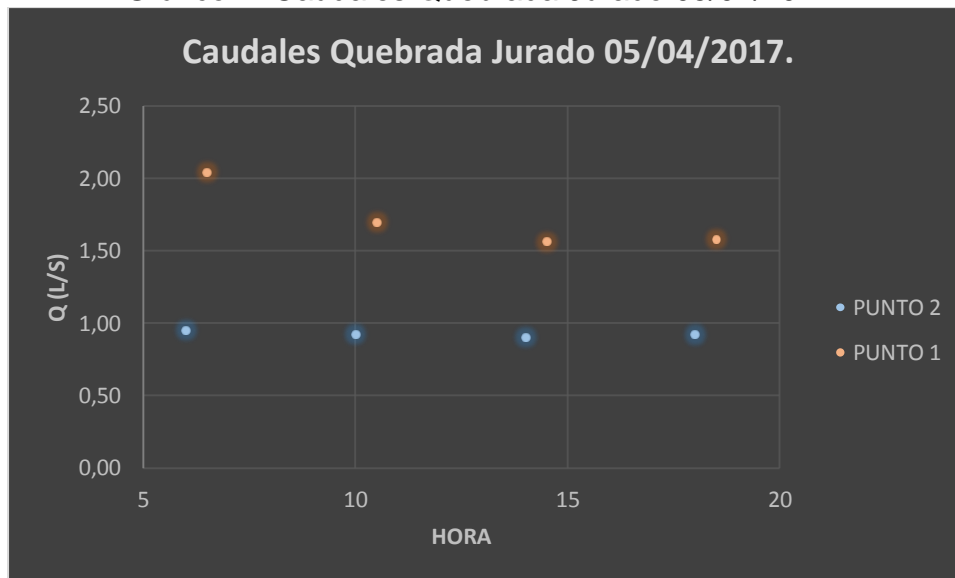
En la tabla 8 se observan los caudales determinados el día 5 de abril, presentándose caudales promedios de 1.72 L/S y 0.92 L/S lo que indica una disminución del caudal debido a las condiciones de tiempo atmosférico como la temperatura y actividades agrícolas en la microcuenca, presentándose una diferencia de caudal de 0.79 l/s entre el punto 1 y 2. Los resultados son representados en el grafico 2 en el que se observa la disminución y aumento dependiendo de la hora del día y las condiciones del tiempo.

Tabla 8. Caudales Quebrada Jurado 05/04/2017.

PUNTO 1		PUNTO 2	
HORA	Q (L/S)	HORA	Q (L/S)
6:30 a. m.	2.04360637	6:00 a. m.	0.95132118
10:30 a. m.	1.70215554	10:00 a. m.	0.92781119
2:30 p. m.	1.56502329	2:00 p. m.	0.90605942
6:30 p. m.	1.58114625	6:00 p. m.	0.92276314

Fuente: Autor, 2017.

Gráfico 2. Caudales Quebrada Jurado 05/04/2017.



Fuente: Autor, 2017.

### 7.1.1.3 Caracterización quebrada Jurado día 06/04/2017

De acuerdo a la Tabla 9 el PH registrado en la caracterización para el día 6 de abril indica su naturaleza alcalina registrándose valores por encima de 8 tanto para el punto 1 como para el 2, estando casi al límite superior de calificarse como no acto, en cuanto al oxígeno disuelto se observa que este aumenta a medida que desciende la microcuenca debido a los resaltos hidráulicos que existen.

La conductividad conserva su tendencia de estar por encima de los 130 MS/cm por lo que deja evidenciar cierta contaminación.



Tabla 9. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Jurado 06/04/2017.

Punto	Fecha	Hora	OD	PH	Conductividad	Temperatura
1	6/04/2017	6:30	6.96	8.1	179.5	14.3
1	6/04/2017	10:30	6.94	8.34	177	16.2
1	6/04/2017	2:30	6.93	8.38	147.1	17.7
1	6/04/2017	5:30	7.02	8.34	142.3	17.1
2	6/04/2017	6:00	1	8.36	141.1	14.6
2	6/04/2017	10:00	5.96	8.27	146.1	16.7
2	6/04/2017	2:00	5.28	8.03	138.2	15.8
2	6/04/2017	5:00	5.36	8.04	134.7	15.3

Fuente: Autor, 2017.

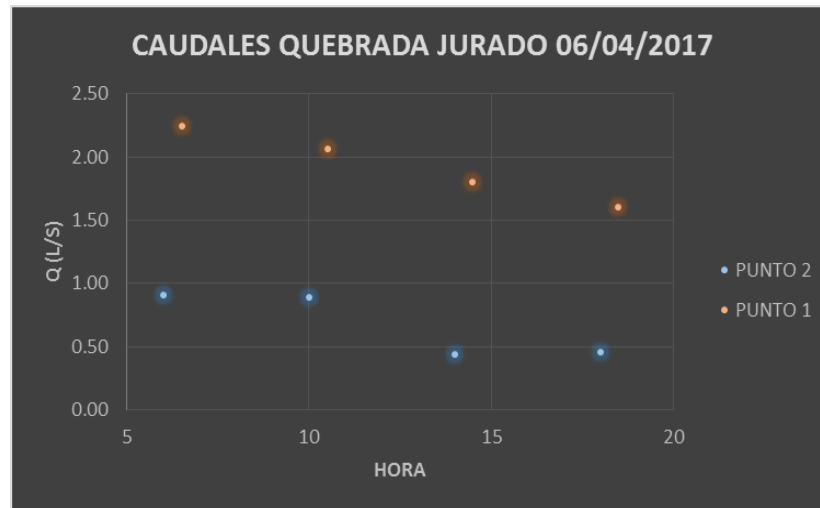
En la tabla 10 se registran los caudales del día 6 de abril observándose caudales promedios de 1.92 L/S y 0.673 L/S, presentando una diferencia entre los puntos 1 y 2 de 1.25 l/s siendo el caudal promedio diario más alto aportado por el vertimiento identificado, este aporte se presentó por las precipitaciones presentadas en la madrugada, en el grafico 3 se muestran los resultados gráficamente.

Tabla 10. Caudales Quebrada Jurado 06/04/2017.

PUNTO 1		PUNTO 2	
HORA	Q (L/S)	HORA	Q (L/S)
6:30 a. m.	2.24479068	6:00 a. m.	0.90979895
10:30 a. m.	2.0616129	10:00 a. m.	0.8880494
2:30 p. m.	1.800862	2:00 p. m.	0.43959493
6:30 p. m.	1.60758382	6:00 p. m.	0.45551973

Fuente: Autor, 2017.

Gráfico 3. Caudales Quebrada Jurado 06/04/2017.



Fuente: Autor, 2017.

### 7.1.2 Análisis de Laboratorio Quebrada Jurado

En los análisis de laboratorio se determinaron los sólidos por el método gravimétrico y los parámetros Físico químicos presentes en la quebrada jurado.

#### 7.1.2.1 Sólidos

##### 7.1.2.1.1 Sólidos Totales

Los sólidos totales variaron entre 78 mg/l y 158 mg/l como se observa en la tabla 11, para el punto de la desembocadura dependiendo de las condiciones climáticas, mientras en la parte alta varía entre 32 mg/l y 68 mg/l, los valores máximo fueron provocado por el arrastre de material debido a las precipitaciones, estos resultados indican la presencia de contaminación.

Tabla 11. Sólidos Totales Quebrada Jurado.

Pt	Fecha	Peso crisol (gr)	Peso Seco (gr)	Volumen (ml)	Volumen (L)	ST mg/L
1	4/04/2017	40.8365	40.8422	50	0.05	114
2	4/04/2017	33.1697	33.1731	50	0.05	68
1	5/04/2017	33.2216	33.2295	50	0.05	158
2	5/04/2017	34.4576	34.4606	50	0.05	60
1	6/04/2017	35.9707	35.9746	50	0.05	78
2	6/04/2017	32.8166	32.8182	50	0.05	32

Fuente: Autor, 2017.

##### 7.1.2.1.2 Sólidos Suspendidos Totales

De acuerdo a la tabla 12 los sólidos suspendidos totales fueron determinados obteniendo rangos entre 65 y 110 mg/l en el punto 1. Mientras en el punto 2 se presentaron valores entre 20 y 50 mg/l. El rango registrado para el punto 1 nos da

a conocer indicios de contaminación, mientras que el punto 2 indica buena calidad y bajos contenidos de sólidos en suspensión.

Tabla 12. Sólidos Suspendidos Totales. Quebrada Jurado.

Pt	Fecha	Peso crisol + Filtro (gr)	Peso crisol + Filtro después del calentamiento (gr)	Volumen (ml)	Volumen (L)	SST mg/L
1	4/04/2017	16.2789	16.2806	20	0.02	85
2	4/04/2017	16.424	16.4249	20	0.02	45
1	5/04/2017	15.7292	15.7314	20	0.02	110
2	5/04/2017	18.4673	18.4683	20	0.02	50
1	6/04/2017	16.8552	16.8565	20	0.02	65
2	6/04/2017	21.3612	21.3616	20	0.02	20

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.1.2.1.3 Sólidos suspendidos Volátiles

Los sólidos suspendidos volátiles indican una concentración débil debido a que no superan los 80 mg/l, tal como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13. Sólidos Suspendidos Volátiles. Quebrada Jurado.

Pt	Fecha	Peso crisol + Filtro después del calentamiento a 105°C (gr)	Peso crisol + Filtro después del calentamiento a 505°C (gr)	Volumen (ml)	Volumen (L)	SSV (mg/L)
1	4/04/2017	16.2791	16.2787	20	0.02	20
2	4/04/2017	16.424	16.4238	20	0.02	10
1	5/04/2017	15.7314	15.7311	20	0.02	15
2	5/04/2017	18.4683	18.4681	20	0.02	10
1	6/04/2017	16.8565	16.8561	20	0.02	20
2	6/04/2017	21.3616	21.3614	20	0.02	10

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.1.2.1.4 Sólidos Sedimentables

Los sólidos sedimentables se encuentran entre 0.2 ml/l y 0.1 ml/l.

Tabla 14. Sólidos Sedimentables. Quebrada Jurado.

Punto	Fecha	sólidos sedimentables
1	4/04/2017	0.2
2	4/04/2017	0.1
1	5/04/2017	0.2
2	5/04/2017	0.1



1	6/04/2017	0.2
2	6/04/2017	0.1

Fuente: Autor.

### 7.1.2.2 Caracterización Físico química

Los resultados de la caracterización se presentan en la tabla 15. Los valores de DQO oscilan entre 209 mg/l y 245 mg/l para el punto 1, en el punto dos se registran valores entre 83 mg/l y 102 mg/l clasificándose como aguas contaminadas débiles tanto en la parte alta como en la desembocadura.

La DBO<sub>5</sub> permite confirmar la contaminación presente en la microcuenca ya que el valor de esta se encuentra en un rango de 55 a 180 mg/l para los dos puntos analizados, la DBO indica que el punto 1 se puede calificar como incluso fuertemente contamina debido a que se encuentra por encima de 129 mg/l.

La turbiedad indica la presencia de solidos tal como se determinó en los numerales anteriores. En cuanto a la dureza se determinó que son aguas muy duras, por la presencia de compuestos de minerales de sales de magnesio y calcio.

Los resultados de la caracterización semanal se observan en la tabla 16, por lo cual las aguas de la quebrada Jurado se clasifican como aguas contaminadas de acuerdo a los valores de DQO Y DBO<sub>5</sub>.

Tabla 15. Caracterización Físico Química Quebrada Jurado.

PUNTO	FECHA	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	TURBIEDAD	SULFATOS	FOSFATOS	NITRITOS	COLOR	CLORUROS	DUREZA	ALCALINIDAD
1	4/04/2017	245	150	4.21	12	3.6	0.056	95	13.99	49.6	50.7
2	4/04/2017	102	65	3.59	20	3.4	0.032	79	12.25	59.2	79.0
1	5/04/2017	296	180	6.99	10	4.5	0.102	94	10.50	54.8	43.4
2	5/04/2017	174	95	3.94	19	3.5	0.028	91	13.99	62.8	80.7
1	6/04/2017	209	140	6.41	13	3.8	0.036	87	10.50	35.1	47.8

2	6/04/2017	83	55	4.32	19	2.9	0.06	72	10.50	58.8	59.2
---	-----------	----	----	------	----	-----	------	----	-------	------	------

Fuente: Autor, 2017.

Tabla 16. Caracterización semanal Quebrada Jurado

PARAMETRO	CARACTERIZACIÓN SEMANA PUNTO 1	CARACTERIZACIÓN SEMANA PUNTO 2
Q	1.86	0.88
DQO	248.30	122.48
DBO5	155.80	73.00
ST	115.14	55.98
SST	85.80	40.37
SSV	18.46	10.00
SS	0.20	0.10
SULFATOS	11.73	19.39
FOSFATOS	3.95	3.31
NITRITOS	0.06	0.04
TURBIEDAD	5.83	3.90
COLOR	91.93	81.43
PH	8.23	8.16
T	16.34	15.49
OD	6.74	6.14
CONDUCTIVIDAD	157.79	143.12
CLORUROS	11.71	12.42
DUREZA	46.20	60.36
ALCALINIDAD	47.45	74.54

Fuente: Autor, 2017.

### 7.1.3 Diagnostico de la Quebrada Jurado

En la quebrada jurado se identificó que se desarrollan actividades agrícolas y ganaderas tal y como se muestra en la fotografía 14, además se llevó a cabo un censo registrándose 52 habitantes distribuidos en 10 viviendas que no cuentan con alcantarillado por lo tanto las aguas residuales domesticas son vertidas sobre la quebrada jurado y sus alrededores (Tabla 17).

Fotografía 14. Actividades Agrícolas en la microcuenca Jurado.



Fuente: Autor, 2017.

Tabla 17. Censo Quebrada Jurado.

Casa	Número de habitantes
1	14
2	3
3	3
4	3
5	8
6	4
7	5
8	4
9	5

10	3
----	---

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.1.4 Soluciones para los Vertimientos de la Quebrada Jurado

Debido a la dificultad de construir un sistema integrado de tratamiento para las viviendas de la quebrada Jurado, se propone construir sistemas individuales o agrupados dependiendo de la cercanía. En la imagen 6 se muestra la localización de las viviendas censadas fuentes de contaminación.

Imagen 6. Quebrada Jurado. Localización puntos de contaminación.



Fuente: Autor. Hecho Arc Gis.



#### 7.1.4.1 Selección del Tratamiento

Para la selección del tratamiento se tuvo en cuenta la tabla 18, tomada del título J del RAS 2010 en la que se muestran las opciones de tratamiento in situ. Debido a las condiciones del área de influencia de la quebrada Jurado, se optó por implementar un tanque séptico con pre y postratamiento, ya que se cuenta con disponibilidad de agua por encima de los 40 lppd, además existe disponibilidad de terreno mayor a 1000 m<sup>2</sup>, a pesar que la comunidad manifestó no ganar más de un salario mínimo se selecciona esta tecnología por presentar la mayor eficiencia en remoción de materia orgánica lo que garantiza la correcta disposición de las aguas residuales domesticas de la parte rural.

Tabla 18. Opciones de tratamiento in situ frente a variables de decisión.

OPCIONES TECNOLOGI CAS DE TRATAMIENT O IN SITU	VARIABLES DE DECISIÓN								
	Cantidad de agua disponible		Disponibilidad de terreno		Permeabilidad del suelo		Zona inundable	Compostaje de las heces	Muy baja capacidad económica
	<40 lppd	>40 lppd	500-1000 m <sup>2</sup>	>1000 m <sup>2</sup>	Permeable	No permeable			
Tanque Séptico con pre y postratamiento	No	Si	No	Si	Si	Condición 1	No	No	No
Tratamiento de aguas grises	Opcional 1 2	Opcional 1 2	No	Opcional 2	Opcional 1 2	En humedal	No	Opcional 2	No
Letrina de hoyo seco-LHS	Si	No	Si	Si	Si	Si	No	No	Si
Letrina de sello hidráulico-LSH	No	Si	No	Si	Si	No	No	No	No
Letrina abonera secas familiares-LASF	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si	Si	No

Letrinas de pozo elevado	-	-	-	-	-	-	si	-	No
--------------------------	---	---	---	---	---	---	----	---	----

Fuente: RAS 2010.

De acuerdo a la selección realizada por medio de la tabla 18, debido a las condiciones de la vereda Jurado se opta por implementar un sistema compuesto por un, tanque séptico como tratamiento primario y filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) como postratamiento.

#### 7.1.4.2 Diseño de los Sistemas de Tratamiento In Situ

El dimensionamiento de los sistemas de tratamiento para las aguas residuales de la quebrada Jurado se realizó de acuerdo a lo expuesto por el RAS en sus títulos E y J, además de tener en cuenta las recomendaciones de diseño dadas por Romero en el libro tratamiento de aguas residuales.

Para el dimensionamiento del tanque séptico y del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), se tendrán en cuenta los siguientes parámetros de diseño para los sistemas propuestos.

De acuerdo al título J del RAS 2010 se asumen los siguientes parámetros de diseño para el tanque séptico:

- Relación largo/ancho (l/b) de 2:1
- Dispositivos de entradas Tees.
- Diámetro de la tubería de entrada y salida serán respectivamente de 4 y 3 pulgadas.
- Pendiente de fondo del tanque séptico será de 2%.

En cuanto a los parámetros de diseño para el filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) fueron tomas del capítulo 25 del libro tratamiento de aguas residuales Teoría y principios de diseño del autor Jairo Alberto Romero Rojas, donde se recomienda utilizar una altura útil mayor o igual a 0.5 m

#### 7.1.4.2.1 Caudal de Diseño

El caudal de diseño se calculó de acuerdo al nivel de complejidad y dotación neta dadas en las tablas 19 y 20, tomadas del Ras Título A.

Tabla 19. Asignación de nivel de complejidad.

Nivel de complejidad	Población en la zona	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	<2500	Baja

Medio	2501 a 12500	Baja
Medio-alto	12501 a 60000	Media
Alto	>60000	Alta

Fuente: RAS, 2016.

Tabla 20. Dotación Neta

Altura Promedio Sobre el nivel del mar de la zona atendida	Dotación neta máxima (L/Hab*Día)
>2000 m.sn.m	120
1000-2000 m.s.n.m	130
<1000 m.sn.m	140

Fuente: Resolución 0330 de 2017.

Según la tabla 19 se seleccionó un nivel de complejidad bajo debido al número de habitantes con la dotación neta mínima (tabla 20) y un coeficiente de retorno del 85% de acuerdo a lo recomendado en el título J del RAS, 2010.

#### 7.1.4.2.1.1 cálculo de los caudales de diseño

De acuerdo a la distribución de las viviendas de la quebrada jurado se decide diseñar 6 sistemas de tratamiento por lo cual se tendrán el mismo número de caudales de diseño calculados por medio de la ecuación 27, en la tabla 21 se muestran los resultados obtenidos.

$$Q = P * D_{Bruta} * C \quad \text{Ecuación 27. Caudal de diseño}$$

Q= caudal

P= población.

$D_{Bruta}$ = Dotación Bruta.

C= coeficiente de retorno.

En el cálculo de la dotación bruta se asume la pérdida máxima (25%) para darle un factor de seguridad al cálculo del caudal de diseño.



$$D_{Bruta} = \frac{D_{Neta}}{1-\%P} \quad \text{Ecuación 28. Dotación Bruta}$$

$D_{Neta}$  = Dotación neta.

$\%P$  = porcentaje de perdida.

Tabla 21. Calculo del Caudal de Diseño. Quebrada Jurado.

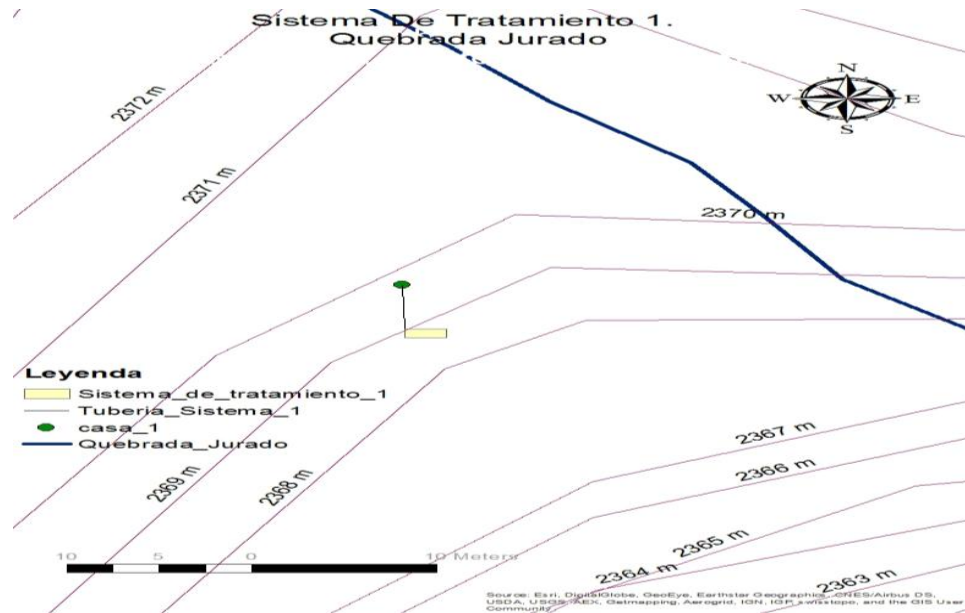
Sistema de tratamiento	Viviendas Agrupadas	Dotación Bruta	Población	Caudal (L/día)
1	1	120	14	1428
2	2-3-4	120	9	918
3	5	120	8	816
4	6-7	120	9	918
5	8	120	4	408
6	9-10	120	8	816

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.1.4.2.2 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 1, *Quebrada Jurado*

La ubicación del sistema de tratamiento 1 se observa en la imagen 7, estará ubicado a 5 m de la vivienda con tubería de diámetro calculado por medio de la ecuación 26 de 0.00511 m seleccionándose una tubería de 4 in de acuerdo al diámetro mínimo para aguas residuales. Las dimensiones del sistema de tratamiento 1 se observan en la imagen 8, a continuación se muestran los cálculos para el tanque séptico y el FAFA.

Imagen 7. Sistema de Tratamiento 1. Quebrada Jurado



Fuente: Autor. Hecho Arc Gis.

#### 7.1.4.2.2.1 Tanque Séptico para el tratamiento 1, *Quebrada Jurado*.

Para el diseño del tanque séptico se asume un tiempo de retención hidráulico de 1 día, y una altura útil de 1.3 m de acuerdo a lo recomendado en el título E del RAS 2000.

En la tabla 22 se muestran el dimensionamiento del tanque séptico de acuerdo a los resultados de los cálculos obtenidos los cuales fueron aproximados buscando dar medidas de construcción.

Tabla 22. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 1.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Borde Libre	$B_l$	0.20 m
Volumen	$V = Q * TRH$	1.428 m <sup>3</sup>
Ancho	$B = \sqrt{\frac{V}{H_u * \frac{l}{b}}}$	0.75 m
Largo	$L = B * \frac{l}{b}$	1.5 m
Altura útil corregida	$H_u^* = \frac{V}{B * L}$	1.27 m

Volumen de almacenamiento de natas y espumas	$V_n = \frac{T_n * P * N}{1000}$	0.098 m <sup>3</sup>
Altura de natas	$h_n = \frac{V_n}{A}$	0.087 m
Altura de los orificio del primer compartimiento	$h_o = 0.4 * H_u^*$	0.51 m
Largo del compartimiento 1	$L_1 = \frac{2}{3} L$	1 m
Largo del compartimiento 2	$L_2 = \frac{1}{3} L$	0.5 m
Volumen de lodos	$V_{lod} = h_o * B * L$	0.57 m <sup>3</sup>
Lodos generados	$Lod = P * Tl$	0.7 m <sup>3</sup> /año
Limpieza de lodos	$L_{lod} = \frac{V_{lod}}{Lod}$	0.82 años
Altura Total	$H = H_u^* + h_n + Bl$	1.56

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.1.4.2.2.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 1, *Quebrada Jurado*.

El ancho del FAFA será igual al ancho calculado para el tanque séptico con la finalidad de acoplar los dos sistemas de tratamiento en una sola unidad, además se construirá con una altura útil de 0.9 m y un borde libre de 0.20 m. la tubería de salida y entrada serán de 3 in. Además la altura del falso fondo será de 0.30 m con una placa de 0.05 m.

En la tabla 23 se muestran los resultados de los cálculos para el FAFA.

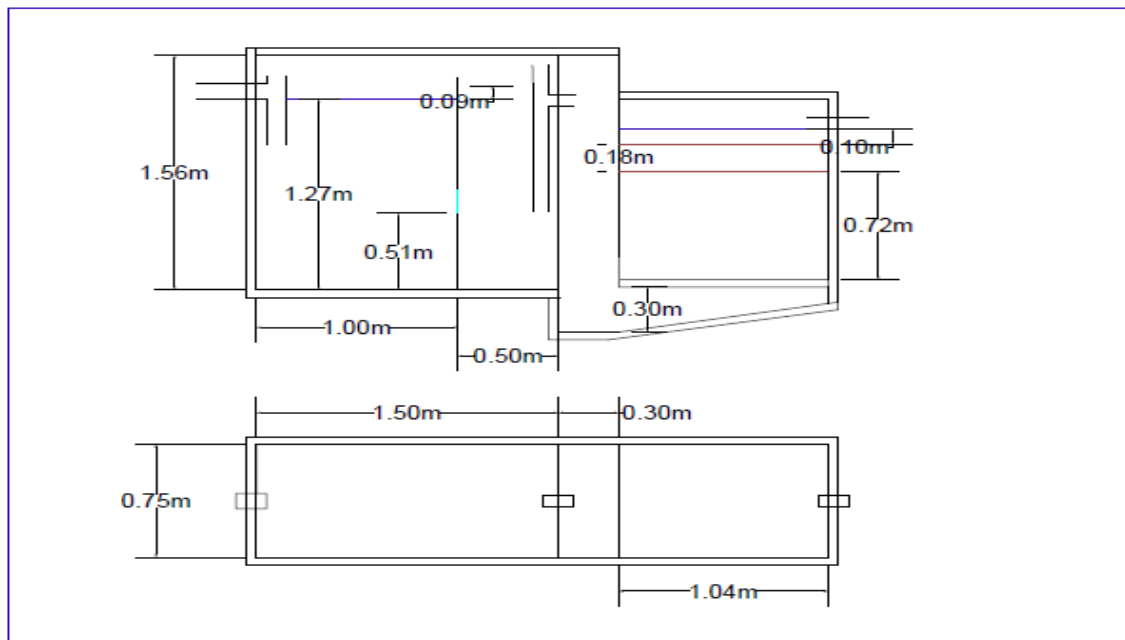
Tabla 23. Cálculos del FAFA para el tratamiento 1, *Quebrada Jurado*.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V_{FAFA} = 0.05 * P$	0.7 m <sup>3</sup>
Largo	$L_{FAFA} = \frac{V_{FAFA}}{B * H_{FAFA}}$	1.04 m

TRH	$TRH = \frac{Q}{V_{FAFA}}$	0.49 días
Altura Grava del Fondo	$H_{gf} = 0.8 * H_u$	0.72 m
Altura Grava Superior	$H_{gs} = 0.2 * H_u$	0.18 m

Fuente: Autor, 2017.

Imagen 8. Planos Sistema de Tratamiento 1, Quebrada Jurado.



Fuente: Autor, 2017.

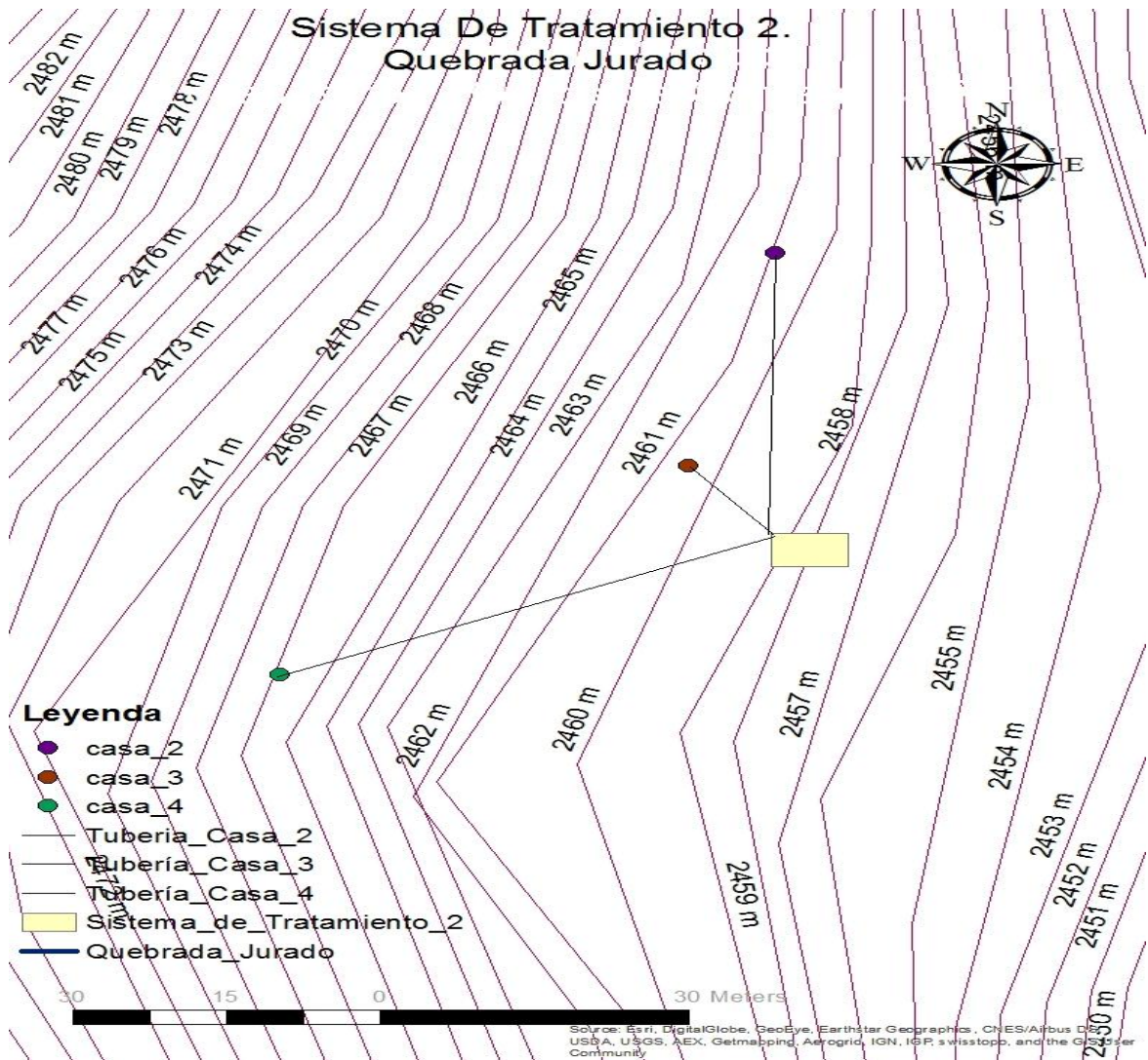
#### 7.1.5.2.3 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 2, Quebrada Jurado.

El sistema 2 tratara las aguas residuales de las casa 2,3 y 4. Las tuberías de las casas hasta el sistema tendrán 40, 13 y 52 m respectivamente. Los diámetros calculados con la ecuación 26 son 0.0038, 0.0035 y 0.0031 m respectivamente por

lo que se selecciona una tubería con diámetro de 4 in. En la imagen 9 se observa la localización del sistema de tratamiento 2.

Las dimensiones del sistema de tratamiento 2 se observan en la imagen 10 y las tablas 24 y 25.

Imagen 9. Sistema de Tratamiento 2. Quebrada Jurado.



Fuente: Autor. Hecho Arc Gis.

#### 7.1.5.2.3.1 Tanque Séptico para el tratamiento 2, *Quebrada Jurado*.

Para el dimensionamiento del tanque séptico del sistema 2, se parte de un tiempo de retención hidráulico de 1 día de acuerdo a lo recomendado por Romero, 1999 en su libro tratamiento de aguas residuales, y se asume una altura útil de 1.2 m de acuerdo al título E del RAS 2016, se aclara que posteriormente la determinara la altura real del tanque séptico. En la tabla 24 se muestran las dimensiones del tanque séptico.

Tabla 24. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 2, *Quebrada Jurado*.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V = Q * TRH$	0.918 m <sup>3</sup>
Borde libre	Bl	0.20 m
Ancho	$B = \sqrt{\frac{V}{H_u * \frac{l}{b}}}$	0.62 m
Largo	$L = B * \frac{l}{b}$	1.24 m
Altura útil corregida	$H_u^* = \frac{V}{B * L}$	1.19 m
Volumen de almacenamiento de natas y espumas	$V_n = \frac{T_n * P * N}{1000}$	0.063 m <sup>3</sup>
Altura de natas	$h_n = \frac{V_n}{A}$	0.082 m
Altura de los orificio del primer compartimiento	$h_o = 0.4 * H_u^*$	0.48 m
Largo del compartimiento 1	$L_1 = \frac{2}{3} L$	0.83 m
Largo del compartimiento 2	$L_2 = \frac{1}{3} L$	0.41 m
Volumen de lodos	$V_{lod} = h_o * B * L$	0.37 m <sup>3</sup>
Lodos generados	$Lod = P * Tl$	0.45 m <sup>3</sup> /año
Limpieza de lodos	$L_{lod} = \frac{V_{lod}}{Lod}$	0.82 años
Altura total	$H = H_u^* + h_n + Bl$	1.48 m

Fuente: Autor, 2017.



### 7.1.5.2.3.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 2. Quebrada Jurado.

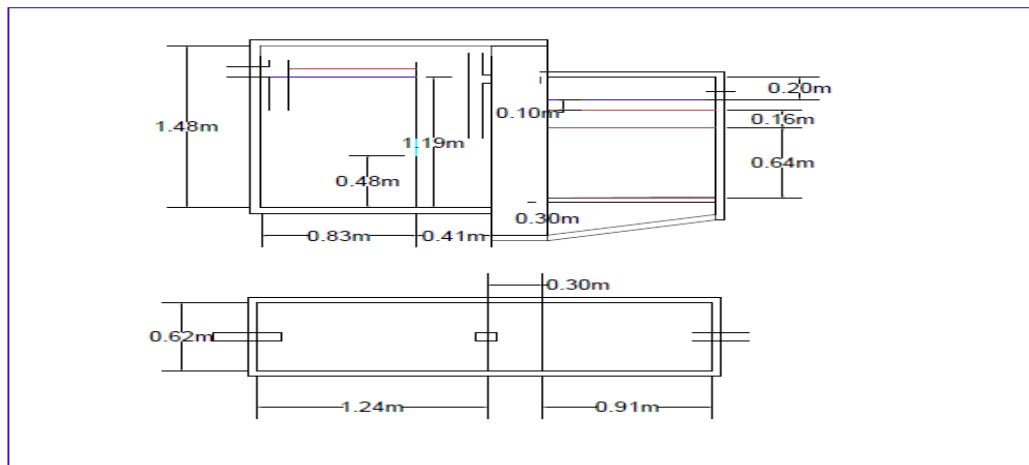
El FAFA para sistema de tratamiento 2 fue dimensionado un tiempo de retención hidráulico de 1 día y una altura útil 0.8 m. la altura del falso fondo será de 0.30 m con un espesor de paca de 0.05 m, se dejara una altura de lámina de agua de 0.10 m y el borde libre del FAFA será e 0.20 m, obteniéndose una altura total de 1.45 m. Los resultados de los cálculos se observan en la tabla 25.

Tabla 25. Cálculos del FAFA para el tratamiento 2, Quebrada Jurado.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V_{FAFA} = 0.05 * P$	0.7 m <sup>3</sup>
Largo	$L_{FAFA} = \frac{V_{FAFA}}{B * H_{FAFA}}$	0.78 m
TRH	$TRH = \frac{Q}{V_{FAFA}}$	0.49 días
Altura Grava del Fondo	$H_{gf} = 0.8 * H_u$	0.64 m
Altura Grava Superior	$H_{gs} = 0.2 * H_u$	0.16 M

Fuente: Autor, 2017.

Imagen 10. Sistema de Tratamiento 2, Quebrada Jurado.



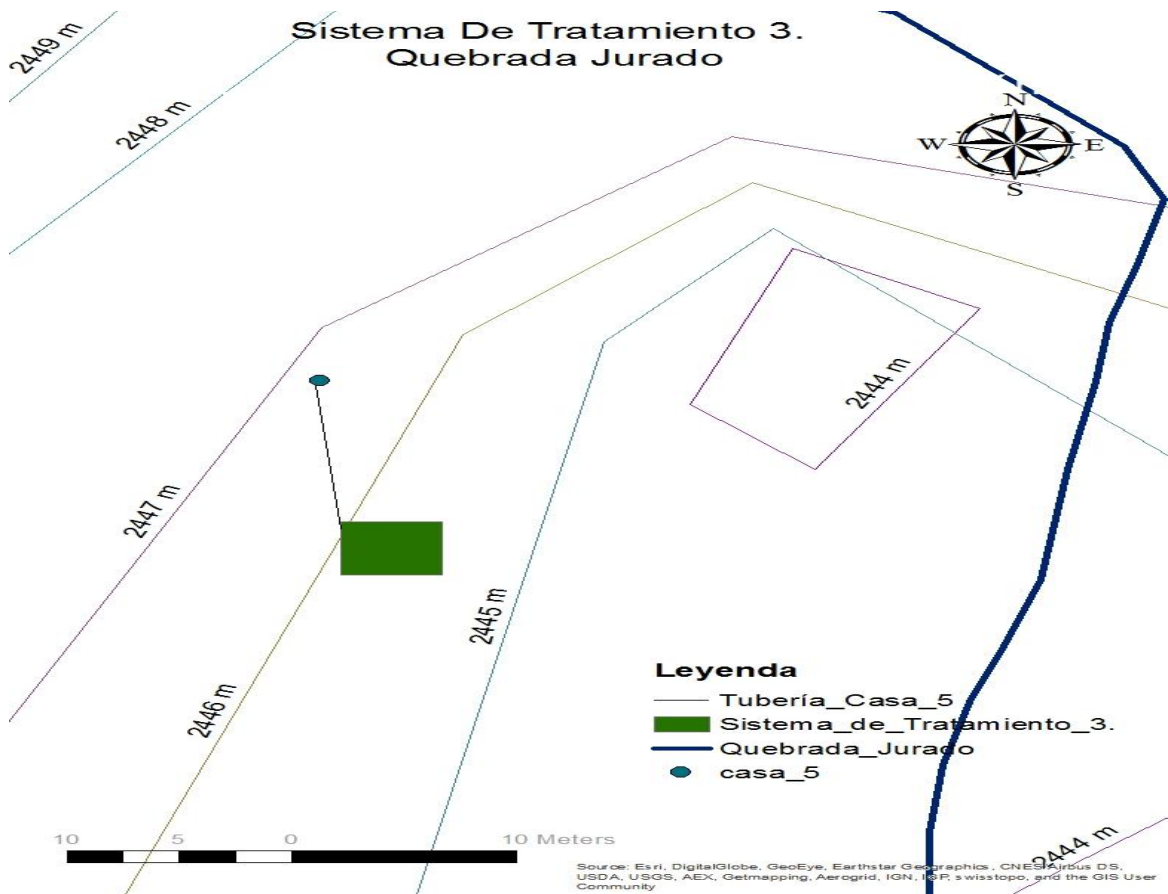
Fuente: Autor, 2017.

#### 7.1.5.2.4 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 3, *Quebrada Jurado*.

El sistema 3 tratara las aguas residuales domesticas de la vivienda 5 con una población de 8 habitantes, y contara con una tubería de PVC de 12 m hasta el sistema de tratamiento con un diámetro calculado de 0.0049 m por medio de la ecuación 26, por lo que se seleccionara una tubería de diámetro comercial de 4 pulgadas. La ubicación de los sistemas se muestra en la imagen 11.

Los cálculos del tratamiento 3 se muestran en las tablas 26 y 27; mientras que en la imagen 12 se observa el plano de este sistema.

Imagen 11. Sistema de Tratamiento 3. Quebrada Jurado.



Fuente: Autor. Hecho Arc Gis.

#### 7.1.5.2.4.1 Tanque Séptico para el tratamiento 3, *Quebrada Jurado*.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente para los diseños de los sistemas 1 y 2 se parte de un tiempo de retención de 1 día y una altura útil asumida de 1.2 m.

En la tabla 26 se muestran las dimensiones calculadas para el tanque séptico para el tratamiento 3.

Tabla 26. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 3, Quebrada Jurado.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V = Q * TRH$	0.816 m <sup>3</sup>
Borde libre	BI	0.22 m
Ancho	$B = \sqrt{\frac{V}{H_u * \frac{l}{b}}}$	0.6 m
Largo	$L = B * \frac{l}{b}$	1.2 m
Altura útil corregida	$H_u^* = \frac{V}{B * L}$	1.13 m
Volumen de almacenamiento de natas y espumas	$V_n = \frac{T_n * P * N}{1000}$	0.056 m <sup>3</sup>
Altura de natas	$h_n = \frac{V_n}{A}$	0.078 m
Altura de los orificio del primer compartimiento	$h_o = 0.4 * H_u^*$	0.45 m
Largo del compartimiento 1	$L_1 = \frac{2}{3} L$	0.8 m
Largo del compartimiento 2	$L_2 = \frac{1}{3} L$	0.4 m
Volumen de lodos	$V_{lod} = h_o * B * L$	0.33 m <sup>3</sup>
Lodos generados	$Lod = P * Tl$	0.40 m <sup>3</sup> /año
Limpieza de lodos	$L_{lod} = \frac{V_{lod}}{Lod}$	0.82 años
Altura total		1.43 m

Fuente: Autor, 2017.

7.1.5.2.4.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 3, *Quebrada Jurado*.

El FAFA para el tratamiento 3 seguirá las condiciones enunciadas en los procedimientos anteriores y con un borde libre de 0.20 m. La altura del falso fondo es de 0.30 m, con un espesor de 0.05 m.

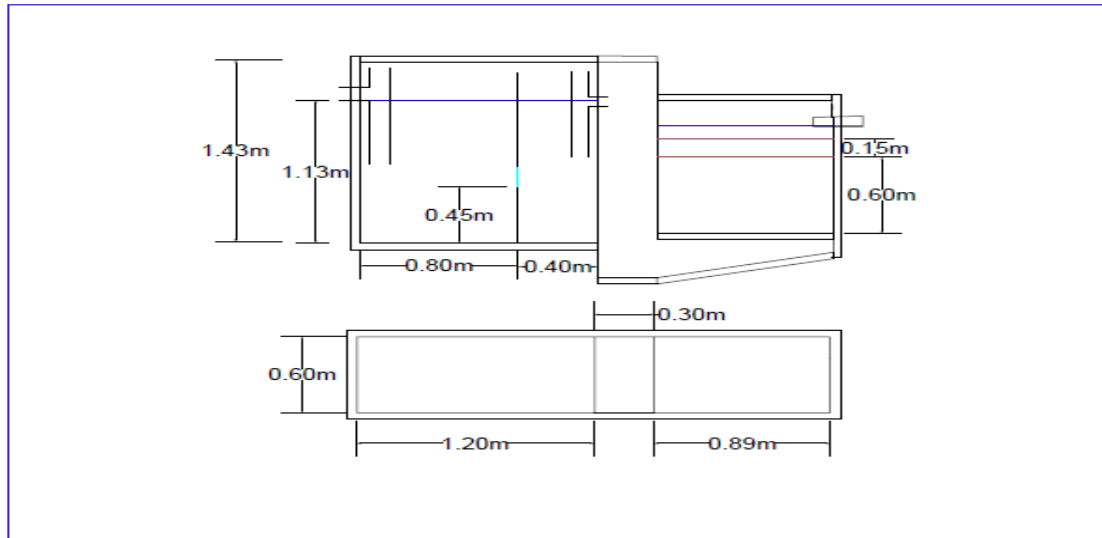
Partiendo de una altura útil 0.75 m se calculan las dimensiones para FAFA como se observa en la tabla 27.

Tabla 27. Cálculos del FAFA para el tratamiento 3, Quebrada Jurado.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V_{FAFA} = 0.05 * P$	0.4 m <sup>3</sup>
Largo	$L_{FAFA} = \frac{V_{FAFA}}{B * H_{FAFA}}$	0.56 m
TRH	$TRH = \frac{Q}{V_{FAFA}}$	0.49 días
Altura Grava del Fondo	$H_{gf} = 0.8 * H_u$	0.60 m
Altura Grava Superior	$H_{gs} = 0.2 * H_u$	0.15 m

Fuente: Autor, 2017.

Imagen 12. Sistema de Tratamiento 3, Quebrada Jurado.



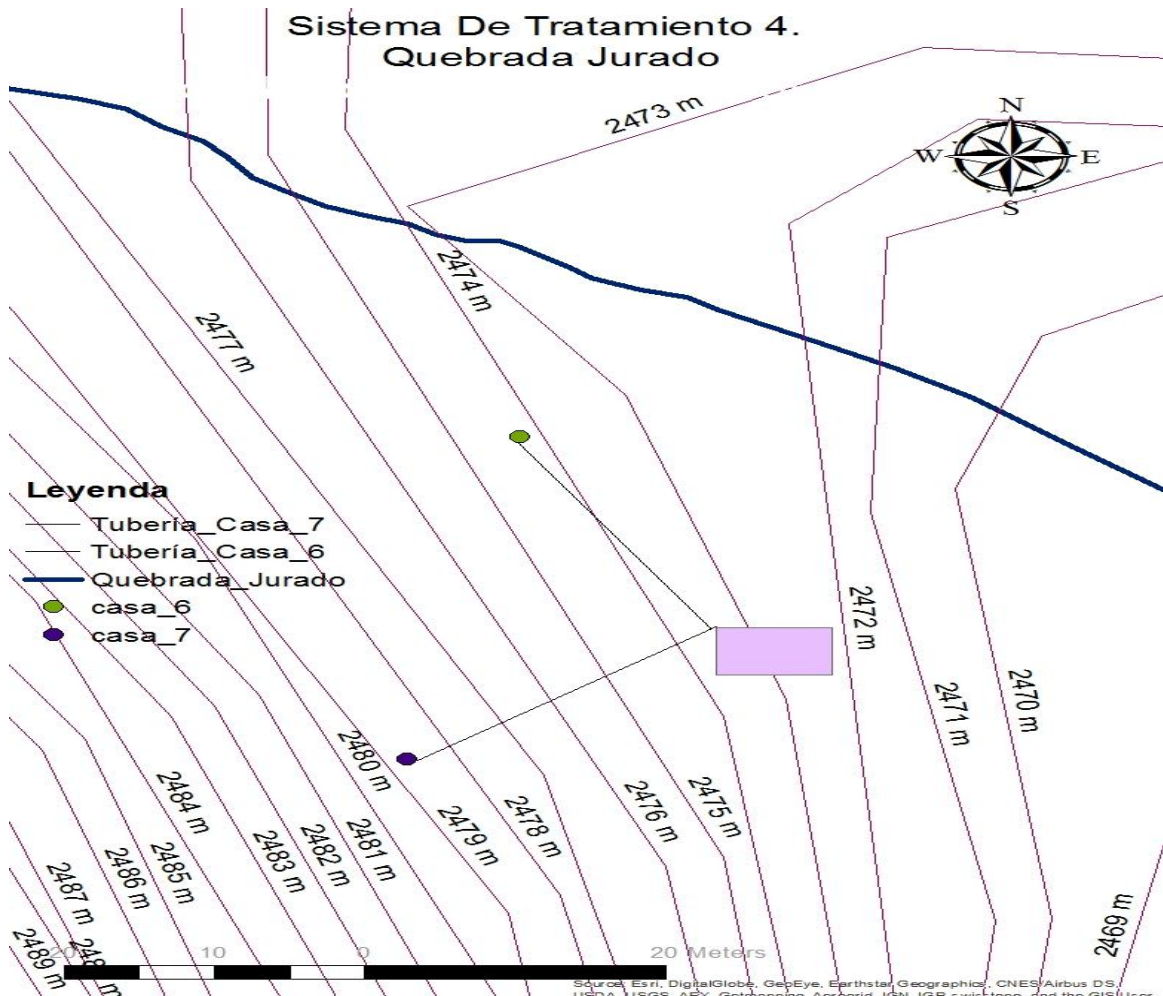
Fuente: Autor, 2017.

#### 7.1.5.2.5 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 4, Quebrada Jurado.

El sistema 4 tratara las aguas residuales de las casa 6 y 7, con tuberías de longitud de 24 y 25 m respectivamente. Los diámetros de las tuberías fueron calculados con la ecuación 9 dando como resultado 0.0044 y 0.0033 m. seleccionando el diámetro comercial de 4 pulgadas. En la imagen 13 se observa la localización del sistema.

Para el sistema de tratamiento 4 se tendrán las mismas dimensiones del sistema 2 debido a que el número de habitantes y el caudal de diseño es el mismo. Por lo tanto se realizara una réplica del diseño anteriormente mencionado en las tablas 24 y 25.

Imagen 13. Sistema de Tratamiento 4. Quebrada Jurado



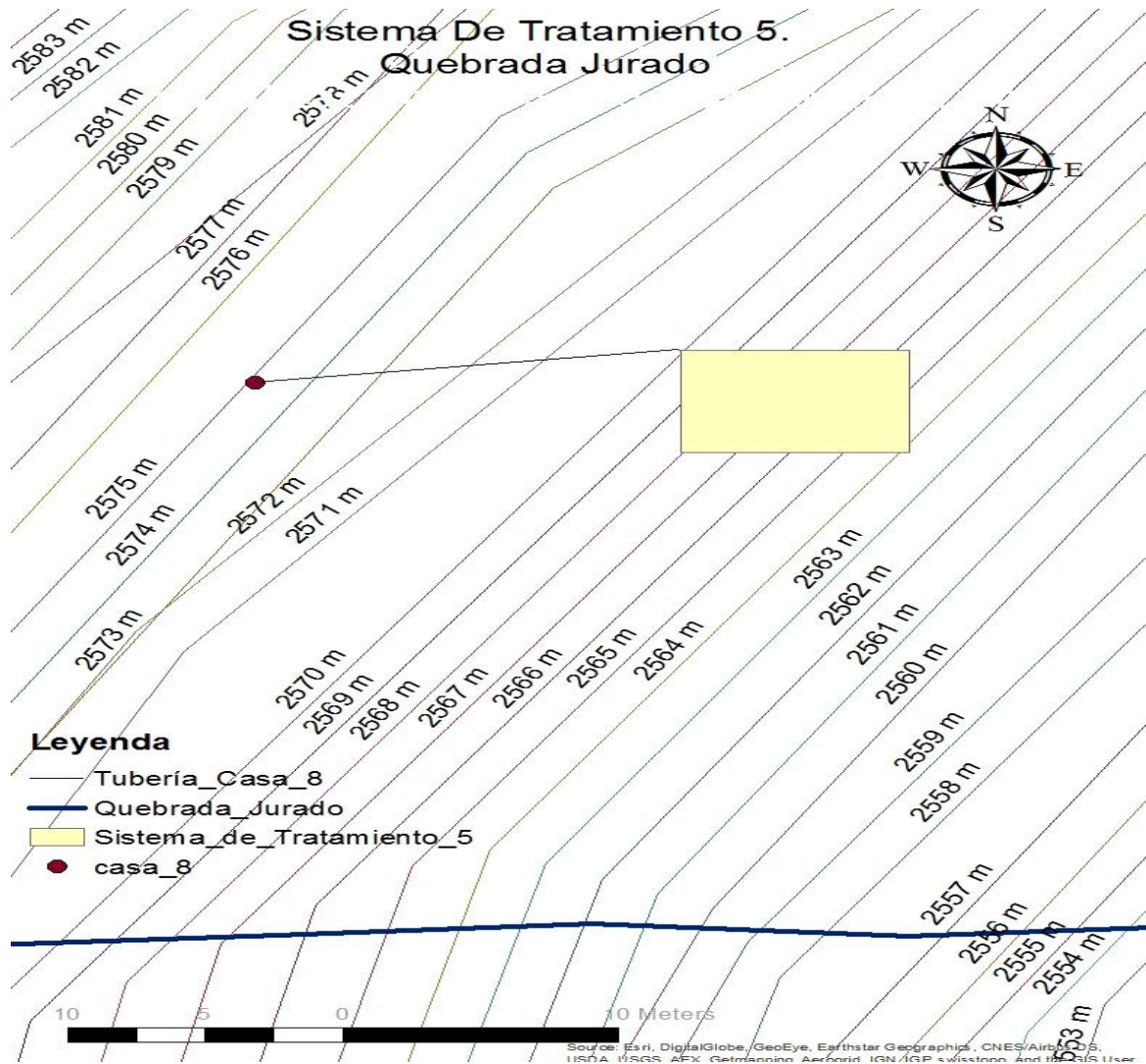
Fuente: Autor. Hecho Arc Gis.



### 7.1.5.2.6 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 5, Quebrada Jurado.

El sistema 5 tratara el agua residual de la casa 8; la tubería de conducción tiene una longitud de 15 m y un diámetro comercial de 4 pulgadas debido a que el diámetro calculado fue de 0.0029 m por medio de la ecuación 9. En la imagen 14 se observa el sistema de tratamiento 5. Los planos del dimensionamiento del sistema 5 se observa en la imagen 15, mientras que los cálculos en las tablas 28 y 29.

Imagen 14. Sistema de Tratamiento 5. Quebrada Jurado.



Fuente: Autor. Hecho Arc Gis

#### 7.1.5.2.6.1 Tanque Séptico para el tratamiento 5.

El tanque séptico para el sistema de tratamiento 5 tratara las aguas residuales de 4 habitantes obteniéndose las dimensiones presentadas en la tabla 28.

Tabla 28. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 5, Quebrada Jurado.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V = Q * TRH$	0.408 m <sup>3</sup>
Borde Libre	$B_l$	0.25
Ancho	$B = \sqrt{\frac{V}{H_u * \frac{l}{b}}}$	0.45 m
Largo	$L = B * \frac{l}{b}$	0.9 m
Altura útil corregida	$H_u^* = \frac{V}{B * L}$	1.01 m
Volumen de almacenamiento de natas y espumas	$V_n = \frac{T_n * P * N}{1000}$	0.028 m <sup>3</sup>
Altura de natas	$h_n = \frac{V_n}{A}$	0.069 m
Altura de los orificio del primer compartimiento	$h_o = 0.4 * H_u^*$	0.40 m
Largo del compartimiento 1	$L_1 = \frac{2}{3} L$	0.6 m
Largo del compartimiento 2	$L_2 = \frac{1}{3} L$	0.3 m
Volumen de lodos	$V_{lod} = h_o * B * L$	0.16 m <sup>3</sup>
Lodos generados	$Lod = P * Tl$	0.20 m <sup>3</sup> /año
Limpieza de lodos	$L_{lod} = \frac{V_{lod}}{Lod}$	0.82 años
Altura Total	$H = H_u^* + h_n + B_l$	1.33 m

Fuente: Autor, 2017.



### 7.1.5.2.6.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 5, Quebrada Jurado.

El FAFA del tratamiento 5 seguirá las condiciones enunciadas en los procedimientos anteriores.

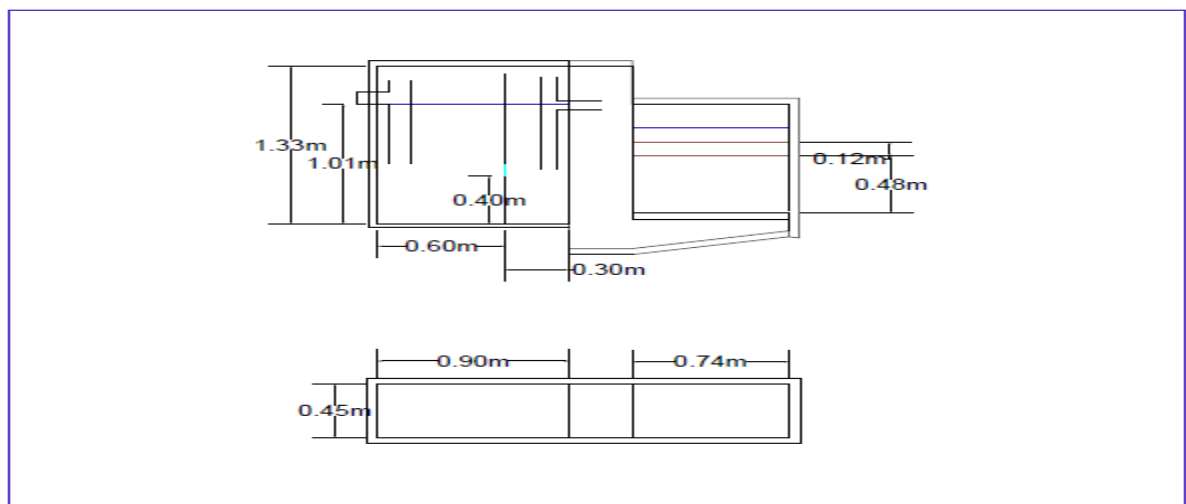
Partiendo de una altura útil de 0.6 m se calculan las dimensiones para FAFA como se observa en la tabla 29.

Tabla 29. Cálculos del FAFA para el tratamiento 5, Quebrada Jurado.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V_{FAFA} = 0.05 * P$	0.2 m <sup>3</sup>
Largo	$L_{FAFA} = \frac{V_{FAFA}}{B * H_{FAFA}}$	0.37 m
TRH	$TRH = \frac{Q}{V_{FAFA}}$	0.49 días
Altura Grava del Fondo	$H_{gf} = 0.8 * H_u$	0.48 m
Altura Grava Superior	$H_{gs} = 0.2 * H_u$	0.12 m

Fuente: Autor, 2017.

Imagen 15. Sistema de Tratamiento 5, Quebrada Jurado.



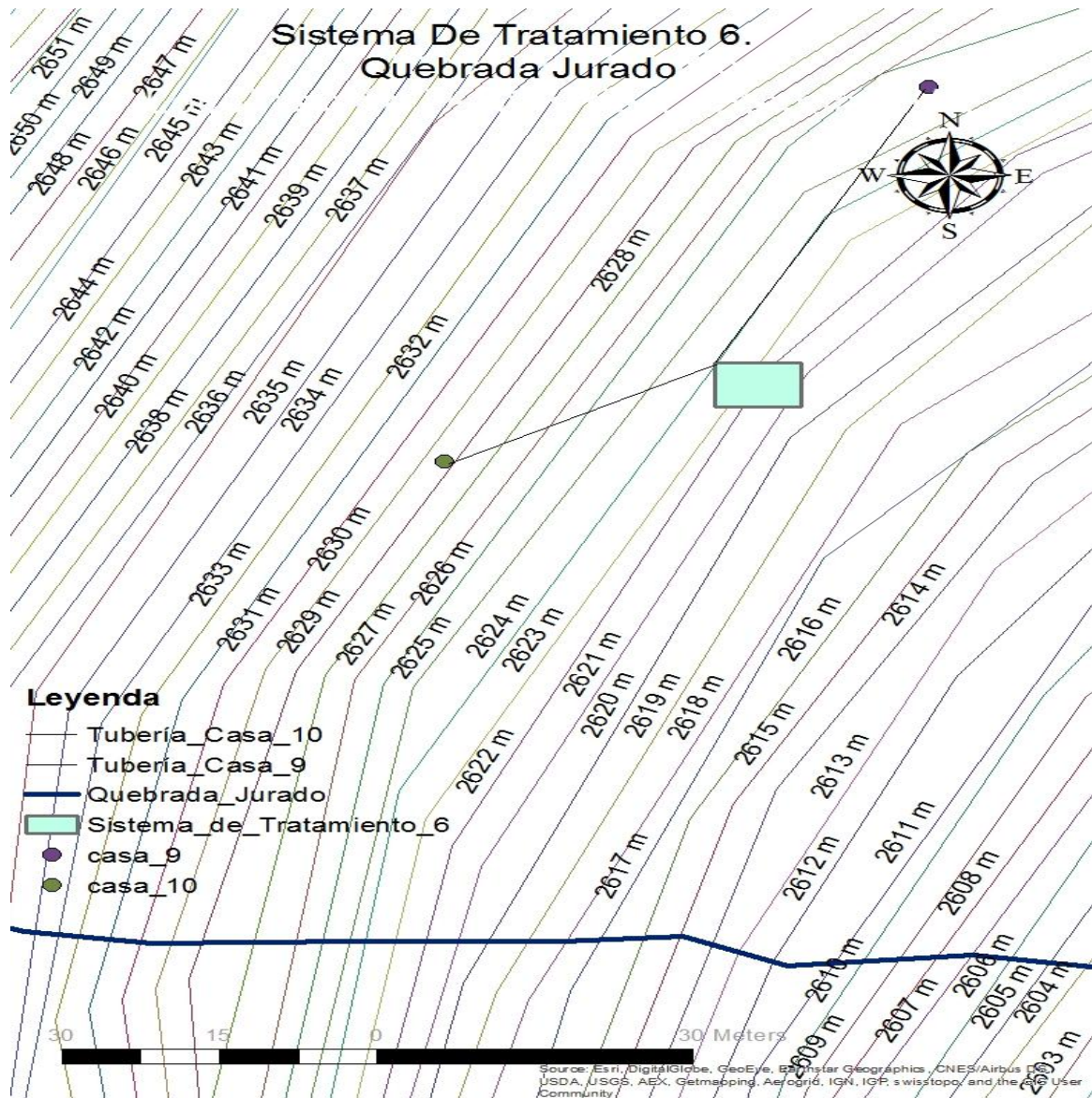
Fuente: Autor, 2017.

### 7.1.5.2.7 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 6, Quebrada Jurado.

La localización del sistema 6 se muestra en la imagen 16, y está conformado por las casas 9 y 10, con tuberías de longitud de 42 y 28 m respectivamente. Los diámetros calculados con la ecuación 9 fueron 0.0046 y 0.0031 m por lo que se selecciona un diámetro comercial de 4 pulgadas.

Las dimensiones del sistema 6 son las mismas que fueron calculadas para el sistema 3 debido a que presentan los mismos parámetros de diseño, por lo tanto las dimensiones corresponden a las mencionadas en las tablas 26 y 27.

Imagen 16. Sistema de Tratamiento 6. Quebrada Jurado.



Fuente: Autor. Hecho Arc Gis

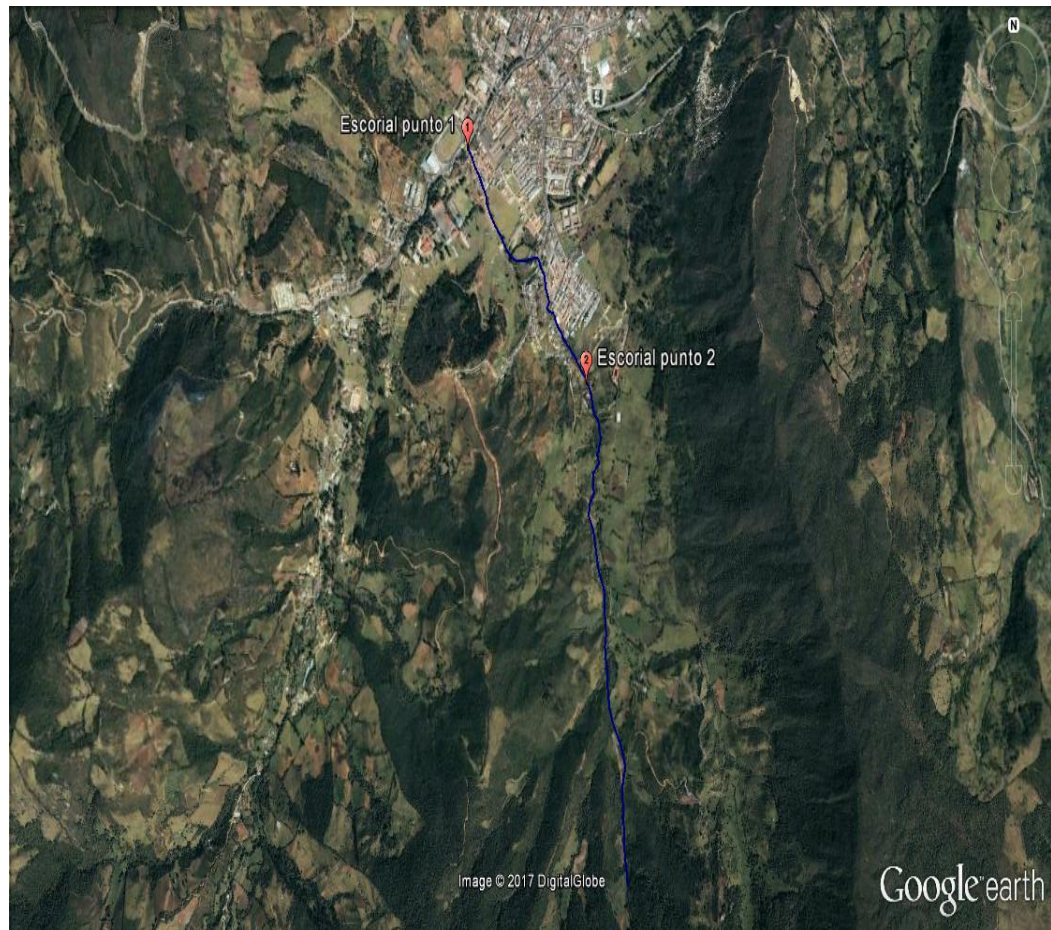


## 7.2 QUEBRADA ESCORIAL

La caracterización de la quebrada escorial se realizó en dos puntos de la microcuenca ubicados en la desembocadura (Punto 1) y en la parte media (punto 2) tal como se muestra en la imagen 17.

La caracterización inició el día 18 de abril y terminó el día 21 de abril. Durante la caracterización se midieron parámetros In Situ y Ex Situ, los resultados se muestran a continuación.

Imagen 17. Localización de puntos de muestreo Quebrada Escorial



Fuente: Autor. Hecho: Google Earth.

### 7.2.1 Caracterización In Situ

#### 7.2.1.1 Caracterización quebrada Escorial 18/04/2017

Los resultados de la caracterización del día 18 se observan en la tabla 30 identificándose que el oxígeno disuelto registrado por el multiparametro indica que se encuentra en condiciones aceptables tanto para los puntos 1 y 2, presentándose un valor atípico en el punto 1 a las 2:30 de 4.73 mg/l, lo que indica

una condición de Hipoxia en la que se presentaría la desaparición de organismos y especies sensibles.

Se identificó la presencia de sales disueltas debido a la conductividad aun así este parámetro indica una buena calidad de agua por estar por debajo de 280 mS/cm. En cuanto al PH se encuentra dentro de los parámetros establecidos.

Tabla 30. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Escorial 18/04/2017.

Pt	Fecha	Hora	OD	PH	Conductividad	Temperatura
1	18/04/2017	6:30	5.82	7.93	129.2	15.4
1	18/04/2017	10:30	5.75	7.97	132	16.8
1	18/04/2017	2:30	4.73	7.96	142.3	16.7
1	18/04/2017	5:30	5.11	7.82	139.5	16.4
2	18/04/2017	6:00	7.31	7.99	82	14.2
2	18/04/2017	10:00	6.7	8.19	108.2	16.6
2	18/04/2017	2:00	6.58	8.19	83.6	16.9
2	18/04/2017	5:00	6.63	8.03	83.7	16.7

Fuente: Autor, 2017.

El caudal promedio para el punto 1 es de 7.92 l/s y 4.46 l/s para el punto 2, presentándose una diferencia de 3.45 l/s los cuales son aportados por un vertimiento de agua superficial localizado aguas abajo del punto 2, este caudal de exceso también puede ser por fuente de aguas domesticas ya que está quebrada atraviesa el barrio escorial en un canal abierto. Los caudales máximos se registraron en las horas de la mañana y fueron disminuyendo hasta las horas de la tarde tal como se observa en el grafico 4.

Tabla 31. Caudales Quebrada Escorial 18/04/2017.

PUNTO 1		PUNTO 2	
HORA	Q(L/S)	HORA	Q(L/S)
6:30 a. m.	8.89942995	6:00 a. m.	5.94659838
10:30 a. m.	7.18193874	10:00 a. m.	4.12098678
2:30 p. m.	7.72883138	2:00 p. m.	4.01818325
6:30 p. m.	7.87597061	6:00 p. m.	3.77341272

Fuente: Autor, 2017.

Gráfico 4. Caudales Quebrada Escorial 18/04/2017.



Fuente: Autor, 2017.

#### 7.2.1.2 Caracterización quebrada Escorial 19/04/2017

Los resultados de la caracterización del día 19 de abril se observan en la tabla 32 donde el PH de la quebrada escorial es alcalino en los dos puntos de medición; se presenta una diferencia notable entre la conductividad de la parte alta y la desembocadura, debido a que el arrastre de material produce el aumento de la concentración de sales.

El comportamiento del oxígeno disuelto tiende a indicar una disminución desde la parte alta hasta la desembocadura debido al aporte de aguas domésticas y de materia orgánica de origen natural.

Tabla 32. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Escorial 19/04/2017.

Pt	Fecha	Hora	OD	PH	Conductividad	Temperatura
1	19/04/2017	6:30	6.19	8.02	142.8	15.3
1	19/04/2017	10:30	5.83	7.98	129.6	16.6
1	19/04/2017	2:30	5.49	7.88	138.7	17.3
1	19/04/2017	5:30	6.89	7.95	116.6	16.8
2	19/04/2017	6:00	7.18	8.05	83.7	14.9
2	19/04/2017	10:00	7.01	7.48	87.2	15.4
2	19/04/2017	2:00	6.8	8.04	82	16.3
2	19/04/2017	5:00	7.1	8.03	80.5	16.1

Fuente: Autor, 2017.

El día 19 de abril se presentaron lluvias lo que genero el aumento del caudal de la microcuenca calculándose caudales promedios de 10.6 l/s y 5.32 l/s presentándose una diferencia de 5.29 l/s los cuales provienen de la precipitación y de la escorrentía superficial que se presenta sobre el canal de la conducción de

la quebrada, en el grafico 5 se observa el comportamiento del caudal durante las horas muestreadas.

Tabla 33. Caudales Quebrada Escorial 19/04/2017.

PUNTO 1		PUNTO 2	
HORA	Q(L/S)	HORA	Q(L/S)
6:30 a. m.	10.53504	6:00 a. m.	5.25798175
10:30 a. m.	10.8258193	10:00 a. m.	5.4296146
2:30 p. m.	10.5686124	2:00 p. m.	5.08792741
6:30 p. m.	10.546656	6:00 p. m.	5.53604044

Fuente: Autor, 2017.

Gráfico 5. Caudales Quebrada Escorial 19/04/2017.



Fuente: Autor, 2017.

#### 7.2.1.2 Caracterización quebrada Escorial 20/04/2017

En la tabla 34 se observa que al comparar el PH del día 20 de abril con los anteriores se observa una disminución debido a las precipitaciones de alta intensidad en las horas de la tarde. El comportamiento del oxígeno disuelto tuvo una tendencia a aumentar debido a la precipitación. La conductividad tuvo una tendencia hacia los valores registrados en las anteriores caracterizaciones.

Tabla 34. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Escorial 20/04/2017.

Pt	Fecha	Hora	OD	PH	Conductividad	Temperatura
1	20/04/2017	6:30	6.72	7.04	134.7	15.9
1	20/04/2017	10:30	6	7.61	137.8	18.5

1	20/04/2017	2:30	6.9	7.68	125.9	17.1
1	20/04/2017	5:30	7.24	7.9	103.3	16.2
2	20/04/2017	6:00	7.21	7.15	83.4	15.2
2	20/04/2017	10:00	7.02	7.61	84.6	16.6
2	20/04/2017	2:00	7.12	7.41	81.3	16
2	20/04/2017	5:00	7.24	7.03	79.3	15.9

Fuente: Autor, 2017.

Los caudales promedios fueron de 7.74 l/s y 4.74 l/s presentándose una diferencia de 3 l/s siguiendo el comportamiento de la microcuenca, en la tabla 35 se observan los caudales registrados durante las 4 horas muestreadas y son representados gráficamente en el grafico 6.

Tabla 35. Caudales Quebrada Escorial 20/04/2017.

PUNTO 1		PUNTO 2	
HORA	Q(L/S)	HORA	Q(L/S)
6:30 a. m.	8.16860732	6:00 a. m.	5.59320309
10:30 a. m.	7.80061591	10:00 a. m.	4.66836154
2:30 p. m.	7.44161562	2:00 p. m.	4.21792564
6:30 p. m.	7.58237688	6:00 p. m.	4.51229067

Fuente: Autor, 2017.

Gráfico 6. Caudales Quebrada Escorial 20/04/2017.



Fuente: Autor, 2017.



## 7.2.2 Análisis de Laboratorio Quebrada Escorial

En los análisis de laboratorio se determinaron los sólidos por el método gravimétrico y los parámetros Físico químicos presentes en la quebrada jurado.

### 7.2.2.1 Sólidos

#### 7.2.2.1.1 Sólidos Totales

Los sólidos totales para la quebrada escorial dependen de las precipitaciones ya que se presente un alto arrastre de material, durante la caracterización se presentaron dos días con fuertes precipitaciones que generaron el aumento de los sólidos. Por tal motivo se presentó una variación entre 50 mg/l y 160 mg/l para el punto 1 provocando el aumento materia orgánica en el cauce. El punto 2 presento un rango entre 30 y 70 mg/l como se observa en la tabla 36.

Tabla 36. Sólidos Totales. Quebrada Escorial.

Pt	Fecha	Peso crisol (gr)	Peso Seco (gr)	Volumen (ml)	Volumen (L)	ST mg/L
1	18/04/2017	33.232	33.2325	10	0.01	50
2	18/04/2017	35.9723	35.9726	10	0.01	30
1	19/04/2017	30.7576	30.7592	10	0.01	160
2	19/04/2017	34.4587	34.4594	10	0.01	70
1	20/04/2017	20.1042	20.1053	10	0.01	110
2	20/04/2017	31.0101	31.0108	10	0.01	70

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.2.2.1.2 Sólidos Suspendidos Totales

La clasificación para la quebrada escorial indica que esta presenta buena calidad en las épocas de verano tal como se observa en la tabla 37, debido a que no se presenta arrastre de material, caso contrario ocurre cuando se presentan precipitaciones provocando una variación entre una fuente aceptable y contaminada elevando la presencia de sólidos en el efluente.

Tabla 37. Sólidos Suspendidos Totales. Quebrada Escorial.

Pt	Fecha	Peso crisol + Filtro (gr)	Peso crisol + Filtro despues del calentamiento (gr)	Volumen (ml)	Volumen (L)	SST mg/L
1	18/04/2017	16.8359	16.8362	10	0.01	30
2	18/04/2017	18.4383	18.4385	10	0.01	20
1	19/04/2017	21.3548	21.3561	10	0.01	130
2	19/04/2017	15.7106	15.7111	10	0.01	50
1	20/04/2017	16.2516	16.2523	10	0.01	70
2	20/04/2017	21.2815	21.2819	10	0.01	40

Fuente: Autor, 2017.

### 7.2.2.1.3 Sólidos suspendidos Volátiles

Como se observa en la tabla 38 los sólidos volátiles se encuentran por debajo de la el valor límite de la clasificación de aguas residuales domesticas debido a que no supera los 80 mg/l.

Tabla 38 . Sólidos Suspendidos Volátiles. Quebrada Escorial.

Pt	Fecha	Peso crisol + Filtro despues del calentamiento a 105°C (gr)	Peso crisol + Filtro despues del calentamiento a 505°C (gr)	Volumen (ml)	Volumen (L)	SSV mg/L
1	18/04/2017	16.8362	16.8361	10	0.01	10
2	18/04/2017	18.4385	18.4384	10	0.01	10
1	19/04/2017	21.3561	21.3559	10	0.01	20
2	19/04/2017	15.7111	15.711	10	0.01	10
1	20/04/2017	16.2523	16.2521	10	0.01	20
2	20/04/2017	21.2819	21.2818	10	0.01	10

Fuente: Autor, 2017.

### 7.2.2.1.4 Sólidos Sedimentables

Mediante el cono Imhoff se determinó que no se presenta alta concentración de solidos sedimentables como se observa en la tabla 39, porque la mayor cantidad de estos se encuentra disueltos o en suspensión.

Tabla 39 . Sólidos Sedimentables. Quebrada Escorial.

Punto	Fecha	sólidos sedimentables
1	4/04/2017	0.4
2	4/04/2017	0.2
1	5/04/2017	2
2	5/04/2017	1
1	6/04/2017	2.2
2	6/04/2017	1.3

Fuente: Autor, 2017.

### 7.2.3 Caracterización Físico Química

La DQO determinada presenta sus valores mínimos en los días con menor precipitación calificándose como una fuente aceptable con indicios de contaminación para el día 18 de abril, esta clasificación cambia para los días siguientes en los cuales se clasifica como contaminada y fuertemente contaminada a causa del arrastre de material y de las aguas del rebose del

alcantarillado presente en la zona urbana. La turbiedad determinada coincide con los valores de lo solidos registrados en las tablas anteriores.

El recurso hídrico de la quebrada Escorial se clasifica como Dura y muy dura tanto en el punto 1 como en el 2, principalmente por la presencia de magnesio identificado por el color rojizo del agua.

Tabla 40. Caracterización Físico Química. Quebrada Escorial.

PUNTO	FECHA	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	TURBIEDAD	SULFATOS	FOSFATOS	NITRITOS	COLOR	CLORUROS	DUREZA	ALCALINIDAD
1	18/04/2017	27	15	9.8	4	0.04	0.033	103	13.99	35.5	35.0
2	18/04/2017	24	14	6.1	3	0.02	0.009	85	10.50	36.2	46.0
1	19/04/2017	96	81	10.3	3	0.05	0.04	615	14.87	36.6	44.4
2	19/04/2017	58	34	6.5	2	0.03	0.007	91	13.99	35.3	42.0
1	20/04/2017	213	130	20.8	4	0.04	0.077	390	13.99	31.0	54.3
2	20/04/2017	128	80	15.3	2	0.02	0.058	80	13.99	43.0	52.2

Fuente: Autor, 2017.

Los resultados promediados para la caracterización de la quebrada escorial se presentan en la tabla 41.

Tabla 41. Caracterización Semanal Quebrada Escorial

PARAMETRO	CARACTERIZACIÓN SEMANA PUNTO 1	CARACTERIZACIÓN SEMANA PUNTO 2
Q	8.76	4.85
DQO	109.69	70.42
DBO5	75.55	42.88
ST	112.12	57.72

SST	82.18	37.52
SSV	16.99	10.00
SS	1.58	0.85
SULFATOS	3.60	2.31
FOSFATOS	0.04	0.02
NITRITOS	0.05	0.02
TURBIEDAD	13.01	9.25
COLOR	306.28	85.57
PH	7.07	7.44
T	16.58	15.90
OD	6.06	7.02
CONDUCTIVIDAD	6.06	7.02
CLORUROS	14.35	12.92
DUREZA	34.62	38.09
ALCALINIDAD	44.49	46.56

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.2.4 Diagnostico de la Quebrada Escorial

En el censo realizado en la quebrada Escoria se encontró un total de 61 habitantes distribuidos en 14 viviendas tal como se muestra en la tabla 42, estas familias se dedican a la ganadería y agricultura (Fotografía, 15).

Fotografía 15. Actividades antropogénicas en la Quebrada Escorial



Fuente: Autor, 2017.

Tabla 42. Censo Quebrada Escorial

Casa	Número de Habitantes
1	6
2	5
3	3
4	3
5	5
6	3
7	4
8	5
9	6
10	3
11	5
12	6
13	2
14	5

Fuente: Autor, 2017.

#### *7.2.5 Soluciones para los Vertimientos de la Quebrada Escorial*

Las aguas residuales domesticas son fuente de contaminación del recurso hídrico como solución para mitigar el impacto generado por estas sobre la quebrada escorial se plantea dimensionar sistemas de tratamiento. Debido a que las viviendas se encuentran en la parte rural (imagen 18) el número de sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas dependen de la cercanía de las viviendas.

Imagen 18. Quebrada Escorial. Localización Puntos de Contaminación.





Fuente: Autor. Hecho Arc Gis.

#### 7.2.5.1 Selección del Tratamiento

De acuerdo a la tabla 16 se decide implementar un sistema compuesto por un tanque séptico y un FAFA, los cuales cumplirán con el tratamiento de las aguas residuales de la parte rural de la quebrada Escorial.

#### 7.2.5.2 Diseño de los Sistemas de Tratamiento In Situ

Los diseños mostrados a continuación están basados en lo expuesto en los títulos E y J del RAS; además de tener en cuenta las recomendaciones de diseño dadas en el libro tratamiento de aguas residuales de Jairo Romero.

A continuación se muestran los parámetros de diseño tenidos en cuenta para el dimensionamiento del tanque séptico:

- Relación largo/ancho (l/b) de 2:1
- Dispositivos de entradas Tees.
- Diámetro de la tubería de entrada y salida serán respectivamente de 4 y 3 pulgadas.
- Pendiente de fondo del tanque séptico será de 2%.

En cuanto a los parámetros de diseño para el filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) fueron tomas del capítulo 25 del libro tratamiento de aguas residuales Teoría y principios de diseño del autor Jairo Alberto Romero Rojas, donde se recomienda utilizar una altura útil mayor o igual a 0.5 m

#### 7.2.5.2.1 Caudal de Diseño

Los caudales fueron calculados de acuerdo a las tablas 17 y 18 tomadas del RAS título A. En la tabla 43 se observan los caudales calculados de acuerdo a las ecuación 9 y 10.

Tabla 43. Calculo del Caudal de Diseño

Sistema de tratamiento	Viviendas Agrupadas	Dotación Bruta	Población	Caudal (L/día)
1	1-2-3	120	14	1428
2	4	120	3	306
3	5-6	120	8	816
4	7	120	4	408
5	8-9-10	120	14	1428
6	11	120	5	510
7	12-13-14	120	13	1326

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.2.5.2.2 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 1.

Los planos del sistema de tratamiento 1 de la quebrada escoria se observan en la imagen 19.

### 7.2.5.2.2.1 Tanque Séptico para el tratamiento 1.

El tanque séptico fue diseñado con un tiempo de retención de 1 día, en la tabla 44 se muestran los resultados de los cálculos del tanque séptico.

Tabla 44. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 1.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Borde Libre	$B_l$	0.20 m
Volumen	$V = Q * TRH$	1.428 m <sup>3</sup>
Ancho	$B = \sqrt{\frac{V}{H_u * \frac{l}{b}}}$	0.75 m
Largo	$L = B * \frac{l}{b}$	1.5 m
Altura útil corregida	$H_u^* = \frac{V}{B * L}$	1.27 m
Volumen de almacenamiento de natas y espumas	$V_n = \frac{T_n * P * N}{1000}$	0.098 m <sup>3</sup>
Altura de natas	$h_n = \frac{V_n}{A}$	0.087 m
Altura de los orificio del primer compartimiento	$h_o = 0.4 * H_u^*$	0.51 m
Largo del compartimiento 1	$L_1 = \frac{2}{3} L$	1 m
Largo del compartimiento 2	$L_2 = \frac{1}{3} L$	0.5 m
Volumen de lodos	$V_{lod} = h_o * B * L$	0.57 m <sup>3</sup>
Lodos generados	$Lod = P * Tl$	0.7 m <sup>3</sup> /año
Limpieza de lodos	$L_{lod} = \frac{V_{lod}}{Lod}$	0.82 años

Altura Total	$H = H_u^* + h_n + Bl$	1.56
--------------	------------------------	------

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.2.5.2.2.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 1.

El ancho del FAFA se asume de igual dimensión del tanque séptico, con tubería de entrada y salida de 3 in. El filtro contara con una altura útil de 0.9 m y borde libre de 0.20 m. El falso fondo será de 0.30 m con una placa de 0.05 m.

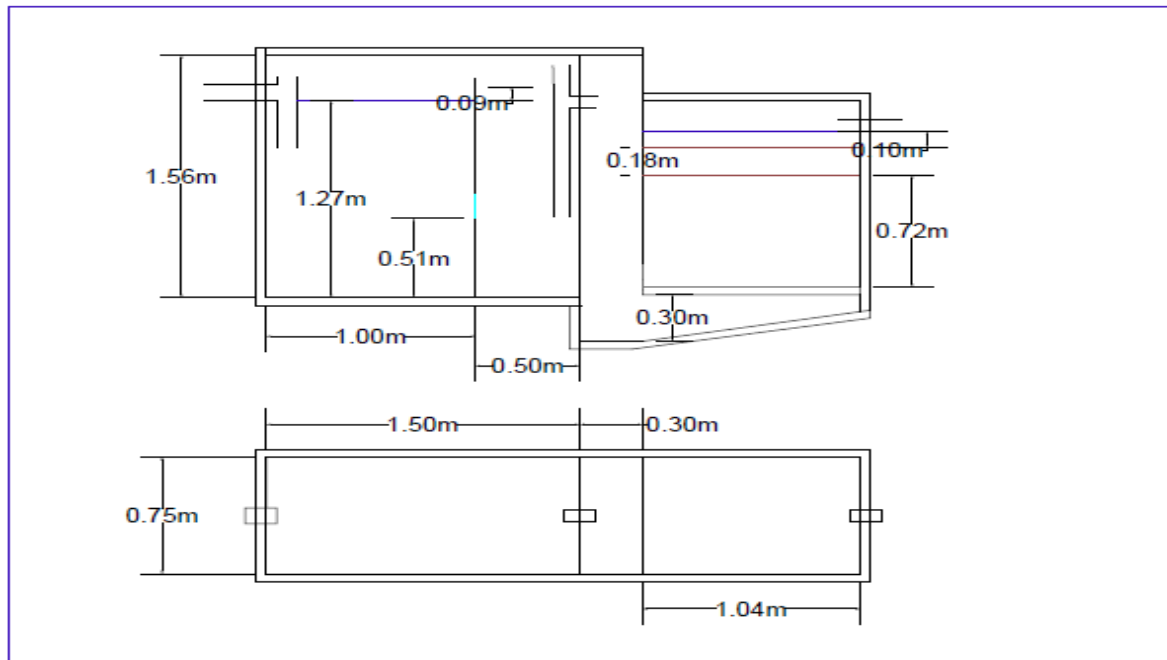
En la tabla 45 se observan las dimensiones del FAFA.

Tabla 45. Cálculos del FAFA para el tratamiento 1.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V_{FAFA} = 0.05 * P$	0.7 m <sup>3</sup>
Largo	$L_{FAFA} = \frac{V_{FAFA}}{B * H_{FAFA}}$	1.04 m
TRH	$TRH = \frac{Q}{V_{FAFA}}$	0.49 días
Altura Grava del Fondo	$H_{gf} = 0.8 * H_u$	0.72 m
Altura Grava Superior	$H_{gs} = 0.2 * H_u$	0.18 m

Fuente: Autor, 2017.

Imagen 19. Sistema de Tratamiento 1. Quebrada Escorial



Fuente: Autor, 2017.

### 7.2.5.2.3 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 2.

Los planos de este sistema se observan en la imagen 20, en la cual se representan las medidas calculadas a continuación.

#### 7.2.5.2.3.1 Tanque Séptico para el tratamiento 2.

El tratamiento del sistema 2 fue diseñado para 3 habitantes. En la tabla 46 se observan las dimensiones del tanque séptico.

Tabla 46. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 2

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Borde Libre	$Bl$	0.2 m
Volumen	$V = Q * TRH$	0.306 m <sup>3</sup>
Ancho	$B = \sqrt{\frac{V}{H_u * \frac{l}{b}}}$	0.4 m
Largo	$L = B * \frac{l}{b}$	0.8 m



Altura útil corregida	$H_u^* = \frac{V}{B * L}$	0.96 m
Volumen de almacenamiento de natas y espumas	$V_n = \frac{T_n * P * N}{1000}$	0.021 m <sup>3</sup>
Altura de natas	$h_n = \frac{V_n}{A}$	0.066 m
Altura de los orificio del primer compartimiento	$h_o = 0.4 * H_u^*$	0.38 m
Largo del compartimiento 1	$L_1 = \frac{2}{3} L$	0.53 m
Largo del compartimiento 2	$L_2 = \frac{1}{3} L$	0.27 m
Volumen de lodos	$V_{lod} = h_o * B * L$	0.12 m <sup>3</sup>
Lodos generados	$Lod = P * Tl$	0.15 m <sup>3</sup> /año
Limpieza de lodos	$L_{lod} = \frac{V_{lod}}{Lod}$	0.82 años
Altura Total	$H = H_u^* + h_n + Bl$	1.22

Fuente: Autor, 2017.

7.2.5.2.3.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 2.  
El FAFA fue diseñado con una altura del falso fondo de 0.30 m, se asume una altura util de 0.5 m y un borde libre de 0.20 m.

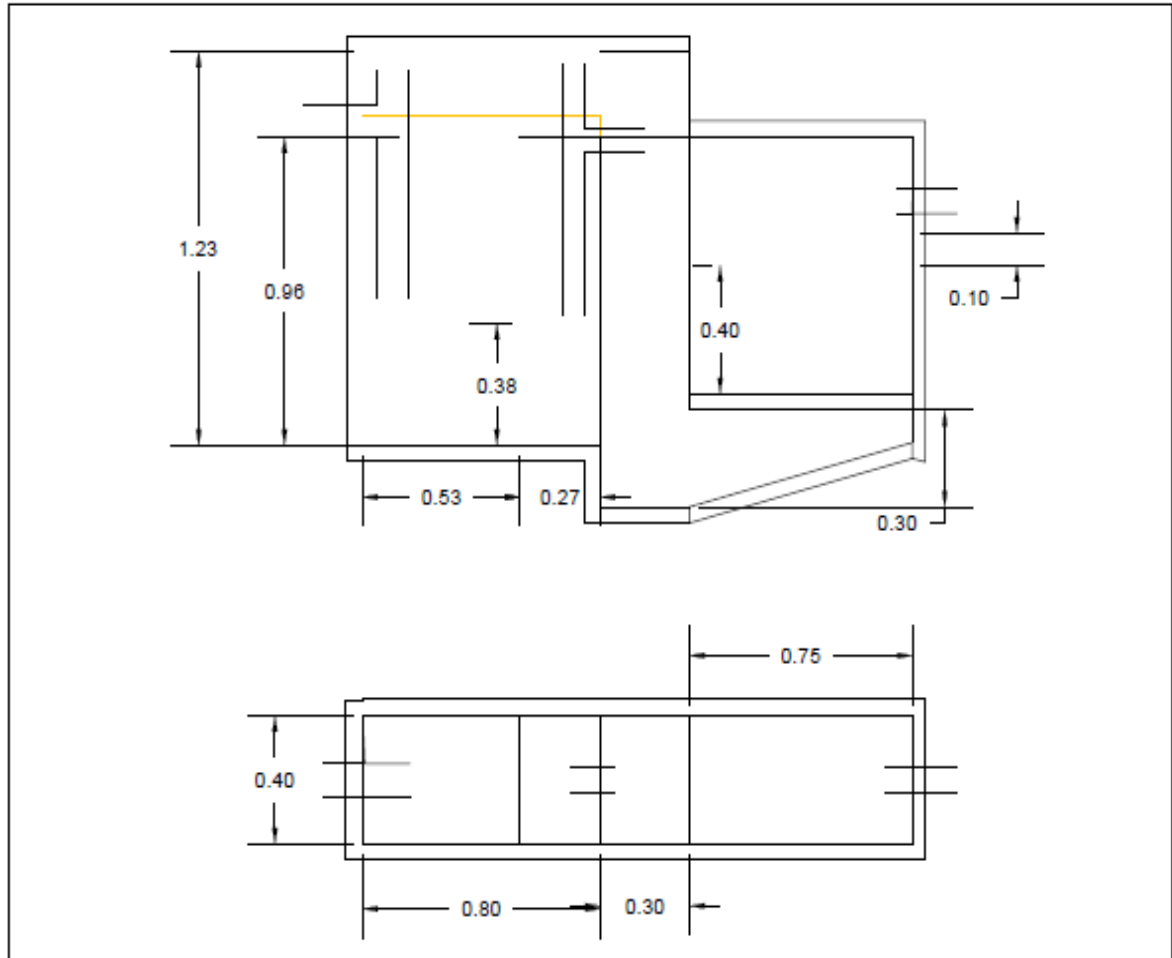
Tabla 47. Cálculos del FAFA para el tratamiento 2.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V_{FAFA} = 0.05 * P$	0.15 m <sup>3</sup>
Largo	$L_{FAFA} = \frac{V_{FAFA}}{B * H_{FAFA}}$	0.75 m
TRH	$TRH = \frac{Q}{V_{FAFA}}$	0.49 días



Fuente: Autor, 2017.

Imagen 20. Sistema de Tratamiento 2. Quebrada Escorial



Fuente: Autor, 2017.

#### 7.2.5.2.4 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 3.

El tratamiento 3 fue diseñado para una población de 8 habitantes, en la imagen 21 se observa el dimensionamiento.

##### 7.2.5.2.4.1 Tanque Séptico para el tratamiento 3.

El tanque séptico igual que los anteriores contarán con una tubería 4" y 3" para la entrada y salida de las aguas residuales. En la tablas 48 se observan los cálculos de esta unidad.

Tabla 48 Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 3.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V = Q * TRH$	0.816 m <sup>3</sup>
Borde libre	BI	0.23 m
Ancho	$B = \sqrt{\frac{V}{H_u * \frac{l}{b}}}$	0.6 m
Largo	$L = B * \frac{l}{b}$	1.2 m
Altura útil corregida	$H_u^* = \frac{V}{B * L}$	1.13 m
Volumen de almacenamiento de natas y espumas	$V_n = \frac{T_n * P * N}{1000}$	0.056 m <sup>3</sup>
Altura de natas	$h_n = \frac{V_n}{A}$	0.078 m
Altura de los orificio del primer compartimiento	$h_o = 0.4 * H_u^*$	0.45 m
Largo del compartimiento 1	$L_1 = \frac{2}{3} L$	0.8 m
Largo del compartimiento 2	$L_2 = \frac{1}{3} L$	0.4 m
Volumen de lodos	$V_{lod} = h_o * B * L$	0.33 m <sup>3</sup>
Lodos generados	$Lod = P * Tl$	0.40 m <sup>3</sup> /año
Limpieza de lodos	$L_{lod} = \frac{V_{lod}}{Lod}$	0.82 años
Altura total		1.43 m

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.2.5.2.4.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 3.

El FAFA fue diseñado con el mismo ancho del tanque séptico anterior y con una altura util de 0.75 m con lo que se cumple con lo recomendado por Romero, 1999.

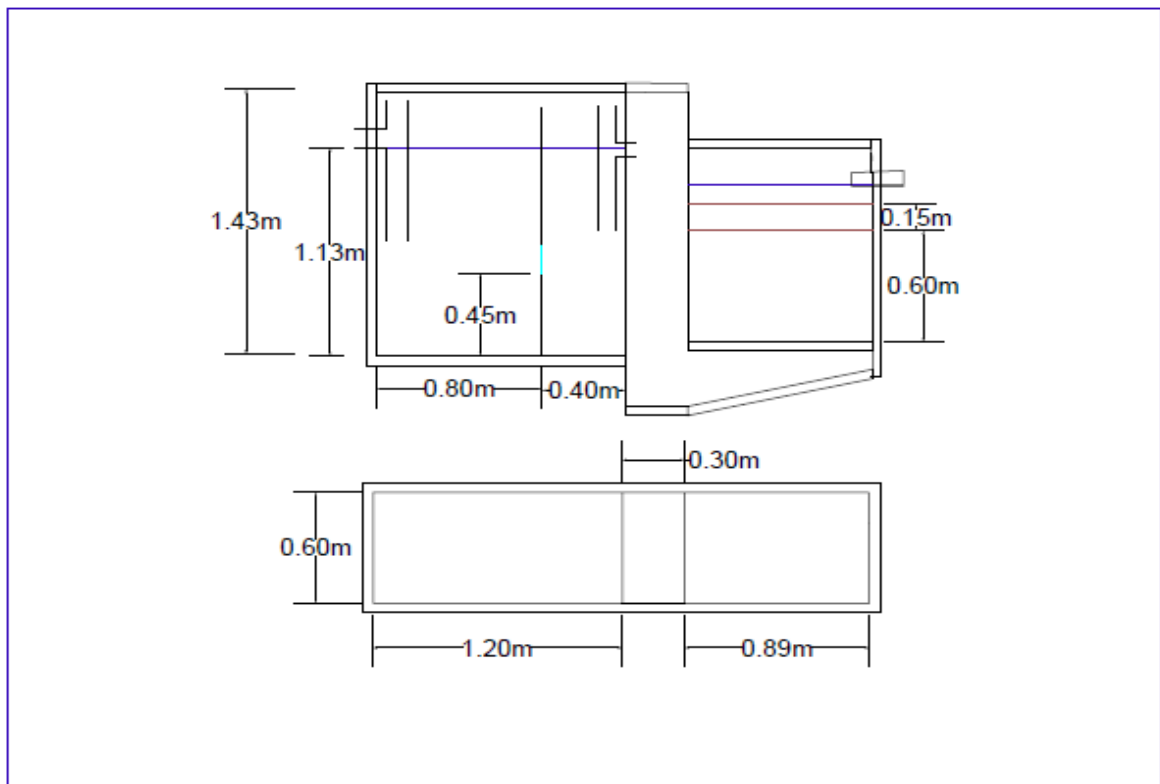
Además se dimensiono con una altura de lámina de agua de 0.10 m y un borde libre de 0.20 m.

Tabla 49. Cálculos del FAFA para el tratamiento 3

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V_{FAFA} = 0.05 * P$	0.4 m <sup>3</sup>
Largo	$L_{FAFA} = \frac{V_{FAFA}}{B * H_{FAFA}}$	0.89 m
TRH	$TRH = \frac{Q}{V_{FAFA}}$	0.49 días

Fuente: Autor, 2017.

Imagen 21. Sistema de Tratamiento 3. Quebrada Escorial



Fuente: Autor, 2017.

#### 7.2.5.2.5 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 4.

El tratamiento 4 fue diseñado para 4 habitantes, en las tablas 50 y 51 se observan los cálculos para el tanque séptico y el FAFA. Los planos se muestran en la imagen 22.

##### 7.2.5.2.5.1 Tanque Séptico para el tratamiento 4.

El tanque séptico fue diseñado con un tiempo de retención de 1 día y un borde libre de 0.25 m. En la tabla 50 se muestran los cálculos de esta unidad.

Tabla 50. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 4.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V = Q * TRH$	0.408 m <sup>3</sup>
Borde Libre	$Bl$	0.25
Ancho	$B = \sqrt{\frac{V}{H_u * \frac{l}{b}}}$	0.45 m
Largo	$L = B * \frac{l}{b}$	0.9 m
Altura útil corregida	$H_u^* = \frac{V}{B * L}$	1.01 m
Volumen de almacenamiento de natas y espumas	$V_n = \frac{T_n * P * N}{1000}$	0.028 m <sup>3</sup>
Altura de natas	$h_n = \frac{V_n}{A}$	0.069 m
Altura de los orificio del primer compartimiento	$h_o = 0.4 * H_u^*$	0.40 m
Largo del compartimiento 1	$L_1 = \frac{2}{3}L$	0.6 m
Largo del compartimiento 2	$L_2 = \frac{1}{3}L$	0.3 m
Volumen de lodos	$V_{lod} = h_o * B * L$	0.16 m <sup>3</sup>

Lodos generados	$Lod = P * Tl$	0.20 m <sup>3</sup> /año
Limpieza de lodos	$L_{lod} = \frac{V_{lod}}{Lod}$	0.82 años
Altura Total	$H = H_u^* + h_n + Bl$	1.33 m

Fuente: Autor, 2017.

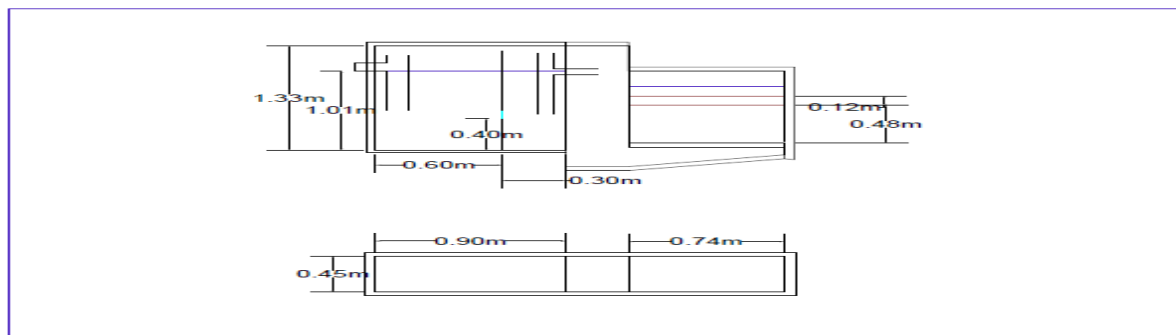
7.2.5.2.5.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 4.  
El FAFA del tratamiento 4 fue diseñado con una altura útil de 0.6 m, además contara con una falso fondo de 0.30 m y un borde libre de 0.20 m. en la tabla 51 se observan los resultados.

Tabla 51. Cálculos del FAFA para el tratamiento 4.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V_{FAFA} = 0.05 * P$	0.2 m <sup>3</sup>
Largo	$L_{FAFA} = \frac{V_{FAFA}}{B * H_{FAFA}}$	0.37 m
TRH	$TRH = \frac{Q}{V_{FAFA}}$	0.49 días
Altura Grava del Fondo	$H_{gf} = 0.8 * H_u$	0.48 m
Altura Grava Superior	$H_{gs} = 0.2 * H_u$	0.12 m

Fuente: Autor, 2017.

Imagen 22. Sistema de Tratamiento 4. Quebrada Escorial



Fuente: Autor, 2017.

#### 7.2.5.2.6 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 5.

Debido a que el sistema de tratamiento 5 cuenta con la misma población de diseño que el tratamiento 1 se toman las mismas dimensiones calculadas en las tablas 44 y 45; para este sistema. Los planos están representados en la imagen 19.

#### 7.2.5.2.7 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 6.

El tratamiento 6 fue diseñado para una población de 5 habitantes, los cálculos se muestran en las tablas 52 y 53, mientras que el plano se observa en la imagen 23.

##### 7.2.5.2.4.1 Tanque Séptico para el tratamiento 6.

El tiempo de retención hidráulico para este tanque será de 1 día además se dejara un borde libre de 0.23 m, se recomienda realizar la limpieza de esta unidad cada 8 meses.

Tabla 52. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 6.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V = Q * TRH$	0.51 m <sup>3</sup>
Borde libre	Bl	0.23 m
Ancho	$B = \sqrt{\frac{V}{H_u * \frac{l}{b}}}$	0.5 m
Largo	$L = B * \frac{l}{b}$	1 m
Altura útil corregida	$H_u^* = \frac{V}{B * L}$	1.02 m
Volumen de almacenamiento de natas y espumas	$V_n = \frac{T_n * P * N}{1000}$	0.035 m <sup>3</sup>
Altura de natas	$h_n = \frac{V_n}{A}$	0.07 m
Altura de los orificio del primer compartimiento	$h_o = 0.4 * H_u^*$	0.41 m
Largo del compartimiento 1	$L_1 = \frac{2}{3} L$	0.67 m



Largo del compartimiento 2	$L_2 = \frac{1}{3}L$	0.33 m
Volumen de lodos	$V_{lod} = h_o * B * L$	0.20 m <sup>3</sup>
Lodos generados	$Lod = P * Tl$	0.25 m <sup>3</sup> /año
Limpieza de lodos	$L_{lod} = \frac{V_{lod}}{Lod}$	0.82 años
Altura total		1.19 m

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.2.5.2.4.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 6.

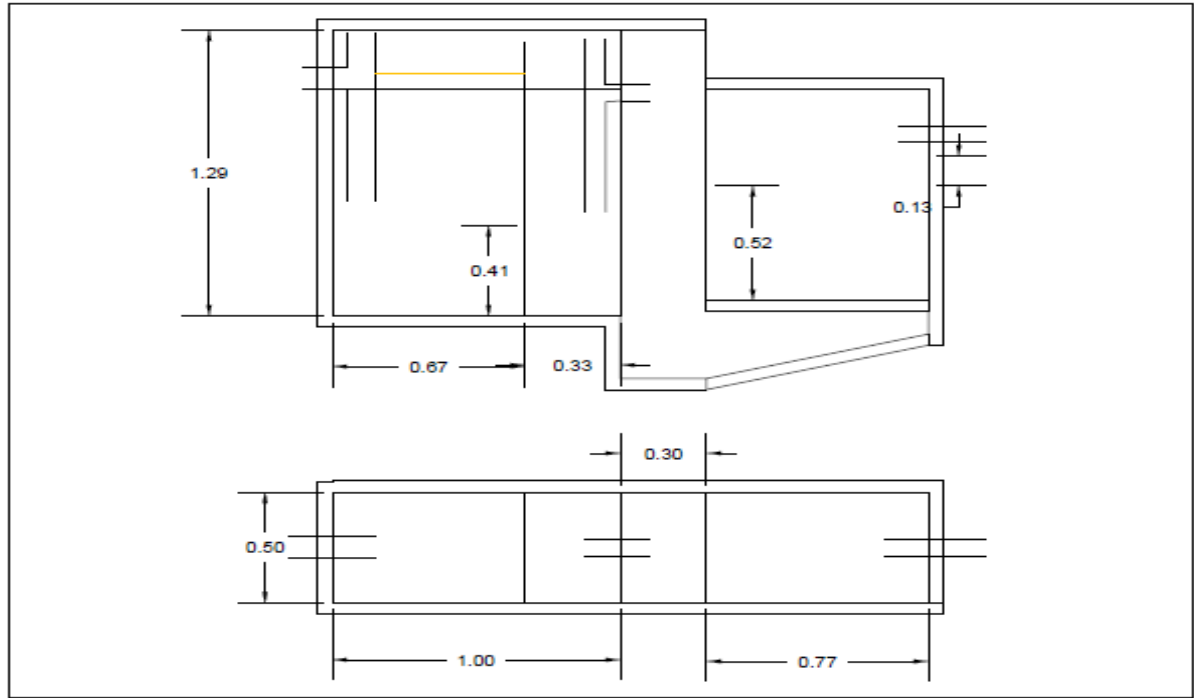
La altura útil de diseño fue asumida de 0.65 m, con un falso fondo de 0.30 m de altura, con una lámina de agua de 0.10 m y un borde libre de 0.20 m. en la tabla 53 se observan las dimensiones calculadas.

Tabla 53. Cálculos del FAFA para el tratamiento 6.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V_{FAFA} = 0.05 * P$	0.65m <sup>3</sup>
Largo	$L_{FAFA} = \frac{V_{FAFA}}{B * H_{FAFA}}$	0.77 m
TRH	$TRH = \frac{Q}{V_{FAFA}}$	0.49 días
Altura Grava del Fondo	$H_{gf} = 0.8 * H_u$	0.52 m
Altura Grava Superior	$H_{gs} = 0.2 * H_u$	0.13 m

Fuente: Autor, 2017.

Imagen 23. Sistema de Tratamiento 6. Quebrada Escorial.



Fuente: Autor, 2017.

#### 7.2.5.2.7 Dimensionamiento del sistema de Tratamiento 7.

El caudal de diseño del sistema de tratamiento 7 fue diseñado con una población de 13 habitantes, en las tablas 54 y 55 se observan las dimensiones. En la imagen 24 se muestra el plano de este sistema.

##### 7.2.5.2.7.1 Tanque Séptico para el tratamiento 7.

El tiempo de retención hidráulico del tanque séptico se asumió de 1 día, partiendo de este valor se calcularon las dimensiones mostradas en la tabla 54.

Tabla 54. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 7.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V = Q * TRH$	1.326 m <sup>3</sup>
Borde libre	Bl	0.15 m
Ancho	$B = \sqrt{\frac{V}{H_u * \frac{l}{b}}}$	0.72 m

Largo	$L = B * \frac{l}{b}$	1.44 m
Altura útil corregida	$H_u^* = \frac{V}{B * L}$	1.28 m
Volumen de almacenamiento de natas y espumas	$V_n = \frac{T_n * P * N}{1000}$	0.091 m <sup>3</sup>
Altura de natas	$h_n = \frac{V_n}{A}$	0.088 m
Altura de los orificio del primer compartimiento	$h_o = 0.4 * H_u^*$	0.51 m
Largo del compartimiento 1	$L_1 = \frac{2}{3} L$	0.96 m
Largo del compartimiento 2	$L_2 = \frac{1}{3} L$	0.48 m
Volumen de lodos	$V_{lod} = h_o * B * L$	0.53 m <sup>3</sup>
Lodos generados	$Lod = P * Tl$	0.65 m <sup>3</sup> /año
Limpieza de lodos	$L_{lod} = \frac{V_{lod}}{Lod}$	0.82 años
Altura total		1.47 m

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.2.5.2.7.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 7.

La altura útil del FAFA del sistema 7 será de 0.85 m, tendrá un borde libre de 0.20 m y una altura de falso fondo de 0.30 m para facilitar labores de limpieza, en la tabla 55 se observan los cálculos.

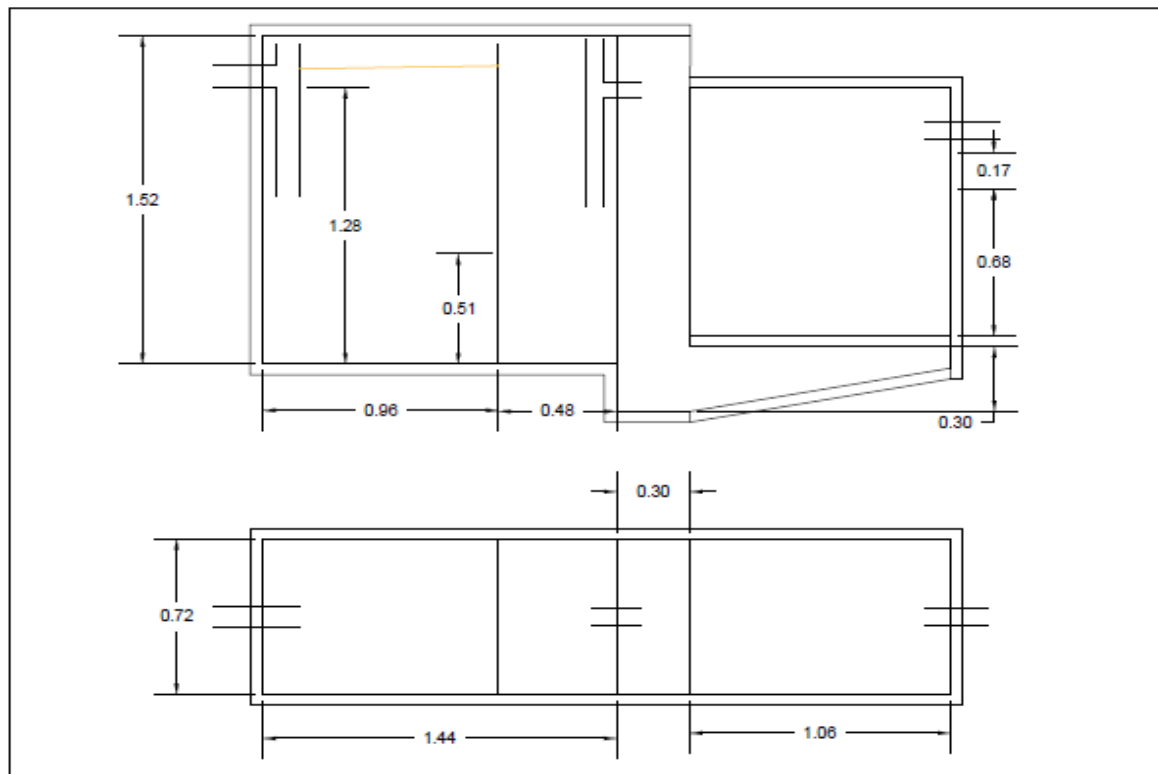
Tabla 55. Cálculos del FAFA para el tratamiento 7.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V_{FAFA} = 0.05 * P$	0.65m <sup>3</sup>

Largo	$L_{FAFA} = \frac{V_{FAFA}}{B * H_{FAFA}}$	1.64 m
TRH	$TRH = \frac{Q}{V_{FAFA}}$	0.49 días
Altura Grava del Fondo	$H_{gf} = 0.8 * H_u$	0.68 m
Altura Grava Superior	$H_{gs} = 0.2 * H_u$	0.17 m

Fuente: Autor, 2017.

Imagen 24. Sistema de tratamiento 7. Quebrada Escorial.



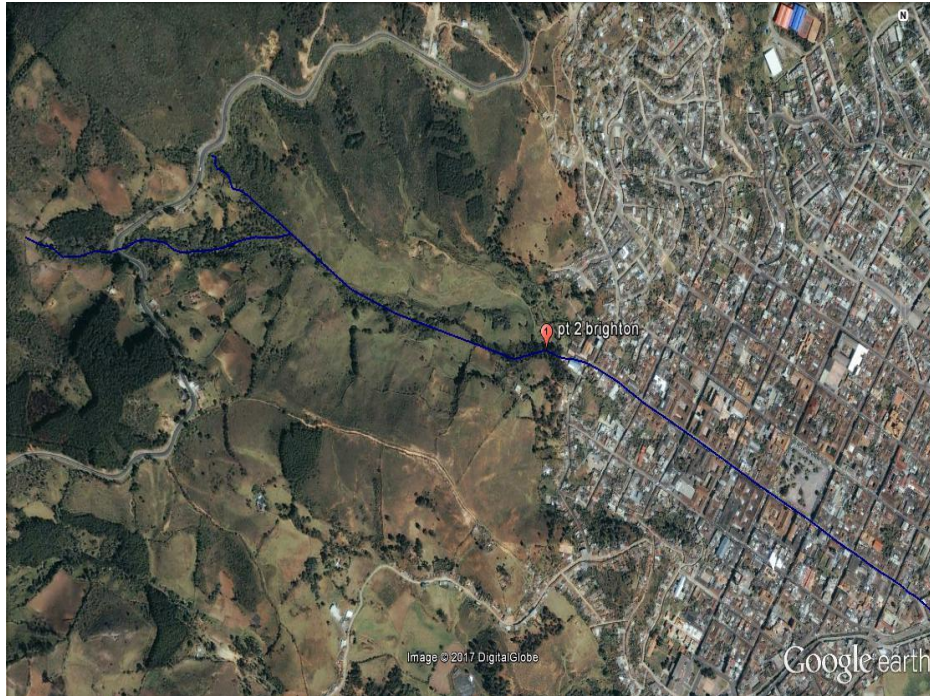
Fuente: Autor, 2017.

### 7.3 QUEBRADA BRIGHTON

La caracterización de las aguas de la quebrada Brighton se realizó los días 25, 26 y 27 de abril, en la parte alta debido a que su vertimiento se realiza al colector principal del municipio mezclándose con las aguas residuales domesticas de los

barrios del centro y descargando en las afueras del municipio. En la imagen 25 se observa el punto de muestreo.

Imagen 25. Ubicación del Punto de Muestreo. Quebrada Brighton.



Fuente: Autor. Hecho: Google Earth.

### 7.3.1 Caracterización IN Situ

#### 7.3.1.1 Caracterización quebrada Brighton día 25/04/2017

Las aguas de acuerdo a los resultados se clasifican como aceptables teniendo en cuenta los valores de oxígeno disuelto registrado, de igual manera se cuenta con un PH óptimo y una conductividad que clasifican a esta agua con poca contaminación, los valores se muestran en la tabla 56.

Tabla 56. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Brighton 25/04/2017.

Punto	Fecha	Hora	OD	PH	Conductividad	Temperatura
2	25/04/2017	6:00	6.81	7.23	98.5	15.8
2	25/04/2017	10:00	6.72	7.28	97.9	16.7
2	25/04/2017	2:00	6.63	7.31	96.2	18.6
2	25/04/2017	5:00	6.51	7.2	95.8	17.1

Fuente: Autor, 2017.

Los caudales de la quebrada Brighton no superan el litro/segundo y se mantienen casi constantes durante el día, van desde su punto máximo en las horas de la

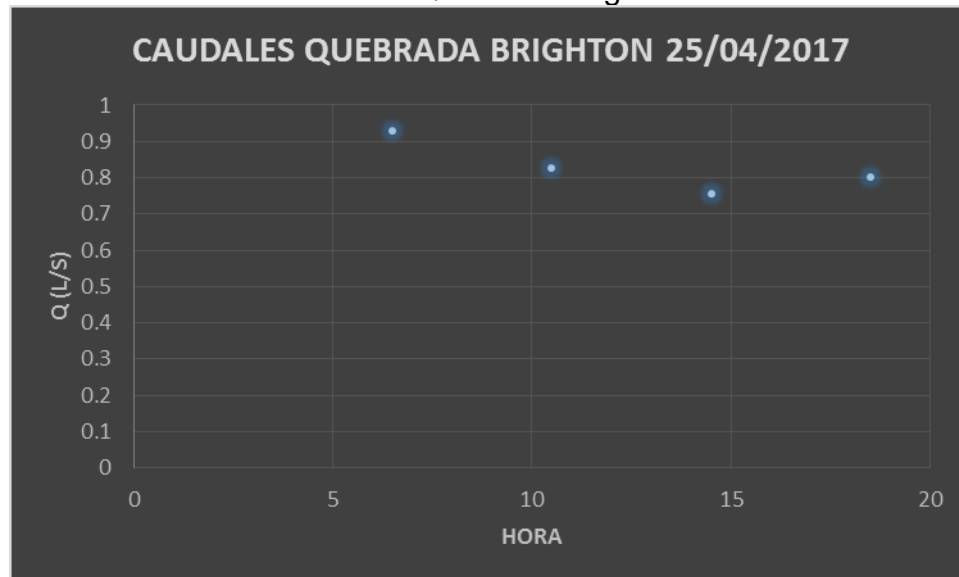
mañana descendiendo a medida que sube la temperatura, como se observa en la tabla 57 y grafico 7.

Tabla 57. Caudales Quebrada Brighton 25/04/2017.

PUNTO 2	
HORA	Q (L/S)
6:00 a. m.	0.93073689
10:00 a. m.	0.82795518
2:00 p. m.	0.75740571
6:00 p. m.	0.80129995

Fuente: Autor, 2017.

Gráfico 7. Caudales Quebrada Brighton 25/04/2017.



Fuente: Autor, 2017.

### 7.3.1.2 Caracterización quebrada Jurado día 26/04/2017

En la tabla 58 se observa que durante el día 26 de abril se registró un valor de oxígeno disuelto de 8.85 mg/l lo que la clasificaría como una fuente buena. En cuanto a la conductividad se observó un ligero aumento producto de la concentración de sales disueltas que fueron arrastradas por la precipitación de baja intensidad presentada.

Tabla 58. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Brighton 26/04/2017.

Punto	Fecha	Hora	OD	PH	Conductividad	Temperatura
2	26/04/2017	6:00	8.85	7.31	101.8	15.7
2	26/04/2017	10:00	6.91	7.67	102.9	17.3



2	26/04/2017	2:00	6.83	7.66	103.7	18.4
2	26/04/2017	5:00	6.7	7.54	103.9	17.1

Fuente: Autor, 2017.

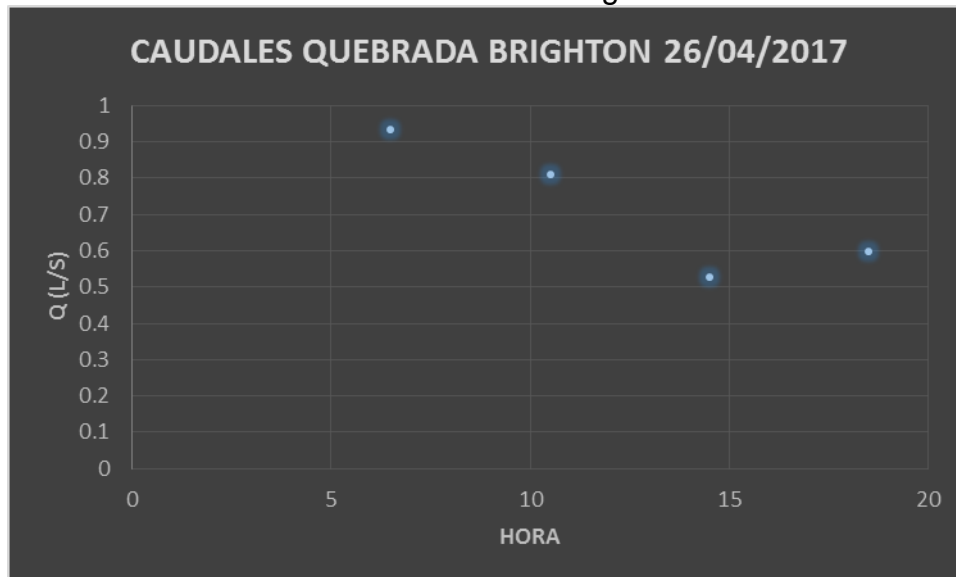
Los caudales se encuentran entre 0.93 l/s a las 6 am y 0.59 l/s a las 6 pm, presentándose una fuerte variación debido a la extracción del recurso por parte de la comunidad de la microcuenca, tal como se observa en la tabla 59.

Tabla 59. Caudales Quebrada Brighton 26/04/2017.

PUNTO 2	
HORA	Q (L/S)
6:00 a. m.	0.93436085
10:00 a. m.	0.80974918
2:00 p. m.	0.52706769
6:00 p. m.	0.59966839

Fuente: Autor, 2017.

Gráfico 8. Caudales Quebrada Brighton 26/04/2017.



Fuente: Autor, 2017.

### 7.3.1.3 Caracterización quebrada Brighton día 27/04/2017

Con los resultados obtenidos mostrados en la tabla 60 se clasifica como un recurso hídrico de buena calidad debido a que el oxígeno disuelto se encuentra entre 5 y 6 mg/l, PH entre 6.5 y 8.5 y conductividad menor a 280 MS/cm.

Tabla 60. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Brighton 27/04/2017.

Punto	Fecha	Hora	OD	PH	Conductividad	Temperatura
2	27/04/2017	6:00	7.62	7.42	102.4	16
2	27/04/2017	10:00	7.02	7.57	103	18.7
2	27/04/2017	2:00	6.71	7.63	106	19.3
2	27/04/2017	5:00	6.58	7.59	104.6	18.5

Fuente: Autor, 2017.

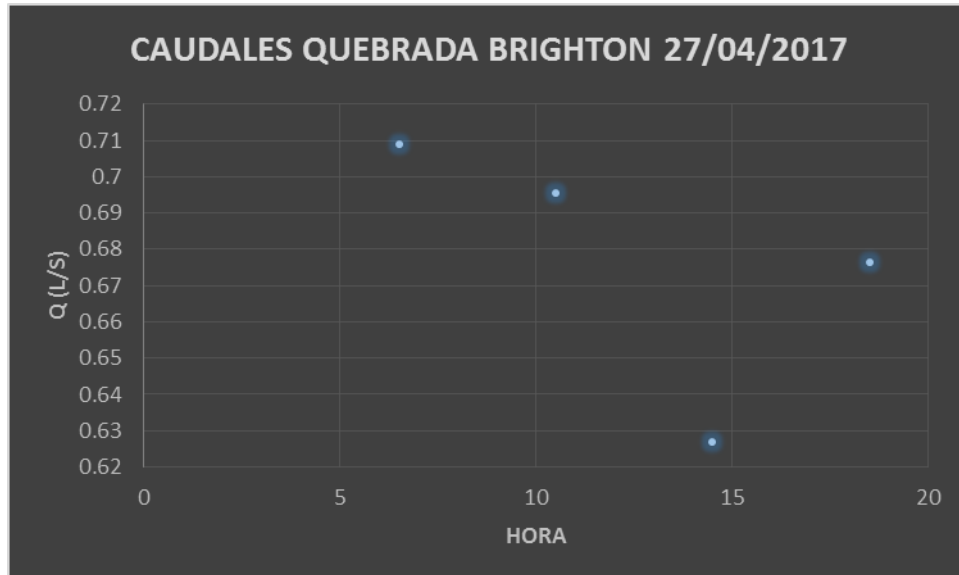
En la tabla 61 se registraron los caudales del día 26 de abril, los cuales fueron los más bajos de la caracterización debido a las temperaturas registradas estuvieron en promedio por encima de los 17 ° C.

Tabla 61. Caudales Quebrada Brighton 27/04/2017.

PUNTO 2	
HORA	Q (L/S)
6:00 a. m.	0.70899675
10:00 a. m.	0.69549455
2:00 p. m.	0.62680349
6:00 p. m.	0.67652078

Fuente: Autor, 2017.

Gráfico 9. Caudales Quebrada Brighton 27/04/2017.



Fuente: Autor, 2017.

### 7.3.2 Análisis de Laboratorio Quebrada Brighton

#### 7.3.2.1 Sólidos

##### 7.3.2.1.1 Sólidos Totales

La cantidad de sólidos suspendidos totales mostrada en la tabla 62 es baja lo que indica la poca presencia de material ya sea disuelto o sedimentable en el recurso hídrico, determinado una buena calidad del recurso.

Tabla 62. Sólidos Totales. Quebrada Brighton.

Pt	Fecha	Peso crisol (gr)	Peso Seco (gr)	Volumen (ml)	Volumen (L)	ST mg/L
1	25/04/2017	40.8419	40.8426	20	0.02	35
1	26/04/2017	38.0419	38.0427	20	0.02	40
1	27/04/2017	21.2025	21.2034	20	0.02	45

Fuente: Autor, 2017.

##### 7.3.2.1.2 Sólidos Suspendidos Totales

De acuerdo a los valores obtenidos mostrados en la tabla 63 los sólidos suspendidos de acuerdo a la clasificación determinan buena calidad con bajo contenido de sólidos, y sin indicios de contaminación, afirmación que será corroborada con los otros parámetros físicos químicos.

Tabla 63 . Sólidos Suspendidos Totales. Quebrada Brighton.

Pt	Fecha	Peso crisol + Filtro (gr)	Peso crisol + Filtro después del calentamiento (gr)	Volumen (ml)	Volumen (L)	SST mg/L
2	25/04/2017	16.3114	16.312	20	0.02	30
2	26/04/2017	16.4307	16.4312	20	0.02	25
2	27/04/2017	21.4386	21.4393	20	0.02	35

Fuente: Autor, 2017.

##### 7.3.2.1.3 Sólidos Suspendidos volátiles

Los sólidos suspendidos volátiles registrados en la tabla 64 indican la presencia baja de materia orgánica en el recurso hídrico.

Tabla 64. Sólidos Suspendidos Volátiles. Quebrada Brighton.

Pt	Fecha	Peso crisol + Filtro después del calentamiento a 105°C (gr)	Peso crisol + Filtro después del calentamiento a 505°C (gr)	Volumen (ml)	Volumen (L)	SSV g/L
2	25/04/2017	16.312	16.3119	20	0.02	5
2	26/04/2017	16.4312	16.431	20	0.02	10
2	27/04/2017	21.4393	21.4392	20	0.02	5

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.3.2.1.4 Sólidos Sedimentables

La presencia de sólidos sedimentables en la quebrada Brighton es casi nula debido a que los valores determinados no sobrepasan el 1 ml/l de acuerdo a lo mostrado en la tabla 65.

Tabla 65. Sólidos Sedimentables. Quebrada Brighton.

Punto	Fecha	sólidos sedimentables
1	25/04/2017	0.2
2	26/04/2017	0.05
1	27/04/2017	0.2

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.3.3 Caracterización Físico química

La DQO se encuentra entre 40 y 61 indicando que se encuentra ligeramente contaminada, por causas naturales o antropogénicas. Además se determinó que el agua de la quebrada Brighton es dura ya que se encuentra por encima de los 42, según lo observado en la tabla 66.

Tabla 66. Caracterización Físico Química Quebrada Brighton.

PUNTO	FECHA	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	TURBIEDAD	SULFATOS	FOSFATOS	NITRITOS	COLOR	CLORUROS	DUREZA	ALCALINIDAD
2	25/04/2017	61	40	12.9	2	0.01	0.007	95	12.25	51.6	60.1

2	26/04/2017	40	27	10.2	2	0.05	0.006	179	10.50	47.5	55.0
2	27/04/2017	58	38	6.74	2	0.02	0.007	66	13.99	39.1	56.9

Fuente: Autor, 2017.

El promedio de los resultados de la caracterización de la semana para la quebrada Brighton se presentan en la tabla 67.

Tabla 67. Caracterización Semanal Quebrada Brighton

PARAMETRO	CARACTERIZACIÓN SEMANA
Q	0.74
DQO	53.31
DBO5	35.20
ST	39.66
SST	29.91
SSV	6.61
SS	0.15
SULFATOS	2.00
FOSFATOS	0.03
NITRITOS	0.01
TURBIEDAD	10.15
COLOR	113.28
PH	7.42
T	17.43
OD	7.03
CONDUCTIVIDAD	7.03
CLORUROS	12.21
DUREZA	46.47

ALCALINIDAD	57.48
-------------	-------

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.3.4 Diagnostico de la Quebrada Brighton.

La microcuenca de la quebrada Brighton se caracterizó por presentarse actividades agrícolas y ganaderas. Entre los cultivos observados se encuentran la papa, alverja, Fresa y tomate de árbol (fotografía 16). En cuanto a la crianza de animales se observó la presencia de porcinos y bovinos (fotografía 17). En la parte hidrosanitario se observó la presencia de algunos pozos sépticos, que pueden estar aportando aguas residuales por infiltración.

En el censo se registraron 8 viviendas ocupadas por 37 personas, de las cuales 5 se encuentran en la parte alta a orillas de la vía que conduce del municipio de Pamplona a Bucaramanga, en la tabla 68 se muestran los resultados de este censo.

Fotografía 16. Actividades Agrícolas en la Quebrada Brighton.



Fuente: Autor, 2017.

Fotografía 17. Actividades Ganaderas en la quebrada Brighton.





Fuente: Autor, 2017.

*Tabla 68. Censo Quebrada Brighton.*

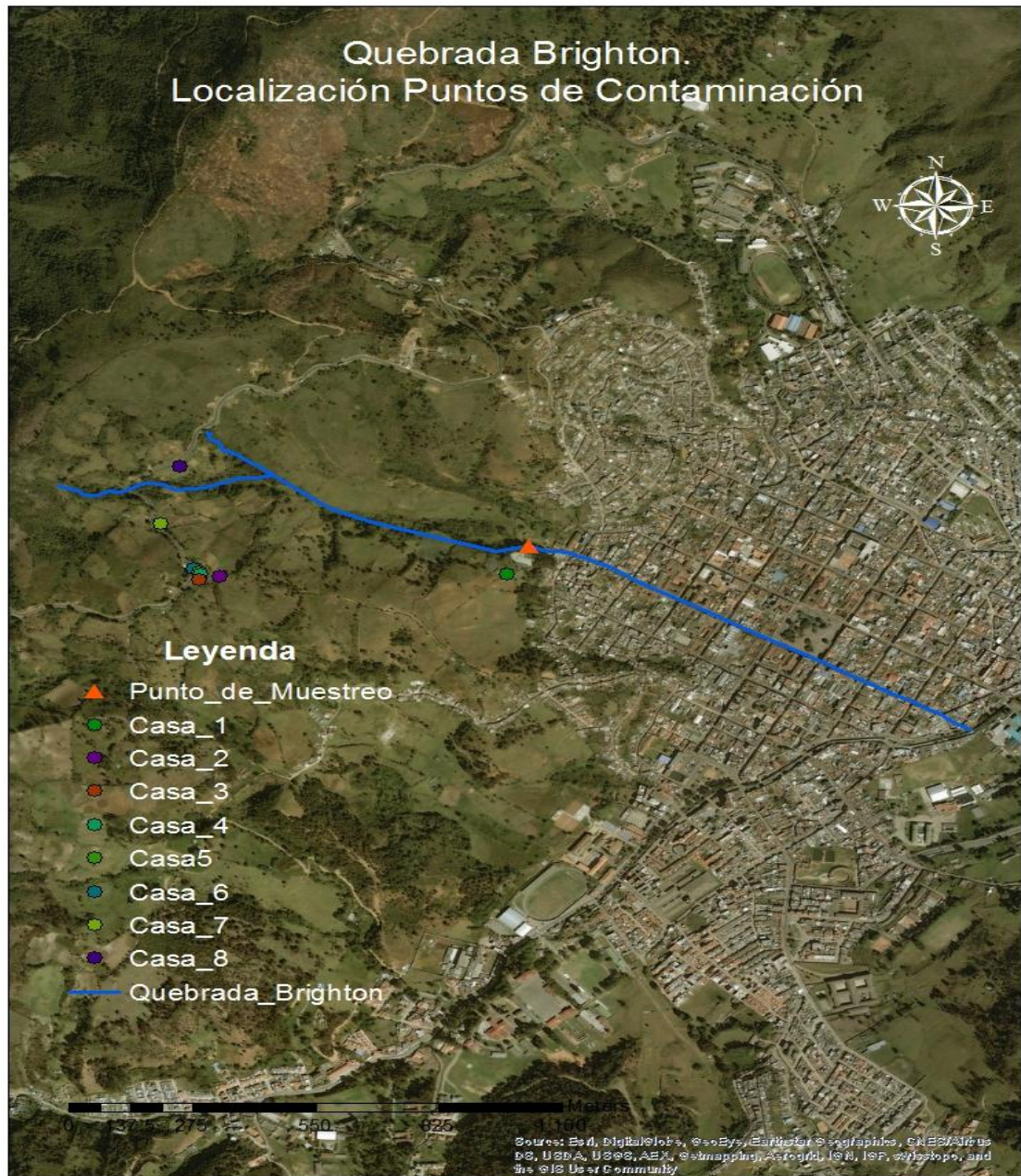
Casa	Número de Habitantes.
1	4
2	4
3	7
4	6
5	4
6	4
7	4
8	4

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.3.4 Soluciones para los Vertimientos de la Quebrada Brighton

Debido a que las viviendas se encuentran en la parte rural se implantaran sistemas individuales o agrupados para las aguas residuales domesticas de acuerdo al título J de RAS. En la imagen 26 se observa la localización de las viviendas en las que se implantaran los tratamientos.

Imagen 26. Quebrada Brighton. Localización de Viviendas



Fuente: Autor. Hecho Arc Gis.

#### 7.3.4.1 Selección del Tratamiento

La selección del sistema de tratamiento se realizó de acuerdo a la tabla 18 extraída del título J del RAS. Teniendo en cuenta las condiciones de la Quebrada Brighton se seleccionó un sistema conformado por un tanque séptico y un FAFA.



### 7.3.4.2 Diseño de los Sistemas de Tratamiento In Situ

Para el dimensionamiento del tanque séptico y del filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), se tendrán en cuenta los siguientes parámetros de diseño para los sistemas propuestos.

De acuerdo al título J del RAS 2010 se asumen los siguientes parámetros de diseño para el tanque séptico:

- Relación largo/ancho (l/b) de 2:1
- Dispositivos de entradas Tees.
- Diámetro de la tubería de entrada y salida serán respectivamente de 4 y 3 pulgadas.
- Pendiente de fondo del tanque séptico será de 2%.

En cuanto a los parámetros de diseño para el filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) fueron tomas del capítulo 25 del libro tratamiento de aguas residuales Teoría y principios de diseño del autor Jairo Alberto Romero Rojas, donde se recomienda utilizar una altura útil mayor o igual a 0.5 m.

#### 7.3.4.2.1 Caudal de Diseño

El caudal de diseño se calculó de acuerdo a las tablas 19 y 20. Seleccionándose un nivel de complejidad bajo tomando la dotación neta mínima de acuerdo a lo recomendado por el título J del RAS 2010.

##### 7.3.4.2.1.1 cálculo de los caudales de diseño

De acuerdo a la distribución de las viviendas observadas en la imagen 26, se dimensionaran 4 sistemas de tratamiento, ubicados a los alrededores de las viviendas.

Los cálculos de caudales se realizaron de acuerdo a la ecuación 25, con dotación bruta con pérdidas del 25%, en la tabla 69 se observan los resultados de los cálculos.

Tabla 69. Calculo del Caudal de Diseño.

Sistema de tratamiento	Viviendas Agrupadas	Dotación Bruta	Población	Caudal (L/día)
1	1	120	4	408
2	2-3-4-5-6	120	25	2550
3	7	120	4	408
4	8	120	4	408

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.3.4.2.2 Dimensionamiento de los sistemas de tratamiento 1,3 y 4.

De acuerdo a lo observado en la tabla 69 se presentan 3 sistemas con el mismo caudal por lo tanto sus dimensiones son exactas. En la tabla 70 y 71 se muestran los resultados para los sistemas 1,3 y 4 de la quebrada Brighton.

##### 7.3.4.2.2.1 Tanque Séptico para los tratamientos 1,3 y 4.

El tanque séptico diseñado a continuación tratara las aguas residuales domesticas de 4 habitantes con un tiempo de retención de 1 día. En la tabla 70 se observan los resultados de los cálculos de esta unidad y en la imagen 27 los planos de estos sistemas.

Tabla 70. Cálculo del Tanque Séptico.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V = Q * TRH$	0.408 m <sup>3</sup>
Borde Libre	$B l$	0.25
Ancho	$B = \sqrt{\frac{V}{H_u * \frac{l}{b}}}$	0.45 m
Largo	$L = B * \frac{l}{b}$	0.9 m
Altura útil corregida	$H_u^* = \frac{V}{B * L}$	1.01 m
Volumen de almacenamiento de natas y espumas	$V_n = \frac{T_n * P * N}{1000}$	0.028 m <sup>3</sup>
Altura de natas	$h_n = \frac{V_n}{A}$	0.069 m
Altura de los orificio del primer compartimiento	$h_o = 0.4 * H_u^*$	0.40 m
Largo del compartimiento 1	$L_1 = \frac{2}{3} L$	0.6 m

Largo del compartimiento 2	$L_2 = \frac{1}{3}L$	0.3 m
Volumen de lodos	$V_{lod} = h_o * B * L$	0.16 m <sup>3</sup>
Lodos generados	$Lod = P * Tl$	0.20 m <sup>3</sup> /año
Limpieza de lodos	$L_{lod} = \frac{V_{lod}}{Lod}$	0.82 años
Altura Total	$H = H_u^* + h_n + Bl$	1.33 m

Fuente: Autor, 2017.

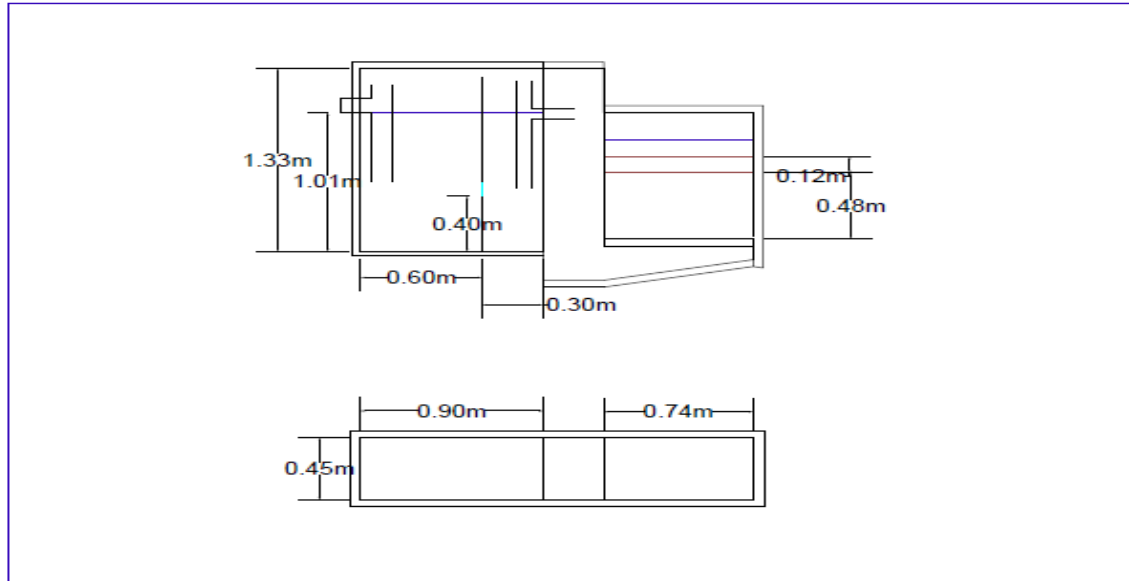
7.3.5.2.6.2 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para los tratamientos 1,3 y 4. El FAFA tendrá una altura útil de 0.6 m, con borde libre de 0.20 m y una lámina de agua de 0.10 m. La altura del falso fondo será de 0.3 m. En la tabla 71 se observan los cálculos de la unidad de postratamiento.

Tabla 71. Cálculos del FAFA para los tratamientos 1,3 y 4.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V_{FAFA} = 0.05 * P$	0.2 m <sup>3</sup>
Largo	$L_{FAFA} = \frac{V_{FAFA}}{B * H_{FAFA}}$	0.74 m
TRH	$TRH = \frac{Q}{V_{FAFA}}$	0.49 días
Altura Grava del Fondo	$H_{gf} = 0.8 * H_u$	0.48 m
Altura Grava Superior	$H_{gs} = 0.2 * H_u$	0.12 m

Fuente: Autor, 2017.

Imagen 27. Sistema de los Tratamientos 1,3 y 4



Fuente: Autor, 2017.

#### 7.3.4.2.3 Dimensionamiento de los sistemas de tratamiento 2.

El sistema de tratamiento 2, realizara el tratamiento de las aguas residuales domestica de las viviendas 2, 3, 4,5 y 6; Con una población de 25 habitantes.

En las tablas 72 y 73 se muestran los cálculos del sistema 2. En la imagen 28 se observa el plano de este sistema.

##### 7.3.4.2.3.1 Tanque Séptico para el tratamiento 2.

El tanque séptico tiene un tiempo de retención de 1 día y un borde libre de 0.3 m. las tuberías de entrada y salida tendrán un diámetro de 4" y 3" respectivamente.

Tabla 72. Calculo del Tanque Séptico para el tratamiento 2.

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V = Q * TRH$	2.55 m <sup>3</sup>
Borde libre	BI	0.3 m
Ancho	$B = \frac{\sqrt{V}}{\sqrt{H_u * \frac{l}{b}}}$	1 m



Largo	$L = B * \frac{l}{b}$	2 m
Altura útil corregida	$H_u^* = \frac{V}{B * L}$	1.28 m
Volumen de almacenamiento de natas y espumas	$V_n = \frac{T_n * P * N}{1000}$	0.176 m <sup>3</sup>
Altura de natas	$h_n = \frac{V_n}{A}$	0.088 m
Altura de los orificio del primer compartimiento	$h_o = 0.4 * H_u^*$	0.51 m
Largo del compartimiento 1	$L_1 = \frac{2}{3} L$	1.33 m
Largo del compartimiento 2	$L_2 = \frac{1}{3} L$	0.67 m
Volumen de lodos	$V_{lod} = h_o * B * L$	1.02 m <sup>3</sup>
Lodos generados	$Lod = P * Tl$	1.25 m <sup>3</sup> /año
Limpieza de lodos	$L_{lod} = \frac{V_{lod}}{Lod}$	0.82 años
Altura total	$H = H_u^* + h_n + Bl$	1.66 m

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.3.4.2.3.1 Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente para el tratamiento 2.

Se asume una altura útil de 0.9 m, con un borde libre de 0.2 m y una lámina de agua 0.10 m. El FAFA tendrá una altura del falso fondo de 0.30 m. En la tabla 73 se muestran los resultados del dimensionamiento.

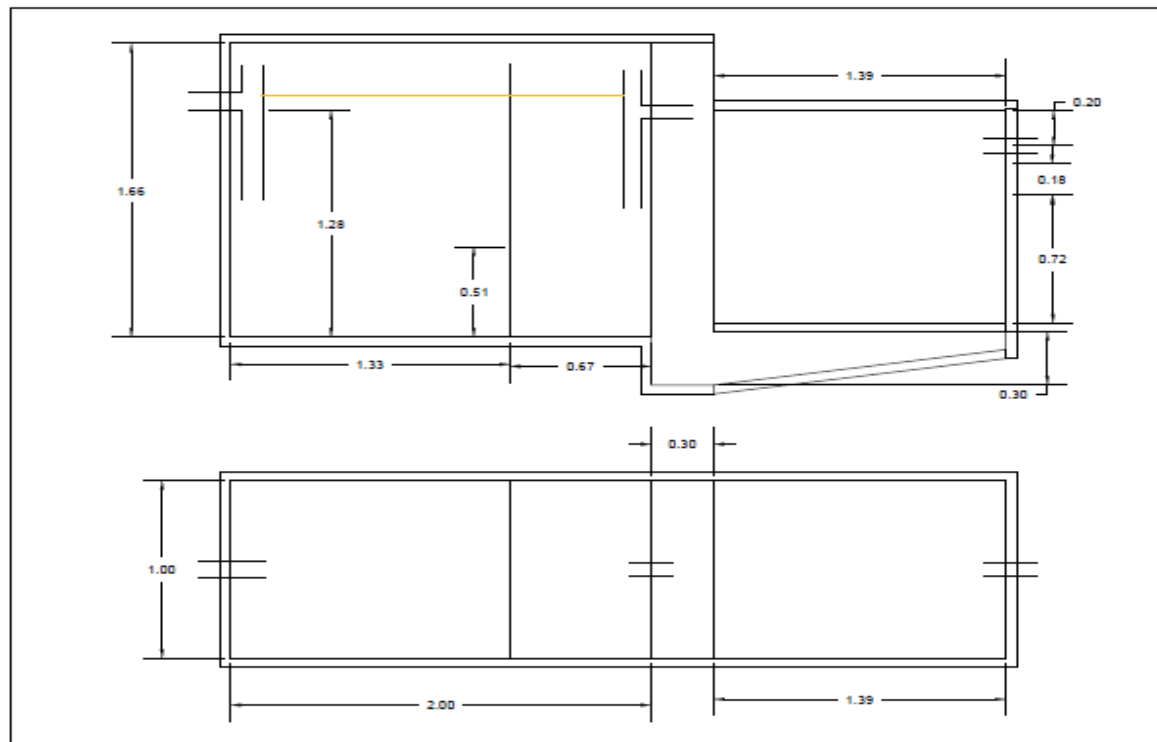
Tabla 73. Cálculos del FAFA para el Tratamiento 2

Parámetro de Diseño	Ecuación	Resultado
Volumen	$V_{FAFA} = 0.05 * P$	1.25 m <sup>3</sup>

Largo	$L_{FAFA} = \frac{V_{FAFA}}{B * H_{FAFA}}$	1.39 m
TRH	$TRH = \frac{Q}{V_{FAFA}}$	0.49 Días
Altura Grava del Fondo	$H_{gf} = 0.8 * H_u$	0.72 m
Altura Grava Superior	$H_{gs} = 0.2 * H_u$	0.18 m

Fuente: Autor, 2017.

Imagen 28. Sistema de los Tratamientos 2.



Fuente: Autor, 2017.

## 7.4 QUEBRADA SEMINARISTA

### 7.4.1 Caracterización IN Situ

#### 7.4.1.1 Caracterización quebrada Seminarista día 03/05/2017

Los resultados obtenidos para la quebrada seminarista durante la caracterización se muestran en la tabla 74, evidencia que se registran valores por debajo de 4.5 mg/l de oxígeno disuelto en la parte alta lo que clasificaría a esta agua en

condiciones de hipoxia, este resultado en producto de las condiciones del suelo en los que aflora en agua, además se tiene en cuenta que las muestras fueron tomadas en el lugar de nacimiento del recurso lo que implicaría que a medida que descienda va a ganar oxígeno disuelto de manera natural tal como se pudo constatar en la parte baja registrándose valores superiores a 6.64 mg/l. se determinó que el agua es de carácter acida en su punto alto por debajo de lo aceptado, pero esta condición va cambiando a medida que tiene contacto con el suelo hasta llegar a valores por encima de 7.24.

Otra de las observaciones es el aumento de la conductividad en el punto bajo aproximándose a valores de poco contaminada en la desembocadura.

Tabla 74. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Seminarista 03/05/2017.

Punto	Fecha	Hora	OD	PH	Conductividad	Temperatura
1	3/05/2017	6:30	7.11	7.24	221	16.1
1	3/05/2017	10:30	6.69	7.6	257	17.8
1	3/05/2017	2:30	6.61	7.68	261	18.1
1	3/05/2017	5:30	6.64	7.59	258	17.6
2	3/05/2017	6:00	4.5	4.45	138.9	15.6
2	3/05/2017	10:00	4.43	4.61	126.7	16.7
2	3/05/2017	2:00	4.37	4.67	123.4	16.9
2	3/05/2017	5:00	4.41	4.71	120.7	16.4

Fuente: Autor, 2017.

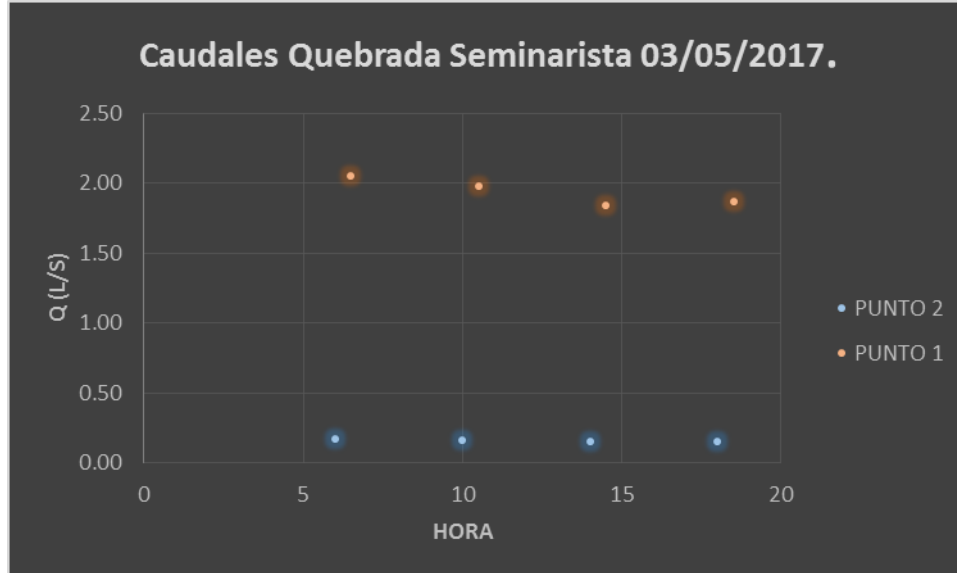
El caudal promedio mostrado en la tabla 75 muestran que para el punto de la desembocadura fue de 1.93 l/s y en la parte alta de 0.15 l/s, presentándose un caudal promedio de diferencia de 1.77 l/s, este exceso proviene de las aguas superficiales provenientes del barrio el progreso que son recolectadas en el conducto de esta quebrada.

Tabla 75. Caudales Quebrada Seminarista 03/05/2017.

PUNTO 1		PUNTO 2	
HORA	Q (L/S)	HORA	Q (L/S)
6:30 a. m.	2.05055659	6:00 a. m.	0.16785332
10:30 a. m.	1.98301951	10:00 a. m.	0.16064495
2:30 p. m.	1.84169645	2:00 p. m.	0.15340081
6:30 p. m.	1.86688202	6:00 p. m.	0.15480839

Fuente: Autor, 2017.

Gráfico 10. Caudales Quebrada Seminarista 03/05/2017.



Fuente: Autor, 2017.

#### 7.4.1.2 Caracterización quebrada Seminarista día 04/05/2017

De acuerdo a lo registrado en la tabla 76 la cantidad de oxígeno disuelto aumento en la parte alta debido a la precipitación que se presentó durante las horas de la toma de muestra, aunque se conservó el carácter ácido del PH.

En la parte baja se conservó los valores promedios de oxígeno disuelto y conductividad del día anterior.

Tabla 76. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Seminarista 04/05/2017.

Punto	Fecha	Hora	OD	PH	Conductividad	Temperatura
1	4/05/2017	6:30	7.09	7.2	236	16.6
1	4/05/2017	10:30	6.46	7.38	239	19.3
1	4/05/2017	2:30	6.36	7	253	18.4
1	4/05/2017	5:30	6.4	7.1	248	17.3
2	4/05/2017	6:00	5.53	3.98	111.6	16.1
2	4/05/2017	10:00	5.41	4.67	110.9	18.5
2	4/05/2017	2:00	5.16	4.7	112.5	17.3
2	4/05/2017	5:00	5.21	4.72	112.1	16.9

Fuente: Autor, 2017.

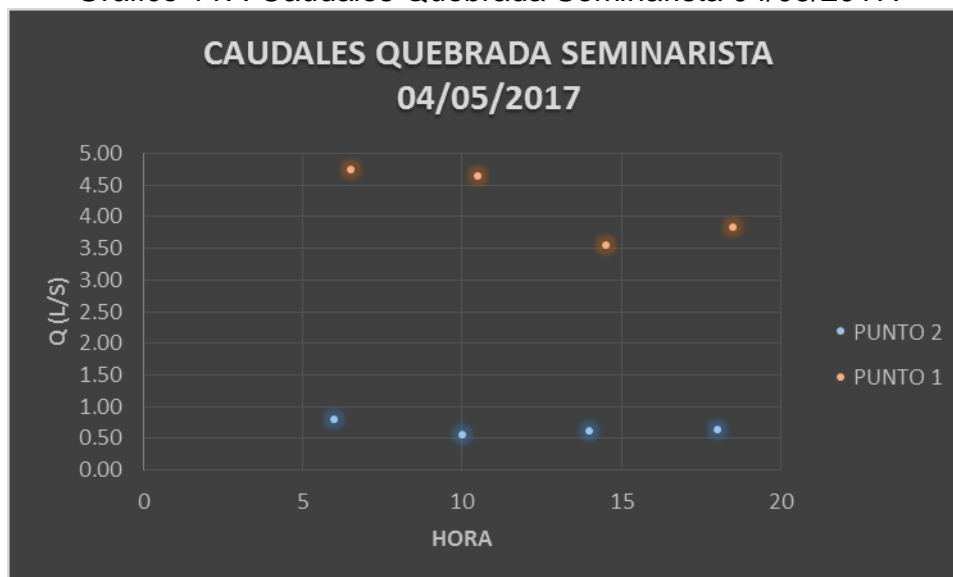
El caudal promedio mostrado en la tabla 77 para el día 5 de mayo aumento a 4.19 l/s y 0.65 l/s, generados por las precipitaciones de este día, presentándose una diferencia de 3.54 l/s debido a la escorrentía de la zona.

Tabla 77. Caudales Quebrada Seminarista 04/05/2017.

PUNTO 1		PUNTO 2	
HORA	Q (L/S)	HORA	Q (L/S)
6:30 a. m.	4.75022481	6:00 a. m.	0.79457381
10:30 a. m.	4.64562323	10:00 a. m.	0.56136643
2:30 p. m.	3.55530288	2:00 p. m.	0.61739597
6:30 p. m.	3.83028419	6:00 p. m.	0.64096765

Fuente: Autor, 2017.

Gráfico 11. . Caudales Quebrada Seminarista 04/05/2017.



Fuente: Autor, 2017.

#### 7.4.1.3 Caracterización quebrada Seminarista día 08/05/2017

Los valores de oxígeno disuelto observados en la tabla 78 se conservaron similares a los de la caracterización anterior al igual que los demás parámetros.

Tabla 78. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Seminarista 08/05/2017.

Pt	Fecha	Hora	OD	PH	Conductividad	Temperatura
1	8/05/2017	6:30	6.9	7.1	189.3	15.9
1	8/05/2017	10:30	6.7	7.28	192.4	17.8
1	8/05/2017	2:30	6.5	7.37	195.8	19.8
1	8/05/2017	5:30	6.8	7.4	189.6	18.1
2	8/05/2017	6:00	6.1	4.42	103.6	15.7
2	8/05/2017	10:00	5.48	4.52	109.5	16.8
2	8/05/2017	2:00	5.58	4.61	113.3	17.5

2	8/05/2017	5:00	6.02	4.65	110.4	17
---	-----------	------	------	------	-------	----

Fuente: Autor, 2017.

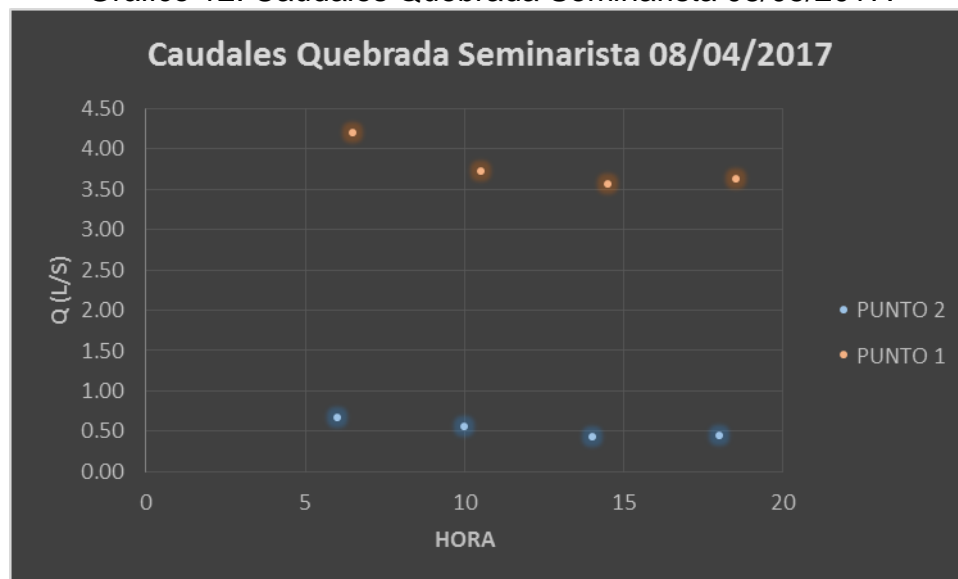
El caudal promedio registrado para el punto 1 fue de 3.78 l/s y 0.53 l/s con una diferencia de 3.25 l/s, esta diferencia se presentó por las lluvias del día 8 de abril.

Tabla 79. Caudales Quebrada Seminarista 08/05/2017.

PUNTO 1		PUNTO 2	
HORA	Q (L/S)	HORA	Q (L/S)
6:30 a. m.	4.21156899	6:00 a. m.	0.67439603
10:30 a. m.	3.72401358	10:00 a. m.	0.56792904
2:30 p. m.	3.57308937	2:00 p. m.	0.43800079
6:30 p. m.	3.63438797	6:00 p. m.	0.45076008

Fuente: Autor, 2017.

Gráfico 12. Caudales Quebrada Seminarista 08/05/2017.



Fuente: Autor, 2017.

## 7.4.2 Análisis de Laboratorio Quebrada Seminarista

### 7.4.2.1 Sólidos

#### 7.4.2.1.1 Sólidos Totales

Los sólidos totales no representan un alto grado de contaminación ni para el punto 1 como para el 2 de acuerdo a la tabla 80.

Tabla 80. Sólidos Totales. Quebrada seminarista.

Punto	Fecha	Peso crisol (gramos)	Peso Seco (gramos)	Volumen de la muestra	Volumen de la muestra	ST mg/L



				(ml)	(L)	
1	3/05/2017	30.7626	30.7639	20	0.02	65
2	3/05/2017	38.0436	38.0443	20	0.02	35
1	4/05/2017	33.2346	33.2349	20	0.02	15
2	4/05/2017	31.8524	31.8526	20	0.02	10
1	8/05/2017	24.0843	24.0866	20	0.02	115
2	8/05/2017	16.2204	16.2214	20	0.02	50

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.4.2.1.2 Sólidos Suspendidos Totales

La cantidad de sólidos suspendidos se encuentran entre 10 y 50 mg/l, tal como se muestra en la tabla 81, estos resultados indican que se encuentra entre la clasificación excelente y buena, dependiendo de la situación del tiempo atmosférico. Este comportamiento se repite para el punto 2.

Tabla 81. Sólidos Suspendidos Totales. Quebrada seminarista.

Pt	Fecha	Peso crisol + Filtro (gr)	Peso crisol + Filtro después del calentamiento (gramos)	Volumen (ml)	Volumen (L)	SST mg/L
1	3/05/2017	18.4858	18.4868	20	0.02	50
2	3/05/2017	16.4496	16.45	20	0.02	20
1	4/05/2017	17.1867	17.1869	20	0.02	10
2	4/05/2017	24.1931	24.1932	20	0.02	5
1	8/05/2017	17.1829	17.1844	20	0.02	75
2	8/05/2017	20.1923	20.193	20	0.02	35

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.4.2.1.3 Sólidos Suspendidos volátiles

Los sólidos suspendidos volátiles representan baja contaminación debido a que no superan los 35 mg/l en los dos puntos de acuerdo a los valores registrados en la tabla 82.

Tabla 82. Sólidos Suspendidos Volátiles. Quebrada seminarista.

Pt	Fecha	Peso crisol + Filtro después del calentamiento a 105°C (gramos)	Peso crisol + Filtro después del calentamiento a 505°C (gramos)	Volumen (ml)	Volumen (L)	SSV mg/L
1	3/05/2017	18.4868	18.4866	20	0.02	10
2	3/05/2017	16.45	16.4497	20	0.02	15

1	4/05/2017	17.1869	17.1868	20	0.02	5
2	4/05/2017	24.1932	24.1931	20	0.02	5
1	8/05/2017	17.1844	17.1837	20	0.02	35
2	8/05/2017	20.193	20.1928	20	0.02	10

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.4.2.1.4 Sólidos Sedimentables

La cantidad de sólidos sedimentables es baja ya que no superaron los 0.4 ml/l tal como se determinó en el cono Imhoff.

Tabla 83 . Sólidos Sedimentables. Quebrada seminarista.

Punto	Fecha	sólidos sedimentables
1	3/05/2017	0.3
2	3/05/2017	0.1
1	4/05/2017	0.5
2	4/05/2017	0.2
1	8/05/2017	0.4
2	8/05/2017	0.1

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.4.3 Caracterización Físico química

Las condiciones de la quebrada Seminarista están influenciadas por el suelo, el cual genera un aumento en la conductividad, además se identificó que la zona con los índices de contaminación más altos es la parte alta, oscilando la DQO entre 105 y 155 mg/l como se muestra en la tabla 84, debido al bajo caudal lo que genera un estancamiento del recurso hídrico, en cuanto al oxígeno disuelto no sobrepasa 6.1 mg/l, estas condiciones cambian a medida que se desciende hacia el punto 1, debido a que el agua gana caudal y se oxigena generando una disminución en la DQO.

Tabla 84. Caracterización Físico Química Quebrada seminarista.

PUNTO	FECHA	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	TURBIEDAD	SULFATOS	FOSFATOS	NITRITOS	COLOR	CLORUROS	DUREZA	ALCALINIDAD
1	3/05/2017	10	6	16	33	0.03	0.024	203	17.49	74.0	37.9
2	3/05/2017	155	21	7.83	32	0.04	0.071	102	15.74	63.1	43.0

1	4/05/2017	46	14	24.8	37	0.06	0.086	146	17.49	92.4	64.7
2	4/05/2017	111	13	10.3	35	0.05	0.003	125	17.49	50.6	38.9
1	8/05/2017	75	23	62.4	34	0.9	0.081	377	14.87	75.2	60.3
2	8/05/2017	104	14	2.78	32	0.8	0.004	105	8.75	33.4	48.9

Fuente: Autor, 2017.

Los resultados de la caracterización semanal se observan en la tabla 85.

Tabla 85. Caracterización Semanal Quebrada Seminarista.

PARAMETRO	CARACTERIZACIÓN punto 1	Caracterización punto 2
Q	3.31	0.45
DQO	50.04	113.43
DBO5	15.87	14.34
ST	62.93	28.80
SST	42.62	18.65
SSV	17.43	8.16
SS	0.42	0.15
SULFATOS	35.07	33.46
FOSFATOS	5.81	0.35
NITRITOS	0.07	0.01
TURBIEDAD	37.44	7.03
COLOR	245.31	114.36
PH	7.04	4.93
T	17.73	16.78
OD	6.69	5.42
CONDUCTIVIDAD	6.69	5.42

CLORUROS	16.49	13.82
DUREZA	82.24	45.27
ALCALINIDAD	57.79	43.34

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.4.4 Diagnostico de la Quebrada Seminarista

La quebrada Seminarista se encuentra canalizada desde el barrio San Pedro (fotografía 18) hasta su vertimiento en el sector del hospital por lo tanto no se observaron aportes de aguas residuales domésticas.

Fotografía 18. Nacimiento Quebrada Semiarista



Fuente: Autor, 2017.

En la fotografía 19 se puede observar el lugar de afloramiento de la quebrada donde la lámina de agua es muy pequeña aparentando que se encuentra en estado de estancamiento, por lo que se registran valores muy bajos de oxígeno disuelto tal como lo registrado en las tablas 74, 76 y 78.

Fotografía 19. Nacimiento de la Quebrada Seminarista



Fuente: Autor, 2017.

En la fotografía 20 se observan un color rojizo que indica la presencia de algún tipo de metal, que puede ser precursor de la alteración de la calidad del agua.

*Fotografía 20. Identificación De Metales*



Fuente: Autor, 2017.

#### 7.5.5 Solución Para el Vertimiento de la Quebrada Seminarista

Para la quebrada Seminarista NO se recomienda ningún tipo de tratamiento debido a que los valores registrados son producto de las características del terreno tal como se observó en la fotografías 19 y 20.

Además se observó que la calidad del recurso hídrico mejora a medida que se desciende tal como se registró en la caracterización en el punto 2.

## 7.5 QUEBRADA BUQUE.

### 7.5.1 Caracterización IN Situ

#### 7.5.1.1 Caracterización quebrada Buque día 16/05/2017

La quebrada buque fue caracterizada los días 16, 17 y 18 de mayo, siguiendo la metodología propuesta. En la tabla 86 se muestran los valores de la caracterización realizada el día 16 de mayo, en los que se identificó oxígeno por debajo 2 mg/l para el punto 2 indicando una alta contaminación, la conductividad registrada por el multiparametro es muy alta lo que indica que es agua contaminada. En el punto 2 el oxígeno disuelto está en condiciones aceptables para la vida acuática, al igual que la conductividad no representa un alto grado de presencia de contaminación y el PH se encuentra en condiciones dentro de los rangos establecidos.

Tabla 86. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Buque 16/05/2017.

Punto	Fecha	Hora	OD	PH	Conductividad	Temperatura
1	16/05/2017	6:30	1.99	8.7	841	17.7
1	16/05/2017	10:30	1.47	7.87	603	18.2
1	16/05/2017	2:30	1.04	7.98	622	17.8
1	16/05/2017	5:30	1.31	8.3	643	17.3
2	16/05/2017	6:00	7.34	7.18	169.7	15.5
2	16/05/2017	10:00	7.02	7.32	167.8	15.9
2	16/05/2017	2:00	6.85	7.25	180.6	15.5
2	16/05/2017	5:00	6.94	7.27	191.2	15.1

Fuente: Autor, 2017.

En la tabla 87 se observa el comportamiento del caudal en el transcurso del día el cual es ascendente para el punto 1 como se muestra en la gráfica 14 debido al aporte de la población, mientras el punto 2 presenta una disminución de caudal entre las 10 am y 2 pm debido a la temperatura.

La quebrada buque tiene caudales promedios de 11.22 l/s y 2.03 l/s para el punto por las aguas domiciliarias que son recogidas desde la entrada de la canalización hasta su desembocadura en el puente del terminal.

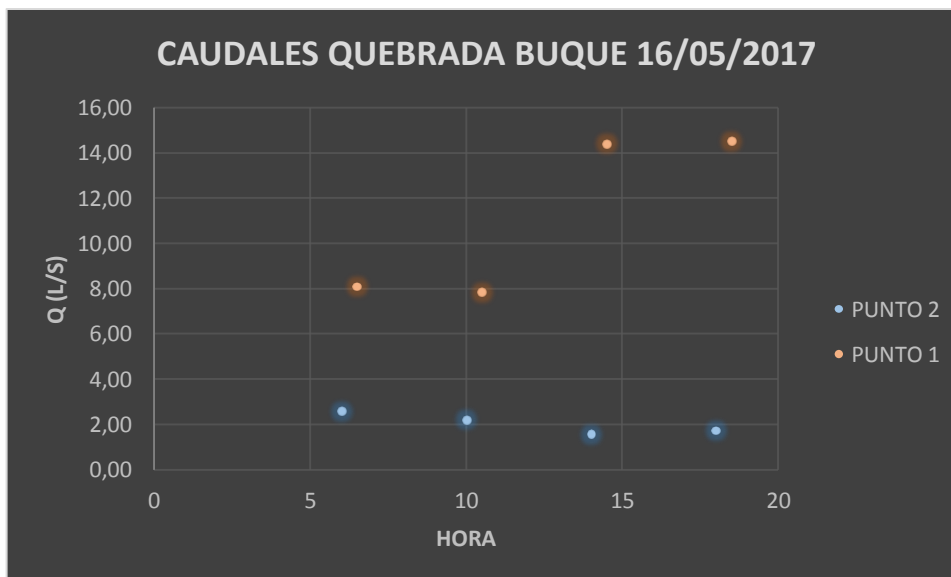
Tabla 87. Caudales Quebrada Buque 16/05/2017.

PUNTO 1		PUNTO 2	
HORA	Q (L/S)	HORA	Q (L/S)
6:30 a. m.	8.102374	6:00 a. m.	2.58382695
10:30 a. m.	7.85096039	10:00a. m.	2.22949234
2:30 p. m.	14.4267759	2:00 p. m.	1.56888711
6:30 p. m.	14.5181423	6:00 p. m.	1.7547365



Fuente: Autor, 2017.

Gráfico 13. Caudales Quebrada Buque 16/05/2017.



Fuente: Autor, 2017.

#### 7.5.1.2 Caracterización quebrada Buque día 17/05/2017

Los resultados de observados en la tabla 88 siguen el comportamiento del día anterior, para el punto 1 se presenta oxígeno disuelto por debajo de 2 mg/l lo que indica que se encuentra altamente contaminado el recurso hídrico, otro de los parámetros que identifica este comportamiento es la conductividad que se encuentra por encima de los 600 MS/cm.

Tabla 88. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Buque 17/05/2017.

Punto	Fecha	Hora	OD	PH	Conductividad	Temperatura
1	17/05/2017	6:30	0.53	8.79	952	17.8
1	17/05/2017	10:30	1.04	8.19	625	18.3
1	17/05/2017	2:30	1.01	7.84	627	18.6
1	17/05/2017	5:30	1.31	7.72	619	18
2	17/05/2017	6:00	7.14	7.15	168.5	14.9
2	17/05/2017	10:00	7.12	7.22	165.7	15.3
2	17/05/2017	2:00	6.85	7.41	197.6	15.5
2	17/05/2017	5:00	6.91	7.62	199.3	15

Fuente: Autor, 2017.

En la tabla 89 y el grafico 14 se muestra el comportamiento del caudal para el punto 1 y 2, existiendo un caudal promedio diario de 11.73 l/s en el punto 1 y de

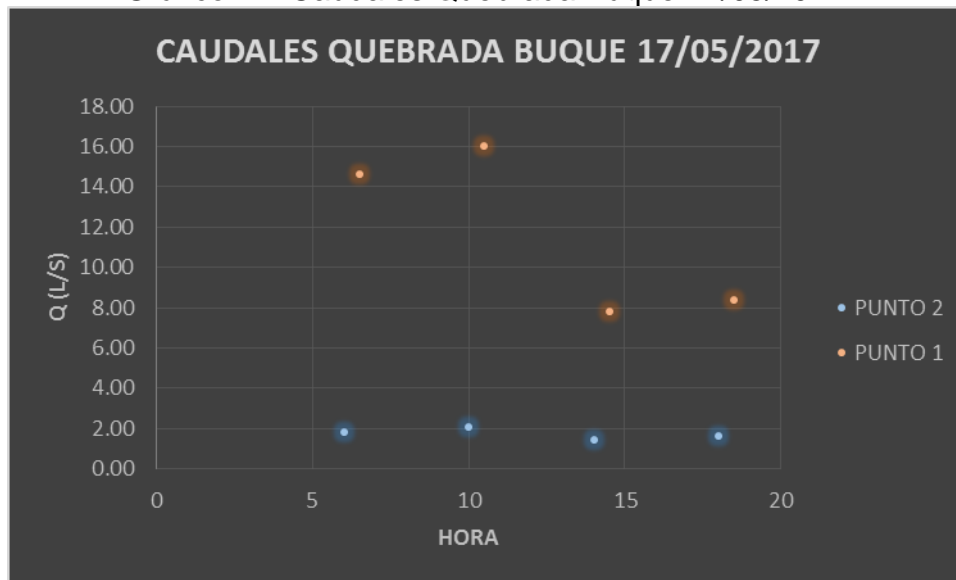
1.74 l/s para el punto 2, con una diferencia de 9.98 l/s. presentando una disminución en el caudal del día 17 debido a que este día no se presentaron precipitaciones.

Tabla 89. Caudales Quebrada Buque 17/05/2017.

PUNTO 1		PUNTO 2	
HORA	Q (L/S)	HORA	Q (L/S)
6:30 a. m.	14.6547053	6:00 a. m.	1.82795525
10:30 a. m.	16.0513544	10:00a. m.	2.09345385
2:30 p. m.	7.8354753	2:00 p. m.	1.44933353
6:30 p. m.	8.39541843	6:00 p. m.	1.6198031

Fuente: Autor, 2017.

Gráfico 14. Caudales Quebrada Buque 17/05/2017.



Fuente: Autor, 2017.

#### 7.5.1.1 Caracterización quebrada Buque día 18/05/2017

En la tabla 90 se muestran los resultados obtenidos durante la caracterización In situ el día 18 de mayo, presentándose valores similares de las caracterizaciones anteriores, presentándose una tendencia de bajo oxígeno disuelto en el punto 1 y alta conductividad.

Tabla 90. Caracterización Físico Química In Situ Quebrada Buque 18/05/2017.

Punto	Fecha	Hora	OD	PH	Conductividad	Temperatura
1	18/05/2017	6:30	0.64	8.2	648	17.6
1	18/05/2017	10:30	0.57	7.93	634	18.8
1	18/05/2017	2:30	0.8	7.84	690	19.1
1	18/05/2017	5:30	0.96	7.87	654	18.6
2	18/05/2017	6:00	6.95	7.46	174.3	15.1
2	18/05/2017	10:00	6.82	7.38	170.8	15.8
2	18/05/2017	2:00	6.79	6.87	175.8	16.3
2	18/05/2017	5:00	6.83	6.9	179.2	15.4

Fuente: Autor, 2017.

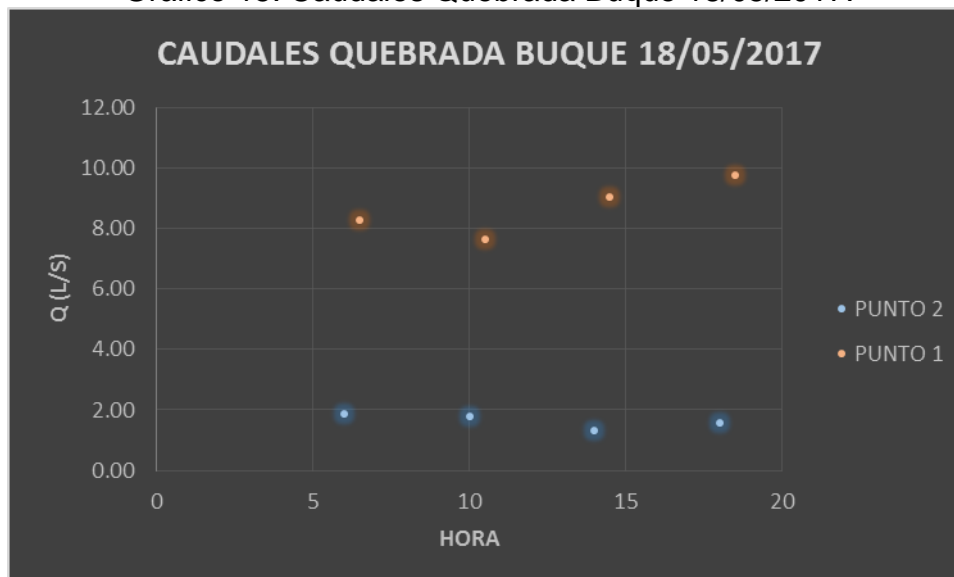
El comportamiento del caudal en la microcuenca buque se observa en la tabla y 91 el grafica 15, presentando caudal promedio de 8.6 l/s y 1.63 l/s para el punto 1 y 2 respectivamente, con una diferencia de 7.036 l/s aportados por aguas residuales.

Tabla 91. Caudales Quebrada Buque 18/05/2017.

PUNTO 1		PUNTO 2	
HORA	Q (L/S)	HORA	Q (L/S)
6:30 a. m.	8.27085105	6:00 a. m.	1.86412906
10:30 a. m.	7.64456945	10:00a. m.	1.79047004
2:30 p. m.	9.02357672	2:00 p. m.	1.30400642
6:30 p. m.	9.74500313	6:00 p. m.	1.57830064

Fuente: Autor, 2017.

Gráfico 15. Caudales Quebrada Buque 18/05/2017.



Fuente: Autor, 2017.

## 7.5.2 Análisis de Laboratorio Quebrada Buque

### 7.5.2.1 Sólidos

#### 7.5.2.1.1 Sólidos Totales

Los sólidos calculados para el quebrada buque se muestran en la tabla 92, obteniéndose para el punto 1 valores entre 430 y 645 mg/l lo que indican que está contaminada por aguas residuales domésticas. Mientras que en el punto 2 se presenta baja concentración de sólidos debido a que se encuentra en la parte alta

Tabla 92. Sólidos Totales. Quebrada Buque.

Punto	Fecha	Peso crisol (gr)	Peso Seco (gr)	Volumen de la muestra (ml)	Volumen de la muestra (L)	ST mg/L
1	16/05/2017	36.8144	36.823	20	0.02	430
2	16/05/2017	33.1763	33.1766	20	0.02	15
1	17/05/2017	34.4635	34.4764	20	0.02	645
2	17/05/2017	35.2951	35.2957	20	0.02	30
1	18/05/2017	38.041	38.053	20	0.02	600
2	18/05/2017	26.4726	26.4747	20	0.02	105

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.5.2.1.2 Sólidos Suspendidos Totales

Los sólidos suspendidos totales para el punto 1 se encuentran entre 210 y 235 mg/l como se muestra en la tabla 93, lo que clasifica al agua de la quebrada Buque en este punto como contaminada con descargas de agua residual doméstica y alto contenido de material en suspendido. En el punto 2 los sólidos suspendidos totales se encuentran entre 10 y 65 lo que determina que es el recurso hídrico es de buena calidad con bajo contenido de sólidos suspendidos.

Tabla 93. Sólidos Suspendidos Totales. Quebrada Buque.

Punto	Fecha	Peso crisol + Filtro (gr)	Peso crisol + Filtro despues del calentamiento (gr)	Volumen (ml)	Volumen (L)	SST mg/L
1	16/05/2017	21.9021	21.9068	20	0.02	235
2	16/05/2017	20.2145	20.2147	20	0.02	10
1	17/05/2017	21.3919	21.3965	20	0.02	230
2	17/05/2017	22.253	22.2533	20	0.02	15
1	18/05/2017	21.3155	21.3197	20	0.02	210
2	18/05/2017	16.3309	16.3322	20	0.02	65

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.5.2.1.3 Sólidos Suspendidos volátiles

Los sólidos suspendidos volátiles se muestran en la tabla 94 obteniéndose como resultado una alta concentración de materia orgánica para el punto 1, producto de las aguas domesticas que son descargadas en este punto, estas condiciones cambian para el punto dos presentándose una disminución de la concentración debido a que los aportantes de materia orgánica son actividades como la ganadería y la agricultura.

Tabla 94. Sólidos Suspendidos Volátiles. Quebrada Buque.

Pt	Fecha	Peso crisol + Filtro despues del calentamiento a 105°C (gr)	Peso crisol + Filtro despues del calentamiento a 505°C (gr)	Volumen (ml)	Volumen (L)	SSV (mg/L)
1	16/05/2017	21.9068	21.9031	20	0.02	185
2	16/05/2017	20.2147	20.2146	20	0.02	5
1	17/05/2017	21.3965	21.3894	20	0.02	355
2	17/05/2017	22.2533	22.2531	20	0.02	10
1	18/05/2017	21.3197	21.3143	20	0.02	270
2	18/05/2017	16.3309	16.3302	20	0.02	35

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.5.2.1.4 Sólidos Sedimentables

Como se observa en la tabla 95 los sólidos sedimentables se encuentran entre 2.5 y 8 ml/l para el punto 1, debido a la contaminación del recurso, mientras que el punto 2 muestra valores entre 0.1 y 0.5 ml/l determinándose baja presencia de solidos sedimentables.

Tabla 95. Sólidos Sedimentables. Quebrada Buque.

Punto	Fecha	sólidos sedimentables
1	16/05/2017	2.5
2	16/05/2017	0.5
1	17/05/2017	8
2	17/05/2017	0.2
1	18/05/2017	6
2	18/05/2017	0.1

Fuente: Autor, 2017.

### 7.5.3 Caracterización Físico química

En la tabla 96 se observan los resultados obtenidos para la quebrada Buque en cuanto al punto 1 se determinó por medio de la DQO y DBO<sub>5</sub> que se encuentra altas cargas de materia orgánica encontrándose valores entre 423 y 576 mg/l, y 152 y 242 mg/l respectivamente indicando la que está fuertemente contaminada debido al impacto de las aguas residuales municipales. Los valores del punto 2 indican que se encuentra ligeramente contaminada.

El agua de la quebrada buque es blanda debido a que no supera los 150 mg/l para el punto 1 como en el 2, además es importante resaltar que debido a las precipitaciones del día 16 de mayo se obtuvieron valores de muy blanda ya que están por debajo de 70 mg/l. Los sulfatos se encuentran por debajo de los parámetros límites de calidad de agua dulce para los dos puntos.

Tabla 96. Caracterización Físico Química Quebrada Buque.

PUNTO	FECHA	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	TURBIEDAD	SULFATOS	FOSFATOS	NITRITOS	COLOR	CLORUROS	DUREZA	ALCALINIDAD
1	16/05/2017	576	360	152	82	49.2	0.183	> 400	16.62	59.9	76.0
2	16/05/2017	88	55	9.8	4	0.9	0.022	142	14.87	58.4	92.0
1	17/05/2017	423	280	196	85	67.01	0.259	> 400	17.49	99.7	116.0
2	17/05/2017	79	50	9.79	15	1.1	0.021	112	15.74	102.3	98.3
1	18/05/2017	480	320	242	88	60	0.239	> 400	17.49	103.5	100.2
2	18/05/2017	83	50	12.1	12	1	0.037	215	16.62	126.7	156.3

Fuente: Autor, 2017.



En la tabla 97 se observan los resultados de la caracterización semanal de la quebrada Buque.

Tabla 97. Caracterización Semanal Quebrada Buque.

PARAMETRO	CARACTERIZACIÓN PUNTO 1	CARACTERIZACIÓN PUNTO 2
Q	10.54	1.81
DQO	492.92	83.29
DBO5	319.36	51.77
ST	556.37	45.24
SST	226.29	26.93
SSV	271.37	15.08
SS	5.50	0.28
SULFATOS	84.76	10.27
FOSFATOS	58.77	1.00
NITRITOS	0.23	0.03
TURBIEDAD	193.00	10.43
COLOR	400.00	150.88
PH	5.43	7.15
T	18.15	15.44
OD	1.04	6.99
CONDUCTIVIDAD	1.04	6.99
CLORUROS	17.18	15.67
DUREZA	86.62	93.41
ALCALINIDAD	97.47	112.02

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.5.4 Diagnostico de la Quebrada Buque

En la parte alta de la quebrada Buque se presentan actividades agrícolas y ganaderas, siendo una zona propicia para el crecimiento urbano. Al descender por

el cauce se observa el vertimiento del alcantarillado proveniente de una parte del barrio santa marta (Fotografía 21), aguas abajo de este al entrar al casco urbano la quebrada es canalizada por medio de un boxculvert (Fotografía 22), sobre el cual descargan las aguas residuales del 39% de la población del municipio de Pamplona según lo establecido por EMPOPAMPLONA.

Fotografía 21. Vertimiento Santa Marta



Fuente: Autor,2017.

Fotografía 22. Inicio Boxculvert



Fuente: Autor,2017.

#### 7.5.5 Solución Para el Vertimiento de la Quebrada Buque

Debido a que la quebrada Buque es utilizada como un canal de conducción de aguas residuales domesticas se realiza el pre diseño del emisario para las aguas residuales domesticas del área observada en la imagen 29. El pre diseño incluye el levantamiento topográfico desde el punto de vertimiento del barrio Santa Marta hasta la desembocadura en el rio Pamplonita y el cálculo de las dimensiones de la tubería hasta verter en el colector principal.

Imagen 29 Localización de Área de contaminación Quebrada Buque.





Fuente: Autor. Hecho Arc Gis.

#### 7.5.5.1 Diseño del Emisario de aguas Residuales Domesticas

Para el diseño del emisario de aguas residuales se llevó a cabo los procedimientos mostrados a continuación:

#### 7.5.5.1.1 Determinación del Nivel de Complejidad

Teniendo en cuenta la tabla 19 se determina que el nivel de complejidad es medio alto debido a la población del municipio de Pamplona.

#### 7.5.5.1.2 Periodo de Diseño

De acuerdo al nivel de complejidad determinado el cual es medio alto, el periodo de diseño es veinte cinco años (25 años).

#### 7.5.5.1.3 Coeficiente de Rugosidad de Manning

El coeficiente de rugosidad para el pre diseño del emisario se estableció en 0.09.

#### 7.5.5.1.4 Proyección de la Población

El pre diseño se realizó a un periodo de 25 años de acuerdo al nivel de complejidad mostrado en la tabla 19 según lo recomendado por el RAS. Se tomaron los censos de los años 1985, 1993 y 2005, tal como se observa en la tabla 98. A continuación se observan la proyección de la población por medio de los métodos lineal, geométrico, logarítmico, aritmético,

Tabla 98. Censos del Municipio de Pamplona.

AÑO	POBLACIÓN
1985	34671
1993	37829
2005	48575

Fuente: DANE Censo, 1985,1993, 2005.

#### 7.5.5.1.4.1 Método lineal

Para realizar la proyección de la población se utiliza el método el cual involucra las ecuaciones 29 y 30. Los resultados de la proyección se observan en la tabla 99. Mientras que el procedimiento de este cálculo se observa en el anexo A.

$$K_a = \frac{PUC - PCI}{TUC - TCI} \quad \text{Ecuación 29. Tasa de Crecimiento.}$$

Ka: Tasa de Crecimiento.

PUC: población de último Censo.

PCI: población Censo inicial.

TUC: Tiempo último Censo.

TCI: Tiempo censo inicial.

$$PF = (PUC + (Ka * (TF - TUC))) \text{ Ecuación 30. Población Proyectada.}$$

PF: Población Proyectada.

Tabla 99. Población Proyectada. Método lineal.

	Ka	2017	2022	2027	2032	2037	2042
1985	695.2	56917.4	60393.4	63869.4	67345.4	70821.4	74297.4
1993	895.5	59321	63798.5	68276	72753.5	77231	81708.5
PROMEDIO	795.35	58119.2	62095.95	66072.7	70049.45	74026.2	78002.95

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.5.5.1.4.2 Método Geométrico

El método geométrico se determina por medio de la ecuación 32 en la que se utiliza la rata de crecimiento calculada por medio de la ecuación 31. En la tabla 100 se observan los resultados del cálculo realizado en el anexo A.

$$pf = puc (1 + r)^{(tf - tuc)} \text{ Ecuación 31. Población Proyectada}$$

$$r = \left( \frac{puc}{pci} \right)^{\frac{1}{tuc - tci}} - 1 \text{ Ecuación 32. Rata de Crecimiento}$$

Tabla 100. Población Proyectada. Método Geométrico.

Pa	R	2017	2022	2027	2032	2037	2042
1985	0.01700321	59468	64698	70389	76580	83316	90644
1993	0.02105467	62374	69222	76823	85258	94620	105009
PROMEDIO	0.01902894	60921	66960	73606	80919	88968	97826

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.5.5.1.4.3 Método Logarítmico

El método logarítmico se desarrolla por medio de las ecuaciones 33 y 34. En las que se observa el cálculo de la tasa de crecimiento y la población proyectada. En la tabla 101 y 102 se observan los resultados de los cálculos mostrados en el anexo A.

$$Pf = (Pci \times e^{(kg)(Tf - Tci)}) \text{ Ecuación 33. Población Proyectada.}$$

$$kg = \left( \frac{\ln Pcp - \ln Pca}{Tcp - Tca} \right) \text{ Ecuación 34. Tasa de Crecimiento}$$

Tabla 101 Cálculo de las Tasas de Crecimiento.

	Kg
Kg 1	0.01089655
Kg 2	0.02083608
PROMEDIO	0.01586632



Fuente: Autor, 2017.

Tabla 102. Población Proyectada. Método Logarítmico

AÑO	POBLACIÓN
2017	57605.94229
2022	62362.07444
2027	67510.88817
2032	73084.80455
2037	79118.92142
2042	85651.23441

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.5.5.1.4.4 Método Aritmético

Este método se calcula por medio de la ecuación 35, en la que se supone un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración. En la tabla 103 se observan los resultados de la proyección.

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} * (T_f - T_{uc}) \quad \text{Ecuación 35. Método Aritmético.}$$

Estimadas la población por medio de los métodos anteriores se procede a realizar un promedio entre los resultados obtenidos determinándose una población de diseño de 86542 habitantes del cual se extrae la población de diseño la cual corresponde al 39% (33992 habitantes), los resultados se muestran en la tabla 103 y en el gráfico 16.

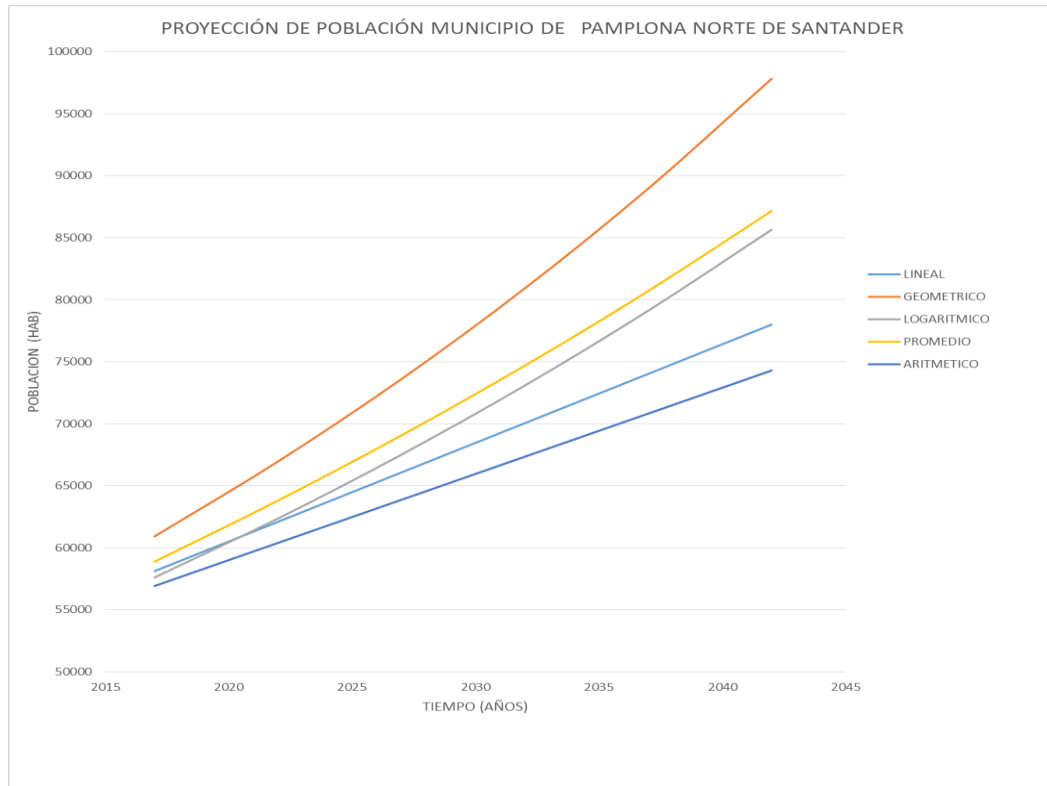
Tabla 103. Promedios de los Métodos.

AÑO	LINEAL	GEOMETRICO	LOGARITMICO	PROMEDIO
2017	58119.2	60920.61415	57605.94229	58881.9188
2022	62095.95	66960.23338	62362.07444	63806.0859
2027	66072.7	73605.87852	67510.88817	69063.1556
2032	70049.45	80919.06682	73084.80455	74684.4405
2037	74026.2	88967.62815	79118.92142	80704.2499
2042	78002.95	97826.35936	85651.23441	87160.1813

Fuente: Autor, 2017.

Gráfico 16. Proyección de la Población





Fuente: Autor, 2017.

#### 7.5.5.1.5 Levantamiento Topográfico

Con el fin de realizar el pre diseño se llevó a cabo el levantamiento topográfico desde el vertimiento del alcantarillado procedente del barrio Santa Marta hasta la desembocadura del boxculvert ubicado frente al terminal. En el anexo B se observan los resultados obtenidos.

Fotografía 23. Levantamiento Topográfico



#### 7.5.5.1.6 Determinación de Área Aferente

Determinados los principales puntos de vertimiento sobre la quebrada Buque por medio del plano del alcantarillado municipal escala 1:2000 proporcionado por EMPOPAMPLONA se procedió a calcular área aferente de cada vertimiento. En el anexo C se observan las áreas delimitadas.

#### 7.5.5.1.7 Caudal de Diseño

El caudal de diseño se calculó por medio de la sumatoria de los caudales medios diarios, caudal de conexiones erradas y caudal de infiltración.

##### 7.5.5.1.7.1 Caudal Domestico

El caudal Domestico se calculó por medio de la ecuación 36 y 37. Se eligió un coeficiente de retorno del 85% de acuerdo a la tabla 104 tomada del RAS 2016. En la tabla 105 se observan los caudales domésticos.

$$Q_{md} = \frac{D_{neta} * Co * A_{acum} * D}{86400} \quad \text{Ecuación 36. Caudal medio Diario}$$

$Q_{md}$ = Caudal Domestico (l/s)

$Co$ = Coeficiente de retorno.

$A_{acum}$ = Área acumulada (ha<sup>9</sup>)

$D_{neta}$ = Dotación neta.

$D$ = Densidad de Población.

$$D = \frac{P}{A_{acum}} \quad \text{Ecuación 37. Densidad de Población}$$

$P$ = Población.

Tabla 104. Coeficiente de Retorno de Aguas Residuales Domesticas.

Nivel de Complejidad	Coeficiente de Retorno
Bajo y Medio	0.80
Medio Alto y Alto	0.85

Fuente: RAS, 2016.

##### 7.5.5.1.7.2 Factor de Mayoración

Con la finalidad de darle un factor de seguridad al pre diseño del emisario se decide implementar el factor de Flórez recomendado en el titulo D del RAS 2016, debido a que no se realizaron mediciones de campo. En la ecuación 38 se observa la fórmula de dicho factor y los resultados en la tabla 105.

$$F = \frac{3.5}{p^{0.1}} \quad \text{Ecuación 38. Factor de Mayoración}$$

#### 7.5.5.1.7.3 Caudal Máximo Horario

Determinado el factor de mayoración se procedió a calcular el caudal máximo horario por medio de la ecuación 39. En la tabla 105 se observan los resultados de este cálculo.

$$Q_{mh} = F * Q_{md} \quad \text{Ecuación 39. Caudal Máximo Horario}$$

$Q_{mh}$ = Caudal máximo Horario.

#### 7.5.5.1.7.4 Caudal de Conexiones Erradas

El caudal de conexiones erradas se calculó por medio del factor 0.2 recomendado por el RAS 2016 el cual se multiplica por el área acumulada en cada tramo.

#### 7.5.5.1.7.5 Caudal de Infiltración

El caudal de infiltración se seleccionó un factor de 0.2 debido a que la infiltración es bajo porque el diseño se realizara en zona urbana recubierta en su mayoría por asfalto. El resultado de este cálculo se observa en la tabla 105.

#### 7.5.5.1.7.6 Caudal de Diseño

Finalmente se obtiene el caudal de diseño por medio de la ecuación 40 los resultados se observan en la tabla 105.

$$Q_D = Q_{mh} + Q_E + Q_{inf} \quad \text{Ecuación 40. Caudal de Diseño}$$

$Q_D$ = Caudal de Diseño.

$Q_E$ = Caudal de conexiones erradas.

$Q_{inf}$ = Caudal de infiltración.

Tabla 105. Caudal Del Diseño

ZONA	Población	Área (Ha)	Á <sub>acum</sub> (Ha)	DENSIDAD DE POBLACIÓN	Q <sub>md</sub> (l/s)	Factor de mayoración	Q <sub>mh</sub> (L/s)	Q <sub>e</sub> (L/s)	Q <sub>inf</sub> (L/s)	Q <sub>D</sub> (L/s)
1	354	2.646	2.646	133.655	0.417	1.946	0.813	0.529	0.529	1.871
2	758	0.201	2.847	266.101	0.894	1.804	1.613	0.569	0.569	2.752
3	1366	0.389	3.235	422.115	1.612	1.7	2.741	0.647	0.647	4.036
4	1832	0.263	3.498	523.839	2.163	1.651	3.572	0.7	0.7	4.971
5	2260	0.628	4.126	547.753	2.668	1.617	4.314	0.825	0.825	5.964
6	2860	2.016	6.142	465.729	3.377	1.579	5.332	1.228	1.228	7.789
7	3275	0.288	6.43	509.362	3.867	1.558	6.024	1.286	1.286	8.596
8	3726	0.912	7.342	507.498	4.399	1.538	6.765	1.468	1.468	9.702
9	8265	18.96	26.302	314.234	9.757	1.42	13.857	5.26	5.26	24.378
10	8870	2.4	28.702	309.037	10.472	1.41	14.767	5.74	5.74	26.248
11	9367	2.099	30.802	304.096	11.058	1.403	15.509	6.16	6.16	27.83
12	11910	10.651	41.452	287.307	14.06	1.369	19.251	8.29	8.29	35.832
13	12373	1.124	42.577	290.61	14.607	1.364	19.924	8.515	8.515	36.955
14	13101	0.916	43.492	301.222	15.466	1.356	20.976	8.698	8.698	38.373
15	14303	4.397	47.889	298.672	16.886	1.344	22.701	9.578	9.578	41.856
16	32215	80.356	128.245	251.195	38.031	1.24	47.141	25.649	25.649	98.439
17	32590	0.221	128.466	253.687	38.474	1.238	47.636	25.693	25.693	99.022
18	32986	0.119	128.585	256.531	38.942	1.237	48.156	25.717	25.717	99.591
19	33481	0.295	128.88	259.786	39.526	1.235	48.806	25.776	25.776	100.358
20	33992	0.331	129.212	263.072	40.129	1.233	49.476	25.842	25.842	101.161

Fuente: Autor, 2017.

#### 7.5.5.1.8 Cálculos del Pre-Diseño del Emisario

El emisario se diseñó teniendo en cuenta lo recomendado por el RAS 2016 en su título D. A continuación se realiza la descripción de la tabla de diseño presentada en el anexo D.

Columna 1: Tramo.

Columna 2: Pozo

Columna 3: Cota Terreno.

Columna 4: longitud entre ejes de los pozos.

Columna 5: Radio del Pozo.

Columna 6: Longitud de la tubería.

Columna 7: Pendiente del Terreno.

Columna 8: Caudal de diseño.

Columna 9: Pendiente del colector.

Columna 10 y 11: Diámetro de la Tubería Calculado.

El diámetro de la tubería se calculó por medio de la ecuación de Maning mostrada en la ecuación 41, los resultados se observan en la columna 10 y 11 en metros y pulgadas respectivamente.

$$D = 1.548 * \left( \frac{n*Q}{S^{1/2}} \right)^{3/8} \quad \text{Ecuación 41. Ecuación de Maning}$$

Columna 12 y 13: Diámetro Comercial

Columna 14: Caudal a tubo lleno

El caudal a tubo lleno se calcula por medio de la ecuación 42.

$$Q_o = 0.312 * \left( \frac{D^{8/3} * S^{1/2}}{n} \right) \quad \text{Ecuación 42. Caudal a tubo lleno}$$

Columna 15 Relación Q/Q<sup>o</sup>

Obtenido el caudal a tubo lleno se procede a calcular esta relación hidráulica con la finalidad de obtener las demás relaciones hidráulicas.

Columna 16 Velocidad a Tubo lleno

La velocidad a tubo lleno se obtiene a partir la ecuación 43

$$V_0 = \frac{Q_o}{\pi * \frac{D^2}{4}} \quad \text{Ecuación 43. Velocidad a Tubo lleno}$$

Columna 17, 18, 19 y 20: Relaciones Hidráulicas.

Las relaciones hidráulicas se determinaron a partir de la tabla de López cualla, 1995. Los valores de la tabla fueron interpolados para obtener el valor preciso.

$$17 = \frac{V}{V_o}$$

$$18 = d/D^o$$

$$19 = \frac{R}{R^o}$$

$$20 = H/D$$

V= velocidad de flujo del caudal real.

$V_0$ =Velocidad a tubo lleno

.d= altura de la lámina de agua a flujo libre.

$D^0$ = Diámetro Comercial

R= radio hidráulico real

$R_0$ =Radio hidráulico a tubo lleno.

H= altura hidráulica del flujo Real

$H_0$ = altura hidráulica del flujo a tubo lleno.

Columna 21 Velocidad Real

A partir de la relación hidráulica obtenida en 17 se procede a calcular la velocidad real en el tramo, teniendo en cuenta que esta debe ser mayo a 0.45 de acuerdo a lo establecido en el titulo D del RAS 2016.

Columna 22 Energía cinética del flujo en metros

La energía cinética se calculó de acuerdo a la ecuación 44.

$$E = \left( \frac{v^2}{2g} \right) \quad \text{Ecuación 44. Energía Cinética}$$

Columna 22 Altura de la lámina de agua

Se calcula por medio de la relación hidráulica determinada en 18 multiplicada por el diámetro comercial.

Columna 23 Altura Hidráulica del Flujo

La altura hidráulica real es calcula al multiplicar 20 por el diámetro comercial.

Columna 24 Radio Hidráulico Real

El radio hidráulico se calcula por medio de la ecuación 45.

$$R = \frac{R}{R_0} * \frac{D}{4} \quad \text{Ecuación 45. Radio Hidráulico Real}$$

Columna 25 Numero de Froude calculado con la ecuación 46.

$$NF = \frac{V}{\sqrt{g*H}} \quad \text{Ecuación 46. Numero de Froude}$$



### Columna 26 Tipo de Flujo

De acuerdo al resultado obtenido en 25 se determina si es un flujo supercrítico o subcrítico.

NF<1 Subcrítico

NF>1 Supercrítico

### Columna 27 Diámetro del Pozo

El diámetro del pozo se definió de acuerdo a lo recomendó en RAS, donde se recomienda un diámetro de 1.20m para pozos de inspección que empaten tuberías entre 8 y 30 pulgadas

### Columna 28 Condición para de tipo de entrada

La condición determina si la entrada del flujo es sumergida o no sumergida de acuerdo a la ecuación 47

$$\frac{Q}{D^2 \sqrt{g * D}} > 0.62 \quad \text{Ecuación 47. Condición del Flujo}$$

### Columna 29 Tipo de Entrada

En esta columna de acuerdo a lo obtenido se define el tipo de flujo.

### Columna 30 Relación diámetro pozo/ diámetro tubería

Esta relación permite establecer el valor de la contante k de acuerdo a la tabla 106

*Tabla 106. Coeficiente K*

Dp/D	K
>2	1.2
1.6-2	1.3
1.3-1.6	1.4
<1.3	1.5

Fuente: RAS, 2016.

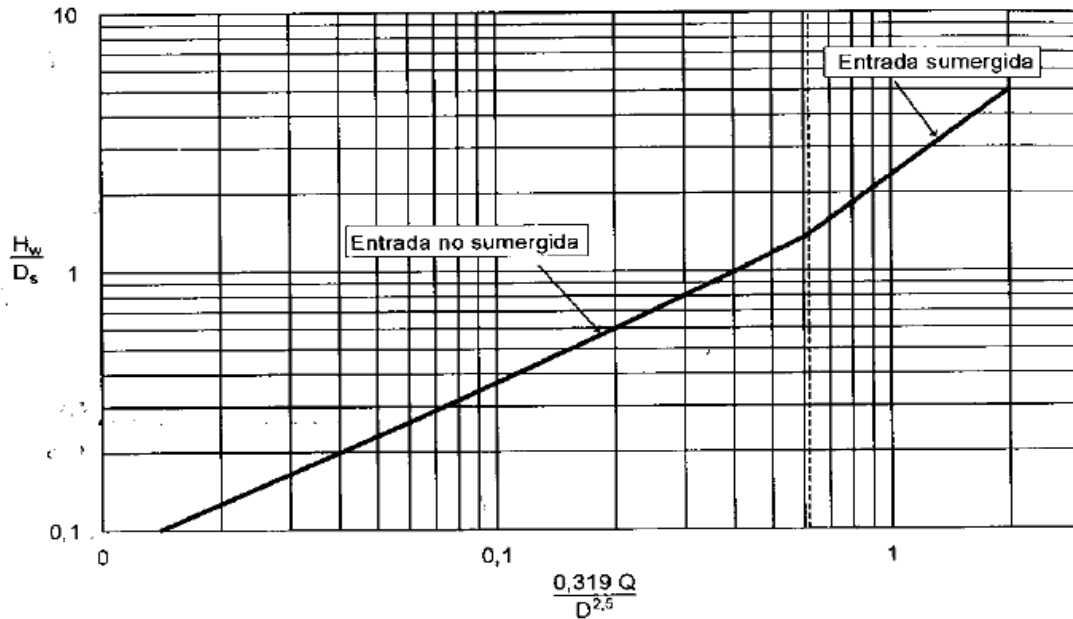
### Columna 31 Valor de K

Se determina el valor de K de acuerdo al resultado obtenido en 30

### Columna 32 Determinación de $H_w/D$

Esta relación es determina siempre y cuando se presente un flujo no sumergido el valor de esta relación se obtiene de la imagen 30.

Imagen 30. Altura de Caída en el Pozo



Fuente: López, Cualla, 1995.

### Columna 33 Altura de Caída

La altura de caída e determina dependiendo de la entrada si es no sumergida se entre la gráfica anterior y se multiplica por el diámetro del pozo de lo contrario e emplea la ecuación 48

$$H_w = KD(0.7 + 1.91(D^2 \sqrt{gD})^2) \quad \text{Ecuación 48. Altura de Caída}$$

### Columna 34 Cota clave inicial

La cota clave inicial se calculó por medio de la resta entre la cota batea inicial y el diámetro de la tubería.

### Columna 35 Cota Batea inicial

Es calculada de restarle a la cota bate final del tramo la altura de caída y sumarle la altura de la lámina de agua.

Columna 37 Cota Clave al final del Tramo

Calculado por medio de la diferencia entre la cota clave inicial y la diferencia de altura.

Columna 38 Cota batea Final

Esta altura es calculada al restarle el diámetro de la tubería a la cota clave final

Columna 39 Altura de la cota Clave a la superficie

Finalmente se calcula la altura hasta la superficie la cual debe ser de 0.75 m si esta sobre zonas verdes o de 1.20 m si se encuentra sobre vías.

El valor de esta columna es generado por medio de la resta de la cota rasante menos la cota clave al final del tramo.

## 8. CONCLUSIONES

- La contaminación de las fuentes hídricas caracterizadas proviene de fuentes antropogénicas como los son las aguas residuales domésticas y actividades agrícolas y ganaderas. Otras son las fuentes naturales como la composición de los suelos y fenómenos de erosión que aportan materia orgánica presente en los horizontes del suelo.
- Por medio de la caracterización se determinaron altas cargas de contaminación generadas por aguas residuales domesticas como fue el caso de la quebrada el Buque que es utilizada para el transporte de aguas residuales hasta verter en el rio Pamplonita.
- La caracterización de la quebrada Seminarista registró valores de DQO y DBO<sub>5</sub> altos en el punto 2 producidos por la composición del suelo y la baja concentración de oxígeno disuelto, esta concentración es debido a que el agua aflora algunos metros aguas arriba del punto de muestreo, lo que no permitiendo la oxigenación por medio de resaltos hidráulicos.
- Se observó que las altas cargas de contaminación registradas en la quebrada escorial son producto del arrastre de material desde la parte alta de la microcuenca producto de la escorrentía generada por las precipitaciones, además existe un aliviadero del alcantarillado que vierte sobre esta, por lo tanto parte de la carga orgánica identificada proviene del exceso de aguas residuales vertida en época de lluvias.
- Para la selección del tratamiento de las aguas, se seleccionó el tanque séptico y el FAFA, debido a que ofrecen eficiencias entre el 70% y 80%; además se evitara la infiltración de estas aguas residuales, sin previo tratamiento.

## 9. RECOMENDACIONES

- Es importancia realizar la caracterización en un periodo diferente para obtener el comportamiento real de las microcuenca tanto en periodo de lluvias como en el seco. Además se recomienda realizar estudios de Suelos para identificar la presencia de metales y sales, logrando complementar los resultados realizados.
- Con la finalidad de complementar el tratamiento propuesto es de gran importancia realizar campañas de concientización en los hogares de las veredas involucradas.
- Se recomienda impermeabilizar los sistemas de tratamiento con concreto impermeabilizado recubierto con solución epoxi para proteger la estructura y evitar infiltraciones.
- Se recomienda realizar el diseño del emisario de la quebrada Buque el cual conllevaría a minimizar el impacto generado por las aguas residuales domésticas.
- Se recomienda disponer los lodos en un lecho de secado por un tiempo de 55 días según lo recomendado por CEPIS

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- <sup>1</sup>HERNÁNDEZ TORRES, David & SÁNCHEZ CUERVO JHOAN. Diseño de una Planta de Tratamiento de Agua Residual Para el Municipio de San Marcos-Departamento de Sucre. Bogotá, 2014. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Universidad Católica de Colombia. Facultad de ingeniería. Programa de Ingeniería Civil.
- <sup>2</sup>BLANCO BUITRAGO, Andrea Katherine & LEON CAICEDO, David Leonardo. Diseño Hidráulico de La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Para el Municipio de Guacamaya. Bucaramanga, 2010. Trabajo de grado (ingenieros Químicos). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de ingeniería Química.
- <sup>3</sup>GUTIÉRREZ, Hugo Armando & ROMERO OLARTE, Fernando. Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Municipio de Macaravita-Departamento de Santander. Bucaramanga, 2007. Trabajo de grado (Especialista en ingeniería ambiental). Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de ingeniería Química. Especialización en ingeniería Ambiental.
- <sup>4</sup>DOMÍNGUEZ, Rocío. Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas para Poblaciones entre 20 y 25 Mil Habitantes. Leganés, 2015. Trabajo de Grado (ingeniera en tecnologías industriales). Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de ingeniería térmica y fluidos.
- <sup>5</sup>MORAN, Diego. Diseño de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para el Municipio de San Juan Chamelco, Alta Verapaz. Quetzaltenango, 2014. Tesis de grado (Ingeniero Ambiental). Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Licenciatura en ciencias ambientales con énfasis en gestión ambiental.
- <sup>6</sup>FERNÁNDEZ, Eduardo. Proyecto Ejecutivo de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales ara la Localidad de Xochiapa, Ver. Xalapa, 2010. Tesis (ingeniero Civil). Universidad Veracruzana. Facultad de ingeniería Civil.
- <sup>7</sup> MinCultura. Centro Histórico Pamplona (Norte de Santander). Documento en línea. Disponible en: [http://www.mincultura.gov.co/planes-y-programas/Planes/plan%20nacional%20de%20recuperaci%C3%B3n%20de%20centros%20hist%C3%B3ricos/Paginas/Centro-Hist%C3%B3rico-Pamplona-\(Norte-de-Santander\).aspx](http://www.mincultura.gov.co/planes-y-programas/Planes/plan%20nacional%20de%20recuperaci%C3%B3n%20de%20centros%20hist%C3%B3ricos/Paginas/Centro-Hist%C3%B3rico-Pamplona-(Norte-de-Santander).aspx) [Consultado 2017, Marzo 3].



- <sup>8</sup>Decreto 2811 de 1974. (1974). Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiental. Colombia: Ministerio de Agricultura.
- <sup>9</sup>Decreto 1541 de 1978. (1978).Reglamenta la parte III del libro II del decreto-ley 2811 de 1974: “de las aguas no marítimas” y parcialmente la ley 23 de 1973. Colombia: Ministerio de Agricultura.
- <sup>10</sup>Ley 9 de 1979. (1979).Medidas Sanitarias. Colombia: Congreso de Colombia.
- <sup>11</sup>Constitución política de Colombia. (1991). Gaceta Constitucional No. 116 de 20 de julio de 1991.
- <sup>12</sup>Ley 99 de 1993. (1993). Se crea el Ministerio de Medio Ambiente, se reordena el sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Colombia: Congreso de Colombia.
- <sup>13</sup>Resolucion 1096 de 2000. (2000). Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico- RAS. Colombia: Ministerio de Desarrollo Económico.
- <sup>14</sup>Decreto 155 de 2004. (2004). Por la cual se reglamenta el artículo 43 de la ley 99 de 1993 sobre tasa por utilización de aguas y su adoptan otras disposiciones. Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- <sup>15</sup>Decreto 3930 de 2010. (2010). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Colombia: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- <sup>16</sup>Resolución 0631 de 2015. (2015). Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. Colombia: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- <sup>17</sup>Resolucion 0330 de 2017. (2017). Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y se derogan las Resoluciones números 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005y 2320 de 2009. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio
- <sup>18</sup>CHOW, Ven Te. Hidrología aplicada. Mc Graw- Hill Interamericana, S.A, 1994. ISBN 9586001717.

- <sup>19</sup>FRANQUET B, José María. ¿Qué es una cuenca hidrográfica? .Documentó en línea. 2005. [Consultado 2017, febrero 23]. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2005/jmfb-h/1u.htm>.
- <sup>20</sup>La guía. Turbidez. Documentó en línea. 2011. [Consultado 2017, febrero 23]. Disponible en: <http://quimica.laguia2000.com/propiedades/turbidez>.
- <sup>21</sup>GÓMEZ A, Mayeline. Características del agua. Documento en línea. 2010. [Consultado 2017, Febrero 25]. Disponible en: <http://apoyoambiental.bligoo.com.co/media/users/19/973332/files/225766/CaracteristicasAgua.pdf>.
- <sup>22</sup>AGUINAGA, Silvia. Manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes. Documento en línea. 1996. [Consultado 2017, enero 27]. Disponible en: [imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/docs/pdfs/manual\\_dinama.pdf](http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/docs/pdfs/manual_dinama.pdf).
- <sup>23</sup>Quimica del agua. Dureza. Documentó en línea. 2012. [Consultado 2017, febrero 27]. Disponible en: <http://www.quimicadelagua.com/Conceptos.Analiticos.Dureza.html>.
- <sup>24</sup>OMS. Medición de cloro residual en el agua. Documentó en línea. 2004. [Consultado 2017, febrero 27]. Disponible en: [disaster-info.net/Agua/pdf/11-CloroResidual.pdf](http://disaster-info.net/Agua/pdf/11-CloroResidual.pdf).
- <sup>25</sup>JIMBO. Sulfatos en el agua. Documentó en línea. 2009. [Consultado 2017, febrero 28]. Disponible en: <https://sulfatosenelagua.jimdo.com/el-sulfato-en-el-agua/>.
- <sup>26</sup>Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000. Sección II. Título E. Tratamiento de Aguas Residuales. Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico.
- <sup>27</sup>Aldana. 2017. Lodos Activados. Parámetros de diseño de lodos activados.
- <sup>28</sup>Reglamento técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2010. Título J. Alternativas Tecnológicas en agua y Saneamiento para el Sector Rural. Ministerio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- <sup>29</sup>Estrada. 2010. Humedales Artificiales en la depuración de Aguas Residuales.
- <sup>30</sup>Romero. A. 1999. Tratamiento de Aguas Residuales teoría y principios de diseño.
- <sup>31</sup>Valencia. Adriana. Diseño de un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales de la Cabecera Parroquial de San Luis- Provincia de Chimborazo. RioBamba-Ecuador, 2013. Trabajo de Grado (Ingeniero en Biotecnología)



Ambiental).Escuela Superior Politécnico de Chimborazo. Programa de Ingeniería en Biotecnología Ambiental.