



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y
LA CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA: DINÁMICA CAÓTICA DE SERIES TEMPORALES
HIDROMETEOROLÓGICAS DEL SISTEMA HIDROGRÁFICO
DEL RÍO TUTANANGOSA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA
DE AGUA POTABLE PARA LAS COMUNIDADES
BELLAVISTA Y LA FLORIDA, PARROQUIA HUAMBI**

**AUTORES: ESPINOSA YÁNEZ, DAYRA GUISELLE
PAZMIÑO DÁVILA, SEBASTIÁN ALEJANDRO**

DIRECTOR: CARRERA VILLACRÉS, DAVID VINICIO

SANGOLQUÍ

2020



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y
CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “DINÁMICA CAÓTICA DE SERIES TEMPORALES HIDROMETEOROLÓGICAS DEL SISTEMA HIDROGRÁFICO DEL RÍO TUTANANGOSA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE PARA LAS COMUNIDADES BELLAVISTA Y LA FLORIDA, PARROQUIA HUAMBI” realizado por la señorita DAYRA GUISELLE ESPINOSA YÁNEZ y el señor SEBASTIÁN ALEJANDRO PAZMIÑO DÁVILA, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señorita DAYRA GUISELLE ESPINOSA YÁNEZ y el señor SEBASTIÁN ALEJANDRO PAZMIÑO DÁVILA para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 07 de enero del 2020

ING. DAVID VINICIO CARRERA VILLACRÉS PhD
DIRECTOR



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, DAYRA GUISELLE ESPINOSA YÁNEZ, con cédula de ciudadanía N° 172515021-1 y SEBASTIÁN ALEJANDRO PAZMIÑO DÁVILA, con cédula de ciudadanía N° 172387227-9 declaramos que este trabajo de titulación “DINÁMICA CAÓTICA DE SERIES TEMPORALES HIDROMETEOROLÓGICAS DEL SISTEMA HIDROGRÁFICO DEL RÍO TUTANANGOSA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE PARA LAS COMUNIDADES BELLAVISTA Y LA FLORIDA, PARROQUIA HUAMBI” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 07 de enero del 2020

DAYRA GUISELLE
ESPINOSA YÁNEZ

CC: 172515021-1

SEBASTIÁN ALEJANDRO
PAZMIÑO DÁVILA

CC: 172387227-9



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, DAYRA GUISELLE ESPINOSA YÁNEZ y SEBASTIÁN ALEJANDRO PAZMIÑO DÁVILA, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “DINÁMICA CAÓTICA DE SERIES TEMPORALES HIDROMETEOROLÓGICAS DEL SISTEMA HIDROGRÁFICO DEL RÍO TUTANANGOSA PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE PARA LAS COMUNIDADES BELLAVISTA Y LA FLORIDA, PARROQUIA HUAMBI” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 07 de enero del 2020

DAYRA GUISELLE
ESPINOSA YÁNEZ

CC: 172515021-1

SEBASTIÁN ALEJANDRO
PAZMIÑO DÁVILA

CC: 172387227-9

DEDICATORIA

A mis padres Maribel y Vinicio, por acompañarme incondicionalmente en todo momento.

Dayra Guiselle Espinosa Yáñez

Dedicado a mis padres María Elena y Ramiro, quienes siempre han estado presentes con su apoyo incondicional y amor infinito. A mis hermanos Mateo y Doménica gracias por siempre creer en mí.

Sebastián A. Pazmiño Dávila

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mi madre por brindarme su amor infinito, acompañarme en mis triunfos, fracasos y nunca dejarme caer. A mi padre por inculcarme valores, siendo mi ejemplo de honestidad y trabajo duro. A mis abuelos, a mi familia, en especial a Alexis Medina por su aporte en este proyecto. A mis amigos Andrés, Rashid y David por su amistad y apoyo a lo largo de toda la carrera. Al Ing. Jorge Zúñiga por enseñarme a amar mi carrera. Al Dr. David Carrera, director de este trabajo de titulación, por su guía a lo largo del desarrollo de este proyecto, por el apoyo brindado y por la confianza depositada en nosotros para realizarlo. Al Dr. Washington Sandoval, por su apoyo incondicional y guía en la realización de este proyecto. A la Ing. María Fernanda Ayala por brindarnos su conocimiento, sin su valioso apoyo este proyecto no hubiera sido posible. Al GAD Municipal de Sucúa y Morona Santiago por su colaboración. Al Ing. David Vega, Ing. Alexander Gutiérrez, Ing. Martín González, Ing. Hjalmar Calderón y sus familias por brindarnos su apoyo. A Sebitas, por ser mi complemento y equipo, por confiar en mí, por su amor y entrega. A los habitantes de Sucúa y Macas por su hospitalidad.

Dayra Guiselle Espinosa Yáñez

AGRADECIMIENTO

A Dios y a mi abuelita Laura que desde el cielo siempre me han cuidado y protegido. Ustedes han sido mi guía.

A mis padres, por inculcar en mi el valor de la educación. Siempre seguiré adelante para mejorar como persona y servir a la sociedad.

A mis tías Lupe y Esthela, por su amor. A mis abuelos y a toda mi familia por día a día brindarme su cariño y apoyo.

A mis queridos amigos de Traslape, conocerlos a ustedes y a sus familias fue uno de los regalos de la vida. Gracias por siempre apoyarme y recibirme en sus hogares como a un hermano más, gran parte de este paso en mi vida se los debo a ustedes.

A mis amigos del barrio, gracias por estar conmigo cuando más los he necesitado.

A los Chevys, nunca nos dejamos vencer, somos un gran equipo.

Al Dr. David Carrera, nuestro tutor, quien confió en nosotros para realizar este proyecto y nos contagió su interés por la investigación y autoeducación. Seguiremos preparándonos como profesionales en búsqueda de la excelencia.

Al Dr. Washington Sandoval, por siempre estar dispuesto a recibirnos y solventar nuestras inquietudes. Gracias a su apoyo este proyecto fue posible.

A la Ing. María Fernanda Ayala, por compartir con nosotros su conocimiento y experiencias, nos ayudó enormemente a comprender el tema y a cumplir nuestros objetivos.

A todos mis maestros que en esta etapa universitaria han forjado mi criterio para servir a la sociedad como humano e Ingeniero Civil.

A Dayrita, gracias por tu apoyo, paciencia y amor. Juntos lo logramos.

A Maribel, gracias a usted y a su familia por su cariño y apoyo. Siempre estaré agradecido.

A la gente de Sucúa, Macas, Huambi, a Phillipe y a Paul, gracias por estar prestos para brindarnos su ayuda.

Sebastián A. Pazmiño Dávila

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Justificación.....	4
1.4 Importancia	5
1.5 Objetivos	5
1.5.1 Objetivo general.....	5
1.5.2 Objetivos específicos	6
1.6 Hipótesis.....	6
CAPÍTULO 2.....	8
MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Procesos estocásticos y series de tiempo	8
2.1.1 Procesos estocástico estacionario.....	8
2.1.2 Proceso estocástico no estacionario.	8
2.2 Modelos de series temporales	9
2.3 Componentes de series temporales	9
2.4 Sistemas dinámicos no lineales.....	10
2.5 Estaciones meteorológicas	11
2.5.1 Estación climatológica principal (CP)	11
2.5.2 Estación climatológica ordinaria (CO).....	11
2.6.3 Variables hidrológicas.....	11
2.5.3 Estación pluviométrica (PM)	12
2.5.4 Variables meteorológicas.....	12

2.6 Estaciones hidrológicas	12
2.6.1 Estación hidrológica limnimétrica (LM).....	13
2.6.2 Estación hidrológica limnigráfica (LG)	13
2.7 Análisis de series temporales	13
2.7.1 Teorema de Chebyshev	13
2.7.2 Relleno de datos de series temporales.....	14
2.7.3 Distancia entre estaciones hidrometeorológicas	16
2.7.4 Validación de datos	17
2.8 Teoría del caos	19
2.8.1 Términos asociados con la dinámica caótica	20
2.8.2 Medición del caos	21
2.8.2.1 Distribución normal de probabilidades e Histograma.....	22
2.8.2.2 Clasificación de la distribución de probabilidades.....	23
2.8.3 Mapas recurrentes	23
2.8.3.1 Umbral y norma	26
2.8.3.2 Patrones y clasificación de mapas recurrentes	26
2.8.4 Análisis de recurrencia cuantitativa (RQA)	27
2.9 Cuenca hidrográfica	28
2.9.1 Parámetros físico morfométricos	29
2.9.1.1 Características del cauce principal.....	29
2.9.1.2 Área y perímetro	29
2.9.1.3 Longitud del cauce principal (Lr)	30
2.9.1.4 Pendiente del río (Ir)	30
2.9.1.5 Índice de compacidad (Ic).....	30
2.9.1.6 Pendiente media de la cuenca (Ip)	31
2.9.1.7 Tiempo de concentración (Tc)	31

2.10 Curva de duración	33
2.10.1 Caudal medio	35
2.10.2 Coeficiente de escorrentía	35
2.10.3 Precipitación media	36
2.11 Norma a utilizar.....	37
2.12 Levantamiento topográfico	37
2.13 Calidad de agua.....	38
2.13.1 Definiciones	38
2.13.2 Parámetros.....	38
2.14 Bases de diseño para proyectos de agua potable en el sector rural.....	42
2.14.1 Fuentes de abastecimiento	42
2.14.2 Aforo de la fuente de abastecimiento.....	43
2.14.3 Período de diseño	44
2.14.4 Población futura	44
2.14.5 Niveles de servicio	45
2.14.6 Dotación y caudal.....	46
2.15 Sistemas de agua potable	48
2.15.1 Definición.....	48
2.15.2 Captación.....	48
2.15.3 Conducción	51
2.15.3.1 Caudal de diseño	51
2.15.3.2 Tipos de conducción	51
2.15.4 Tratamiento y potabilización del agua	55
2.15.4.1 Caracterización del agua cruda	55
2.15.4.2 Procesos de tratamiento.....	57
2.15.4.2.1 Sedimentación	58

2.15.4.2.2 Filtración	59
2.15.4.2.3 Desinfección química.....	59
2.15.4.2.4 Desinfección física.....	65
2.15.5 Almacenamiento	66
CAPÍTULO 3.....	67
MATERIALES Y MÉTODOS	67
3.1 Área de estudio.....	67
3.1.1 Relieve	69
3.1.2 Factores climáticos.....	69
3.1.3 Hidrografía	70
3.2 Población y muestra	72
3.3 Análisis socio-económico	76
3.3.1 Crecimiento poblacional	77
3.3.2 Actividades económicas.....	77
3.4. Infraestructura básica	77
3.4.1 Alcantarillado.....	77
3.4.2 Agua potable	78
3.4.3 Energía eléctrica.....	78
3.4.4 Acceso a la vivienda	78
3.5 Recopilación de datos	78
3.6 Selección de estaciones	81
3.7 Relleno de datos	83
3.8 Validación de datos	88
3.9 Desestacionalización de series de tiempo	91
3.10 Distribución de probabilidades e histograma.....	91
3.11 Estimación de los parámetros de embebimiento.....	92

3.12 Construcción de mapas recurrentes.....	93
3.13 Análisis de recurrencia cuantitativa	94
3.14 Levantamiento topográfico	94
3.14.1 Equipo topográfico.....	94
3.14.2 Procedimiento	94
3.15 Calidad de agua.....	95
3.15.1 Toma de muestras	96
3.15.2 Determinación de parámetros de calidad de agua.....	97
CAPÍTULO 4.....	100
RESULTADOS.....	100
4.1 Análisis de resultados de la dinámica de series de tiempo.....	100
4.1.1 Histograma de frecuencias	100
4.1.2 Función de autocorrelación.....	102
4.1.3 Falsos vecinos más cercanos.....	104
4.1.4 Mapas recurrentes	107
4.1.5 Recurrencia cuantitativa.....	112
4.2 Análisis de resultados para el diseño hidráulico	114
4.2.1 Bases de diseño	114
4.2.1.1 Población actual	114
4.2.1.2 Población futura	115
4.2.1.3 Nivel de servicio, dotación y porcentaje de fugas.....	118
4.2.1.4 Variaciones de consumo	118
4.2.1.5 Aforo de la fuente	119
4.2.2 Parámetros físico morfométricos de la cuenca del río Arapicos.....	121
4.2.3 Curva de duración de la estación H908.....	122
4.2.3.1 Curva empírica	122

4.2.3.2 Curva teórica	123
4.2.3.3 Curva de duración de caudales para la cuenca del río Arapicos	125
4.3 Caudales de diseño	128
4.4 Diseño del sistema de agua potable	130
4.4.1 Diseño de captación tipo Coanda.....	130
4.4.2 Diseño del sistema de tratamiento	134
4.4.2.1 Evaluación de la calidad de agua	134
4.4.2.2 Diseño de la desinfección.....	139
4.4.3 Diseño del tanque de almacenamiento.....	143
4.4.4 Modelamiento del sistema de conducción	144
4.4.4.1 Trazado de tubería.....	144
4.4.4.2 Demanda base	145
4.4.4.3 Diámetros de tubería	145
4.4.4.4 Velocidades medidas en el software	145
4.4.4.5 Presiones medidas en el software.....	146
CAPÍTULO 5	148
PRESUPUESTO	148
CAPÍTULO 6.....	149
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	149
6.1 Conclusiones	149
6.2 Recomendaciones.....	150
BIBLIOGRAFÍA	152
ANEXOS.....	160

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficiente de correlación	14
Tabla 2. Escalas horizontales	16
Tabla 3. Test de rachas.....	17
Tabla 4. Patrones de mapas recurrentes	26
Tabla 5. Subdivisión de cuencas según el área	29
Tabla 6. Coeficiente de escorrentía.....	36
Tabla 7. Parámetros I	39
Tabla 8. Parámetros II.....	39
Tabla 9. Calidad bacteriológica.....	39
Tabla 10. Componentes químicos indicadores de contaminación	40
Tabla 11. Parámetros III.....	40
Tabla 12. Parámetros IV	40
Tabla 13. Parámetros V.....	41
Tabla 14. Tasa de crecimiento poblacional.....	45
Tabla 15. Nivel de servicio	45
Tabla 16. Dotación de agua para los diferentes niveles de servicio.....	46
Tabla 17. Porcentaje de fugas según nivel de servicio.....	47
Tabla 18. Diámetros de tubería según factor de gasto	51
Tabla 19. Coeficiente de Hazen Williams según tipo de conducto.....	53
Tabla 20. Coeficiente de rugosidad.....	54
Tabla 21. Velocidad máxima de tuberías.....	55
Tabla 22. Pre tratamiento de agua.....	56
Tabla 23. Tratamiento de agua.....	58
Tabla 24. Velocidad de sedimentación de partículas.....	58

Tabla 25. Unidades de filtración	59
Tabla 26. Dosificación de hipoclorito	63
Tabla 27. Parámetros físico-morfométricos de la estación H908	72
Tabla 28. Datos disponibles estaciones meteorológicas INAMHI	73
Tabla 29. Datos disponibles estaciones hidrológicas INAMHI	74
Tabla 30. Datos disponibles estaciones meteorológicas DPAMS	75
Tabla 31. Censo poblacional parroquia Huambi.....	76
Tabla 32. Ecuaciones de regresión lineal	83
Tabla 33. Datos rellenados y test de rachas	89
Tabla 34. Prueba t de Student del mes de noviembre de la variable precipitación... 90	
Tabla 35. Intervalos de clase de histogramas.....	91
Tabla 36. Parámetros de embebimiento	93
Tabla 37. Puntos de toma de muestra.....	96
Tabla 38. Población de la parroquia Huambi.....	114
Tabla 39. Población de las comunidades Bellavista y La Florida.....	115
Tabla 40. Población futura con método geométrico	116
Tabla 41. Población de saturación	117
Tabla 42. Dotación de agua.....	118
Tabla 43. Variaciones de consumo	119
Tabla 44. Caudal de fuentes subterráneas en época de lluvia.....	119
Tabla 45. Caudal del río Arapicos en época de lluvia.....	119
Tabla 46. Parámetros físico-morfométricos de la cuenca del río Arapicos	122
Tabla 47. Probabilidades para construir la curva teórica	124
Tabla 48. Cálculo de la precipitación media de la cuenca del río Arapicos	126
Tabla 49. Curva de duración de caudal de la cuenca del río Arapicos	127
Tabla 50. Caudales de diseño.....	130

Tabla 51. Relación H/R de la captación tipo Coanda	130
Tabla 52. Muestra 1. Parámetros de calidad de agua.....	134
Tabla 53. Muestra 2. Parámetros de calidad de agua.....	135
Tabla 54. Muestra 3. Parámetros de calidad de agua.....	135
Tabla 55. Muestra 4. Parámetros de calidad de agua.....	136
Tabla 56. Muestra 5. Parámetros de calidad de agua.....	137
Tabla 57. Muestra 6. Parámetros de calidad de agua.....	138
Tabla 58. Muestra 7. Parámetros de calidad de agua.....	139
Tabla 59. Presupuesto referencial	148

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución t de Student	19
Figura 2. Atractor en espacio de fases.....	21
Figura 3. Fractal	21
Figura 4. Histograma y distribución normal	22
Figura 5. Clasificación de distribución de probabilidades	23
Figura 6. Clasificación de mapas recurrentes.....	27
Figura 7. Mapa de isoyetas.....	37
Figura 8. Captación tipo Coanda.....	48
Figura 9. Caudal unitario captado por la toma tipo Coanda.....	50
Figura 10. Vertedero de pared delgada	64
Figura 11. Ubicación proyecto de estudio.....	67
Figura 12. Ubicación de estaciones hidrometeorológicas	69
Figura 13. Mapa de Isoyetas	70
Figura 14. Cuencas hidrográficas.....	71
Figura 15. Cuenca del río Santiago	71
Figura 16. Formato de presentación de variables recopiladas.....	79
Figura 17. Formato de presentación de variables recopiladas.....	80
Figura 18. Gráfica de dispersión de precipitación del año 1991	84
Figura 19. Serie original y completa de variable precipitación.....	85
Figura 20. Serie completa de la variable caudal.....	86
Figura 21. Serie completa de la variable humedad	87
Figura 22. Serie completa de la variable temperatura	88
Figura 23. Curva de doble masa de la variable precipitación	90
Figura 24. Serie desestacionalizada, histograma y distribución.....	92

Figura 25. Histograma de la serie completa de la variable precipitación.....	100
Figura 26. Histograma de la serie de tiempo completa de la variable caudal	101
Figura 27. Histograma de la serie de tiempo completa de la variable humedad..	101
Figura 28. Histograma de la serie de tiempo de la variable temperatura	102
Figura 29. Función de Autocorrelación de la variable precipitación	103
Figura 30. Función de Autocorrelación de la variable caudal.....	103
Figura 31. Función de Autocorrelación de la variable humedad	104
Figura 32. Función de Autocorrelación de la variable temperatura.....	104
Figura 33. Falsos vecinos más cercanos de la variable precipitación	105
Figura 34. Falsos vecinos más cercanos de la variable caudal.....	105
Figura 35. Falsos vecinos más cercanos de la variable humedad	106
Figura 36. Falsos vecinos más cercanos de la variable temperatura	107
Figura 37. Mapa recurrente de la variable precipitación.....	108
Figura 38. Mapa recurrente de la variable caudal	109
Figura 39. Mapa recurrente de la variable humedad	110
Figura 40. Mapa recurrente de la variable temperatura.....	111
Figura 41. Recurrencia cuantitativa de la variable precipitación	112
Figura 42. Recurrencia cuantitativa de la variable caudal.....	113
Figura 43. Recurrencia cuantitativa de la variable humedad	113
Figura 44. Recurrencia cuantitativa de la variable temperatura.....	113
Figura 45. Cuenca del Río Arapicos	121
Figura 46. Curva de duración de caudales empírica de la estación H908.....	123
Figura 47. Curva de duración de caudales teórica de la estación H908.....	125
Figura 48. Curva de duración de caudales empírica y teórica estación H0908....	125
Figura 49. Mapa de Isoyetas de la cuenca del río Arapicos	126
Figura 50. Curva de duración de caudales para la cuenca del río Arapicos.....	128

Figura 51. Tirante normal en sección circular.....	131
Figura 52. Vista en planta de la estructura de captación	132
Figura 53. Vista en perspectiva de la estructura de captación.....	132
Figura 54. Esquema captación tipo Coanda	133
Figura 55. Tanque rompe presiones	142
Figura 56. Detalle tanque rompe presiones (vertedero)	143
Figura 57. Esquema del sistema de agua potable.....	144
Figura 58. Trazado de la tubería.....	145
Figura 59. Diámetros en la línea de conducción	145
Figura 60. Velocidades en la línea de conducción	146
Figura 61. Velocidades y pérdidas en la línea de conducción.....	146
Figura 62. Presiones en la línea de conducción.....	147
Figura 63. Presiones en la línea de conducción.....	147

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Ortofoto ríos Arapicos y Tutanangosa	68
Fotografía 2. Levantamiento topográfico.....	95
Fotografía 3. Muestreo de calidad de agua del río Arapicos.....	97
Fotografía 4. Muestreo de calidad de agua de fuente subterránea	97
Fotografía 5. Análisis de parámetros de calidad de agua, laboratorio UCE	98
Fotografía 6. Análisis de calidad de agua, laboratorio UFA ESPE	99
Fotografía 7. Recopilación de datos de población	117
Fotografía 8. Fuente subterránea 1	120
Fotografía 9. Fuente subterránea 2.....	120
Fotografía 10. Río Arapicos.....	121

RESUMEN

Las comunidades Bellavista y La Florida se encuentran ubicadas en la zona rural de la parroquia Huambi, provincia de Morona Santiago. A pesar de que el río Arapicos se ubica en las inmediaciones de ambas comunidades, estas no se abastecen del agua disponible en su cuenca, por lo que se cree conveniente proponer un sistema de dotación complementario. Los proyectos relacionados al recurso hídrico parten del estudio de las variables hidrometeorológicas que influyen en la cuenca y tradicionalmente la metodología utilizada para su estudio es de naturaleza lineal, lo cual deja de lado el comportamiento dinámico de las variables por lo que es necesario ampliar su estudio mediante la incorporación de técnicas no lineales. En este proyecto de titulación se estudiaron las variables hidrometeorológicas precipitación, caudal, temperatura y humedad, cuyos registros se recopilan a través de estaciones pertenecientes al INAMHI y la Dirección de Protección Ambiental de Morona Santiago. Las series de datos fueron rellenadas mediante el método de regresión lineal y el método del promedio diario; y validadas utilizando la prueba de rachas, curva de doble masa y t de Student. Con el fin de buscar algún indicio de caos en las series temporales y estudiar su comportamiento dinámico, se aplicó técnicas de medida del caos sobre las variables antes mencionadas utilizando el software R. Las técnicas que se utilizaron fueron: distribución de probabilidades e histogramas, función de autocorrelación, falsos vecinos más cercanos y mapas recurrentes. Finalmente, mediante el análisis de recurrencia cuantitativa, se distinguió que las series analizadas no presentan un largo período de ocurrencia, es decir, no son series deterministas. Por otro lado, se determinó la calidad y cantidad de agua y se propuso el diseño del sistema de agua potable, el mismo que cuenta con un sistema de captación tipo Coanda, conducción y almacenamiento; para así; garantizar el abastecimiento de agua potable a las comunidades Bellavista y La Florida para un período de vida útil de 20 años.

Palabras Claves:

- **MAPAS RECURRENTES**
- **SERIES DE TIEMPO**
- **TOMA CON EFECTO COANDA**
- **CURVA DE DURACIÓN DE CAUDAL**

ABSTRACT

The Bellavista and La Florida communities belong to the rural area of Huambi parish, province of Morona Santiago. Although the Arapicos river is located near of both communities, they do not take benefit of the available water in their basin, so it is considered advisable to propose a complementary endowment. A water endowment project starts from the study of the hydrometeorological variables that affect the basin and mostly the methodology used for its study is linear, which ignores the dynamic behavior of the variables, so it is necessary to incorporate non-linear techniques. The hydrometeorological variables of precipitation, flow, temperature and humidity were studied in this project, whose records are collected from stations that belong to INAMHI and the Dirección de Protección Ambiental de Morona Santiago. The data series were fitted using the linear regression method and the daily average method; and validated using the run test, double mass curve and Student's t-test. In order to look for some hint of chaos in the time series and study their dynamic behavior, chaos measurement techniques were applied to the variables using the R software. The techniques to be used were: frequency distribution and histograms, function of autocorrelation, false neighbors and recurring maps. Finally, the result of apply the quantitative recurrence analysis, was that the series analyzed do not present a long period of occurrence, so, they are not deterministic series. Otherwise, the quality and quantity of water was determined and the design of the potable water system was proposed, which has a Coanda water intake, conduction and storage to guarantee the supply of drinking water for the Bellavista and La Florida communities for 20 years' service life span.

Key words:

- **RECURRENCE PLOTS**
- **TIME SERIES**
- **WATER INTAKE COANDA EFFECT**
- **FLOW DURATION CURVE**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

La superficie del planeta Tierra, se encuentra cubierta de agua aproximadamente en un 70%, de este porcentaje, el 2,5% es agua dulce y corresponde a lagos, ríos, depósitos subterráneos y humedad presente en el suelo. El 87% de la población mundial y el 84% de la población en países en vías de desarrollo tiene acceso a fuentes de abastecimiento de agua potable (CONAGUA, 2011).

A nivel mundial, se cuentan con estaciones meteorológicas de superficie, automáticas o dotadas de personal, satélites meteorológicos y de investigación. En Ecuador se cuenta con estaciones hidrológicas automáticas y estaciones meteorológicas climatológicas, pluviométricas, entre otras, cuya información es proporcionada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), sin embargo, muchos de los datos de precipitación, evaporación, temperatura, humedad relativa, velocidad de viento y caudales se encuentran incompletos dependiendo de los años de toma de muestras, y es por eso, que antes de utilizarlos es necesario rellenar la información y luego someterlos a un proceso de calidad (Ayala, Carrera-Villacrés, & Tierra, 2018).

Durante los últimos años, en Ecuador se ha incrementado considerablemente la dotación de agua potable a nivel nacional, pasando de aproximadamente 80,39% en 2011, a 86,41% en 2014, evidenciando el esfuerzo del gobierno a través de los municipios, para suministrar de agua potable a la población, sin embargo, persiste una notable diferencia entre la región Amazónica y las demás regiones del país (SENAGUA, 2016). En la provincia de Morona Santiago se evidencia esta diferencia, sobre todo en el área rural, teniendo una cobertura de agua potable de 47,2% (Falconí, 2014).

El INAMHI proporciona datos hidrometeorológicos representativos medidos con la ayuda de estaciones instaladas alrededor de todo el Ecuador, sin embargo, en la región Amazónica, específicamente en la provincia de Morona Santiago, se cuenta con pocas estaciones, cinco de ellas se encuentran cerca al lugar de estudio.

Es fundamental tener un grado de confiabilidad alto con la información obtenida de las diferentes estaciones hidrometeorológicas para hacer un buen diseño del sistema de agua potable, además de generar series que sean capaces de predecir con certeza que ocurre al momento de cumplir con el período óptimo de diseño.

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Huambi (2015), la dotación de agua, para comunidades pertenecientes al área rural se da mediante sistema de agua entubada, además, menciona que aproximadamente el 56% del sistema de agua de la parroquia se encuentra sin información. La insuficiente dotación de agua potable afecta a las poblaciones más vulnerables del país, recrudece el hambre, desnutrición y seguridad alimentaria (Ortiz, 2018).

(Altamirano, 2015) menciona que, “cerca del 63% de los habitantes de la parroquia se dedica a actividades como la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca”, por lo que es necesario optimizar el sistema de dotación existente y ofrecer nuevas alternativas de fuentes de agua, ya que en ciertos casos las fuentes se encuentran muy lejanas o no cuentan con un sistema de tratamiento que permita garantizar la calidad del agua que se entrega.

En la provincia de Morona Santiago, se cuenta con cinco estaciones meteorológicas del INAMHI de las cuales, tres de estas son de importancia para el presente proyecto debido a su cercanía con el mismo: Macas San Isidro PNS M1040, Logroño M0497 y Méndez INAMHI M0501. Así mismo, se cuenta con cuatro estaciones hidrológicas, las más cercanas al lugar de estudio son dos: Upano DJ. Tutanangosa H908 y Tutamangosa en Sucúa H883, cuya información es incompleta y requiere del análisis de la dinámica caótica para series temporales.

La Dirección de Protección Ambiental de Morona Santiago cuenta con estaciones meteorológicas propias ubicadas alrededor de toda la provincia, tres de ellas son de importancia debido a su cercanía con el proyecto: San Miguel de Conchay M5120, Shimpis M5118 y Copal M0673.

1.2 Antecedentes

El acceso a servicios básicos como el agua potable, se encuentra asociada con mejores condiciones de vida de la población (INEC, 2015). En el Ecuador, entre

2007 y 2016, se evidenciaron niveles más favorables en el acceso a servicios básicos en general, aunque persisten considerables brechas entre el sector urbano y el rural (SENPLADES, 2017). Por ejemplo, en 2014 el porcentaje de viviendas abastecidas por agua de la red pública, independientemente del tipo de suministro (tubería dentro de la vivienda, tubería fuera de la vivienda, etc.), en el sector rural alcanza solo un 46%. Por otra parte, la región Amazónica cuenta con un 53% de viviendas abastecidas por agua de la red pública (INEC, 2015), de esta manera queda en evidencia el requerimiento de sistemas de dotación de este recurso.

Estos sistemas o proyectos hidráulicos conjugan variables meteorológicas e hidrológicas y en Ecuador, el ente encargado de proporcionar datos históricos sobre estas variables es el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), el cual, por medio de estaciones hidrometeorológicas ubicadas en todo el país, recopila datos de temperatura, precipitación, humedad, evaporación, caudales, entre otros, necesarios en dichos proyectos.

El INAMHI, en su Plan Estratégico Nacional 2030 menciona: “la institución no dispone de un sistema de aseguramiento y control de calidad de datos y a pesar de esfuerzos de reestructuración institucional, este proceso aún está incompleto”. Considerando que, el antecedente de los proyectos ingenieriles relacionados con el agua son datos hidrométricos e hidrológicos y a su vez, estos deben responder a registros de al menos 30 años, para manejar un grado de confiabilidad alto en el diseño, se evidencia la necesidad de completarlos, tratarlos, homogenizarlos y validarlos, de acuerdo a su naturaleza caótica, para entender su comportamiento y a su vez desarrollar diseños acorde que resistan a las condiciones atípicas de las series temporales.

Por ello, se requiere utilizar modelos estadísticos que sirvan en el proceso de relleno y homogenización de datos. Espinosa (2004) afirma que “una gran cantidad de fenómenos se pueden describir como series de tiempo aperiódicas”, dentro de esta categoría podemos encontrar a los fenómenos meteorológicos, en los cuales su predicción como sus relaciones causales son muy complejas, por esta razón, un tratamiento estadístico lineal se vuelve limitado, al ser fenómenos con una dinámica no-lineal.

La presente investigación tuvo como finalidad tratar y validar los datos mencionados anteriormente, obtener un nivel de confianza alto, para proceder a diseñar el sistema de captación, dotación y tratamiento de agua, cumpliendo con requisitos de cantidad y calidad, haciéndola apta para el consumo humano y que sirva de apoyo para las actividades productivas de los habitantes de las comunidades Bellavista y La Florida.

1.3 Justificación

Tal como se menciona en el Plan Nacional de Desarrollo “Toda una vida”, la calidad y cantidad de agua condicionan a todas las formas de vida, es por ello que, alineado al Plan Nacional, así como al Objetivo 6 del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) el cual se titula “Agua limpia y saneamiento”, es necesario dotar de este recurso a la población tanto para su consumo como para el desarrollo de actividades productivas.

Datos del (INEC, 2018) revelan que aproximadamente el 41% de las viviendas del sector rural no cuentan con acceso al agua mediante la red pública, es por ello que se puede dudar acerca de la calidad del recurso que utilizan diariamente dichas viviendas. Así mismo la (ONU, 2015), en base a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), asegura que, 3 de cada 10 personas no cuentan con acceso a servicios de agua potable seguros, revelando así una necesidad latente de dotar, no sólo, la cantidad requerida de agua sino con responsabilidad en cuanto a la calidad de esta.

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, cumpliendo con su responsabilidad social, requiere apoyar proyectos de dotación y tratamiento de agua para cumplir responsablemente con los Objetivos de Desarrollo que tiene el Ecuador. A esto se debe agregar que, por ser los recursos hídricos variables que responden a la no linealidad, es necesario dar un tratamiento estadístico adecuado, basado en el estudio de su singularidad para que los diseños que se desarrollen entorno a estas variables sean eficientes y responsables, tanto para dotar de agua a las comunidades que lo necesiten como para no cortar los cauces y perjudicar la vida aguas abajo de los proyectos que se desarrollen, más aún, cuando las series hidrometeorológicas se comportan de diferente manera, probablemente, por causa del cambio climático.

1.4 Importancia

Los ríos Tutanangosa y Arapicos, así como muchos de los ríos en la región de la Amazonía ecuatoriana, carecen de datos hidrométricos, esto dificulta conocer la disponibilidad de agua para su tratamiento. Para el caso específico de las comunidades Bellavista y La Florida, como es de suponer, se desconoce la calidad y cantidad de agua superficial y subterránea que se dispone en la zona de estudio. Mediante la aplicación de conocimientos ingenieriles a lo largo de las etapas de ejecución, se realizó el manejo de información hidráulica, hidrológica, meteorológica, calidad de aguas, a través de los datos obtenidos de las estaciones hidrometeorológicas del INAMHI y la Dirección de Protección Ambiental de Morona Santiago cercanas al proyecto y obtener los caudales probables mediante la determinación en campo de factores que están en función de parámetros como áreas de aportación, coeficientes de escorrentía, entre otros.

El presente proyecto pretende dar un aporte importante a las comunidades Bellavista y La Florida, en la parroquia Huambi ubicada al sureste del Ecuador que se abastecen, en el mejor de los casos, de agua entubada proveniente de varias fuentes no especificadas. Para garantizar el volumen de agua requerido se realizó un estudio estocástico hidrológico de los ríos Tutanangosa y Arapicos y así dotar de un sistema de agua potable a estas comunidades.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar el comportamiento dinámico, mediante técnicas de análisis no lineal, de las siguientes variables meteorológicas: precipitación, temperatura y humedad de las estaciones M1040, M0497, M0501, M1040, M0673, M5118 y M5120, y caudal de las estaciones H908 y H883 para realizar el diseño de los sistemas de captación, conducción y tanque de almacenamiento para consumo humano de las comunidades Bellavista y La Florida, parroquia Huambi, cantón Sucúa, provincia de Morona Santiago.

1.5.2 Objetivos específicos

Recopilar la información hidrometeorológica de los anuarios del INAMHI, rellenarlos y validarlos a través de test de calidad proporcionados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Analizar el comportamiento dinámico, mediante técnicas de análisis no lineal, de las siguientes variables meteorológicas: precipitación, temperatura y humedad de las estaciones M0497, M0501, M1040, M0673, M5118 y M5120 y caudal de las estaciones H883 y H908, cuyos registros fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y Dirección de Protección Ambiental de Morona Santiago.

Estudiar la cantidad y calidad de agua del río Arapicos y de fuentes subterráneas, en base a un análisis físico, químico y bacteriológico de acuerdo al Código de Diseño de Obras Sanitarias del Ecuador, para recomendar el uso y tratamiento de estas aguas.

Realizar el levantamiento topográfico con estación total, geo referenciado con GPS de precisión, para implantar las obras del sistema de agua potable.

Diseñar los elementos del sistema principal para el abastecimiento de agua potable a las comunidades Bellavista y la Florida de acuerdo al Código Ecuatoriano para el Diseño de la Construcción de Obras Sanitarias, con un alto grado de confiabilidad de su funcionamiento en cualquier condición climatológica propia de la zona.

Elaborar planos y el presupuesto del sistema de conducción de agua potable propuesto mediante el análisis de precios unitarios para determinar el costo referencial de la obra de Ingeniería y sus componentes.

1.6 Hipótesis

Mediante la aplicación de técnicas de análisis no lineal como histogramas, mapas recurrentes y análisis de recurrencia cuantitativa, se clasifica al comportamiento de las series temporales de las variables hidrometeorológicas precipitación y caudal de la cuenca del río Arapicos, como determinista y así, mediante curvas de duración de

caudales se determina con certeza la disponibilidad de agua potable para las comunidades Bellavista y La Florida.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Procesos estocásticos y series de tiempo

Un proceso estocástico se define como la secuencia de datos medidos en diferentes momentos, ordenados cronológicamente y espaciados de manera uniforme. (Villavicencio, 2011). Por ello, se puede decir que las series de tiempo son un caso específico de un proceso estocástico, por describir el comportamiento de un fenómeno a lo largo del tiempo. En cualquier campo de la ciencia se pueden encontrar ejemplos de series temporales (González Casimiro, 2009), así, en la Meteorología, encontramos variables como la precipitación, evaporación, temperatura, humedad, cuyo comportamiento, con frecuencia se estudia en relación al tiempo.

Si una serie temporal se puede predecir exactamente en función de sus valores pasados, entonces se habla de una serie determinista, sin embargo, la mayoría de series son estocásticas, lo que significa que sus observaciones futuras se pueden determinar parcialmente, estas predicciones responden a una distribución de probabilidades (González Casimiro, 2009).

2.1.1 Procesos estocástico estacionario

Un proceso estocástico es estacionario cuando sus propiedades estadísticas (media, varianza, autocovarianza) permanecen constantes en cualquier momento en el que sean medidas (Mauricio, 2007)

2.1.2 Proceso estocástico no estacionario.

Los procesos estocásticos no estacionarios son series cuya tendencia es variable y sus estadígrafos son distintos según el momento en el cual sean medidos (Villavicencio, 2011).

2.2 Modelos de series temporales

Para el estudio de series temporales es necesario notar dos características específicas que manejan sus datos: orden y supuesto de dependencia. En su análisis se considera que se trabaja con datos ordenados, cuyas observaciones son dependientes entre sí (González Casimiro, 2009). Al instrumento que permite reproducir el comportamiento de las variables de series temporales, se lo llama modelo.

Los modelos de series de tiempo se clasifican según el número de variables con el que trabajan, estos pueden ser:

- **Univariantes:** Si el análisis corresponde a una sola serie en función de su pasado. (González Casimiro, 2009)
- **Multivariantes:** Se analizan varias series temporales a la vez. (González Casimiro, 2009).

Si a un conjunto de variables X le corresponden N observaciones y estas responden a la relación X_t , $t = 1, 2, 3, \dots, N$, en donde t representa intervalos de tiempo equidistantes para observaciones del dato X_t , se dice que la serie temporal es discreta. En el caso de que las observaciones sean registradas de forma continua, es decir, se cuenta con infinito número de observaciones, se puede concluir que la serie temporal es continua (González Casimiro, 2009).

El presente trabajo está basado en modelos temporales univariantes discretos registrados en intervalos de tiempo regulares.

2.3 Componentes de series temporales

Para ciertos casos, se considera que las series de tiempo son la suma de tres componentes:

$$X_t = T_t + S_t + I_t$$

Donde:

T_t , Tendencia: Es el comportamiento de la media de la serie a largo plazo. (Villavicencio, 2011)

S_t , Estacionalidad: Definido como la periodicidad o movimientos de oscilación dentro de un intervalo de tiempo. (Villavicencio, 2011)

I_t , Irregular: Es la variación aleatoria de los componentes anteriores. Son factores que ocurren, de manera aislada en la serie de tiempo. (Villavicencio, 2011).

Uno de los objetivos del análisis de series temporales se centra en examinar las características de sus componentes. Se puede estudiar la tendencia para identificar los movimientos de la serie, o se puede trabajar con el comportamiento estacional, ya que, en ciertos casos conviene extraer esta característica, es decir, desestacionalizar la serie.

A continuación, se presenta la ecuación para desestacionalizar los datos de una serie de tiempo. (Heipel & McLeod, 1994)

$$\hat{y}_{n,s} = \frac{y_{n,s} - \bar{y}_s}{S_s} \quad (1)$$

Para el caso de datos mensuales se tiene que:

n : Representa los años de la serie que se estudia.

s : Estacionalidades o meses del año.

S_s : Desviación estándar de la muestra.

\bar{y}_s : Media de la muestra.

$\hat{y}_{n,s}$: Valor desestacionalizado de la serie del año n y el mes s .

2.4 Sistemas dinámicos no lineales

Un sistema dinámico es aquel cuyos parámetros internos (denominados estados) responden a un conjunto de reglas temporales, estos abarcan todos los fenómenos observables (Silva & Young, 2000). Son descritos por ecuaciones, por ello se los llama sistemas, y son dinámicos, debido a que, sus parámetros cambian con respecto a una variable, por lo general, el tiempo (Loaiza Ramírez, 2006). Un sistema es no lineal cuando sus términos contienen potencias de segundo grado o mayor (Socolar, 2003).

2.5 Estaciones meteorológicas

Son sitios donde se hacen observaciones y mediciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos usando instrumentos apropiados, con el fin de establecer el comportamiento atmosférico en las diferentes zonas de un territorio (IDEAM, 2014).

Según el INAMHI, existen varios tipos de estaciones meteorológicas instaladas alrededor de todo el Ecuador:

- Anemográfica
- Agrometeorológica
- Aeronáutica
- Climatológica ordinaria
- Climatológica principal
- Pluviográfica
- Pluviómetrica
- Radio sonda

2.5.1 Estación climatológica principal (CP)

En este tipo de estación se hacen observaciones de tiempo atmosférico presente, estado del suelo, precipitación, temperatura del aire, humedad, viento, radiación solar, brillo solar, evaporación, entre otros, con instrumentos registradores y por lo general se efectúan tres observaciones diarias. (IDEAM, 2014).

2.5.2 Estación climatológica ordinaria (CO)

Este tipo de estación posee un pluviómetro, pluviógrafo y psicrómetro, se miden precipitación y temperatura. (IDEAM, 2014)

2.6.3 Variables hidrológicas

Caudal: También denominado gasto, es el volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un río o canal en una unidad de tiempo. Su unidad son los

metros cúbicos por segundo (m^3/s). (INAMHI, Fichas metodológicas de indicadores, estadísticos y variables meteorológicas, hidrológicas y ambientales., 2015)

2.5.3 Estación pluviométrica (PM)

Cuenta con un pluviómetro o recipiente que permite medir la cantidad de lluvia caída entre dos observaciones consecutivas. (IDEAM, 2014)

2.5.4 Variables meteorológicas

Precipitación: Es el producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes o del aire y se deposita en el suelo. Dicho término comprende la lluvia, el granizo, la nieve, el rocío, la escarcha y la precipitación de la neblina. Su unidad son los milímetros (mm). (INAMHI, Fichas metodológicas de indicadores, estadísticos y variables meteorológicas, hidrológicas y ambientales., 2015)

Humedad relativa: Es el cociente entre la cantidad de vapor de agua existente en el aire y la cantidad que saturaría este aire a una temperatura dada. Su unidad es el porcentaje (%) y sus valores pueden fluctuar entre 0% y 100%, donde el 0% significa aire seco y 100% aire húmedo saturado. (INAMHI, Fichas metodológicas de indicadores, estadísticos y variables meteorológicas, hidrológicas y ambientales., 2015)

Temperatura del aire: Temperatura leída en un termómetro expuesto al aire, protegido de la radiación solar directa. Su unidad son los grados Celsius ($^{\circ}C$). (INAMHI, Fichas metodológicas de indicadores, estadísticos y variables meteorológicas, hidrológicas y ambientales., 2015)

2.6 Estaciones hidrológicas

Es un lugar donde sistemáticamente se realizan mediciones de caudal, sedimentos, muestreo hidroquímico y observaciones de nivel de agua, lo que permite conocer el régimen de un río, canal o el nivel de un lago o embalse. (Samaniego, 2008)

Existen dos tipos de estaciones hidrológicas:

- Limnimétrica
- Limnigráfica

2.6.1 Estación hidrológica limnimétrica (LM)

Cuenta con un instrumento denominado limnómetro (regla o mira) que registra el nivel del río respecto a una referencia fija. (Vera, 2001)

2.6.2 Estación hidrológica limnigráfica (LG)

Registra datos referidos al nivel del agua de los cuerpos superficiales. Puede constar de un sensor de presión de columna de agua. Cuenta con un limnómetro o regla y un limnógrafo, el cual registra las variaciones del nivel del agua en la sección de control en forma continua y debe coincidir con el nivel del limnómetro. (Vera, 2001)

2.7 Análisis de series temporales

2.7.1 Teorema de Chebyshev

El teorema de Chebyshev establece la proporción de datos que se encuentran entre un determinado número de desviaciones estándar de la media. Una de las ventajas de este teorema es que es aplicable a cualquier serie de datos sin importar la forma de su distribución (Anderson , Sweeney, & Williams, 2008). El teorema determina que:

- Aproximadamente el 68% de datos se encuentran a no más de una desviación estándar de la media.
- Cerca del 95% de datos se encuentran a una distancia de dos desviaciones estándar de la media.
- Alrededor del 99.5% de datos de la serie estarán a tres desviaciones estándar de la media.

2.7.2 Relleno de datos de series temporales

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) es el ente encargado de suministrar información meteorológica y climática esencial, así como guías de prácticas climatológicas en las que se recomiendan varios métodos para rellenar los datos faltantes de series temporales.

Para series de datos mensuales o anuales se recomienda el método de regresión lineal simple (Luna Romero & Lavado Casimiro, 2015), el cual, estudia la relación lineal entre dos variables, por medio de una representación visual denominada diagrama de dispersión y proporciona una ecuación que permite calcular el valor faltante en función del dato de la estación auxiliar, mediante una ecuación de dos variables (2) (Carrera Villacrés , y otros, 2016).

$$y = a + bx \tag{2}$$

Donde:

y : Valor calculado de la variable para la estación que se desea completar.

x : Valor de la variable de la estación auxiliar.

a, b : Coeficientes de regresión.

Del diagrama, se procede a calcular el coeficiente de correlación, creado por Karl Pearson, el cual, brinda una medida cuantitativa de la fuerza de la relación entre las variables y suele representarse con la letra r , este varía de -1.00 a +1.00. Un coeficiente r de Pearson, como también se lo conoce, que tome valores de -1.00 o +1.00 indica una correlación perfecta y los datos muestran poca dispersión respecto a la recta. En caso que no haya ninguna relación entre los dos conjuntos de variables, la r de Pearson toma el valor de cero y existe una dispersión considerable (Lind, Marchal, & Wathen, 2012).

Tabla 1.
Coeficiente de correlación

No hay correlación	Correlación positiva débil	Correlación positiva moderada	Correlación positiva fuerte	Correlación positiva perfecta
--------------------	----------------------------	-------------------------------	-----------------------------	-------------------------------

$r=0$	$0 < r < 0.50$	$r=0.50$	$0.50 < r < 1$	$r=1$
-------	----------------	----------	----------------	-------

En términos hidrológicos, un coeficiente de correlación de $-0.8 \leq r \leq 0.8$, se considera aceptable (Pizarro, y otros, 2009).

Existen algunas consideraciones para utilizar el método de regresión lineal como: distancia menor de 25 km entre las estaciones a estudiar, altitud de ± 30 msnm y que cuenten con el mismo tipo de clima (Jiménez, Vargas, Salinas, Aguirre, & Rodríguez, 2004)

Para series de datos diarios se recomienda el método del promedio diario, calcula el valor promedio a largo plazo del mismo día de interés. Se utiliza la siguiente ecuación (3) (Campozano, Sánchez, Aviles, & Samaniego, 2014)

$$P_{est} = \frac{\sum_{j=1}^N P_{ij}}{N} \quad (3)$$

Donde:

P_{est} : Valor promedio estimado

P_{ij} : Valor de la variable en el día i del año j

N : Número de años que se dispone de datos

Para la selección de las estaciones con las que se va a trabajar, se debe verificar los siguientes criterios para controlar la calidad de los datos:

- El porcentaje de datos faltantes no debe superar el 10% de la serie y se permite un valor de 25% para zonas con escasez de datos y limitado número de estaciones de apoyo (Campozano, Sánchez, Aviles, & Samaniego, 2014).
- La variación en el registro de datos debe ser causada únicamente por condiciones climatológicas o propias de la variable de estudio, mas no por factores externos como: reubicación de la estación, cambios en la instrumentación, imprecisiones instrumentales o cambios en los procedimientos de observación y cálculo (Campozano, Sánchez, Aviles, & Samaniego, 2014).
- La posición relativa de la estación con respecto al centro de la cuenca. Las estaciones cercanas a la frontera de la cuenca tienen mayor importancia, que

aquellas ubicadas en el centro (Campozano, Sánchez, Aviles, & Samaniego, 2014).

2.7.3 Distancia entre estaciones hidrometeorológicas

En la atmósfera pueden coexistir varios fenómenos meteorológicos de distintas escalas. La frecuencia y separación de las observaciones debe ser adecuada para obtener datos que describan los cambios en el tiempo y en el espacio del fenómeno meteorológico, con suficiente resolución (Ayala, Carrera-Villacrés, & Tierra, 2018). Si la separación entre las observaciones es superior a 100 km, los fenómenos meteorológicos que tengan menos de 100 km en la escala horizontal no podrán ser detectados normalmente (OMM, 2010). La Guía del Sistema Mundial de Observación N° 488 presenta la clasificación de escalas horizontales de fenómenos meteorológicos:

Tabla 2.
Escalas horizontales

Escala	Distancia
Microescala	Menos de 100 m
Topoescala o escala local	100 m a 3 km
Mesoescala	3 km a 100 km
Gran Escala	100 km a 3000 km
Escala Planetaria	Más de 3000 km

Fuente: (OMM, 2010)

La predicción meteorológica a corto plazo exige observaciones más frecuentes procedentes de una red más densa en un área limitada, con el fin de detectar cualquier fenómeno de pequeña escala y su desarrollo. A medida que aumenta la longitud del período previsto, aumenta también el área de la que se necesitan observaciones (OMM, 2010).

El grado de relación entre las variables d (distancia) y r (correlación), establece una correlación negativa intensa, lo cual significa que estas variables están linealmente relacionadas en un sentido inverso, es decir a mayor distancia se tendrá un menor coeficiente de correlación (Ayala, Carrera-Villacrés, & Tierra, 2018).

2.7.4 Validación de datos

Para la validación de datos la Organización Meteorológica Mundial recomienda algunas pruebas que se pueden aplicar a los modelos, éstas pruebas pueden ser paramétricas, si dependen de supuestos sobre la distribución, como la normalidad, o no paramétricas, si no consideran supuestos sobre la distribución (OMM, 2011). Dentro de las pruebas paramétricas encontramos a la prueba de t de Student, y la prueba de F de Fisher y como pruebas no paramétricas tenemos a la prueba de rachas y a la prueba de Kolmogorov-Smirnov (OMM, 2011). De igual forma los autores citados a continuación recomiendan métodos adicionales para la validación de datos.

Los datos rellenados con el método de regresión lineal se validaron mediante una prueba de rachas, curva de doble masa y t de Student para determinar si la serie completada es o no homogénea. Los datos rellenados con el método del promedio diario se validaron mediante t de Student.

La prueba de rachas, es un método no paramétrico que sirve para determinar si una serie es o no aleatoria, es decir, si los datos son independientes entre sí. En una serie temporal las observaciones no son aleatorias, porque una observación cualquiera depende de las características de una anterior. El término racha hace referencia a una secuencia de observaciones de un mismo tipo (Marín, 2000). Se procede a calcular la mediana de la serie rellenada y se representa con NA el número de valores que superan la mediana (+), NB el número de valores inferiores a la mediana (-) y NS el número de rachas (Carrera Villacrés , y otros, 2016). En la Tabla 3 se indica los valores críticos de NS dependiendo del número de datos analizados (Caballero, 2013).

Tabla 3.
Test de rachas

Test de las rachas de Thom							
Valores críticos. Nivel de confianza del 95%							
Nº de datos	10	20	30	40	50	60	80
Nº mínimo de rachas	2	6	10	14	18	22	31
Nº máximo de rachas	6	15	21	27	33	39	50

Fuente: (Caballero, 2013)

El segundo método utilizado fue la curva de doble masa que sirve para detectar si una serie dada es consistente al compararla con otra serie que se conoce no tiene ningún problema de homogeneidad, se construye mediante las sumas parciales de la serie rellenada contra las sumas parciales de la serie original (Smith & Campuzano, 2000) y se obtiene una recta con el coeficiente de correlación cercano a uno. (Carrera Villacrés , y otros, 2016)

El tercer método es el t de Student, el cual se basa en dos principios, la distribución de normalidad y la independencia entre series, la prueba permite comparar las características de las series a través de estadígrafos (media y varianza) y así, determinar cuánta confianza se puede depositar en la afirmación de que los datos comparten características latentes (OMM, 2011). Cuanto menor sea la puntuación “t”, se dice que ambas series tienen similitud u homogeneidad. Para aplicar esta herramienta se debe obtener el tamaño, media y varianza de las series, se procede a calcular el valor de “t” y el valor crítico de “t” de dos colas dado en la Tabla de distribución de t de Student (Sánchez Turcios, 2015). El estadístico t se calcula con la fórmula:

$$t = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{(n-1)S_1^2 + (m-1)S_2^2}{n+m-2}} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}}} \quad (4)$$

Donde:

n, m : Tamaño de las muestras

\bar{X}, \bar{Y} : Medias de las muestras

S_1^2, S_2^2 : Varianzas de las muestras

$n + m - 2$: Grados de libertad

Siendo la varianza:

$$S_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (5)$$

Donde:

X_i : Términos de la muestra

Se debe escoger el valor de la distribución t de Student de dos colas en el Anexo 1, dependiendo del grado de libertad y la probabilidad, se comprueba que el valor del estadístico t se encuentra dentro del rango de aceptación o de mayor probabilidad. Se recomienda escoger un error o valor de α del 5%, por lo tanto, el nivel de confianza es del 95%. (Conexionismo, 2012). Se debe tomar en cuenta la siguiente condición:

$$nc + \alpha = 1 \quad (6)$$

Donde:

nc : Nivel de confianza (95%)

α : Error o nivel de significancia (5%)

Para conocer la probabilidad o la distribución se tiene la siguiente coordenada:

$$t\left(\frac{\alpha}{2}\right) = (n + m - 2), \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$$

Si el valor del estadístico t se encuentra dentro de la región de aceptación, se acepta la hipótesis nula, es decir, no existen diferencias estadísticamente significativas entre las dos muestras, caso contrario, se rechaza la hipótesis nula, como se observa en la Figura 1.

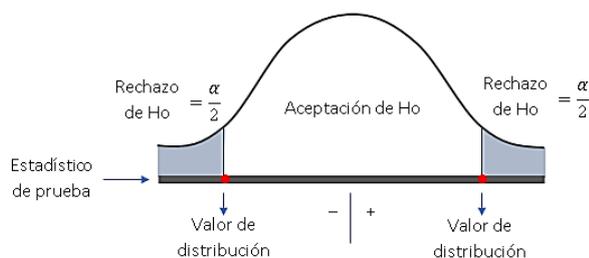


Figura 1. Distribución t de Student

2.8 Teoría del caos

La naturaleza está llena de fenómenos que responden a un comportamiento no lineal. Un cambio en las condiciones iniciales del sistema puede resultar en el cambio de su comportamiento y variar de uno periódico a uno aperiódico (Hilborn, 1994), se conoce a este efecto como *dependencia sensitiva de las condiciones iniciales* (Coppo, 2010). Al estudio del “comportamiento aperiódico en sistemas

dinámicos no lineales” se lo define como teoría del caos (Moore, 2006). Es decir, se utiliza al caos como método para describir la evolución en el tiempo de un movimiento aperiódico, aparentemente aleatorio o ruidoso (Espinosa Contreras, 2004).

En un momento dado, el estado de un sistema dinámico puede estar definido por ciertas variables y puede ser representado gráficamente como un punto dentro de un *espacio de fase*, la evolución en el tiempo del sistema corresponde a una trayectoria de puntos en el espacio de fase y si el tiempo tiende al infinito y la trayectoria se mantiene dentro de un subespacio del espacio de fases se lo denomina como *atractor* (Coppo, 2010).

2.8.1 Términos asociados con la dinámica caótica

- **Espacio de fase:** Es la representación gráfica del comportamiento de todos los estados posibles de un sistema (Coppo, 2010). Puede estar elaborado en base a la relación de una función y su derivada, o dicha función contra sí misma aplicando un desfase (Coppo, 2010).
- **Ruido:** Se considera como una señal que denota un movimiento irregular y que no posee dimensión finita (Andreu, De Echave, & Buela-Casal, 1998)
- **Dimensión:** Es la medida del número de variables independientes presentes en un sistema dinámico y necesarios para estimar su comportamiento en un momento cualquiera, con ello se puede obtener los grados de libertad del sistema y determinar su complejidad (Coppo, 2010).
- **Atractor:** Es la figura que forman los puntos dentro del espacio de fase. En sistemas caóticos se los denominan atractores extraños por la naturaleza irregular de sus trayectorias (Coppo, 2010). En la Figura 2 se muestra un ejemplo de atractor.

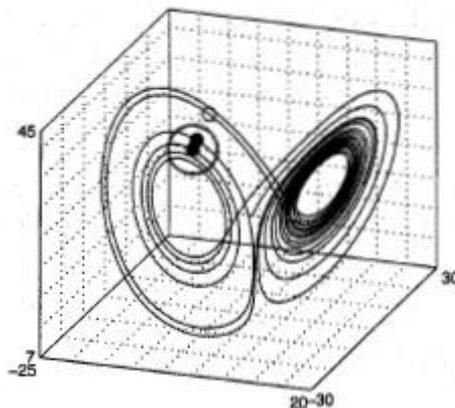


Figura 2. Atractor en espacio de fases

Fuente: (Marwan & Kurths, 2004) modificado por los autores.

- **Fractal:** “Es una estructura conformada por fragmentos de orientación y tamaño variable, pero de aspecto similar, cuyas características les confieren propiedades geométricas especiales en cuanto a su longitud y relación superficie/volumen, por lo cual su cuantificación requiere herramientas matemáticas diferentes a las convencionales” (Mandelbrot, 1997). En la Figura 3 se presentan distintas formas que pueden adoptar los fractales.

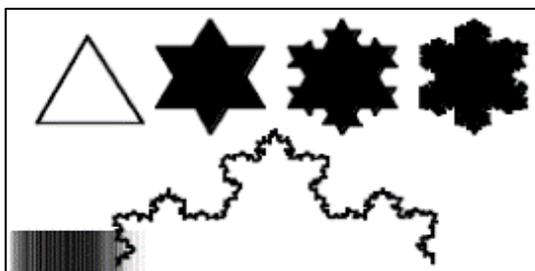


Figura 3. Fractal

Fuente: (Andreu, De Echave, & Buena-Casal, 1998)

2.8.2 Medición del caos

Existen varias técnicas para cuantificar el comportamiento posiblemente caótico de un sistema, en este caso una serie temporal, para conocer los cambios en el comportamiento dinámico del mismo. En la presente investigación se utilizó las técnicas de dinámica no-lineal de distribución de probabilidades y mapas recurrentes para caracterizar las series de tiempo (Espinosa Contreras, 2004).

2.8.2.1 Distribución normal de probabilidades e Histograma

La distribución normal, también conocida como campana de Gauss, es una curva que modela las proporciones de una población que tiene alguna característica particular (Espinosa Contreras, 2004). Su importancia se debe a la frecuencia con la que distintas variables asociadas a fenómenos naturales siguen esta distribución. Está determinada por dos parámetros, su media y su desviación estándar: (Díaz & Fernández, 2001)

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2S^2}}; -\infty < x < \infty \quad (7)$$

El histograma de frecuencias es la manera más común de representar gráficamente la distribución de frecuencia de los datos. Se lo construye dibujando rectángulos cuya base corresponde a cada intervalo de clase y su altura, según el valor de la frecuencia (Rodríguez, 2007), como se muestra en la Figura 4. Un valor aproximado para el número de intervalos k , según la regla empírica de Sturges, es: (Soong, 2004)

$$k = 1 + 3.3 \log_{10} x \quad (8)$$

Donde:

k : Número de intervalos

x : Tamaño de la muestra

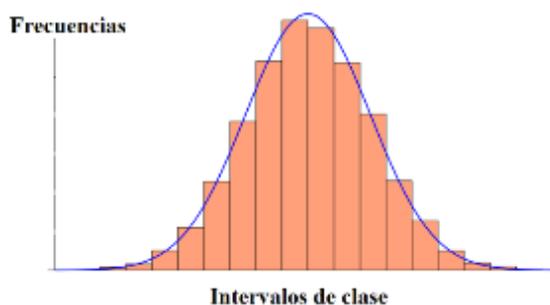


Figura 4. Histograma y distribución normal

2.8.2.2 Clasificación de la distribución de probabilidades

El histograma para datos aleatorios tendrá un incremento y decremento, como se puede ver en la Figura 5, para datos periódicos será un histograma con puntas filosas y para datos caóticos contiene una serie de picos afilados, espaciados uniformemente, es decir, una distribución parecida a un fractal (Espinosa Contreras, 2004).

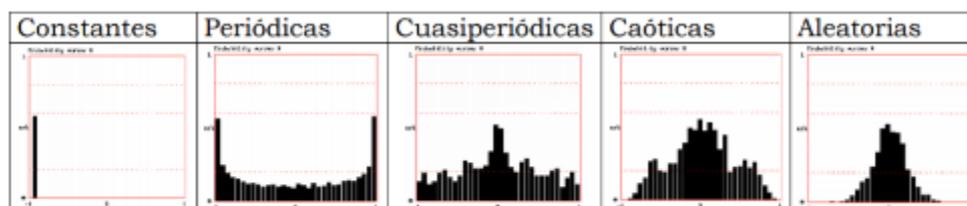


Figura 5. Clasificación de distribución de probabilidades

Fuente: (Espinosa Contreras, 2004) modificado por autores

2.8.3 Mapas recurrentes

Para entender la metodología de análisis basado en mapas recurrentes, se recomienda revisar con detenimiento el concepto de trayectorias de espacio de fase. Por ello, a continuación, se presenta una explicación del tema, previo a la introducción del concepto de mapas recurrentes de acuerdo a (Packard, Crutchfield, & Farmer, 1980).

Para una serie de tiempo de una variable cualquiera, se asume que esta, es generada a partir de un sistema dinámico. Un estado específico de este sistema puede ser representado como un punto dentro de un espacio de fase y su evolución en el tiempo crea una trayectoria (Kliková & Raidl, 2011). A partir de este concepto, se puede formular la hipótesis, de que una serie de tiempo es la proyección de la trayectoria de un sistema dinámico, lo que permitió, a inicios de 1980, desarrollar el teorema de inmersión (embedding theorem), el cual dice que es posible reconstruir un espacio de fase a partir de una serie de tiempo. (Packard, Crutchfield, & Farmer, 1980). Uno de los métodos que con más frecuencia se aplica para la reconstrucción de espacios de fase es el método de tiempo de retraso:

$$\vec{X}_i = (X_i, X_{i+\tau}, X_{i+2\tau}, \dots, X_{i+(m-1)\tau}) \quad (9)$$

Donde:

i : 1, 2, 3, ..., N.

τ : Tiempo de retraso.

m : Dimensión inmersa.

Para determinar el tiempo de retraso (τ) se utilizó el método de función de autocorrelación o ACF presentada en la ecuación (10) (Williams, 1997):

$$AC(\tau) = \frac{\sum_{i=1}^L (x_{i+\tau} - \bar{x})(x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^L (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

Esta función mide el grado en que los valores pasados son numéricamente similares a los valores posteriores, dentro de una serie de tiempo retrasada, es decir, mide la correlación de una variable en un momento consigo mismo en otro momento. (Williams, 1997)

Algunos autores recomiendan escoger como tiempo de retraso τ tomando en cuenta los siguientes criterios (Williams, 1997):

- La función de autocorrelación es cero.
- La función de autocorrelación toma el valor de $\frac{1}{e} = \frac{1}{2.718} = 0.37$
- La función de autocorrelación deja de disminuir.

Para determinar la dimensión inmersa (m) se utilizó el método de los Falsos Vecinos más Cercanos o FNN. Este método se basa en el supuesto de que dos puntos que están cerca uno del otro en una suficiente dimensión inmersa deben permanecer cerca a medida que aumenta la dimensión. Sin embargo, si la dimensión m es muy pequeña, entonces los puntos que en realidad están muy alejados podrían parecer vecinos. Para reconstruir un gráfico de estados m -dimensional, se utiliza el algoritmo de Kennel, el cual toma cada punto en el gráfico m -dimensional y calcula la distancia $R(m)$ a su vecino más cercano y la distancia $R(m+1)$ entre los dos puntos en una dimensión $m+1$. Para que dos puntos sean vecinos falsos se deberá cumplir las siguientes condiciones (Krakovska, Mezeiova, & Budacova, 2015):

$$\sqrt{\frac{R^2(m+1) - R^2(m)}{R^2(m)}} > R_{tol} \quad (11)$$

$$\frac{R(m+1)}{R_A} > A_{tol} \quad (12)$$

Donde R_{tol} y A_{tol} son umbrales recomendados por Kennel con valores de 15 y 2 respectivamente.

La dimensión más baja posible sin vecinos falsos se escoge como la dimensión inmersa óptima. (Krakovska, Mezeiova, & Budacova, 2015)

La recurrencia es una característica fundamental de muchos sistemas dinámicos, fue introducido por Poincaré en 1890 y puede ser utilizada para caracterizar el comportamiento del sistema en el espacio de fases (Marwan & Kurths, 2004). Los mapas recurrentes son una herramienta gráfica relativamente nueva para el análisis cualitativo de series de tiempo, donde se pueden identificar patrones ocultos, variaciones o similitudes de las series temporales (Marwan & Kurths, 2004). Un mapa recurrente es una matriz de puntos (i, j) donde cada punto es recurrente y marcado si la distancia entre los vectores retardados \vec{x}_i y \vec{x}_j es menor a un umbral dado (ε), la distancia se calcula mediante la norma entre todas las combinaciones de vectores de retraso (Fabretti & Ausloos, 2005). Se puede definir por (Marwan & Kurths, 2004):

$$R_{i,j}(\varepsilon) = \Theta(\varepsilon - \|\vec{x}_i - \vec{x}_j\|); \quad i, j = 1, \dots, N \quad (13)$$

Donde:

N : Número de puntos analizados \vec{x}_i

ε : Umbral

Θ : Función de Heaviside

$\|\cdot\|$: Norma

La función de Heaviside está dada por:

$$\Theta(x) = \begin{cases} 0, & \|\vec{x}_i - \vec{x}_j\| < \varepsilon \\ 1, & \|\vec{x}_i - \vec{x}_j\| > \varepsilon \end{cases} \quad (14)$$

2.8.3.1 Umbral y norma

Un parámetro crucial en un mapa recurrente es el umbral. Existen varios criterios para elegir el valor de ε (Marwan & Kurths, 2004):

- No debe exceder el 10% de la media o el diámetro máximo del espacio de fase.
- Elegir ε según la densidad del punto de recurrencia del mapa recurrente sea aproximadamente del 1%.
- Elegir ε de modo que sea cinco veces más grande que la desviación estándar del ruido de observación.

Al igual que el umbral, se debe escoger una norma adecuada, para construir un mapa recurrente. Las normas más usadas son (Marwan & Kurths, 2004):

- **Norma L_1 :** Suma de los componente de dos vectores
- **Norma L_2 o Norma Euclidiana:** Distancia ordinaria entre dos vectores
- **Norma L_∞ o Norma máxima:** Distancia máxima entre los componentes de dos vectores

2.8.3.2 Patrones y clasificación de mapas recurrentes

En la Tabla 4 se indica la clasificación de mapas recurrentes de acuerdo a los patrones que se pueden presentar y su significado.

Tabla 4.
Patrones de mapas recurrentes

Patrón	Significado
Homogeneidad	El proceso es estacionario
Desvanecimiento hacia las esquinas superior izquierda e inferior derecha	Datos no estacionarios, el proceso contiene una tendencia
Interrupciones (bandas blancas)	Datos no estacionarios, pueden existir transiciones fuera de lo normal

Periódicos/cuasi periódicos	Procesos cíclicos, distintas distancias entre largas líneas diagonales revelan procesos cuasi periódicos
Puntos aislados	Fuerte fluctuación en el proceso, si solo existen puntos aislados puede ser un proceso aleatorio
Líneas diagonales (paralelas a la diagonal principal)	La evolución de los estados es similar en diferentes épocas, el proceso podría ser determinista. Si existen líneas diagonales y puntos aislados el proceso puede ser caótico
Líneas diagonales (ortogonales a la diagonal principal)	La evolución de los estados es similar en diferentes momentos, pero con tiempo inverso. A veces esto indica insuficiente embebimiento.
Líneas verticales y horizontales	Algunos estados no cambian o cambian lentamente en el tiempo
Líneas arqueadas largas	La evolución de los estados es similar en diferentes épocas pero con diferente velocidad

Fuente: (Marwan & Kurths, 2004) modificado por los autores

Si se tiene figuras estructuradas repetitivas iguales se trata de series periódicas y cuasiperiódicas, si son figuras estructuras y patrones identificables se trata de series caóticas y si existe una distribución uniforme de colores son series aleatorias, como se muestra en la Figura 6 (Espinosa Contreras, 2004).

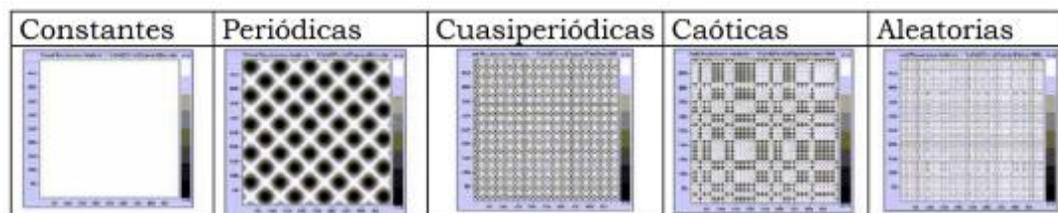


Figura 6. Clasificación de mapas recurrentes

Fuente: (Espinosa Contreras, 2004) modificado por los autores

2.8.4 Análisis de recurrencia cuantitativa (RQA)

Dado que la impresión visual es insuficiente como para analizar las estructuras o concentración de puntos que surgen en los mapas recurrentes, se utilizan

herramientas que cuantifican dichos patrones, líneas verticales, líneas horizontales, diagonales, etc.

Las herramientas que se utilizan para el análisis de mapas recurrentes son: Tasa de recurrencia (RR), Determinismo (DET), Promedio de la longitud de las líneas diagonales (L), Entropía (ENTR) (Marwan & Kurths, 2004). En la presente investigación se utilizó la herramienta de determinismo, la cuál se explica a continuación:

- **Tasa de recurrencia (RR):** Indica la probabilidad de ocurrencia de estados similares entre ambos sistemas con cierto desfase. Un alto valor de RR se traduce en alta densidad de puntos de recurrencia en el mapa recurrente (Marwan & Kurths, 2004).

$$RR(\varepsilon) = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N RP_{i,j}(\varepsilon) \quad (15)$$

- **Determinismo (DET):** Cuantifica la cantidad de puntos de recurrencia diagonales en el mapa recurrente (Marwan & Kurths, 2004).

$$DET = \frac{\sum_{l=l_{min}}^N lP(l)}{\sum_{i,j}^N lP_{i,j}} \quad (16)$$

Donde:

l_{min} : Longitud mínima de las diagonales

$P(l)$: $\{l_i = 1, \dots, N_l\}$ Histograma de longitudes (l) de las líneas diagonales.

N_l : Cantidad total de líneas diagonales

2.9 Cuenca hidrográfica

Se considera como cuenca hidrográfica al “territorio, región o zona, cuya característica principal es que el agua lluvia que cae en esa superficie escurre hacia un cauce común y toda el agua acumulada desemboca en un afluente más grande, una laguna o el mar” (Sánchez Vélez & Palma Trujano, 2003). Tanto la parte superficial como la parte subterránea son parte de la cuenca, la profundidad de esta

segunda comprende desde el extremo superior hasta los estratos geológicos limitantes bajo tierra (Ministerio de Ambiente Ecuador, 2002).

(Sánchez Vélez & Palma Trujano, 2003) mencionan que dependiendo del área de la cuenca se tiene la subdivisión que se muestra en la Tabla 5:

Tabla 5.

Subdivisión de cuencas según el área

Cuenca	>50 000 ha
Subcuenca	5 000 a 50 000 ha
Microcuenca	3 000 a 5 000 ha

Fuente: (Sánchez Vélez & Palma Trujano, 2003)

2.9.1 Parámetros físico morfométricos

El INAMHI proporciona parámetros físico-morfométricos de las estaciones hidrológicas como se menciona en (INAMHI, Compendio Anuarios EHA, 2017).

2.9.1.1 Características del cauce principal

Las características de una cuenca dependen de la morfología (forma, relieve, red de drenaje, etc.), tipo de suelos, cobertura vegetal, geología, uso de suelos, etc., estos parámetros físicos nos dan a conocer los elementos del régimen hidrológico (INAMHI, Compendio Anuarios EHA, 2017).

2.9.1.2 Área y perímetro

El área y el perímetro de drenaje de la cuenca fue calculada por el INAMHI a partir de un DEM de resolución de 30 metros, utilizando como punto de cierre de la cuenca, la posición de la estación hidrológica automática y fue calculada como una salida del modelo GEO-HMS (INAMHI, Compendio Anuarios EHA, 2017).

2.9.1.3 Longitud del cauce principal (L_r)

La longitud del río se calculó como la distancia desde donde nace el cauce del río hasta el punto de cierre (estación hidrológica automática), expresado en km (INAMHI, Compendio Anuarios EHA, 2017).

2.9.1.4 Pendiente del río (I_r)

Es la diferencia entre la cota superior y la cota inferior del cauce del lecho del río dividido entre la longitud entre estos puntos (INAMHI, Compendio Anuarios EHA, 2017).

$$I_r = \frac{CM - Cm}{L_r} \quad (17)$$

2.9.1.5 Índice de compacidad (I_c)

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y la longitud de la circunferencia de un círculo de área igual a la de la cuenca (INAMHI, Compendio Anuarios EHA, 2017). Se tiene las siguientes ecuaciones:

$$A = \pi r^2 \rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (18)$$

$$K_c = \frac{P}{2\pi r} \quad (19)$$

Reemplazado la ecuación 18 en la ecuación 19 se tiene:

$$K_c = \frac{P}{2\pi \sqrt{\frac{A}{\pi}}} \rightarrow K_c = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \quad (20)$$

Donde:

K_c : Índice de compacidad o de Gravelius

P : Perímetro de la cuenca

A : Área de la cuenca

r : Radio

2.9.1.6 Pendiente media de la cuenca (I_p)

Para su determinación se grafica el perfil longitudinal del cauce principal de la cuenca, trazando después la recta de compensación, cuya pendiente indica la pendiente media del cauce (INAMHI, Compendio Anuarios EHA, 2017).

2.9.1.7 Tiempo de concentración (T_c)

Es el tiempo que transcurre desde que una gota de agua cae en el punto más distante de una cuenca hasta que llega al punto de cierre (INAMHI, Compendio Anuarios EHA, 2017), se mide en minutos u horas. Para determinar el tiempo de concentración se tienen algunas ecuaciones planteadas por diferentes autores (INAMHI, Compendio Anuarios EHA, 2017).

- **Método de Témez**

$$T_c = 0.3 \left(\frac{Lr}{I_r^{0.25}} \right)^{0.75} \quad (21)$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración (horas)

Lr : Longitud del río (kilómetros)

I_r : Pendiente del río (%)

- **Método de Williams**

$$T_c = \frac{L * A^{0.4}}{D * I_r^{0.2}} \quad (22)$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración (horas)

L : Distancia del inicio del cauce de la cuenca hasta el punto de cierre en millas

A : Área de la cuenca (millas)

D : Diámetro de la cuenca circular (millas)

I_r : Pendiente del río (%)

- **Método de Kirpich**

$$T_c = 0.000325 * \left(\frac{Lr}{\sqrt{I_r}} \right)^{0.77} \quad (23)$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración (horas)

Lr : Longitud del cauce del río (metros)

I_r : Pendiente del río (m/m)

- **Método de California Culverts**

$$T_c = 0.0195 * \left(\frac{Lr^3}{H} \right)^{0.385} \quad (24)$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración (minutos)

Lr : Longitud del río (metros)

H : Diferencia entre cota superior y cota inferior (metros)

- **Método de Rowe**

$$T_c = \left(\frac{0.87Lr^3}{H} \right)^{0.385} \quad (25)$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración (horas)

Lr : Longitud del cauce del río (metros)

H : Diferencia entre cota superior y cota inferior (metros)

2.10 Curva de duración

En todo proyecto hidrotécnico se necesita información de la cuenca en la que se va a realizar la obra (Sandoval, 2018). En Ecuador, esta información no siempre está disponible o se suele diseñar proyectos con datos incompletos.

Para determinar la oferta de agua y dimensionar las diferentes estructuras del proyecto, se debe conocer el caudal de la cuenca en estudio. La curva de duración de caudales representa la magnitud del caudal igual o superior en diversos porcentajes de tiempo (Sandoval, 2018).

Se parte de una serie de N caudales diarios Q_i de una cuenca, ordenados de mayor a menor y a cada valor se le asignará un ordinal n , desde 1 hasta N . Para calcular la probabilidad de que se presente este caudal empírico es (Sandoval, 2018):

$$p\% = \frac{n_i}{N + 1} * 100 \quad (26)$$

Donde:

$p\%$: Probabilidad de que se presente el caudal Q_i

n_i : Ordinal para cada caudal Q_i

N : Número total de observaciones de la serie

Se construye la curva empírica de duración de caudales colocando los valores de porcentaje ($p\%$) en las abscisas y los valores de los caudales (Q_i) en las ordenadas.

Para obtener la curva teórica de duración de caudales, se recomienda utilizar la distribución Pearson tipo III para estructuras hidráulicas (Sandoval, 2018), la cual requiere de la media aritmética de la serie, el coeficiente de variación C_v y el coeficiente de asimetría C_s , presentados a continuación:

$$Q_m = \frac{\sum_1^N Q_i}{N} \quad (27)$$

Donde:

Q_m : Media aritmética

Q_i : Caudal diario

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_1^N \left(\frac{Q_i}{Q_m} - 1\right)^2}{N - 1}} \quad (28)$$

Si $N > 30$ en el denominador se reemplaza $N-1$ por N

Donde:

C_v : Coeficiente de variación

$$C_s = \frac{\sum_1^N \left(\frac{Q_i}{Q_m} - 1\right)^3}{N * C_v^3} \quad (29)$$

Donde:

C_s : Coeficiente de asimetría

Adicionalmente, se debe disponer de la Tabla de distribución de Pearson III, presentada en el Anexo 2, donde se presentan los valores de la función $F_{p\%}$ correspondientes a las diferentes probabilidades, dependiendo del coeficiente de asimetría calculado (Sandoval, 2018). Para encontrar los coeficientes para cada una de las probabilidades, se tiene la siguiente ecuación:

$$K_{p\%} = 1 + F_{p\%} C_v \quad (30)$$

Donde:

$K_{p\%}$: Coeficiente para cada probabilidad

$F_{p\%}$: Valores de la función de distribución de Pearson III

Para determinar un valor específico de la curva teórica de duración de caudales se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{p\%} = K_{p\%} Q_m \quad (31)$$

Donde:

$Q_{p\%}$: Caudal a la probabilidad $p\%$

2.10.1 Caudal medio

Se puede evaluar los principales parámetros hidrológicos, como el caudal medio, aplicables para el diseño de obras de aprovechamiento hídrico en una cuenca específica, con la siguiente ecuación (Sandoval, 2018):

$$Q_0 = \frac{31.71C\bar{P}A}{10^6} \quad (32)$$

Donde:

Q_0 : Caudal medio anual de la cuenca en m^3/s

C : Coeficiente de escorrentía medio anual

\bar{P} : Precipitación media anual de la cuenca en mm

A : Área de la cuenca en km^2

2.10.2 Coeficiente de escorrentía

Se denomina escorrentía al agua de lluvia que discurre por la superficie de un terreno, es decir el coeficiente de escorrentía es la relación entre la cantidad de escorrentía y la cantidad de precipitación sobre un tiempo dado (Chow, 1994). Este coeficiente es adimensional y presenta valores mayores para áreas con baja infiltración y menores para zonas permeables o con abundante vegetación.

Sandoval recomienda varios métodos para la determinación de este coeficiente entre los cuales se encuentran los siguientes:

- **Fórmula de Nadal** (Ibañez Asensio, Moreno Ramón , & Gisbert Blanquer, 2011)

$$C = 0.25 K_1 K_2 K_3 \quad (33)$$

Donde:

$$K_1 = 3.7 * A^{-0.152}$$

$$K_2 = 0.71 * \ln (P) - 3.51$$

$K_3 = 0.5$ a 0.7 , para cuencas llanas y permeables.

$K_3 = 0.5$ a 1.2 , para cuencas onduladas.

$K_3 = 1.2$ a 1.5 , para cuencas montañosas e impermeables.

- **Fórmula de Raws** (Ibañez Asensio, Moreno Ramón , & Gisbert Blanquer, 2011)

Tabla 6.
Coefficiente de escorrentía

Tipo	Relieve	C
Bosque	Ondulado	0.18
	Quebrado	0.21
Pasto	Ondulado	0.36
	Quebrado	0.42
Cultivos	Ondulado	0.60
	Quebrado	0.72

Fuente: (Sandoval Erazo W. , Diseño de obras hidrotécnicas, 2019)

2.10.3 Precipitación media

Para el cálculo de la precipitación media de una cuenca (Carrera Villacrés , y otros, 2016) recomienda el método de las Isoyetas, en el cual se trazan líneas que unen puntos con igual altura de precipitación, esta información se obtiene a partir de pluviómetros (Aparicio Mijares, 2012). La precipitación media de una cuenca hidrográfica se calcula a partir de la ecuación 34, en donde se calcula el área A_i entre los pares consecutivos de isolíneas de la cuenca y se multiplica por el promedio P_j de las alturas de lluvia de ambas isoyetas (Aparicio Mijares, 2012). En la Figura 7 se indica la representación de un mapa de isoyetas para medir la precipitación media de una cuenca.

$$\bar{P} = \frac{1}{A} \sum_{j=1}^J A_i P_j \quad (34)$$

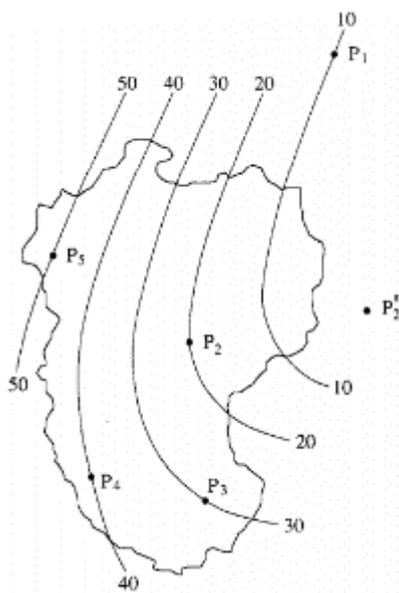


Figura 7. Mapa de isoyetas

2.11 Norma a utilizar

La norma a utilizar es la Norma CO 10.7-602: Sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural, perteneciente al Código Ecuatoriano para el Diseño de la Construcción de Obras Sanitarias.

“Es importante que los diseños de sistemas de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos, se realicen dentro de un marco adecuado para la realidad de las poblaciones rurales ecuatorianas.” (Norma CO 10.7-602)

El alcance de esta Norma es de carácter nacional. Todas las instituciones públicas y privadas que realicen el diseño de proyectos de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos, deben cumplir obligatoriamente las disposiciones de la misma.

2.12 Levantamiento topográfico

Es la toma de datos sobre la ubicación de puntos del terreno y de determinadas obras, que son de importancia para el proyecto, permite realizar planos de topografía del área de estudio. (Norma CO 10.7-602)

“Para el diseño de sistemas de agua potable y de disposición de aguas residuales se realizarán levantamientos topográficos de la población y de las zonas en las que puedan localizarse las obras, tales como: captación, conducción, almacenamiento, etc.” (Norma CO 10.7-602)

2.13 Calidad de agua

Se debe analizar los límites de concentración de ciertos elementos y compuestos presentes en el agua, para que ésta sea potable y apta para el consumo humano. La Norma CO 10.7-602 se basa en la norma INEN 1108 sobre “Agua Potable, Requisitos” para presentar los límites deseable y máximo permisible de elementos físicos, químicos y bacteriológicos en el estudio de la calidad del agua, cuyos resultados son determinantes para decidir el aprovechamiento o no de este recurso.

2.13.1 Definiciones

- **Agua potable:** Al agua libre de elementos tóxicos, microorganismos patógenos que puedan causar daños fisiológicos al consumidor, y además, agradable a los sentidos y apta para el consumo humano, se la conoce como agua potable (Norma CO 10.7-602).
- **Contaminante:** Sustancia física, química, bacteriológica o radiológica presente en el agua en cantidades mayores a las establecidas por la (Norma CO 10.7-602).
- **Límite deseable:** Determinada sustancia cuya concentración no representa peligro para la salud de quien la consume (Norma CO 10.7-602).
- **Límite máximo permisible:** Máxima concentración de una sustancia presente en el agua que no causa perjuicio a la salud (Norma CO 10.7-602).

2.13.2 Parámetros

Para vigilar la calidad del agua se debe realizar monitoreos periódicos del sistema diseñado (Tabla 7).

Tabla 7.
Parámetros I

Parámetro	Unidades	Límite deseable	Límite máximo permisible
Turbiedad	NTU	5	20
Cloro residual	mg/l	0.5	0.3-1.0
pH	U	7.0-8.5	6.5-9.5

Fuente: (Norma CO 10.7-602)

Cuando la turbiedad y/o cloro residual sobrepasen los límites permitidos, se deben monitorear los siguientes parámetros (Tabla 8).

Tabla 8.
Parámetros II

Parámetro	Unidades	Límite deseable	Límite máximo permisible
Coliformes totales	NMO/100 ml	Ausencia	Ausencia
Color	Pt-Co	5	30
Olor		Ausencia	Ausencia
Sabor		Inobjetable	Inobjetable

Fuente: (Norma CO 10.7-602)

En la Tabla 9 se presenta la calidad bacteriológica del agua, según el número más probable de coliformes presentes en muestras de 100 ml.

Tabla 9.
Calidad bacteriológica

Clasificación	NMP/100 ml de bacterias coliformes
a) Exige tratamiento de desinfección	0 – 50
b) Exige métodos convencionales de tratamiento	50 – 5000
c) Contaminación intensa que obliga a tratamientos más activos	5000 – 50000
d) Contaminación muy intensa que hace inaceptable el agua a menos que se recurra a tratamientos especiales. La fuente se utilizará solo en casos extremos	Más de 50000

Fuente: (Norma CO 10.7 - 601)

En la Tabla 10 se indica la concentración máxima aceptable de sustancias químicas indicadoras de contaminación del agua.

Tabla 10.
Componentes químicos indicadores de contaminación

Sustancias	Concentración máxima aceptable mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	6
Demanda química de oxígeno	10
Nitrógeno total (excluido NO_3^-)	1
Amoniaco	0.5
Cloroformo	0.5
Grasas y aceites	0.01
Contaminantes orgánicos	1

Fuente: (Norma CO 10.7 - 601)

Si se observa un deterioro de la calidad atribuible a sustancias químicas, se monitorean los siguientes parámetros (Tabla 11):

Tabla 11.
Parámetros III

Parámetro	Unidades	Límite deseable	Límite máximo permisible
Dureza total	mg/l CaCO_3	120	300
Sólidos totales disueltos	mg/l	500	1000
Hierro	mg/l	0.2	0.8
Manganeso	mg/l	0.05	0.3
Nitratos, NO_3	mg/l	10	40
Sulfatos	mg/l	50	400

Fuente: (Norma CO 10.7-602)

Si la fuente se localiza en una zona agrícola, se monitorean los siguientes parámetros, al menos una vez al año (Tabla 12):

Tabla 12.
Parámetros IV

Parámetro	Límite máximo permisible (mg/l)
Aldrín	0.03
Dieldrín	0.03
Clordano	0.03
DDT	1.00

Endrín	0.20
Heptacloroepóxido	0.10
Lindano	3.00
Metoxicloro	30.00
Toxafeno	5.00
Clorofenoxy 2,4,D	100.00
2,4,5-TP	10.00
2,4,5-T	2.00
Carbaril	100.00
Diazinón	10.00
Metil Parathión	7.00
Parathión	35.00

Fuente: (Norma CO 10.7-602)

Nota: La suma total de plaguicidas en el agua potable no podrá ser mayor a 0.1 mg/l

Si se observan efectos negativos en la población, atribuibles a metales pesados, se monitorean los parámetros de la Tabla 13:

Tabla 13.

Parámetros V

Parámetro	Unidades	Límite deseable	Límite máximo permisible
Arsénico	mg/l	0.00	0.05
Plomo	mg/l	0.00	0.05
Mercurio	mg/l	0.00	0.00
Cromo exavalente	mg/l	0.00	0.05
Cadmio	mg/l	0.00	0.005
Selenio	mg/l	0.00	0.01
Cianuro	mg/l	0.00	0.00
Cloroformo	mg/l	0.00	0.20

Fuente: (Norma CO 10.7-602)

2.14 Bases de diseño para proyectos de agua potable en el sector rural

2.14.1 Fuentes de abastecimiento

Las fuentes de abastecimiento deben proporcionar la cantidad de agua necesaria calculada para el proyecto, sin peligro de reducción por sequía o cualquier otra causa. Se tienen fuentes superficiales como ríos, arroyos, lagos, etc., y fuentes subterráneas como manantiales, pozos, etc. Dependiendo de la calidad del agua y del tipo de fuente, se puede aprovechar este recurso para consumo humano o para otras actividades como riego, agricultura, etc., y se determinará la naturaleza de las obras de captación, conducción y almacenamiento del sistema de agua potable (Organización Panamericana de la Salud, 2009) .

La fuente deberá asegurar un caudal mínimo de 2 veces el caudal máximo diario calculado (Norma CO 10.7-602).

Aguas superficiales

Las aguas superficiales están constituidas por ríos, quebradas, arroyos y lagos. La descarga de desagües domésticos, residuos de actividades mineras o industriales, uso de productos agrícolas, presencia de animales, etc., pueden ser factores contaminantes que comprometen la calidad del agua superficial; es por ello, que para su utilización, se requiere información detallada y completa que permita conocer su estado sanitario, caudales disponibles y calidad de agua, y así, definir el tratamiento requerido en caso de que no cumpla con los requerimientos de calidad para consumo humano (Organización Panamericana de la Salud, 2009).

Se debe verificar la posibilidad de suministro constante, debido a que los aforos mínimos representen valores mayores a la demanda o porque sea factible almacenar volúmenes de agua en el período de crecidas compensando la demanda en la época de sequía.

Al momento de estudiar ríos pequeños, se debe tener en cuenta la difícil obtención de información, ya que en Ecuador no se dispone suficientes estaciones hidrológicas, sobre todo en la región amazónica, por lo tanto, se debe realizar algunas

observaciones de tipo práctico para estimar ciertos datos útiles para la selección de las obras de captación, conducción, almacenamiento, etc.

Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas están constituidas por manantiales, pozos, etc. Estas fuentes, generalmente están libres de microorganismos patógenos y pueden ser aptas para el consumo humano, sin embargo, se debe conocer sus características físicas, químicas y bacteriológicas previo a su utilización (Organización Panamericana de la Salud, 2009).

2.14.2 Aforo de la fuente de abastecimiento

Para obtener la cantidad de agua en las diferentes fuentes se debe medir el caudal mediante los siguientes métodos:

Método del flotador: Se marca en el terreno una longitud elegida y se toma el tiempo que se demora el flotador en llegar de un punto a otro y así conocer la velocidad que tiene el agua en esa sección. Los valores de caudal obtenidos son estimativos y como flotador se puede utilizar cualquier objeto que permanezca suspendido en el agua y se movilizce fácilmente por la corriente de agua (Bello & Pino, 2000).

Para conocer la velocidad del agua se tiene la siguiente ecuación:

$$v = \frac{d}{t} \quad (35)$$

Donde:

d: distancia medida en metros

t: tiempo medido en segundos

v: velocidad del agua en la sección medida en m/s

Para determinar el área, se debe levantar la sección transversal de la fuente y con ayuda de un software de dibujo se mide dicha área.

Al conocer la velocidad del agua y el área de la sección se conoce el caudal con la ecuación:

$$Q = A * v \quad (36)$$

Donde:

Q : caudal en m^3/s

A : área de la sección transversal en m^2

Método volumétrico: Este método permite medir pequeños caudales de agua, como los que escurren en surcos de riego o acequias. Se debe tener un recipiente con volumen conocido y contabilizar el tiempo que demoró en llenarse (Bello & Pino, 2000). Para determinar el caudal se tiene:

$$Q = \frac{v}{t} \quad (37)$$

2.14.3 Período de diseño

Es el intervalo de tiempo dentro de cual la obra cumple satisfactoriamente la función para la cual fue diseñada, sin necesidad de modificaciones (ampliaciones) (Norma CO 10.7-602).

La (Norma CO 10.7-602) del Código Ecuatoriano establece que las obras de sistemas de agua potable y disposición de residuos líquidos, tendrán un período de diseño de 20 años. Los equipos serán diseñados para un período de vida útil especificado por los fabricantes.

2.14.4 Población futura

También llamada población de diseño, es el número de habitantes que se estima tener al final del período de diseño (Norma CO 10.7-602).

Su cálculo se lo realiza en base a la población presente determinada por recuento poblacional y se empleará el método geométrico. Su ecuación se explica a continuación:

$$Pf = Pa * (1 + r)^n \quad (38)$$

Donde:

Pf: Población futura (habitantes).

Pa: Población actual (habitantes).

r: Tasa de crecimiento geométrico de la población expresada como fracción decimal.

n: Período de diseño (años).

La tasa de crecimiento poblacional será calculada con la base de datos de censos nacionales o recuentos sanitarios, a falta de estos datos se consultará la Tabla 14.

Tabla 14.

Tasa de crecimiento poblacional

Región geográfica	r (%)
Sierra	1.0
Costa, Oriente y Galápagos	1.5

Fuente: (Norma CO 10.7-602)

En ningún caso la población futura será mayor que 1.25 veces la población presente (Norma CO 10.7-602).

2.14.5 Niveles de servicio

La Tabla 15 describe los niveles de servicio según el tipo de sistema. Al nivel de servicio se lo define como el grado de facilidad y comodidad con el que el usuario accede a los servicios de abastecimiento de agua, disposición de excretas o residuos líquidos (Norma CO 10.7-602).

Tabla 15.

Nivel de servicio

Nivel	Sistema	Descripción
0	AP	Sistemas individuales
IA	AP	Grifos públicos
	EE	Letrinas sin arrastre de agua
IB	AP	Grifos públicos y unidades de agua para lavado y baño
	EE	Letrinas sin arrastre de agua

IIA	AP	Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa
	EE	Letrinas con o sin arrastre de agua
IIB	AP	Conexiones domiciliarias, más de un grifo por casa
	ERL	Sistema de alcantarillado sanitario

Simbología:

AP: Agua potable

EE: Eliminación de excretas

ERL: Eliminación de residuos líquidos

Fuente: (Norma CO 10.7-602)

2.14.6 Dotación y caudal

La Tabla 16 clasifica la dotación de agua según el nivel de servicio y el clima donde se desarrolla el proyecto. A la cantidad de agua potable consumida diariamente en promedio por cada habitante al inicio del período de diseño se la conoce como dotación media actual y la dotación media futura es la cantidad de agua potable consumida al final del período de diseño (Norma CO 10.7-602).

Tabla 16.

Dotación de agua para los diferentes niveles de servicio

Nivel de servicio	Clima frío (l/hab*día)	Clima cálido (l/hab*día)
Ia	25	30
Ib	50	65
IIa	60	85
IIb	75	100

Fuente: (Norma CO 10.7-602)

El caudal medio anual es el gasto de agua incluyendo pérdidas por fugas que la comunidad consume en promedio y se calcula con la ecuación 39 (Norma CO 10.7-602).

$$Qm = f * (P * D) / 86400 \quad (39)$$

Donde:

Qm : Caudal medio (l/s).

f : factor de fugas

P : Población al final del período de diseño

D : Dotación futura (l/hab x día)

El caudal máximo diario es el gasto medio consumido por la comunidad en el día de máximo consumo y se calcula con la ecuación 40 (Norma CO 10.7-602).

$$QMD = KMD * Qm \quad (40)$$

Donde:

QMD : Caudal máximo diario (l/s)

KMD : Factor de mayoración máximo diario. Tiene un valor de 1.25 para todos los niveles de servicio.

Al caudal de agua consumido por la comunidad durante la hora de máximo consumo en un día se lo llama caudal máximo horario y se calcula mediante la ecuación 41 (Norma CO 10.7-602).

$$QMH = KMH * Qm \quad (41)$$

Donde:

QMH : Caudal máximo horario (l/s)

KMH : Factor de mayoración máximo horario. Tiene un valor de 3 para todos los niveles de servicio.

El porcentaje de fugas es la cantidad de agua no registrada en el sistema (Norma CO 10.7-602). Para los diferentes niveles de servicio se tomarán los porcentajes de fuga presentados en la Tabla 17.

Tabla 17.
Porcentaje de fugas según nivel de servicio

Nivel de servicio	Porcentaje de fugas
Ia y Ib	10 %
IIa y IIb	20 %

Fuente: (Norma CO 10.7-602)

2.15 Sistemas de agua potable

2.15.1 Definición

Al grupo de obras destinadas a la captación, conducción, potabilización, almacenamiento y distribución de agua para consumo humano se lo conoce como sistema de agua potable (Norma CO 10.7-602).

2.15.2 Captación

Es aquella estructura que deriva el caudal demandado de la fuente hacia el sistema de abastecimiento (Norma CO 10.7-602). Según el Código Ecuatoriano vigente la estructura de captación debe tener una capacidad tal, que permita derivar al sistema de agua potable un equivalente a 1.2 veces el caudal máximo diario correspondiente al final del período de diseño.

La toma de agua con efecto tipo Coanda propuesta por Sandoval (2018), se presenta como una alternativa de obra de captación en cauces abiertos para agua potable, formada por elementos como orificio de toma, galería, tanque inicial y tanque de control, como se indica en la Figura 8, que dan paso al flujo de agua por una tubería de sección circular lisa. El orificio de captación se ubica a 135° de la cresta del vertedero, por lo que, excluye sedimentos gruesos y demás material flotante existente en los cauces naturales (Sandoval Erazo W. R., 2018). Tiene como principio el efecto Coanda, descubierto por Henri Coanda en 1910, que describe la tendencia de un fluido a ser atraído hacia una superficie cercana (Piñeiro, 2009).

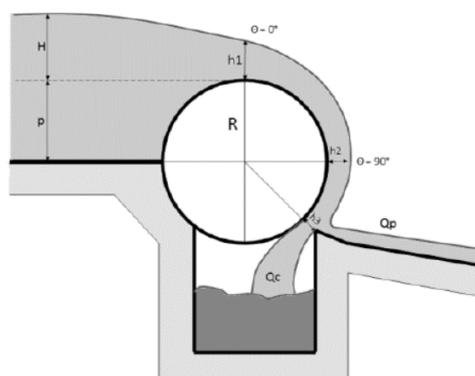


Figura 8. Captación tipo Coanda

Fuente: (Sandoval Erazo W. R., 2018)

La ecuación general para caudal de vertederos se expresa:

$$Q = m\sqrt{2gb}H_o^{3/2} \quad (42)$$

Donde:

m : coeficiente de gasto

g : aceleración de la gravedad

b : longitud del vertedero

H_o : carga hidráulica

Para una tubería lisa se tiene la siguiente ecuación para el coeficiente m , donde la relación $H/R < 1$:

$$m = 0.376 \left(\frac{H}{R}\right)^{-0.3} \quad (43)$$

Donde:

H : carga hidráulica

R : radio de la tubería

(Pozo Fonseca, 2015) construye un prototipo experimental para obtener datos sobre la captación tipo Coanda, del cual se obtienen datos sobre la relación de H/R y el caudal unitario, como se muestra en la Figura 9.

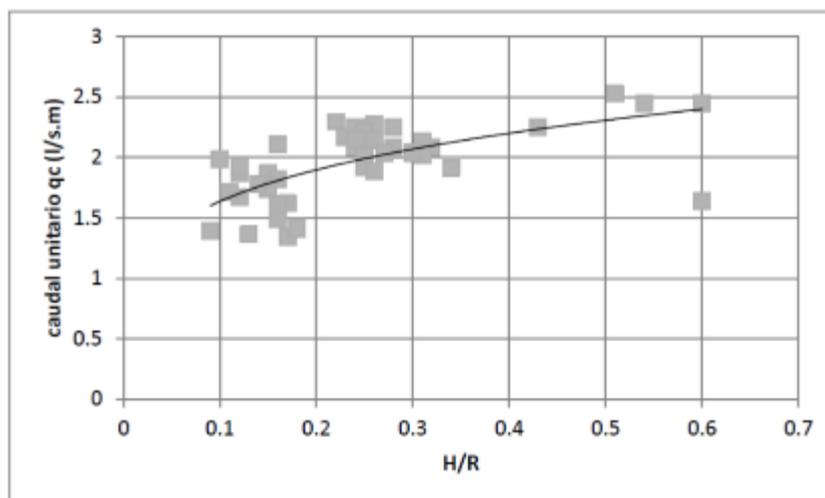


Figura 9. Caudal unitario captado por la toma tipo Coanda

Fuente: (Sandoval Erazo W. R., 2018)

Adicionalmente, se evidenciaron ventajas tales como la restricción del paso de material vegetal o flotante a la galería y partículas más gruesas a 0,1 mm no ingresan al canal de recolección (Sandoval Erazo W. R., 2018). En la presente investigación se utilizaron estos datos para el dimensionamiento de la obra de toma.

Para calcular el diámetro de la tubería desde un tanque hacia el otro se utiliza la siguiente ecuación:

$$H = \frac{Q^2}{K^2} \cdot L \quad (44)$$

Donde:

Q : caudal

K : factor de gasto

L : longitud de la tubería

El valor del factor de gasto es:

$$K = \frac{F}{n} \quad (45)$$

Donde:

n : rugosidad de la tubería

Mediante la Tabla 18 se escoge el diámetro óptimo, multiplicando el valor de F por el factor de 10^3 :

Tabla 18.
Diámetros de tubería según factor de gasto

Diámetro mm	F.10³ m³/s
12	0.002
19	0.008
25	0.017
40	0.058
50	0.106
75	0.312
80	0.370
100	0.672
125	1.218
150	1.980

Fuente: (Sandoval Erazo W. , 2013), modificado por los autores

2.15.3 Conducción

Son los conductos que permiten el transporte de agua desde la obra de toma hasta las unidades de tratamiento de manera segura e higiénica (Norma CO 10.7-602).

2.15.3.1 Caudal de diseño

El Código Ecuatoriano especifica que, cuando el sistema de conducción no requiera bombeo, se utiliza como caudal de diseño al caudal máximo diario incrementado 10%, calculado al final del período de diseño y en ningún caso el caudal de diseño de la conducción corresponderá al caudal máximo horario (Norma CO 10.7-602).

2.15.3.2 Tipos de conducción

Conducción a flujo libre: Los sistemas de flujo libre utilizan tuberías que funcionan parcialmente llena durante el 100 % del tiempo, evitando velocidades muy bajas para evitar sedimentación de partículas o velocidades muy altas que produzcan desgaste de las tuberías (Norma CO 10.7-602).

Conducción forzada: Este sistema puede ser por gravedad o por bombeo. La presión dinámica mínima en la línea de conducción será de 5 m.c.a. y en ningún caso la tubería funcionará a presión superior a la especificada por el fabricante (Norma CO 10.7-602). Durante el diseño se debe tomar en cuenta las presiones estáticas y dinámicas, además, de las presiones causadas por el golpe de ariete (Norma CO 10.7-602).

Por recomendación del Código Ecuatoriano el mínimo valor del diámetro para la línea de conducción es de 25 milímetros o 1 pulgada.

Tuberías de presión:

Las tuberías de conducción, por lo general, deben diseñarse enterradas y pueden tenderse en todo tipo de terreno, sin ningún perfilaje. (Norma CO 10.7 - 601). Cuando se excave en terrenos rocosos o en terrenos blandos, se debe profundizar la excavación de la zanja en 10 cm a 20 cm bajo la cota definitiva de la solera, para luego restablecer el nivel de diseño, confeccionando un lecho de apoyo (Norma CO 10.7 - 601).

El diámetro de la tubería de conducción no debe ser menor a 75 mm en poblaciones rurales (Norma CO 10.7 - 601).

Las tuberías de conducción deberán diseñarse considerando las siguientes instalaciones:

- Válvulas para interrupción del servicio, por tramos.
- Válvulas de purga de aire.
- Válvulas de vaciado.
- Aparatos de control de sobre presiones.
- Bocas de inspección.
- Estación de medición de caudal.

En tuberías de presión por gravedad se considera la instalación de cámaras rompe presiones, que permitan trabajar con presiones admisibles a lo largo de todo el sistema (Norma CO 10.7 - 601).

El tipo de tubería y material de ésta se debe escoger en base a cálculos estáticos, considerando, a más de condiciones de funcionamiento, condiciones sanitarias y de agresividad del suelo y calidad de agua a transportar (Norma CO 10.7 - 601).

Si la conducción presenta varios puntos altos, debido al relieve del terreno la Norma de diseño ecuatoriana (Norma CO 10.7 - 601), establece recomendaciones sobre pendientes mínimas:

- 0.2 % a 0.3 % en tramos ascendentes.
- 0.4 % a 0.6 % en tramos descendentes.
- Pendiente mínima en terrenos planos 0.05%.

El cálculo de tuberías a presión se hará utilizando fórmulas generalmente aceptadas como: fórmula de Hazen Williams, Darcy Weisbach, Colebrook White, etc. (Norma CO 10.7 - 601). Para la utilización de la fórmula de Hazen Williams se recomienda la Tabla 19.

Tabla 19.
Coefficiente de Hazen Williams según tipo de conducto

Tipo de conducto	Coefficiente
Acero corrugado	60
Acero galvanizado	125
Cemento	140
Cobre	130
PVC	140
Hormigón liso	130
Hormigón ordinario	120
Hierro fundido nuevo	130
Hierro fundido viejo	90

Fuente: (Norma CO 10.7 - 601)

En el dimensionamiento de la conducción a presión se deben considerar los siguientes criterios para el cálculo de pérdidas de carga. (Norma CO 10.7 - 601),

- Utilizar la fórmula universal para cálculo de pérdidas de carga en tuberías de presión con la ecuación 46:

$$hf = \frac{f \cdot L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (46)$$

Donde:

hf : Pérdidas de carga distribuida en metros de columna de líquido

D : Diámetro interno de la tubería en metros.

f : Coeficiente adimensional de pérdida en carga distribuida por fricción.

V : Velocidad media de flujo en la sección en m/s.

g : Aceleración de la gravedad en m/s^2 .

Para flujo laminar ($Re < 2\,000$), el coeficiente de pérdida de carga puede ser determinado del diagrama de Moody o calcular por la fórmula $f = 64/Re$, donde Re es el número de Reynolds. (Norma CO 10.7 - 601),

En zona crítica cuando ($2\,000 < Re < 4\,000$), la norma de diseño ecuatoriana (Norma CO 10.7 - 601), recomienda para el cálculo del coeficiente de pérdida de carga f utilizar la ecuación 47 de Colebrook White.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{k}{3.7 D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (47)$$

Donde:

f : Coeficiente de pérdida de carga.

Re : Número de Reynolds.

D : Diámetro interno de la tubería en metros.

k : rugosidad uniforme equivalente en mm.

Se presenta coeficiente de rugosidad k en la Tabla 20:

Tabla 20.

Coeficiente de rugosidad

Tipo de conducto	k
Tubería de acero nueva	0.04 – 0.17
Tubería de acero vieja	0.19
Tubería de acero recubierto de cemento	0.12 – 0.24
Tubería galvanizada nueva	0.25

Fuente: (Norma CO 10.7 - 601)

Para tuberías de presión se consideran aceptables los límites mostrados en la Tabla 21:

Tabla 21.
Velocidad máxima de tuberías

Materiales de las paredes	Velocidad máxima (m/s)
Hormigón simple o armado	4.5 a 5
Hierro fundido	4 a 5
Acero	6
Cerámica vitrificada	4 a 6
Plástico	4.5

Fuente: (Norma CO 10.7 - 601)

2.15.4 Tratamiento y potabilización del agua

Al conjunto de obras y estructuras de operación y mantenimiento, utilizadas para acondicionar el agua, para que sea apta para el consumo humano, se denomina sistema de potabilización (Norma CO 10.7-602). La estructura de tratamiento se diseñará para un valor de 1.10 veces el caudal máximo diario correspondiente al final del período de diseño. (Norma CO 10.7-602)

2.15.4.1 Caracterización del agua cruda

La caracterización del agua cruda, llamada así por ser el agua tomada directamente desde la fuente, debe servir para obtener las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua, principalmente mediante los siguientes parámetros: turbiedad, color, pH y Número más probable (NMP) de coliformes fecales (Norma CO 10.7 - 601). Los estudios de caracterización permiten clasificar a la fuente dentro de los siguientes tipos:

Tipo A: Aguas subterráneas libres de contaminación, que satisfacen las normas de calidad para agua potable (Norma CO 10.7 - 601).

Tipo B: Aguas superficiales provenientes de cuencas protegidas, con características físicas y químicas que satisfagan las condiciones de calidad para agua potable (Norma CO 10.7 - 601).

Tipo C: Aguas subterráneas o superficiales provenientes de cuencas no protegidas, que puedan encuadrarse dentro de normas de calidad para agua potable mediante procesos que no contemplen coagulación (Norma CO 10.7 - 601).

Tipo D: Aguas superficiales provenientes de cuencas no protegidas y cuyas características exigen coagulación y los procesos necesarios para cumplir con las normas de calidad de agua potable (Norma CO 10.7 - 601).

Tipo E: Aguas superficiales provenientes de cuencas no protegidas sujetas a contaminación industrial, que exigen métodos especiales de tratamiento (Norma CO 10.7 - 601).

Las aguas clasificadas como tipo C podrán requerir además pre tratamiento, sedimentación simple y/o filtración lenta, según los criterios presentados en la Tabla 22:

Tabla 22.

Pre tratamiento de agua

Características del agua	Tratamiento Probable
Turbiedad media < 10 UNT NMP < 1000 col/100 ml	Filtración lenta
Turbiedad media < 50 UNT NMP < 1000 col/100 ml	Filtración lenta con pretratamiento
Turbiedad media < 150 UNT NMP < 5000 col/100 ml	Filtración lenta con sedimentación simple y pretratamiento

Fuente: (Norma CO 10.7 - 601).

Por recomendación de la Norma de Diseño Ecuatoriana (Norma CO 10.7 - 601) las aguas tipo D podrán someterse preferiblemente a uno de los siguientes cuatro procesos de tratamiento:

a) Filtración rápida completa:

Puede remover de 1000 a 1500 UNT y hasta 10 000 coliformes fecales /100 ml. Por encima de 1 500 UNT se recomienda considerar pre sedimentación (Norma CO 10.7 - 601).

b) Filtración directa ascendente-descendente:

Puede remover alrededor de 250 UNT (Norma CO 10.7 - 601).

c) Filtración ascendente:

Puede remover hasta 150 UNT y aún más con descargas de fondo (Norma CO 10.7 - 601).

d) Filtración directa descendente:

Puede remover normalmente hasta 20 UNT, el contenido de color verdadero debe ser menor de 40 UC y el conteo de algas menor de 200 o a veces hasta 2 000. El NMP de coliformes fecales debe ser menor de 1 000/100 ml de muestra (Norma CO 10.7 - 601).

2.15.4.2 Procesos de tratamiento

En la Tabla 23 se indican los componentes de una planta de tratamiento que varían según los parámetros y características que tenga el agua a tratar, los principales procesos que contempla el tratamiento de aguas son los siguientes:

- Aforo de caudales.
- Aireación.
- Desarenación, sedimentación, filtración.
- Floculación y mezcla rápida.
- Desinfección.

Tabla 23.
Tratamiento de agua

Parámetros de calidad	Tratamiento						
	Aireación	Pre-sedimentación	Sedimentación	Filtración			Desinfección cloración
				Pre-filtración	Rápida	Lenta	
Contenido de oxígeno disuelto	+++	S/E	S/E	-	-	-	+
Remoción de CO ₂	+++	S/E	S/E	+	+	++	+
Reducción de turbiedad	S/E	+	+	++	+++	++++	S/E
Remoción de color	S/E	+	+	++	+	++	++
Remoción de olor y sabor.	++	+	+	+	++	++	+
Remoción de microorganismos	S/E	+++	++	++	++	++++	++++

Fuente: (Galvis Castaño & Latorre Montero, 1999)

+: Efecto favorable

-: Efecto desfavorable

S/E: Sin efecto

2.15.4.2.1 Sedimentación

Se denomina sedimentación al proceso de remoción de partículas en suspensión presentes en el agua mediante efecto gravitacional, para el cual, dichas partículas deben cumplir con la condición de tener mayor peso específico que el fluido (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004). En la Tabla 24 se presenta la velocidad de sedimentación de las partículas según su diámetro.

Tabla 24.
Velocidad de sedimentación de partículas.

D (mm)	Clasificación	Velocidad de sedimentación (mm/s)	Tiempo para sedimentar 0.3 m
10	Grava	1 000	0.3 s
1	Arena gruesa	100	3.0 s
0.1	Arena fina	8	38 s
0.01	Limo	0.154	33 s

Fuente: (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004)

2.15.4.2.2 Filtración

Se refiere al proceso de remoción de partículas suspendidas presentes en un fluido, el cual pasa por un medio poroso, reteniendo la parte sólida y permitiendo el paso del líquido (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004).

Las unidades de filtración se clasifican según la Tabla 25:

Tabla 25.
Unidades de filtración

Lecho filtrante	Sentido del flujo	Carga sobre el lecho
Simple	Descendente	A gravedad
Doble o múltiple	Ascendente	A presión
	Ascendente - descendente	

Fuente: (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004)

2.15.4.2.3 Desinfección química

Se considera como el último proceso del tratamiento del agua, su diseño merece mucha atención debido a que esta etapa está encargada de asegurar la calidad microbiológica del agua (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004).

La desinfección sirve para eliminar microorganismos capaces de causar enfermedades de origen hídrico y proteger a los seres humanos de la posible exposición de focos infecciosos (CONAGUA, 2016).

Los componentes químicos más importantes utilizados para la desinfección del agua son siguientes:

- Halógenos: bromo, yodo, cloro (hipoclorito de calcio, hipoclorito de sodio)
- Ozono.

Características de los desinfectantes químicos.

Su efectividad se basa en la capacidad del componente para cumplir con los siguientes requisitos (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004):

- Costo razonable.
- En bajas concentraciones, no ser tóxico para los humanos, ni animales.
- Deben ser capaces de destruir considerablemente organismos patógenos del agua.
- Debe dejar residuales persistentes en el agua.
- Su manejo y dosificación debe ser fácil y seguro

Bromo

El bromo es un desinfectante de menor poder que el cloro o el bromo. Para dosis iguales, el bromo es más efectivo que el cloro a valores de pH mayores de 4. Sin embargo, su costo es más elevado (CONAGUA, 2016).

Yodo

El yodo es el halógeno de mayor peso atómico y de bajo poder oxidante. Con una dosis de 0.5 mg/l destruye el 99.99% de *Escherichia coli* en un minuto. La desventaja de utilizar yodo para el proceso de desinfección es que su aplicación requiere el uso de un neutralizante, el cual reacciona con los ácidos, neutralizándolos y convirtiéndolos en sales, aumentando el pH del medio, resultando costoso para ser usado en grandes volúmenes de agua (CONAGUA, 2016).

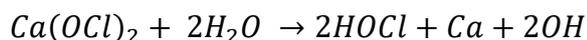
Cloro

El cloro es un oxidante poderoso y hoy en día es considerado como el mayor desinfectante que existe, este se introduce a través de la pared celular de las bacterias y se difunde en el citoplasma, eliminando al microorganismo. Algunas de sus sales presentan características desinfectantes, entre las cuales destacan el hipoclorito de calcio y el hipoclorito de sodio, estos se emplean en plantas pequeñas, pozos y piscinas, además en casos donde el acceso y transporte de cilindros de cloro es limitado, estas sales se convierten en una gran alternativa (Centro Panamericano de

Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004). Es el reactivo más usado a nivel mundial, debido a que, es económico y de fácil empleo (CONAGUA, 2016).

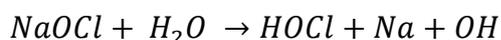
Hipoclorito de calcio

Al hipoclorito de calcio se lo considera como un agente altamente oxidante, es por ello que debe ser almacenado en lugares secos, frescos y aislados, si se toman estas consideraciones el compuesto puede mantenerse estable hasta el año. Es necesario determinar el cloro activo presente antes de preparar la solución de hipoclorito de calcio, debido a que la concentración de este puede variar en el tiempo y por las condiciones ambientales (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004). Se presenta en estado sólido, ya sea en forma granular de color blanquecino con 30 a 70 % de cloro activo, o bien, como tabletas (con 70 %) y se produce al precipitar una solución formada de gas cloro, óxido de calcio y dióxido de sodio (CONAGUA, 2016). La reacción entre el hipoclorito de calcio y el agua es la siguiente:



Hipoclorito de sodio

El hipoclorito de sodio se encuentra en forma de un líquido amarillento, posee aproximadamente 15% de cloro activado y al igual que en el caso del hipoclorito de calcio su estabilidad depende de las condiciones de almacenamiento y de su contacto con la luz (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004). La reacción entre el hipoclorito de sodio y el agua es la siguiente:



- **Cálculo del consumo de cloro**

$$P = \frac{V * D}{C} \quad (48)$$

Donde:

P: consumo de cloro (mg/día)

V: volumen de agua consumida (l/día)

D: dosis aplicada (mg/l)

C : concentración de hipoclorito (%)

En caso del hipoclorito de sodio, que cuenta con una presentación líquida, se debe considerar la densidad para calcular el volumen que se necesita para el proceso de cloración usando la ecuación 49:

$$V_{cl} = \frac{P}{\delta} \quad (49)$$

Donde:

V_{cl} : consumo de cloro (mg/día)

δ : densidad del hipoclorito de sodio (mg/cm³)

- **Volumen de agua consumida**

Se calcula a partir del caudal máximo o de diseño mediante la ecuación 50.

$$V = Q_{diseño} * t \quad (50)$$

Donde:

V : volumen de agua consumida (m³)

$Q_{diseño}$: caudal de diseño (m³/s)

t : tiempo de cloración (s)

- **Dosis de cloro**

La dosis óptima es la que produce un residual de cloro libre de 0.2 a 1.5 mg/l para agua potable al final del período de contacto o la destrucción total o parcial de patógenos; para determinar dicho valor se deben realizar pruebas de laboratorio colocando gradualmente cloro al agua y midiendo su concentración en diferentes tiempos (CONAGUA, 2016). A continuación, se presenta las dosis de cloro que puede ser aplicada para la desinfección, tomando en cuenta las mencionadas recomendaciones:

Tabla 26.
Dosificación de hipoclorito

Compuesto	Dosis (mg/l)
Hipoclorito de sodio	0.2 – 2
Hipoclorito de calcio	0.5 – 5

Fuente: (CONAGUA, 2016), modificado por los autores.

La (Norma CO 10.7 - 601) recomienda realizar la prueba de jarras para establecer la dosis ideal del proceso de tratamiento seleccionado, es por ello, que se consideró como dosis óptima el promedio entre la dosis mínima y máxima de los valores recomendados en la Tabla 26.

Ozono

El ozono es conocido como la forma alotrópica del oxígeno, ya que su molécula se forma por la combinación de tres átomos de este elemento. Posee la característica de ser inestable y descomponerse con facilidad en oxígeno normal y oxígeno nascente, el cual es un fuerte oxidante, por esta característica es que el ozono actúa como desinfectante (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004).

El ozono es poco soluble en el agua y altamente volátil, por lo que se mantiene en el agua solo por algunos minutos, sin embargo, requiere tiempos de contacto cortos para ejercer su propiedad microbicida, se ha demostrado que cuando el ozono es trasferido al agua mediante mezcladores en línea sin movimiento, los microorganismos son destruidos en aproximadamente dos segundos (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004).

En comparación con el cloro presenta varias ventajas, como es el menor tiempo de contacto que requiere para eliminar bacterias y no imparte color, ni sabor al agua, mientras que su principal desventaja radica en que no tiene poder residual y se cuenta con limitada información sobre la toxicidad de sus derivados tales como los aldehídos, cetonas, bromatos, etc. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004).

Un vertedero de pared delgada, que se indica en la Figura 10, puede cumplir con tres funciones a la vez: tanque de medidor de caudal, rompe presiones y estructura de

cloración. Para calcular el caudal de un vertedero sumergido o no sumergido, se introduce un coeficiente adicional a la ecuación (42), denominado coeficiente de inmersión n_s , cuyo valor es de $n_s = 1$ para vertederos no sumergidos y $n_s < 1$ para sumergidos, como se indica en la ecuación 51 (Sandoval Erazo W. , Principios de la Hidráulica 2, 2013):

$$Q = n_s m_o b \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (51)$$

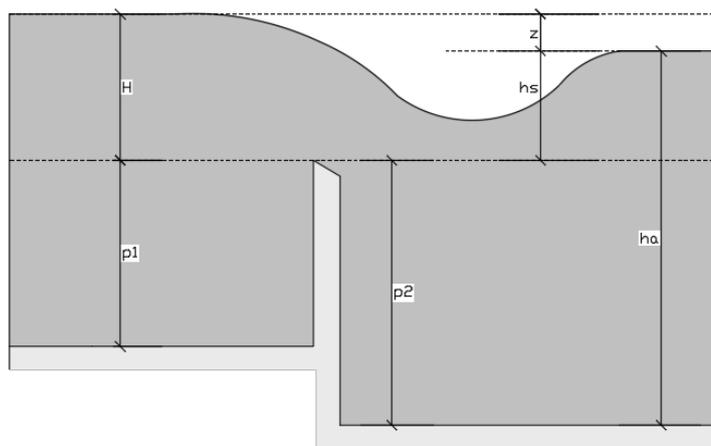


Figura 10. Vertedero de pared delgada

Para calcular el coeficiente de caudal m , se tiene la ecuación 52 (Sandoval Erazo W. , Principios de la Hidráulica 2, 2013):

$$m_o = \frac{2}{3} \left(0.616 - 0.1 \frac{H}{b} \right) \quad (52)$$

Para la determinación del coeficiente de inmersión, se presenta la ecuación 53 de Bazin (Sandoval Erazo W. , Principios de la Hidráulica 2, 2013):

$$n_s = 1.05 \left(1 + 0.2 \frac{h_s}{p_2} \right)^3 \sqrt{\frac{z}{H}} \quad (53)$$

Este tipo de vertederos pueden establecer presiones menores a la atmosférica, debido a que, se pone en contacto la lámina de agua con el medio ambiente (Sandoval Erazo W. , Principios de la Hidráulica 2, 2013). El agua choca con la

pared al ingresar al vertedero, de modo que, se mezcla con el químico desinfectante que se coloque en esta estructura.

2.15.4.2.4 Desinfección física

Se caracterizan porque reducen la concentración de organismos por daño en la pared o membrana celular o alteración de su fisiología ocasionándoles la muerte (CONAGUA, 2016). Los métodos más aplicados son:

- Calor
- Sedimentación
- Radiación (solar, luz UV, Gamma)

Calor

La ebullición del agua es considerada como un método efectivo debido a la sensibilidad que presentan los microorganismos a las altas temperaturas. Domésticamente se tiene la práctica de hervir el agua cuando se tienen dudas sobre su calidad, este es el método desde el punto de vista microbiológico más simple para preparar agua para el consumo humano (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004).

Luz y rayos ultravioleta

Los rayos ultra violeta poseen una longitud de onda correspondiente a la máxima acción microbicida de 254 nanómetros. A pesar de ser un tratamiento altamente efectivo, este método tiene limitaciones y es que la penetración de los rayos en el agua está limitada por la profundidad de la lámina, por el color y la turbiedad. (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004). Entre sus ventajas se encuentran la eliminación de bacterias comunes y virus, además de ser un proceso sencillo y de bajo costo que no necesita tanques de contacto, ni que cambia las condiciones organolépticas del agua (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2004).

2.15.5 Almacenamiento

La capacidad de almacenamiento debe ser de 50 % del volumen medio diario futuro y por ninguna razón el volumen de almacenamiento será menor a 10 m³ (Norma CO 10.7-602).

CAPÍTULO 3

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

La parroquia Huambi está localizada al sureste del cantón Sucúa, provincia de Morona Santiago, en la región amazónica del Ecuador, geográficamente entre los puntos 2°30'39''S, 78°11'45''W hasta 2°37'08''S, 78°00'04''W, limitando al norte con la cabecera cantonal Sucúa, al sur con el cantón Logroño, al este con el cantón Morona y al oeste con la parroquia de Asunción. Es la segunda parroquia más habitada del cantón Sucúa, con una superficie de 214.82 km² y con respecto al territorio cantonal ocupa el 16.72%. Huambi está dividida en asentamientos humanos de diferentes tamaños de las cuales, la presente investigación se enfoca en las comunidades rurales de Bellavista y La Florida (Altamirano, 2015). En la Figura 11 se muestra la demarcación política del Ecuador, señalando la provincia de Morona Santiago, el cantón Sucúa y la parroquia Huambi respectivamente, donde se desarrolló el proyecto de estudio.

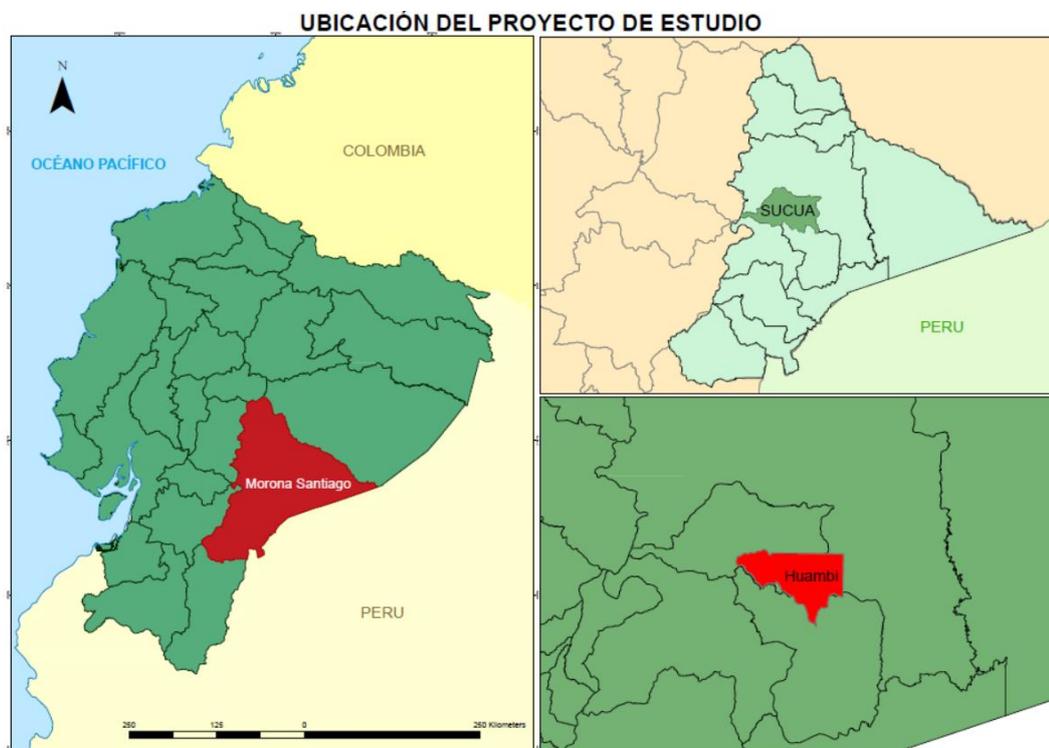
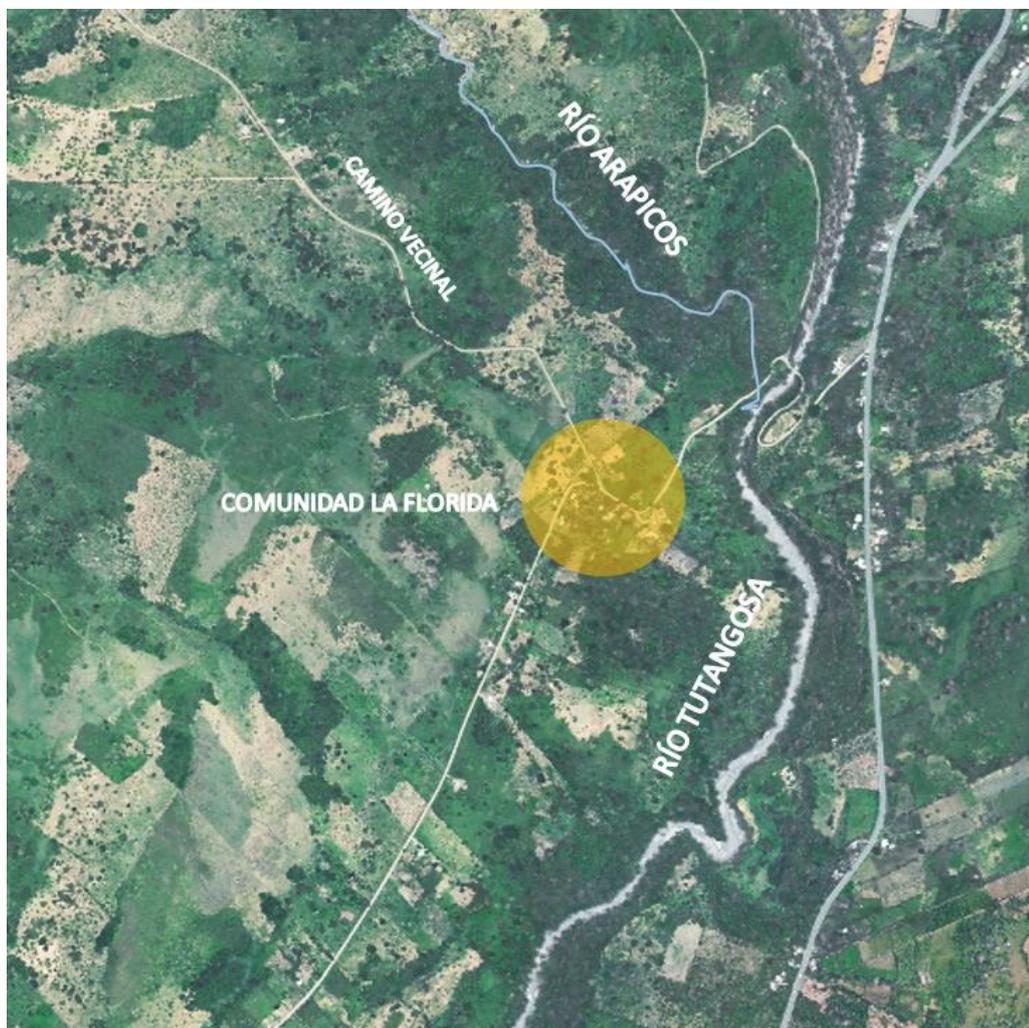


Figura 11. Ubicación proyecto de estudio

Mediante solicitud verbal al GAD Municipal del cantón Sucúa, se obtuvo la Fotografía 1, que corresponde al área de estudio dentro de la parroquia Huambi, en donde se aprecian los ríos Arapicos y Tutanangosa, así como la ubicación de la comunidad la Florida.



Fotografía 1. Ortofoto ríos Arapicos y Tutanangosa

Fuente: GAD Municipal del Cantón Sucúa

En la Figura 12 se puede apreciar en color negro la ubicación de las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI): Logroño (M0497), Mendez Inamhi (M0501) y Macas San Isidro-Domono (M1040), en color azul se resaltan las estaciones hidrológicas del INAMHI cercanas al área de estudio: Tutanangosa en Sucúa (H0883) y Upano DJ. Tutamangoza (H0908). La Dirección de Protección Ambiental de la Prefectura de Morona Santiago cuenta con

estaciones meteorológicas propias: San Miguel de Conchay (M5120), Copal (M0673) y Shimpis (M5118), las cuales se indican en color rojo.

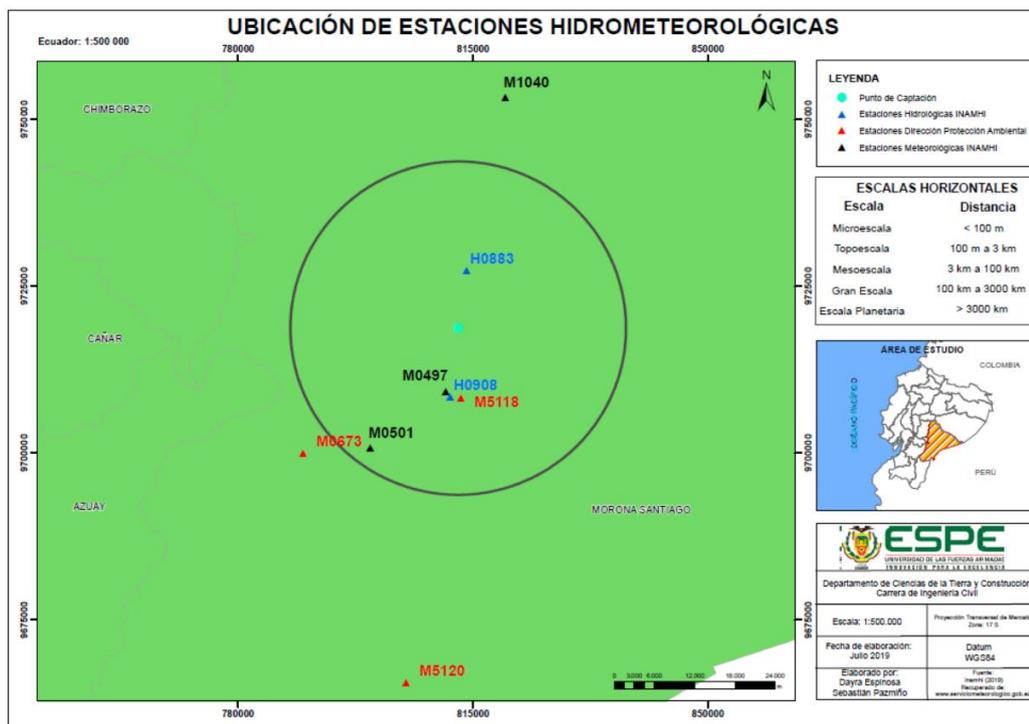


Figura 12. Ubicación de estaciones hidrometeorológicas

3.1.1 Relieve

La parroquia Huambi está constituida por depósitos cuaternarios volcánicos fluviales, se extiende bajo un relieve montañoso, cuentan con una topografía ondulada, con diferencia de altura relativa de 25 a 75 m y pendientes de 25 a 50 %. Cuenta con un rango altitudinal de 570 a 2130 msnm. En la zona existen grandes movimientos de masa por acciones antrópicas como la deforestación. El bosque nativo se ha convertido en pasto debido a la evidente ampliación de la frontera agrícola y ganadera sin control alguno (Altamirano, 2015).

3.1.2 Factores climáticos

La parroquia de Huambi tiene una precipitación media anual de 2250 mm, una temperatura promedio de 20.50°C y humedad relativa promedio alta característica de la región amazónica del Ecuador de 87,04% (Altamirano, 2015). Su clima es templado, ya que, es zona de transición entre el bosque húmedo tropical de la región

amazónica y el páramo de la región sierra. En este trabajo de titulación se estudió las variables hidrometeorológicas de las comunidades Bellavista y La Florida. En la Figura 13 se indica el mapa de isoyetas de la parroquia Huambi.

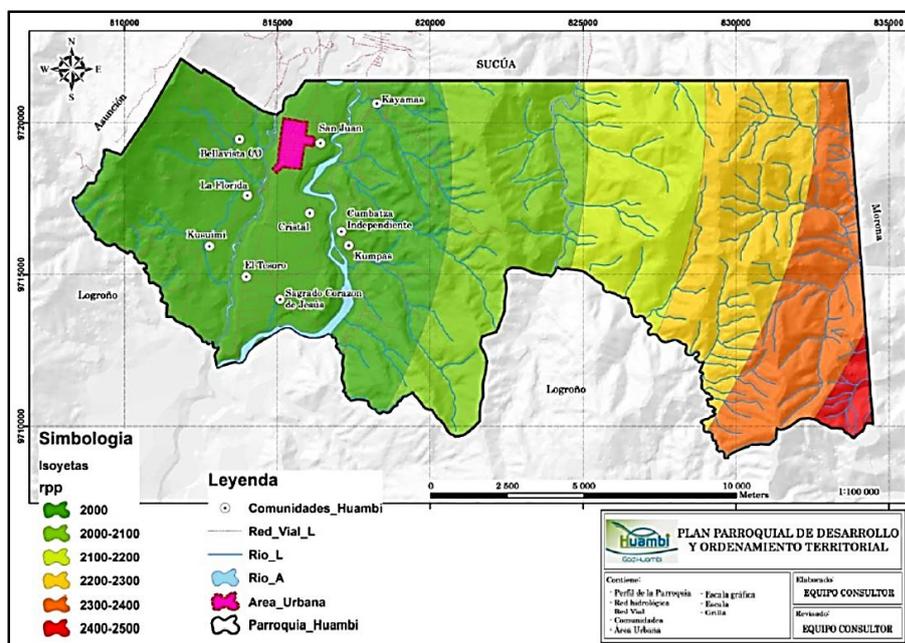


Figura 13. Mapa de Isoyetas

Fuente: Plan de Desarrollo Parroquia Huambi Junta Parroquial Huambi

3.1.3 Hidrografía

Las comunidades de Bellavista y La Florida se encuentran dentro de la cuenca hidrográfica del río Santiago perteneciente al Vertiente del Amazonas y según la clasificación con el método Pfafstetter nivel 5 en la cuenca 49978. En la Figura 14 se presenta a la izquierda, las cuencas hidrográficas del Ecuador y a la derecha, las cuencas nivel 5 según el método Pfafstetter.



Figura 14. Cuencas hidrográficas
Fuente: INAMHI, SENAGUA

En la Figura 15 se aprecia a la parroquia Huambi dentro de la cuenca del río Santiago.

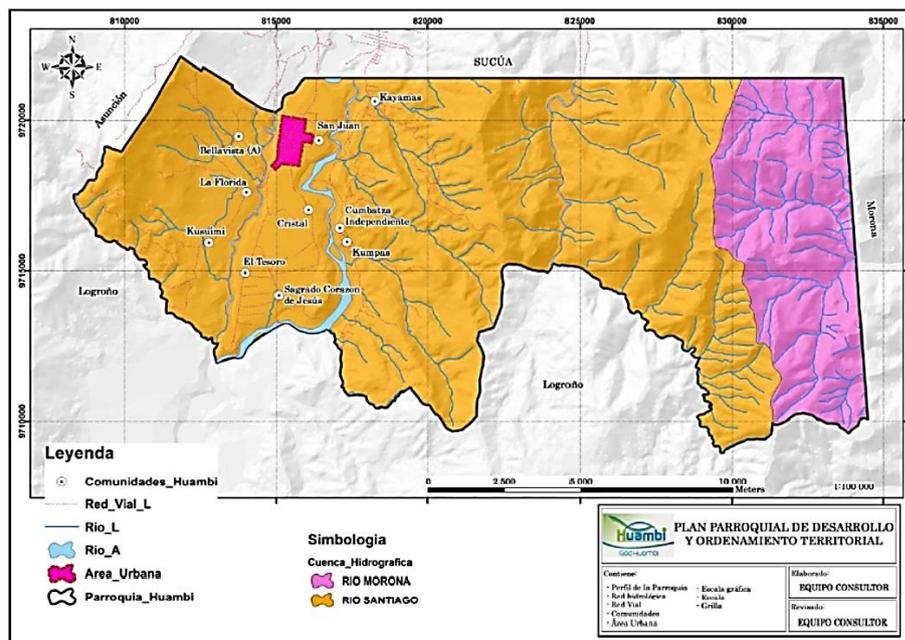


Figura 15. Cuenca del río Santiago
Fuente: Plan de Desarrollo Parroquia Huambi Junta Parroquial Huambi

La presencia de cantidad de fuentes de agua y la cercanía de las mismas, unas de otras, constituye un aspecto favorable para el desarrollo humano de la parroquia. Al norte de las comunidades Bellavista y La Florida pasa el río Arapicos y al este el río Tutanangosa, el cual, se une al río Upano al sureste de la parroquia Huambi

(Altamirano, 2015). En la confluencia de estos dos últimos ríos se encuentra la estación hidrológica automática (EHA) Upano Dj Tutamangoza (H908).

Dentro de la zona se cuenta con tres fuentes subterráneas de agua, las cuales fueron estudiadas en calidad y cantidad, para el aprovechamiento de este recurso en el ámbito de riego.

Se trabajó con la cuenca de la EHA Upano Dj Tutamangoza H908, cuyos parámetros físico-morfométricos son conocidos y se presentan en la Tabla 27, los cuales se relacionaron con la microcuenca del río Arapicos, para conocer la disponibilidad de agua para el diseño del sistema de agua potable.

Tabla 27.

Parámetros físico-morfométricos de la estación H908

Código Estación	A	P	Lr	L	Cotas		Ir	Ic	Ip	Tc
					(msnm)					
	km ²	km	km	km	Sup	Inf	%	-	%	horas
H908	3495	433	124.09	57	2905	559	1.89	2.04888	4.13	12.51

Fuente: (INAMHI, Compendio Anuarios EHA, 2017)

Donde:

A: área de la cuenca

P: perímetro

Lr: longitud del río principal hasta el punto de estudio

L: longitud directa del río

Cotas: altura superior e inferior del río

Ir: pendiente del río

Ic: índice de compacidad o de forma

Ip: pendiente media de la cuenca

Tc: tiempo de concentración con la fórmula de Kirpich

3.2 Población y muestra

Se recopilaron datos de estaciones meteorológicas del INAMHI y de la Dirección de Protección Ambiental, los cuales se detallan a continuación.

Estaciones meteorológicas del INAMHI:

En la Tabla 28 se aprecian los datos recopilados de las variables meteorológicas precipitación, humedad y temperatura de las estaciones del INAMHI.

Tabla 28.

Datos disponibles estaciones meteorológicas INAMHI

Estaciones Meteorológicas INAMHI	Variables Meteorológicas (Número de datos disponibles)			
	Precipitación total diaria (mm)	Precipitación total mensual (mm)	Humedad relativa media diaria (%)	Temperatura media diaria (°C)
Logroño M0497	6077	294	93	93
Méndez INMAHI M0501	4970	250	-	-
Macas San Isidro Domono M1040	2193	80	2298	2235

Estación pluviométrica Logroño (M0497):

- **Precipitación:** 6077 datos de precipitación total diaria (mm) desde enero de 1998 hasta diciembre de 2014 y 294 datos de precipitación total mensual (mm) desde 1990 hasta 2014.
- **Humedad:** 93 datos de humedad relativa media diaria (%) desde julio de 2014 hasta noviembre del mismo año.
- **Temperatura:** 93 datos de temperatura media diaria de tres observaciones (°C) desde julio de 2014 hasta noviembre del mismo año.

Estación pluviométrica Méndez Inamhi (M0501):

- **Precipitación:** 4970 datos de precipitación total diaria (mm) desde enero de 1998 hasta septiembre de 2015 y 250 datos de precipitación total mensual (mm) desde 1990 hasta 2015.

Estación climatológica Macas San Isidro-Domono (M1040):

- **Precipitación:** 2193 datos de precipitación total diaria (mm) desde septiembre de 2008 hasta diciembre de 2015 y 80 datos de precipitación total mensual (mm) desde 2008 hasta 2015.
- **Humedad:** 2298 datos de humedad relativa media diaria (%) desde septiembre de 2008 hasta diciembre de 2015.
- **Temperatura:** 2235 datos de temperatura media diaria de tres observaciones (°C) desde septiembre de 2008 hasta diciembre de 2015.

Estaciones hidrológicas del INAMHI:

En la Tabla 29 se presentan los datos recopilados de la variable hidrológica caudal de las estaciones del INAMHI.

Tabla 29.*Datos disponibles estaciones hidrológicas INAMHI*

Estaciones Hidrológicas INAMHI	Variables Hidrológicas (Número de datos disponibles)	
	Caudal medio diario (m ³ /s)	Caudal medio mensual (m ³ /s)
Tutanangoza Sucúa H0883	2006	65
Upano DJ. Tutamangoza H0908	3517	118

Estación limnimétrica Tutanangoza en Sucua (H0883):

- **Caudal:** 2006 datos de caudal medio diario (m³/s) desde enero de 1990 hasta diciembre de 2013 y 65 datos de caudal medio mensual (m³/s) desde 1990 hasta 2013.

Estación limnimétrica Upano DJ. Tutamangoza (H0908):

- **Caudal:** 3517 datos de caudal medio diario (m³/s) desde enero de 1990 hasta abril de 2011 y 118 datos de caudal medio mensual (m³/s) desde 1990 hasta 2011.

Estaciones meteorológicas de la Dirección de Protección Ambiental de Morona Santiago:

En la Tabla 30 se indican los datos recopilados de las variables meteorológicas precipitación, humedad y temperatura de la Dirección de Protección Ambiental de Morona Santiago.

Tabla 30.

Datos disponibles estaciones meteorológicas DPAMS

Estaciones Meteorológicas DPAMS*	Variables Meteorológicas (Número de datos disponibles)				
	Precipitación total horaria (mm)	Humedad relativa media horaria (%)	Humedad relativa máx/min horaria (%)	Temperatura media horaria (°C)	Temperatura máx/min horaria (°C)
Conchay M5120	24820	24820	24820	24820	24820
Copal M0673	4784	4784	4784	-	-
Shimpis M5118	23150	23150	23150	23150	23150

*DPAMS: Dirección de Protección Ambiental de Morona Santiago

Estación climatológica Conchay (M5120):

- **Precipitación:** 24820 datos de precipitación total horaria (mm) desde junio de 2014 hasta diciembre de 2017.
- **Humedad:** 24820 datos de humedad relativa media horaria (%), 24820 datos de humedad relativa máxima horaria (%) y 24820 datos de humedad relativa mínima horaria (%) desde junio de 2014 hasta diciembre de 2017.
- **Temperatura:** 24820 datos de temperatura media horaria (°C), 24820 datos de temperatura máxima horaria (°C) y 24820 datos de temperatura mínima horaria (%) desde junio de 2014 hasta diciembre de 2017.

Estación climatológica Copal (M0673):

- **Precipitación:** 4784 datos de precipitación total horaria (mm) desde mayo de 2017 hasta noviembre del mismo año.

- **Humedad:** 4784 datos de humedad relativa media horaria (%), 4784 datos de humedad relativa máxima horaria (%) y 4784 datos de humedad relativa mínima horaria (%) desde mayo de 2017 hasta noviembre del mismo año.

Estación climatológica Shimpis (M5118):

- **Precipitación:** 23150 datos de precipitación total horaria (mm) desde junio de 2014 hasta noviembre de 2017.
- **Humedad:** 23150 datos de humedad relativa media horaria (%), 23150 datos de humedad relativa máxima horaria (%) y 23150 datos de humedad relativa mínima horaria (%) desde junio de 2014 hasta noviembre de 2017.
- **Temperatura:** 23150 datos de temperatura media horaria (°C), 23150 datos de temperatura máxima horaria (°C) y 23150 datos de temperatura mínima horaria (°C) desde junio de 2014 hasta noviembre 2017.

En cuanto a la población, en la Tabla 31 se aprecia el número de habitantes de la parroquia Huambi de acuerdo a los censos existentes en el Ecuador realizados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), no existen datos de censos anteriores al de 1990 y se observa que en el año 2010 existen 2891 habitantes en la parroquia de Huambi. Los datos presentados por el INEC son los más confiables, sin embargo, no son suficientes, debido a que las comunidades se encuentran en constantes cambios por factores como mortalidad, migración, pobreza, entre otros, y esto dificulta calcular la población de diseño.

Tabla 31.
Censo poblacional parroquia Huambi

Censo (Año)	Población parroquia Huambi
1990	2634
2001	2546
2010	2891

3.3 Análisis socio-económico

Para el análisis socio-económico, se tomaron los datos presentados por el GAD en su Plan de Desarrollo de la Parroquia Huambi 2015-2019.

3.3.1 Crecimiento poblacional

Según el INEC, la variación poblacional entre los años 2001 y 2010, de los censos realizados en esos años en la parroquia Huambi, fue de 13,55% aproximadamente, pasando de 2546 habitantes a 2891, de los cuales, el 64.9% vive en la zona rural, es decir, 1875 habitantes.

En el Plan de Desarrollo de la Parroquia Huambi, se presenta una proyección poblacional en el 2019 de 3675 habitantes y en el 2030 de 4925 habitantes. La densidad demográfica para el 2015 fue de 14 hab/km².

Según el INEC en 2010, en la comunidad de Bellavista existían 82 habitantes y no existen datos de la comunidad La Florida. Por comunicación verbal con representantes de los habitantes de las comunidades, en 2019 se constató que 25 personas habitan en la Florida, además, según el GAD de Sucúa, la fundación Huambi Ayamtai planifica construir un complejo agroturístico en la zona que albergará aproximadamente a 300 personas (Warlet, Entrevista personal al representante de la fundación Huambi Ayamtai, 2019).

3.3.2 Actividades económicas

Cerca del 63% de los habitantes de la parroquia, se dedican a la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca, debido a las condiciones de clima y suelo que la caracteriza. Seguido de un 5% de los habitantes, se dedican al comercio al por mayor y menor y un 3% se dedican a actividades como: construcción, enseñanza, administración pública y defensa, transporte y almacenamiento (Altamirano, 2015).

3.4. Infraestructura básica

3.4.1 Alcantarillado

De acuerdo al (INEC, 2010) citado en (Altamirano, 2015), el 31% de las viviendas de la parroquia cuenta con alcantarillado público, el 24% tiene pozo séptico, el 21% pozo ciego, el 5% descarga directamente al río y el 19% no cuenta con alcantarillado.

3.4.2 Agua potable

De acuerdo al (INEC, 2010) citado en (Altamirano, 2015), el 78% de las viviendas recibe agua de la red pública, el 15% directamente de río, acequia o canal, el 6% de pozos y el 2% ocupan agua lluvia. En el Plan de Desarrollo de Huambi, se estima que el 46,07% de las viviendas urbanas cuentan con agua potable, porcentaje que se piensa que es mucho menor en la zona rural de la parroquia (Altamirano, 2015).

3.4.3 Energía eléctrica

De acuerdo al (INEC, 2010) citado en (Altamirano, 2015), del total de 663 viviendas de la parroquia, 556 poseen el servicio eléctrico proporcionado por la empresa concesionaria del servicio y 104 viviendas no disponen de este servicio.

3.4.4 Acceso a la vivienda

De acuerdo al (INEC, 2010) citado en (Altamirano, 2015), el 44% de las viviendas cuentan con una calle o carretera de acceso lastrada o de tierra, el 32% de las viviendas cuentan con calles o carreteras adoquinadas, pavimentadas o de concreto, el 16% con un camino o sendero y el 9% con calle o carretera empedrada.

La vía de acceso para las comunidades Bellavista y La Florida es la vía Cusuimi-Bellavista con 1.61 km de longitud, cuyo tipo de rodadura es lastre. Se puede evidenciar que la red vial es de tercer orden y se encuentra en mal estado (Altamirano, 2015).

3.5 Recopilación de datos

Los datos de tres estaciones meteorológicas: Logroño (M0497), Mendez Inamhi (M0501) y Macas San Isidro-Domono (M1040) y dos estaciones hidrológicas: Tutanangosa en Sucua (H0883) y Upano DJ. Tutamangoza (H0908) cercanas al área de estudio, se obtuvieron a través del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) mediante una solicitud escrita, los cuales fueron entregados en bloc de notas y posteriormente se los trasladó a un archivo Excel para ejecutar el trabajo de una manera más fácil.

En la Figura 16 se muestra como ejemplo los datos de precipitación total mensual medida en milímetros de la estación Logroño (M0497), del año 1990 al 2012, con el formato entregado por el INAMHI. Se puede apreciar en dicho formato el nombre de la estación, el código de identificación, el período de recolección de datos, las coordenadas geográficas de ubicación y la elevación en metros sobre el nivel del mar (msnm).

En las estaciones climatológicas ordinarias, como es el caso de la estación Macas San Isidro-Domono, se realizan tres observaciones diarias (07, 13 y 19 horas), en las estaciones pluviométricas, se pueden realizar tres observaciones (07, 13 y 19 horas), dos observaciones (07 y 19 horas) o una observación (07 horas), en ambos casos, la toma de datos se hace a través de mediciones y registros realizados por el observador u operador de la estación a las horas señaladas. (INAMHI, 2014). La toma de la información limnimétrica se la obtiene a través de mediciones periódicas realizadas por el observador de la estación. (INAMHI, 2013).

Se pueden encontrar las series originales de cada una de las variables entregadas por el INAMHI en el Anexo 3, cuyos datos son analizados por la Institución previa publicación, sin embargo, existen datos faltantes en las series temporales, por lo que se necesita tratar dichos datos para rellenarlos y obtener una serie continua, para un posterior análisis dinámico.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA															
Precipitación Total Mensual (mm)		15/04/2019													
S E R I E S M E N S U A L E S D E D A T O S															
NOMBRE:	LOGROÑO	CODIGO:	M0497												
PERIODO:	1990 -	2015 LATITUD:			26	37	19.97°	S	LONGITUD:		786	13'	19.04°W	ELEVACION:	653
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA	
1990	70	78.9	66.2	54.6	153.4	188	264.6	76.9	185.6	232.9	4.3				
1991	193.8	76.7	120.4	225.5	265.7	378.3	294.2	211.8	142.1	161.9	54.2				
1992	43.1	22.7	121.4	190.3	174.4	185.1	118.9	168.4	150.4	121.4	115.2	200.2	1615.5	134.6	
1993	223.1	275.2	245.8	209.3	283.8	249	183.1	299.3	155.5	326.5	119.5	22.2	2592.3	216	
1994	187.2	75.2	192.3	236	321.6	385.3	276.5	200.6	221.1	192.2	187.7	169	2586.7	215.7	
1995	66.6	84.6	192.4	105.2	408.7	271.9	195.2	72.7	192	119.7	177.8	164.6	2094.4	174.5	
1996	107.5	231.7	69.4	302.2	201.1	184.9	140.3	183.8	260.5	169.5	80.8	65.6	1997.3	166.4	
1997	82.4	222.3	124.8	241.6	246.5	174.7	96.9	154	198.5	85.9	142				
1998	85.6	0	183	347.1	246.3	244.1	205.3	143.7	39.2	241	61.8	66	1805.1	155.4	
1999	187.3	141.1	116.5	263.9	233.8	270.9	145	145.6	231.6	112.4	108	132.6	2068.7	172.3	
2000	48.2	102.6	85.8	127.4	250.6	217.6	120.9	179.3	251.4	101.8	92.6	108	1886.2	140.5	
2001	67.6	89.6	192.9	128.3	256.2	244.9	187.5	127.2	112.7	154.2	109.1	160.1	1940.3	162.4	
2002	75.2	114.1	178.8	283.1	228.6	179.9	276.1	66.5	49.2	80.9	85.6	141.5	1757.5	148.4	
2003	70.7	106.8	144.3	182.7	387.5	150.6	127.6	97.2	125.7	185.8	159.2	183.4	1901.5	158.4	
2004	51.5	130.8	221.8	294.8	382.3	335.1	123.4	173.8	173.7	117.7	52.9				
2005	95.2	254.9	162.4	124.8	214.4	336.7	157	83.5	55.4	101.6	97.5	126.6	2010	167.5	
2006	94.4	173.7	190.1	294.3	155.1	137	110	127.2	188	126.1	122.6	185	1805.5	155.4	
2007	112.2	50.8	195	336.9	300.6	279.6	129.9	170.4	158.9	172.3	240.2	130.6	2247.4	187.2	
2008	117.5	178.3	129.3	174.6	246.1	241.3	100.4	91	189.8	137.6	229.7	145.8	1811.4	165.1	
2009	138.4	158	139.1	246.8	239.2	189.7	146.3	133	86.1	171.3	61.2	196.2	1900.3	161.7	
2010	61.5	182.3	134.6	281.5	389.2	203	120.8	82.4	88.7	102	151.7	161	1942.7	161.8	
2011	210.2	70	126.9	287.4	191.3	152.5	339.3	124.7	118.6	67.9	119.6	120.3	1828.7	160.7	
2012	184.6	140.3	254.7	205	171.3	178.9	220.8	183.1	103.8	157.4	84.6	99.5	3986	165.5	
2013	111.2	151	140	342.2	191.5	263.7	173.7	173.7	161.8	140.3	180.7	129.8	3960.6	163.3	
2014	164.1	100.6	177.3	283.1	276.6	216.2	63.8	114.2	270.6	33.2					
suma	2880.1	3212.2	3924.2	3797.6	6367.8	5568.7	4346.5	3503.2	3783.6	3009.9	2716	2941.4	48935.2	4077.9	
media	115.6	128.4	156.9	231.9	254.7	232	180.8	140.1	150.5	124.4	112.5	122.5	1993.6	166.1	
minima	43.1	0	66.2	54.6	153.4	137	96.9	63.8	39.2	67.9	33.2	4.3	0	0	
maxima	223.1	275.2	254.7	347.1	408.7	378.3	339.3	299.3	260.5	328.5	240.2	200.2	408.7	8	

Figura 16. Formato de presentación de variables recopiladas.

Fuente: (Datos proporcionados por el INAMHI, 2019)

Los datos de tres estaciones meteorológicas: Copal (M0673), Shimpis (M5118) y San Miguel de Conchay (M5120) cercanas al área de estudio, se obtuvieron de la Dirección de Protección Ambiental de la Prefectura de Morona Santiago mediante una solicitud verbal, en la Figura 17 se muestra como ejemplo los datos de humedad relativa medida en porcentaje de la estación San Miguel de Conchay del año 2015, con el formato entregado por dicha institución. Se puede apreciar el nombre de la estación, el año, mes, día y hora de recolección de datos, así como los valores promedio, máximo y mínimo de la variable.

time	AÑO	MES	DÍA	HORA	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO	Etiquetas de fila	PROMEDIO HR CONCHAY	MÁXIMA HR CONCHAY	MÍNIMA HR CONCHAY
1/1/2015 0:00	2015	1	1	0	90.033	91.614	86.914	#2015	91.27	99.98	47.36
1/1/2015 1:00	2015	1	1	1	92.797	98.389	89.066	#1	92.72	99.92	55.42
1/1/2015 2:00	2015	1	1	2	99.43	99.731	98.206	#2	92.11	99.85	58.04
1/1/2015 3:00	2015	1	1	3	98.832	99.67	98.389	#3	93.75	99.92	60.73
1/1/2015 4:00	2015	1	1	4	97.915	98.938	97.046	#4	94.51	99.92	65.25
1/1/2015 5:00	2015	1	1	5	95.741	98.45	90.881	#5	93.69	99.92	57.43
1/1/2015 6:00	2015	1	1	6	91.535	94.299	88.928	#6	92.39	99.92	53.22
1/1/2015 7:00	2015	1	1	7	91.14	92.163	90.088	#7	93.41	99.98	52.25
1/1/2015 8:00	2015	1	1	8	90.621	92.163	89.172	#8	86.93	99.92	47.67
1/1/2015 9:00	2015	1	1	9	88.866	91.064	86.548	#9	85.38	99.92	47.36
1/1/2015 10:00	2015	1	1	10	88.675	91.553	87.097	#10	88.50	99.92	52.06
1/1/2015 11:00	2015	1	1	11	89.597	91.553	87.952	#11	90.54	99.92	51.82
1/1/2015 12:00	2015	1	1	12	92.037	93.994	89.539	#12	90.83	99.92	49.81
1/1/2015 13:00	2015	1	1	13	88.896	92.163	85.51	Total general	91.27	99.98	47.36
1/1/2015 14:00	2015	1	1	14	89.016	92.896	85.266				
1/1/2015 15:00	2015	1	1	15	86.98	92.407	81.604				
1/1/2015 16:00	2015	1	1	16	88.723	94.482	82.031				
1/1/2015 17:00	2015	1	1	17	97.816	98.609	91.919				
1/1/2015 18:00	2015	1	1	18	98.765	99.609	95.703				
1/1/2015 19:00	2015	1	1	19	93.254	97.107	88.135				
1/1/2015 20:00	2015	1	1	20	92.813	97.717	84.778				
1/1/2015 21:00	2015	1	1	21	91.097	94.482	87.769				
1/1/2015 22:00	2015	1	1	22	88.285	91.98	84.9				
1/1/2015 23:00	2015	1	1	23	92.889	95.032	89.783				
1/2/2015 0:00	2015	1	2	0	94.665	96.985	91.736				
1/2/2015 1:00	2015	1	2	1	98.031	99.487	96.863				
1/2/2015 2:00	2015	1	2	2	98.657	99.731	96.497				
1/2/2015 3:00	2015	1	2	3	97.111	98.633	94.788				

Figura 17. Formato de presentación de variables recopiladas

Fuente: (Datos proporcionados por la Dirección de Protección Ambiental, 2019)

Cabe mencionar, que estas estaciones son climatológicas principales automáticas y forman parte de la red de estaciones meteorológicas del Ecuador, por lo que, el INAMHI recibe la información a través del sistema de comunicación satelital GOES, sin embargo, es el GADPMS el ente encargado de procesar los datos, realizar el mantenimiento periódico de las estaciones y transmitir la información relevante (Dirección de Protección Ambiental Gobierno Descentralizado de Morona Santiago, 2015).

Se pueden encontrar las series originales de cada una de las variables entregadas por la Dirección de Protección Ambiental en el Anexo 4, cuyos datos tienen un tratamiento previo a la entrega de los mismos, sin embargo, existen datos faltantes en las series temporales, por lo que se necesita tratar dichos datos para rellenarlos y obtener una serie continua, para un posterior análisis dinámico.

3.6 Selección de estaciones

Estaciones meteorológicas INAMHI

Se debe considerar la distancia desde la ubicación del proyecto hacia las estaciones de interés, como se describe en la sección 2.7, en la Figura 12 se identifica un círculo con radio de 25 km. Se reconoce que la estación Macas San Isidro-Domono (M1040) se encuentra muy lejana al sitio de interés, a 35 km aproximadamente de la captación y se encuentra instalada a una altura de 1110 msnm, la estación Logroño (M0497) es la más cercana al sitio de interés (a 9.25 km aproximadamente de la captación) y se encuentra a 653msnm y la estación Mendez Inamhi (M0501) a 665msnm. Debido a la distancia de la estación Macas San Isidro-Domono (M1040) del punto de estudio y por la diferencia de altura de 457 msnm y 445 msnm con las estaciones Logroño (M0497) y Méndez Inamhi (M0501), se descarta esta estación para el presente estudio. Para el relleno de datos se selecciona la estación Logroño (M0497) debido a su cercanía con el proyecto, tiene una diferencia de altura de 12 msnm con respecto a la estación auxiliar Mendez Inamhi (M0501) y se cuenta con registros mensuales para una mayor cantidad de años.

La variable precipitación de la estación Logroño (M0497) tiene un 2.38% de datos mensuales faltantes, inferior al 25% que se menciona en la sección 2.7, y cuenta con datos de precipitación mensual total considerables, correspondientes al período 1990-2014.

No existen datos mensuales de las variables temperatura, humedad y dirección de viento en las estaciones Logroño (M0497) y Mendez Inamhi (M0501).

Estaciones hidrológicas INMAHI

Se cuenta con datos diarios y mensuales de la variable caudal de dos estaciones hidrológicas cercanas al lugar de estudio: Tutanangosa en Sucúa (H0883) y Upano DJ. Tutamangoza (H0908). La estación Tutanangosa en Sucúa (H0883) se encuentra instalada a una altura de 1572 msnm y a 8.5 km aproximadamente de la captación, mientras que la estación Upano DJ. Tutamangoza (H0908) a una altura de 559 msnm y a 10.2 km aproximadamente de la captación. Existe una diferencia de altura de

1013msnm, la cual es mayor a la presentada en la sección 2.7, de 30 msnm para utilizar el método de regresión lineal al momento de rellenar los datos faltantes.

La variable caudal de la estación Tutanangosa en Sucúa (H0883) tiene un 29.23% de datos mensuales faltantes. Se cuenta con datos correspondientes a los períodos 1990-1992, 2003 y 2011-2013. Así mismo, la estación Upano DJ. Tutamangoza (H0908) tiene un 22.03% de datos mensuales faltantes y los datos con los que se cuentan corresponden a los períodos 1990-1992 y 2003-2011. El porcentaje de datos faltantes es menor al 25% recomendado, por lo que, se podría considerar a esta estación para el relleno de datos, sin embargo, no se cuenta con una estación auxiliar apropiada, debido a que, la estación Tutanangosa en Sucúa (H0883) cuenta con un 29.23% de datos faltantes y la diferencia de altura entre dichas estaciones es mayor a 30msnm, como se recomienda en la sección 2.7.

El período más representativo para el análisis de la dinámica de la variable caudal es entre los años 2003-2011 de la estación Upano DJ. Tutamangoza (H0908) y al no ser el método de regresión lineal, el más apropiado para el relleno de datos, se trabaja con los datos diarios. La variable caudal de la estación Upano DJ. Tutamangoza (H0908) tiene un 21.79% de datos diarios faltantes de los años 2003 al 2011, menor al 25% recomendado por Campozano et al. (2014).

Estaciones meteorológicas Dirección de Protección Ambiental

Al igual que con las anteriores estaciones, se realizó un análisis de la distancia de las estaciones con respecto al punto de interés, la estación San Miguel de Conchay (M5120) se encuentra muy lejana al proyecto (53 km aproximadamente de la captación) y a una altura de 1548 msnm, como se observa en la Figura 12, la estación Copal (M0673) a una altura de 965 msnm y Shimpis (M5118) a una altura de 641 msnm. Debido a la distancia de 53 km de la estación San Miguel de Conchay (M5120) respecto al proyecto, se descarta los datos de ésta para el presente estudio. La estación Copal (M0673) cuenta solamente con datos del año 2017 y se encuentra a una distancia de 29 km aproximadamente de la captación, es por eso, que también se descarta. Se decide trabajar con la estación Shimpis (M5118) que se encuentra a una distancia de 10.2 km aproximadamente de la captación y, al no contar con una estación auxiliar para rellenar los datos, se trabajará con los datos diarios de las variables: humedad relativa y temperatura.

3.7 Relleno de datos

- **Precipitación:**

Para rellenar la serie temporal de precipitación, se utilizaron 293 datos de precipitación total mensual (mm) desde el año 1990 hasta el año 2014 de la estación a rellenar Logroño (M0497) y 243 datos de la estación auxiliar Méndez Inamhi (M0501). Se analizó y comparó la base de datos de las dos estaciones para identificar algún dato dudoso, de igual manera, se comprobó el teorema de Chebyshev, el cual indica que el 99.7% de datos de la serie estarán a no más de tres desviaciones estándar de la media, razón por la cual, se trabajó con la base original obtenida del INAMHI. En la estación Logroño (M0497) se presentaron datos de precipitación total mensual entre 4.3 mm y 408.7 mm, mientras que, en la estación auxiliar Méndez Inamhi (M0501) se presentaron datos entre 17.7 mm y 536.7 mm.

Se identificaron 7 datos faltantes, que representan el 2.38% del total de datos, menor al 25% propuesto por Campozano et al. (2014). En la Tabla 32 se muestra la estación auxiliar, la ecuación de regresión lineal obtenida (2), el coeficiente de correlación r , los datos rellenados con cada ecuación y la distancia horizontal entre la estación a rellenar y la estación auxiliar. Se analizaron las ecuaciones de manera horizontal y vertical para estimar el relleno de datos, de manera que, se obtenga un coeficiente de correlación $r > 0.5$ o entre 0.5 y 1, correspondientes a una correlación moderada y fuerte.

Tabla 32.

Ecuaciones de regresión lineal

Relleno vertical de precipitación					
Mes (Años)	Estación auxiliar	Ecuación	r	Datos rellenados	Distancia a la estación M0497
Febrero (1990-2014)	M0501	$y=0,2643x+90,145$	0,23	0	13,75
Junio (1990-2014)	M0501	$y=0,4681x+113,16$	0,60	0	13,75
Julio (1990-2014)	M0501	$y=0,493x+68,995$	0,53	0	13,75
Noviembre	M0501	$y=0,4035x+63,996$	0,70	2	13,75

(1990-2014)					
Diciembre (1990-2014)					
	M0501	$y=0,8184x+21,145$	0,72	0	13,75
Relleno horizontal de precipitación					
Año	Estación auxiliar	Ecuación	r	Datos rellenados	Distancia a la estación M0497
1990	M0501	$y=0,3709x+65,881$	0,34	0	13,75
1991	M0501	$y=1,1382x+19,197$	0,88	1	13,75
1997	M0501	$y=0,7721x+49,408$	0,39	0	13,75
1998	M0501	$y=0,5849x+67,774$	0,68	1	13,75
2004	M0501	$y=0,4623x+73,532$	0,81	1	13,75
2014	M0501	$y=0,5663x+62,109$	0,57	0	13,75

En la Figura 18, se indica un ejemplo del gráfico de dispersión de la variable precipitación del año 1991, la ecuación de regresión lineal, así como el coeficiente de correlación r , cuyo valor de 0.88 indica una correlación positiva fuerte. Las gráficas de dispersión de todos los meses y años se muestran en el Anexo 5.

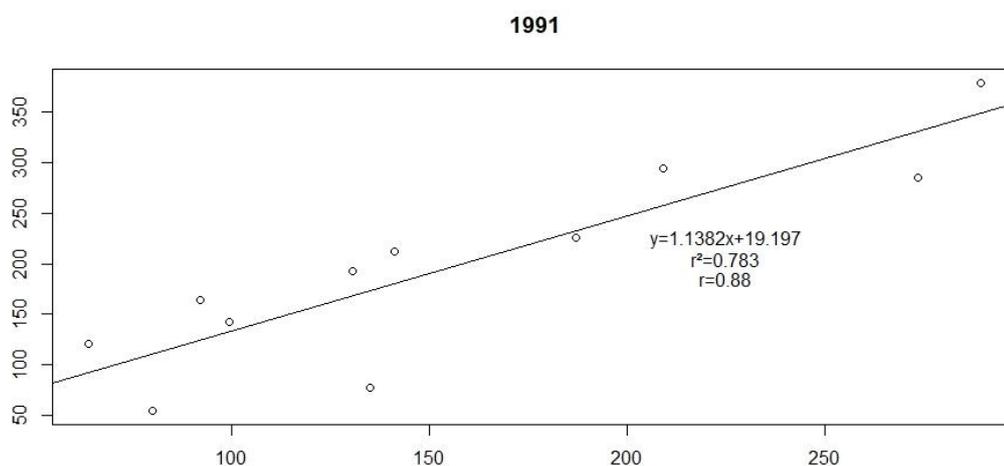


Figura 18. Gráfica de dispersión de precipitación del año 1991

En la Figura 19, se indica a) la serie original y b) la serie completa de la variable precipitación mediante el método de regresión lineal simple, utilizando la ecuación (2). Se descartó el año de 2014, debido a que, los datos faltantes de los meses de

junio y diciembre de este año, también son datos faltantes en la estación auxiliar, por lo que, finalmente se rellenó 5 datos y se tiene la serie completa del año 1990 al año 2013 con 288 datos de precipitación total mensual (mm).

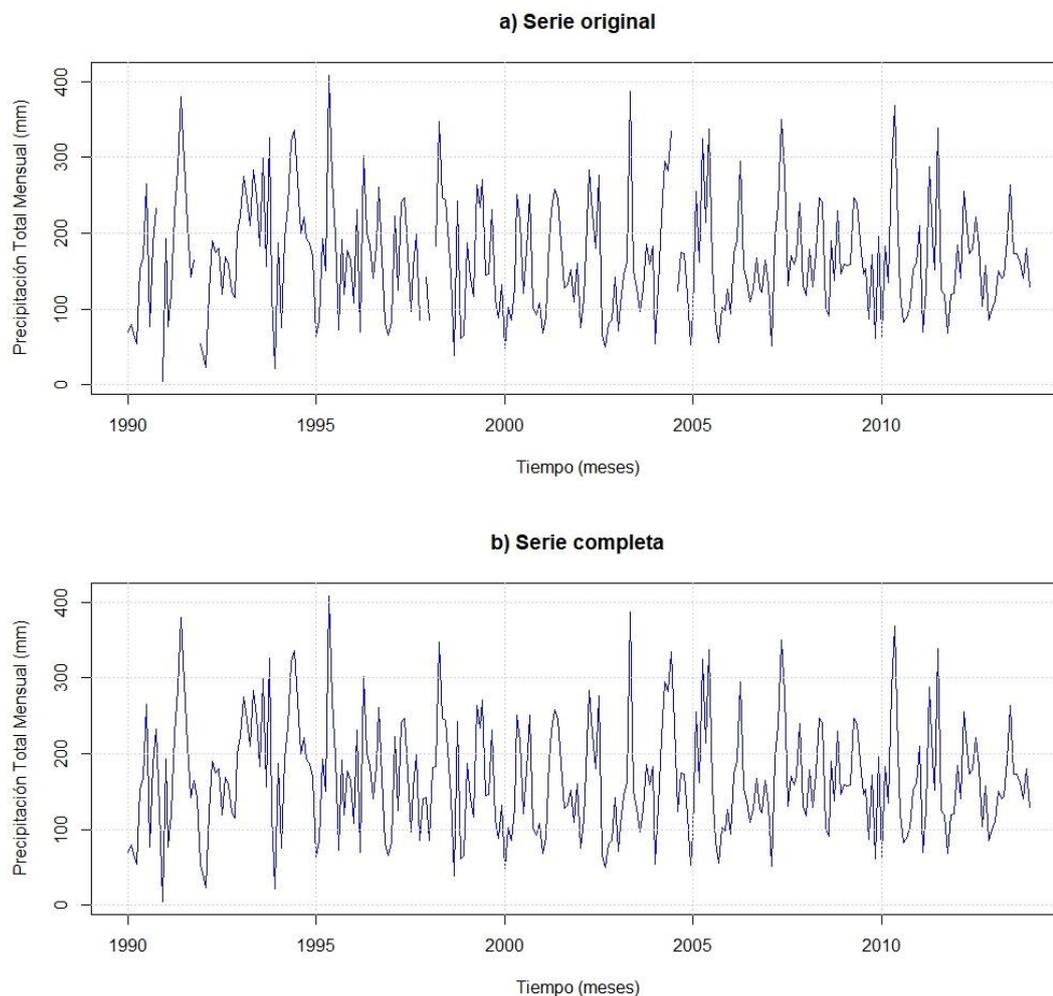


Figura 19. Serie original y completa de variable precipitación

- **Caudal:**

Para rellenar la serie temporal de caudal, se utilizaron 2657 datos de caudal medio diario (m^3/s) desde el año 2003 hasta el año 2011 de la estación Upano DJ. Tutamangoza (H0908). Se analizaron las bases de datos para identificar información falsa, se identificó que en el mes de enero del 2004 se tenía un valor de caudal de $84.9 \text{ m}^3/\text{s}$ por lo que se decidió eliminar esos valores, para rellenarlos. Se aplicó el teorema de Chebyshev, el cual menciona, que el 99.7% de datos de la serie estarán a no más de tres desviaciones estándar de la media (Anderson, Sweeney, & Williams,

2008) y se comprobó que 31 datos de caudal medio diario se encontraban fuera del rango de $805.16 \text{ m}^3/\text{s}$, valor correspondiente a tres desviaciones estándar de la media, por consiguiente, se decide eliminar estos valores, para posteriormente rellenarlos.

Se identificaron 579 datos faltantes, que representan el 21.79% del total de datos, menor al 25% propuesto por (Campozano, Sánchez, Aviles, & Samaniego, 2014). Para rellenar los datos diarios faltantes se utilizó la ecuación (3) del método del promedio diario, que calcula el valor promedio del mismo día de interés. La serie original entregada por el INAMHI contenía valores de caudal medio diario entre 16.84 y $2052.05 \text{ m}^3/\text{s}$, este último valor cambió a $803.36 \text{ m}^3/\text{s}$ debido al teorema de Chebyshev. Se obtienen los datos de caudal medio mensual (m^3/s) calculando el promedio del caudal medio diario de todos los días de cada mes, obteniendo valores entre 106.1 y $525.2 \text{ m}^3/\text{s}$. En la Figura 20 se muestra la serie completa del año 2003 al 2011 con 108 datos de la variable caudal medio mensual (m^3/s).

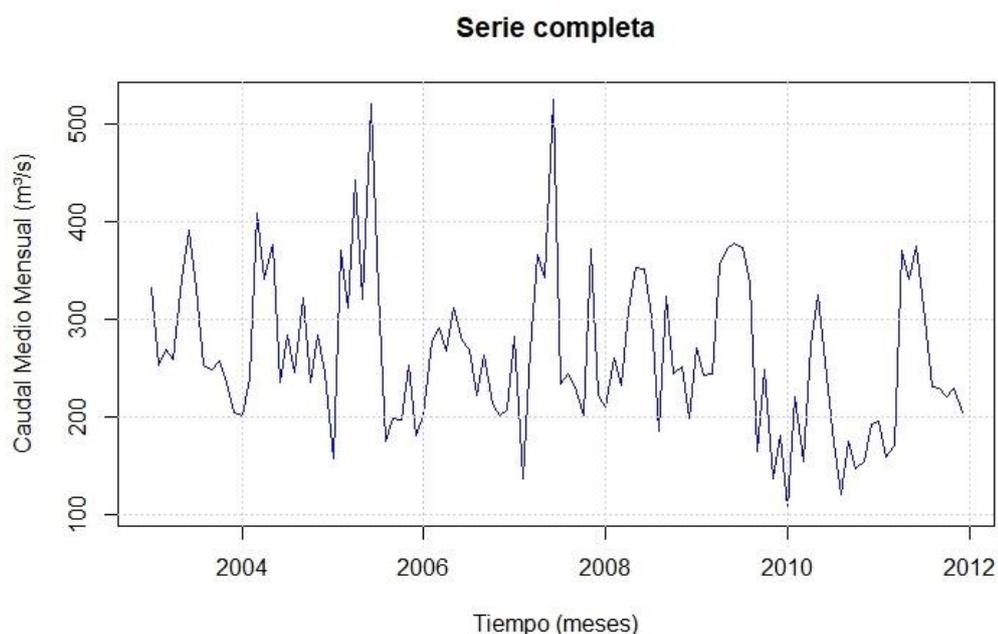


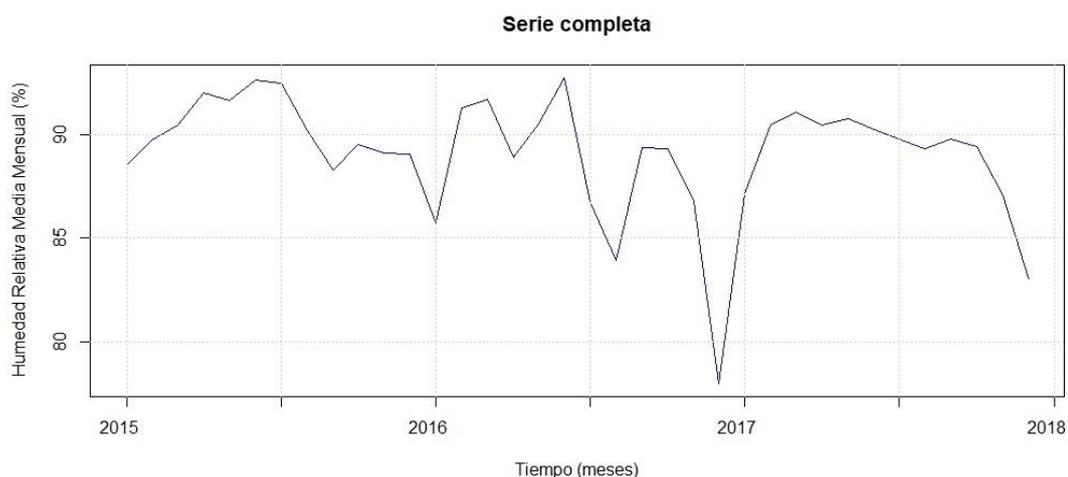
Figura 20. Serie completa de la variable caudal

- **Humedad relativa**

Para rellenar la serie temporal de humedad relativa, se utilizaron 876 datos de humedad relativa media diaria (%) desde el año 2015 hasta el año 2017 de la estación Shimpis (M5118), los cuales se obtuvieron al calcular el promedio de los datos de

humedad relativa media horaria de cada día. Se analizaron las bases de datos para identificar información falsa, se trabajó con la base original obtenida de la Dirección de Protección Ambiental de Morona Santiago. Se presentaron datos de humedad relativa media diaria (%) entre 60.41% y 98.92%.

Se identificaron 220 datos faltantes, que representa el 25% del total de datos, igual al 25% propuesto por (Campozano, Sánchez, Aviles, & Samaniego, 2014). Para rellenar los datos diarios faltantes se utilizó la ecuación (3) del método del promedio diario, que calcula el valor promedio del mismo día de interés. Se obtienen los datos de humedad relativa media mensual (%) calculando el promedio de la humedad relativa de todos los días de cada mes. En la Figura 21 se muestra la serie completa del año 2015 al 2017 con 36 datos de la variable humedad relativa media mensual (%).



Se identificaron 220 datos faltantes, que representa el 25% del total de datos, igual al 25% propuesto por (Campozano, Sánchez, Aviles, & Samaniego, 2014). Para rellenar los datos diarios faltantes se utilizó la ecuación (3) del método del promedio diario, que calcula el valor promedio del mismo día de interés. Se obtienen los datos de temperatura media mensual (°C) calculando el promedio de la temperatura de todos los días de cada mes. En la Figura 22 se muestra la serie completa del año 2015 al 2017 con 36 datos de la variable temperatura media mensual (%).

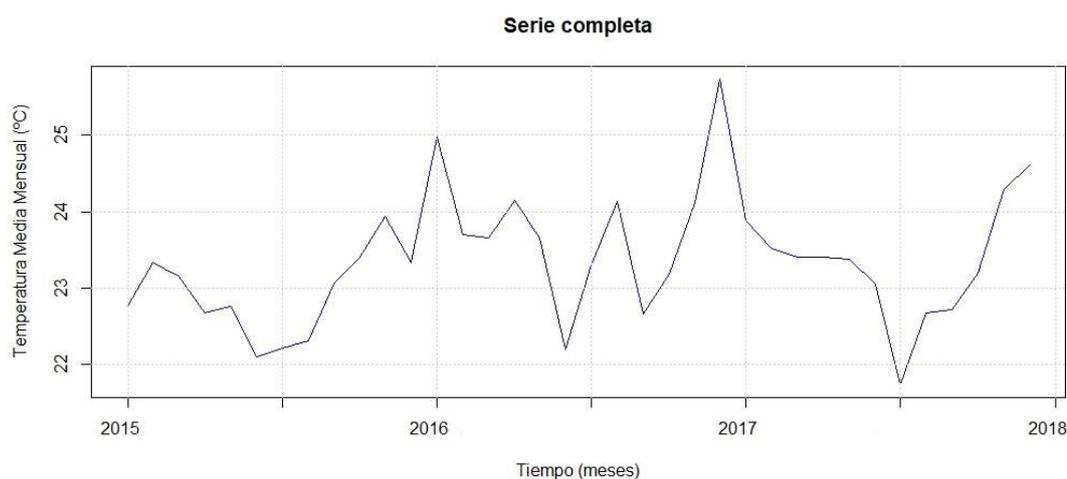


Figura 22. Serie completa de la variable temperatura

En el Anexo 6 se indican los datos de las series completas de las variables precipitación, caudal, humedad y temperatura.

3.8 Validación de datos

Los datos rellenados mediante la metodología de regresión lineal se validaron mediante test de rachas, método de curva de doble masa y t de Student (OMM, 2011) y los datos rellenados mediante la metodología del promedio diario se validaron mediante t de Student. En la Tabla 33 se muestra a) datos rellenados de forma horizontal (en negrilla) de la serie precipitación con el método de regresión lineal y los valores de mediana y b) el test de rachas de la serie rellenada para los años 1991, 1998 y 2004, el test de rachas de la serie rellenada en forma vertical se encuentra en el Anexo 7. Los valores de NS obtenidos, se encuentran en el rango aceptable recomendado para el test de rachas.

Tabla 33.*Datos rellenados y test de rachas*

a) Datos rellenados horizontalmente de la serie precipitación (mm) M0497														
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Med	
1990	70.0	78.9	66.2	54.6	153.4	168.0	264.6	76.9	185.6	232.9	125.9	4.3	102.4	
1991	192.8	76.7	120.4	225.5	285.7	379.3	294.2	211.8	142.1	163.9	141.3	54.2	178.4	
1992	43.1	22.7	121.4	190.3	174.4	180.1	118.9	168.4	159.4	121.4	115.2	200.2	140.4	
1993	223.1	275.2	245.8	209.3	283.8	249.0	183.1	299.3	155.5	326.5	119.5	22.2	234.5	
1994	187.2	75.2	192.3	236.0	321.6	335.3	270.5	200.6	221.1	192.2	187.7	169.0	196.5	
1995	64.6	84.6	192.4	150.2	408.7	271.9	195.2	72.7	192.0	119.7	177.8	164.6	171.2	
1996	107.5	231.7	69.4	302.2	201.1	184.9	140.3	183.8	260.5	169.5	80.8	65.6	176.7	
1997	82.4	222.3	124.8	241.6	246.5	174.7	96.9	154.0	198.5	85.9	141.1	142.0	148.0	
1998	85.6	181.9	183.0	347.1	246.3	244.1	205.3	143.7	39.2	243.0	61.8	66.0	182.5	
1999	187.3	141.1	116.5	263.9	233.8	270.9	145.0	145.6	231.6	112.4	88.0	132.6	145.3	
2000	48.2	102.6	85.8	127.4	250.6	217.6	120.9	179.3	251.4	101.8	92.6	108.0	114.5	
2001	67.6	89.6	191.9	229.3	258.2	244.9	187.5	127.2	132.7	151.2	109.1	160.1	155.7	
2002	75.2	114.1	178.8	283.1	226.6	179.9	276.1	66.5	49.2	80.9	85.6	141.5	127.8	
2003	70.7	106.8	144.3	162.7	387.5	150.6	127.6	97.2	125.7	185.8	159.2	183.4	147.5	
2004	53.5	130.8	221.8	294.8	282.3	335.1	238.8	123.4	173.8	173.7	117.7	52.9	173.8	
2005	95.2	254.9	162.4	324.8	214.4	336.7	157.0	83.5	55.4	101.6	97.5	126.6	141.8	
2006	94.4	173.7	190.1	294.3	155.1	137.0	110.0	127.2	168.0	128.1	122.6	165.0	146.1	
2007	132.2	50.8	195.0	236.9	350.6	279.6	129.9	170.4	158.9	172.3	240.2	130.6	171.4	
2008	117.5	178.3	129.3	174.6	246.1	241.3	100.4	91.0	189.8	137.6	229.7	145.8	160.2	
2009	158.4	158.0	159.1	246.8	239.2	189.7	146.3	153.0	86.1	171.3	61.2	196.2	158.8	
2010	63.5	182.3	134.6	283.5	369.2	203.0	120.8	82.4	88.7	102.0	151.7	161.0	143.2	
2011	210.2	70.0	126.9	287.4	191.3	152.5	339.3	124.7	118.6	67.9	119.6	120.3	125.8	
2012	184.6	140.3	254.7	205.0	173.3	178.9	220.8	183.1	103.8	157.4	84.6	99.5	176.1	
2013	111.2	151.0	140.0	143.2	191.5	263.7	173.7	173.7	161.8	140.3	180.7	129.8	156.4	
Med	94.8	135.6	151.7	236.5	246.2	229.5	165.4	144.7	159.2	145.8	119.6	131.6		
b) Test de rachas de la serie precipitación														
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	NA	NS
1991	+	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	6	4
	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0		
1998	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	6	5
	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0		
2004	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	6	5
	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0		

En la Figura 23 se muestra como ejemplo la validación de datos con el método de curva de doble masa de la variable precipitación en el año 1991, en el Anexo 8 se muestran las gráficas de curva de doble masa para los demás años y meses de la variable precipitación.

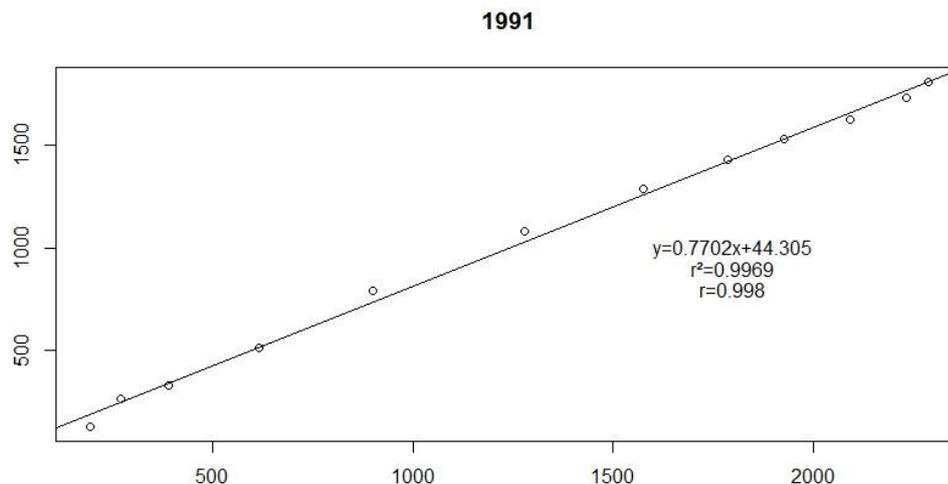


Figura 23. Curva de doble masa de la variable precipitación

En la Tabla 34 se muestra un ejemplo de la prueba de t de Student para la serie completa de la variable precipitación del mes de noviembre. Se divide la serie en dos muestras que preferentemente deben tener el mismo número de elementos, se calcula la media y varianza con la ecuación (5) de cada muestra y se calcula el valor del estadístico t con la ecuación (4). Si el valor del estadístico t se encuentra dentro de la región de aceptación, es decir, dentro del valor crítico de t (dos colas), no existen diferencias estadísticamente significativas entre las dos muestras. El valor crítico de t de dos colas se calcula con los valores de la Tabla de Distribución de t de Student que se muestra en el Anexo 1. Las tablas correspondientes a todas las variables se muestran en el Anexo 9.

Tabla 34.

Prueba t de Student del mes de noviembre de la variable precipitación

Prueba t de Student		
	Muestra 1	Muestra 2
Media	117.24	137.53
Varianza	1392.48	3221.37
Observaciones	12	
Grados de libertad	22	
Estadístico t	-1.035	
Valor crítico de t (dos colas)	±2.074	

3.9 Desestacionalización de series de tiempo

Previo a analizar la dinámica de la serie de tiempo, se debe desestacionalizar la misma. Se remueve la estacionalidad de las series propias de cada variable debido a la presencia de patrones que pueden repetirse con una periodicidad definida, lo cual, permite analizar la evolución y tendencia en el largo plazo y comprender de mejor manera las características estructurales intrínsecas de la serie (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, 2018).

3.10 Distribución de probabilidades e histograma

Para la generación de histogramas, se utilizó el programa R. La función *hist()* calcula el número de intervalos con la regla empírica de Sturges y grafica el histograma correspondiente a cada variable desestacionalizada. En la Tabla 35 se indica los intervalos de cada variable.

Tabla 35.
Intervalos de clase de histogramas

Variable	Tamaño de la muestra (x)	Número de intervalos (k)
Precipitación	288	12
Caudal	108	7
Humedad	36	6
Temperatura	36	6

Así mismo, se generaron los histogramas de cada variable completa, cuyas gráficas se presentan en el Capítulo 4.

Se genera la curva de distribución normal, con ayuda del programa R. La función *curve(dnorm())* permite obtener la gráfica correspondiente a cada variable.

En la Figura 24 se muestra: a) La serie de tiempo desestacionalizada y b) El histograma y la curva de distribución normal de la variable precipitación. En el Anexo 10 se muestran las figuras de las variables caudal, humedad y temperatura.

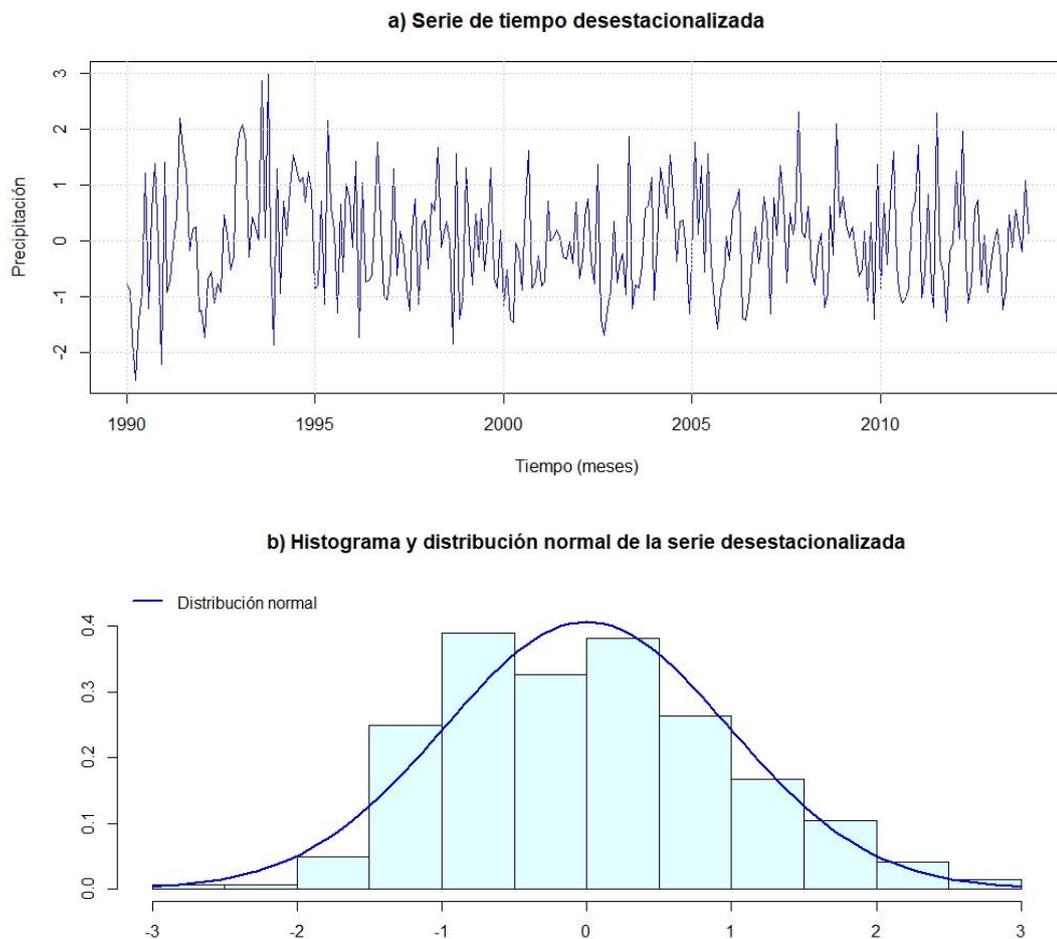


Figura 24. Serie desestacionalizada, histograma y distribución

3.11 Estimación de los parámetros de embebimiento

El método de retraso en el tiempo fue utilizado para reconstruir el espacio de fase y determinar tanto el tiempo de retraso (τ) como la dimensión inmersa (m) de las series desestacionalizadas. En cuanto al tiempo de retraso se tomó el criterio de la función de autocorrelación cuando ésta toma un valor igual a cero (Williams, 1997) y para la dimensión inmersa se empleó el método de los Falsos Vecinos Más Cercanos, la ecuación de este último método se encuentra programada en la función *fnn()* de la caja de herramientas desarrollada por el científico alemán Norbert Marwan en el año 2009, el código es libre y se lo puede encontrar en la página web: <http://tocsy.pik-potsdam.de/CRPtoolbox/>.

El algoritmo toma el valor para m cuando la proporción de falsos vecinos más cercanos se vuelve cero o suficientemente pequeño y lo seguirá siendo a partir de entonces (Krakovska, Mezeiova, & Budacova, 2015). El código utilizado para determinar la función de autocorrelación se encuentra en el Anexo 11. Los gráficos de función de autocorrelación y falsos vecinos más cercanos generados para todas las variables se encuentran en el Capítulo 4.

A continuación, en la Tabla 36 se indica el resumen de parámetros de embebimiento para cada una de las variables de estudio.

Tabla 36.
Parámetros de embebimiento

Variable	Tiempo de retraso (t)	Dimensión inmersa (m)
Precipitación	4	5
Caudal	11	3
Humedad	2	3
Temperatura	2	3

3.12 Construcción de mapas recurrentes

Los datos obtenidos anteriormente, tiempo de retraso (τ) y dimension inmersa (m), son los datos de ingreso para la herramienta *crp()* (Cross Recurrence Plot), cuyo código fue desarrollado por Norbert Marwan en el año 2009 y que se encuentra en la página web: <http://tocsy.pik-potsdam.de/CRPtoolbox/>, tal como explica su nombre, esta función permite construir una matriz de puntos llamada mapa recurrente.

Adicional a los parámetros de embebimiento, es necesario ingresar el valor de la Tasa de Recurrencia (RR), Zou y Marwan recomiendan que para RR se debe fijar un valor de 0.1, debido a que esto permite obtener una densidad óptima de puntos recurrentes (Young & Marwan, 2010). La norma que se utilizó en este estudio fue L_∞ o norma máxima, por permitir un procesamiento computacional en menor tiempo, además de medir la distancia máxima entre los componentes de dos vectores (Marwan & Kurths, 2004). Los mapas recurrentes de cada una de las variables se encuentran en el Capítulo 4.

3.13 Análisis de recurrencia cuantitativa

Para el análisis de recurrencia cualitativa o RQA, se trabajó con el parámetro de determinismo (DET) para lo cual, se utilizó la función *crqa()* de la caja de herramientas Cross Recurrence Plot Toolbox desarrollado por Norbet Marwan en el año 2009, disponible en la página web: <http://tocsy.pik-potsdam.de/CRPtoolbox/>. La función utiliza por defecto el valor de la longitud mínima de diagonales $l_{min} = 2$.

El valor de DET muestra la proporción de puntos de recurrencia que forman estructuras diagonales en el mapa recurrente. El valor de DET se encuentra dentro del intervalo de 0 a 1 y cuando el valor de DET tiende a 1, representa un largo período de ocurrencia de procesos con comportamiento dinámico similar (Marwan & Kurths, 2004). Los valores de determinismo obtenidos para cada mapa recurrente de las variables de estudio se encuentran en el Capítulo 4.

3.14 Levantamiento topográfico

Para representar gráficamente la superficie de un terreno, es necesario realizar estudios de topografía utilizando los instrumentos y técnicas apropiados para asegurar su precisión y que todos los proyectos que se desarrollen sobre la superficie sean igual de precisos (Romero, 2013).

3.14.1 Equipo topográfico

Para el desarrollo de esta actividad se utilizó equipo topográfico como estación total, prismas, trípode, GPS de precisión y herramientas varias que faciliten el trabajo de campo como estacas, martillo o combo, cinta, flexómetro, pintura.

3.14.2 Procedimiento

Debido a que no se contaban con puntos de coordenadas conocidas o mojones del IGM cercanos al proyecto, que permitan tomar una coordenada georeferenciada, se decidió utilizar un GPS de precisión para establecer una estación de referencia que sirva de base para el levantamiento.

Se debe posicionar la estación en un lugar estratégico, el cual tenga una visual que abarque la mayor extensión posible y que sirva para determinar otro punto relevante y establecer la siguiente estación.

Se realiza el levantamiento de la superficie del proyecto, considerando los accidentes geográficos, pendientes del terreno, ríos de la zona, asentamientos humanos, entre otros puntos de interés, para luego modelar la superficie mediante un software que permita procesar los datos obtenidos con la estación total (Fotografía 2).



Fotografía 2. Levantamiento topográfico

Los puntos obtenidos del levantamiento topográfico, previos a un procesamiento, se presentan en el Anexo 12.

3.15 Calidad de agua

Según el Plan de Desarrollo de la Parroquia Huambi, el recurso hídrico tiene una afectación alta por factores como la minería ilegal, la deforestación y la ganadería (Altamirano, 2015). Las aguas servidas desembocan directamente en el río Tutanangosa, sin ningún tipo de tratamiento previo.

Es necesario estudiar los parámetros de la fuente donde se va a realizar la obra de captación, tales como turbiedad, pH, coliformes totales, color, olor, dureza total,

sólidos totales disueltos, y así, darle un tratamiento adecuado para dotar de agua potable a la población de Bellavista y La Florida.

3.15.1 Toma de muestras

Se tomaron muestras de agua los días 7 de abril y 10 de mayo del 2019, de los puntos de interés para el estudio, como se indica en la Tabla 37:

Tabla 37.
Puntos de toma de muestra

Punto de interés	Zona	Coordenadas		
		x	y	z
1	Río Arapicos	813047	978742	764
2	Fuente subterránea 1	814214	9717718	707
3	Fuente subterránea 2	814288	9717856	697
4	Río Arapicos (punto de captación)	812807	9718695.3	783
5	Río Arapicos y río Tutanangosa	814491.4	9717928	637

De cada uno de los puntos de interés, se tomaron tres especímenes por cada día de muestreo. Las muestras se transportaron bajo cadena de frío a Quito, para ser analizadas en laboratorio y determinar la cantidad de coliformes totales presentes en el agua. Para la determinación de demanda química de oxígeno se tomaron muestras de agua in situ por medio de una pipeta graduada, las cuales se colocaron en el vial DQO y se almacenó para llevarlo al laboratorio en Quito. De igual forma, se realizó la medición in situ de pH, temperatura, STD y conductividad con el medidor portátil HANNA HI 9811-5 previamente calibrado en soluciones de pH conocidos. En la Fotografía 3 se presenta la medición in situ con el medidor portátil HANNA HI 9811-5 de los parámetros de pH, temperatura, STD y conductividad de una muestra en el río Arapicos.



Fotografía 3. Muestreo de calidad de agua del río Arapicos

En la Fotografía 4 se presenta el proceso de muestreo in situ de las fuentes de agua subterránea en el vial de DQO. Cabe indicar que los parámetros de pH, STD y conductividad eléctrica, fueron medidos en el sitio y corroborados en laboratorio.



Fotografía 4. Muestreo de calidad de agua de fuente subterránea

3.15.2 Determinación de parámetros de calidad de agua

En el presente proyecto se determinaron los siguientes parámetros para control de calidad de agua: turbiedad, cloro residual, color, dureza total y residuo seco, los

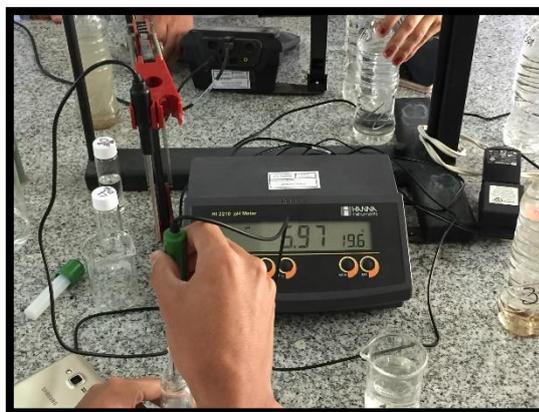
cuales se basan en las normas INEN 971, 977, 910, 974 e INEN 972 respectivamente.

Para determinar pH, sólidos totales disueltos (STD), conductividad y temperatura en campo de las muestras de agua se utilizó el medidor portátil de temperatura y pH/EC/TDS HI 9811-5, cuyas especificaciones se encuentran en el Anexo 13.

Para el recuento de coliformes se utilizó placas petrifilm, cuyo procedimiento para la preparación de la muestra y el recuento de bacterias, se encuentra detallado en el Anexo 14.

Para la determinación de demanda química de oxígeno (DQO) se utilizaron viales de digestión para DQO, la toma de muestra, preparación y procedimiento se encuentra ampliamente explicado en el Anexo 15. En el presente estudio no se midió los demás componentes químicos de la Tabla 11.

Los ensayos antes mencionados se realizaron en los laboratorios de la Universidad Central del Ecuador y Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE respectivamente (Fotografía 5 y 6).



Fotografía 5. Análisis de parámetros de calidad de agua, laboratorio UCE



Fotografía 6. Análisis de calidad de agua, laboratorio UFA ESPE

Los parámetros correspondientes a metales pesados y agroquímicos no fueron analizados, ya que este proyecto aborda la fase de prefactibilidad del estudio. En caso de que se realicen estudios definitivos del sistema de agua potable, se recomienda determinar dichos parámetros, ya que, el proyecto se encuentra en una zona agrícola y se puede presentar contaminación de las fuentes por herbicidas, fungicidas y demás productos químicos que pueden afectar gravemente la salud de la población.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados de la dinámica de series de tiempo

4.1.1 Histograma de frecuencias

En la Figura 25, se muestra el histograma de la serie de tiempo completa de la variable precipitación, generado en el software R. La serie tiene valores de precipitación total mensual entre 4.3 y 408.70 mm. El histograma cuenta con un máximo de 83 frecuencias en el intervalo de 150 a 200 mm. Según la clasificación de histogramas propuesto por (Espinosa Contreras, 2004) el histograma de la variable precipitación, corresponde a una distribución de datos aparentemente aleatoria.

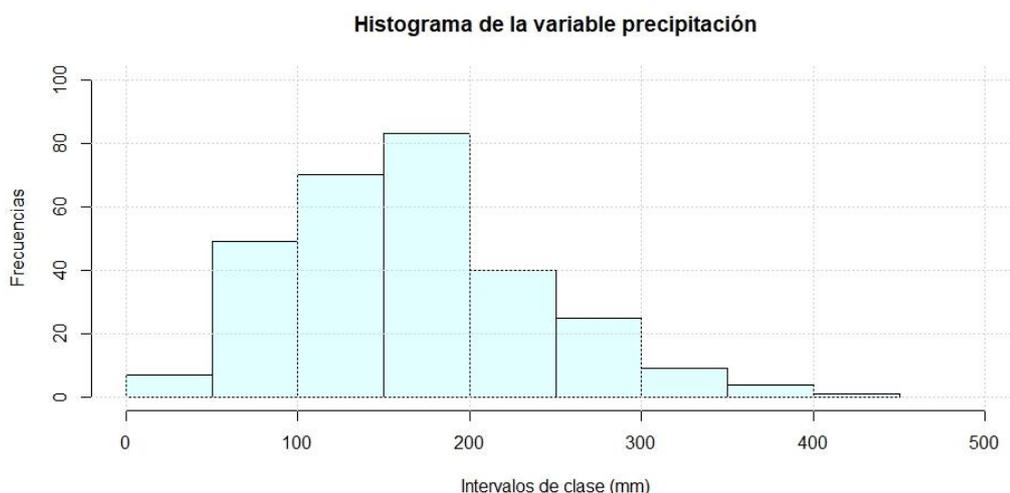


Figura 25. Histograma de la serie completa de la variable precipitación

En la Figura 26, se muestra el histograma de la serie de tiempo completa de la variable caudal, generado en el software R. La serie tiene valores de caudal medio mensual entre 106.1 y 525.2 m³/s. El histograma cuenta con un máximo de 31 frecuencias en el intervalo de 200 a 250 m³/s. Según la clasificación de histogramas propuesto por (Espinosa Contreras, 2004), el histograma de la variable caudal, corresponde a una distribución de datos aparentemente aleatoria. Se puede observar que no existen caudales medios mensuales en el intervalo de 450 a 500 mm.

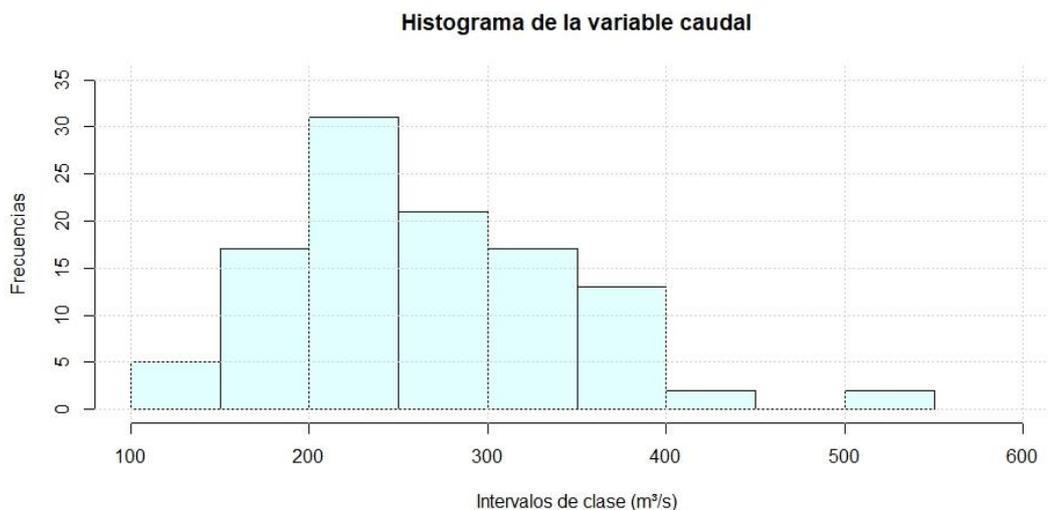


Figura 26. Histograma de la serie de tiempo completa de la variable caudal

En la Figura 27, se muestra el histograma de la serie de tiempo completa de la variable humedad, generado en el software R. La serie tiene valores de humedad relativa mensual entre 77.95 y 92.77%. El histograma cuenta con un máximo de 13 frecuencias en el intervalo de 88 a 90%. Según la clasificación de histogramas propuesto por (Espinosa Contreras, 2004), el histograma de la variable humedad, corresponde a una distribución de datos aparentemente aleatoria. Se puede observar que no existen valores de humedad relativa mensual en el intervalo de 78 a 82 %.

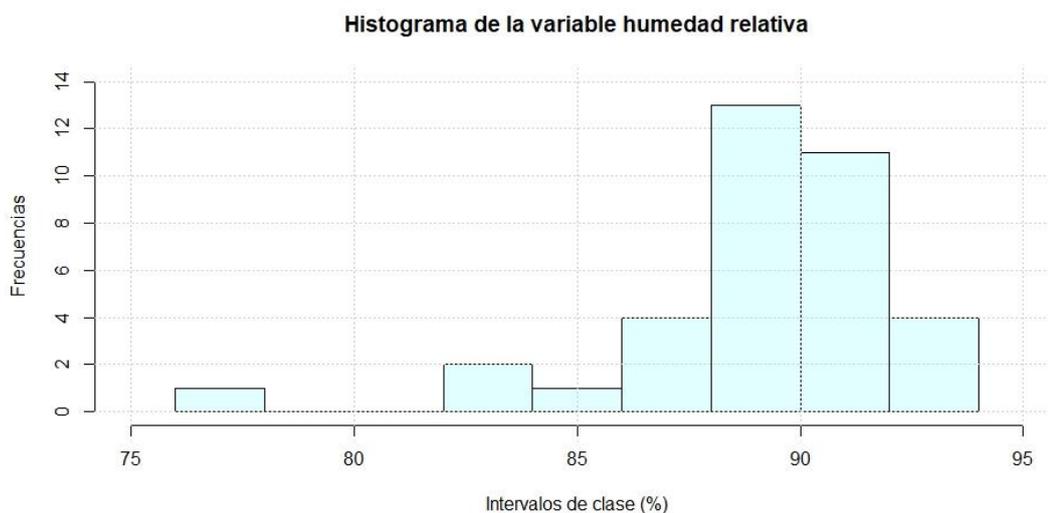


Figura 27. Histograma de la serie de tiempo completa de la variable humedad

En la Figura 28, se muestra el histograma de la serie de tiempo completa de la variable temperatura, generado en el software R. La serie tiene valores de temperatura media mensual entre 21.74 y 25.74°C. El histograma cuenta con un máximo de 12 frecuencias en el intervalo de 23 a 23.50°C. Según la clasificación de histogramas propuesto por (Espinosa Contreras, 2004), el histograma de la variable temperatura, corresponde a una distribución de datos aparentemente aleatoria. Se puede observar que no existen valores de temperatura media mensual en el intervalo de 25 a 25.50°C.

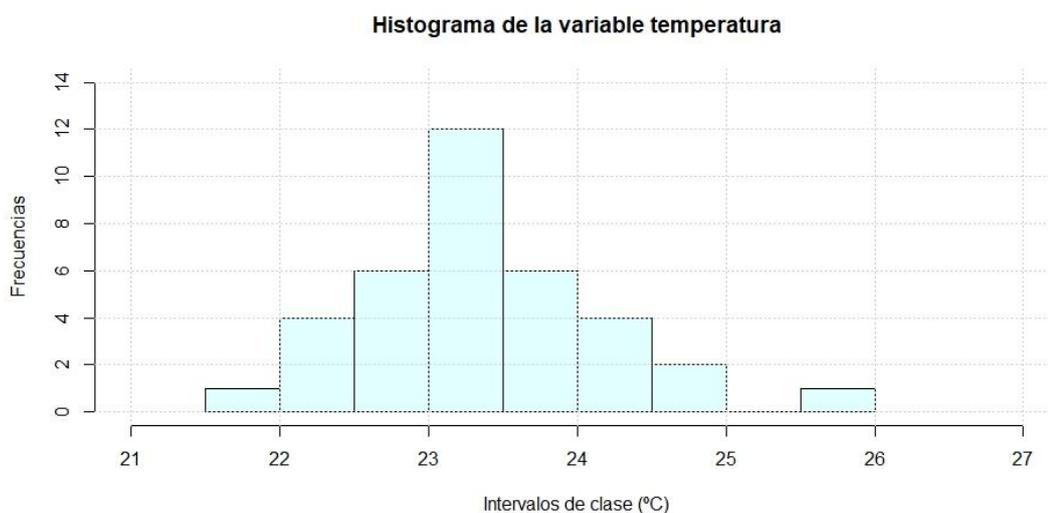


Figura 28. Histograma de la serie de tiempo de la variable temperatura

La clasificación de histogramas propuesto por (Espinosa Contreras, 2004) es un método visual para la caracterización preliminar de las series de tiempo. En los histogramas de las series temporales de las variables precipitación, caudal, humedad y temperatura no se identifican formas parecidas a fractales como tendencia de caos, por el contrario, la distribución de los histogramas corresponde a un comportamiento aparentemente aleatorio.

4.1.2 Función de autocorrelación

El tiempo de retraso es apropiado cuando la función de autocorrelación toma el valor de cero, lo que significa que se minimiza la correlación lineal entre los componentes, sin embargo, esto no significa que sean independientes (Marwan & Kurths, 2004).

En la Figura 29 se indica la gráfica de función de autocorrelación de la variable precipitación, representada por una línea color naranja, en la cual se observa que la función toma el valor de cero en un tiempo de retraso (τ) de 4.

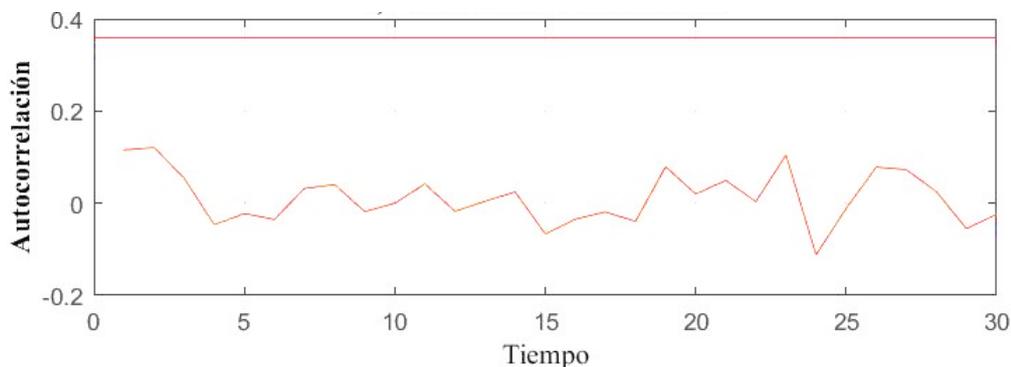


Figura 29. Función de Autocorrelación de la variable precipitación

En la Figura 30 se indica la gráfica de función de autocorrelación de la variable caudal, representada por una línea color naranja. Se puede apreciar que la función toma el valor de cero en un tiempo de retraso (τ) de 11.

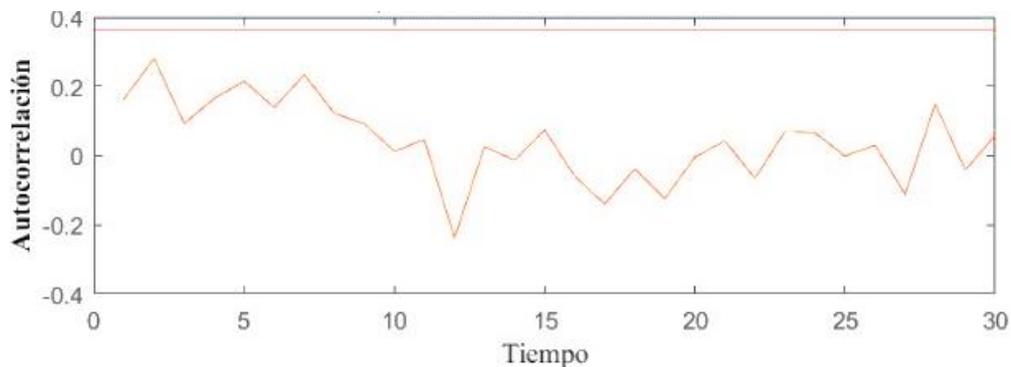


Figura 30. Función de Autocorrelación de la variable caudal

En la Figura 31 se indica la gráfica de función de autocorrelación de la variable humedad, representada por una línea color naranja, la cual toma el valor de cero en un tiempo de retraso (τ) de 2.

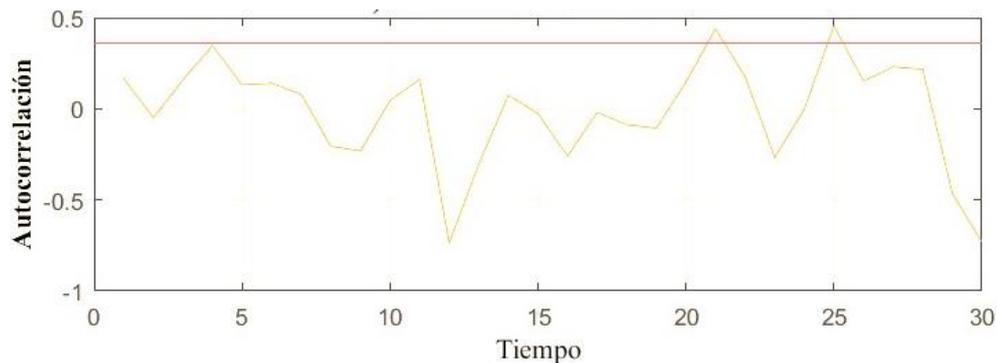


Figura 31. Función de Autocorrelación de la variable humedad

A continuación, en la Figura 32 se indica la gráfica de función de autocorrelación, representada por una línea tomate, de la variable temperatura, en la que se observa que la función toma el valor de cero en un tiempo de retraso (τ) de 2.

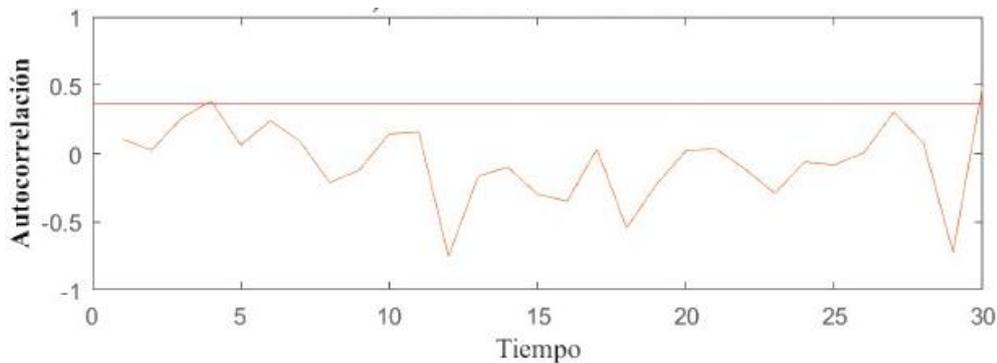


Figura 32. Función de Autocorrelación de la variable temperatura

4.1.3 Falsos vecinos más cercanos

En la Figura 33 se indica la gráfica de falsos vecinos más cercanos o FNN de la variable precipitación, representada por una línea azul. Se puede apreciar que la proporción de falsos vecinos más cercanos se vuelve cero cuando la dimensión inmersa (m) es 5, lo que significa que esta dimensión es la óptima porque los falsos vecinos más cercanos han desaparecido.

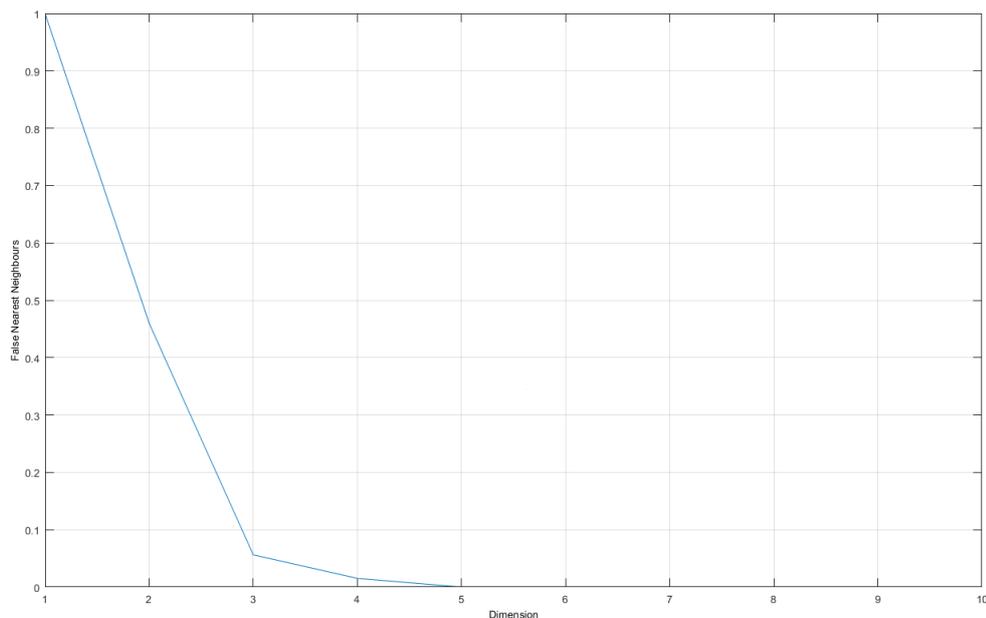


Figura 33. Falsos vecinos más cercanos de la variable precipitación

En la Figura 34 se indica la gráfica de falsos vecinos más cercanos o FNN de la variable caudal, representada por una línea azul. Se puede apreciar que la proporción de falsos vecinos más cercanos se vuelve cero cuando la dimensión inmersa (m) es 3, lo que significa que esta dimensión es la óptima porque los falsos vecinos más cercanos han desaparecido.

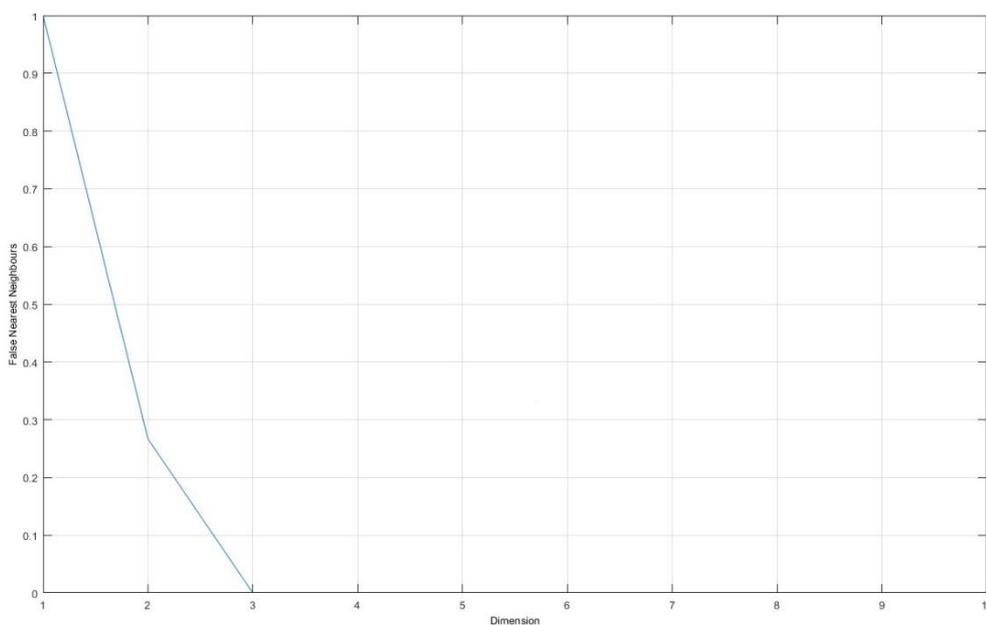


Figura 34. Falsos vecinos más cercanos de la variable caudal

En la Figura 35 se indica la gráfica de falsos vecinos más cercanos o FNN, representada por una línea azul, de la variable humedad. Se puede apreciar que la proporción de falsos vecinos más cercanos se vuelve cero cuando la dimensión inmersa (m) es 3, lo que significa que esta dimensión es la óptima porque los falsos vecinos más cercanos han desaparecido.

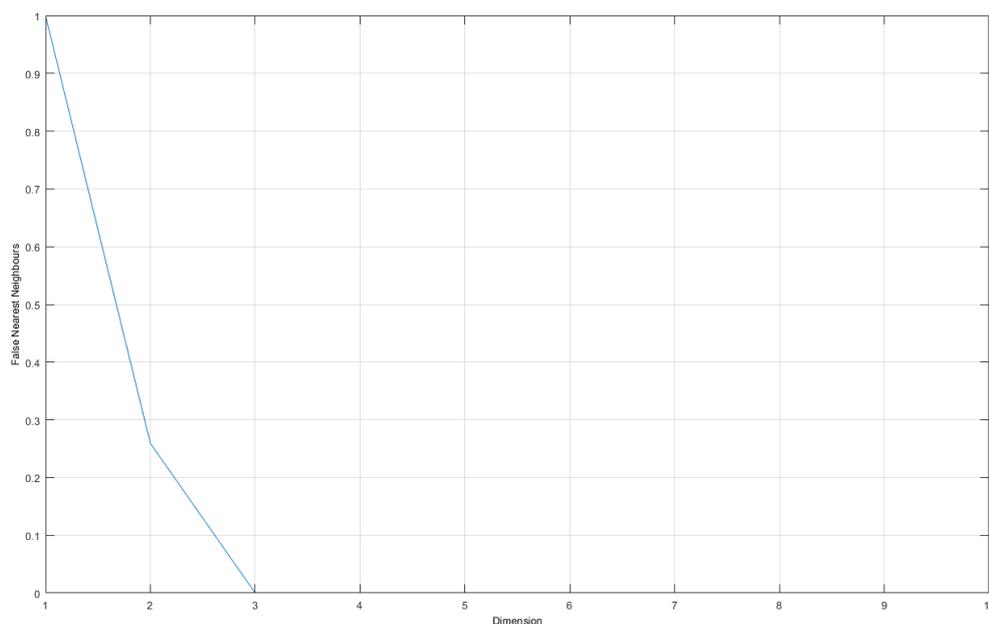


Figura 35. Falsos vecinos más cercanos de la variable humedad

En la Figura 36 se indica la gráfica de falsos vecinos más cercanos o FNN, representada por una línea azul, de la variable temperatura. Se puede apreciar que la proporción de falsos vecinos más cercanos se vuelve cero cuando la dimensión inmersa (m) es 3, lo que significa que esta dimensión es la óptima porque los falsos vecinos más cercanos han desaparecido.

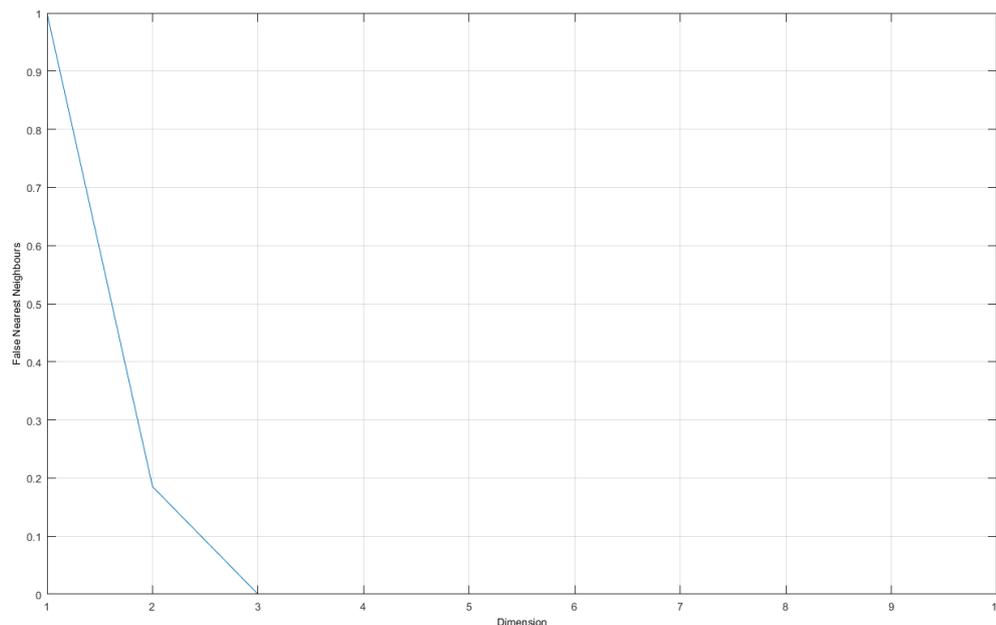


Figura 36. Falsos vecinos más cercanos de la variable temperatura

4.1.4 Mapas recurrentes

En la Figura 37 se indica el mapa recurrente de la variable precipitación, obtenido a partir de los parámetros de embebimiento. Se pueden distinguir desvanecimientos o interrupciones de color blanco en ciertas zonas y líneas diagonales paralelas a la diagonal principal. En la Figura 37 a), se observa un primer acercamiento del mapa recurrente donde se distingue desvanecimientos correspondientes al período de 1998 al 2003 y puntos aislados, en b) se observa un segundo acercamiento donde se distingue líneas diagonales horizontales paralelas a la diagonal principal y en c) se observa un tercer acercamiento donde se distinguen líneas horizontales y verticales. Según la clasificación propuesta por (Espinosa Contreras, 2004), el mapa recurrente de la variable precipitación corresponde aparentemente a datos aleatorios, sin embargo, no se tienen franjas blancas bien identificadas.

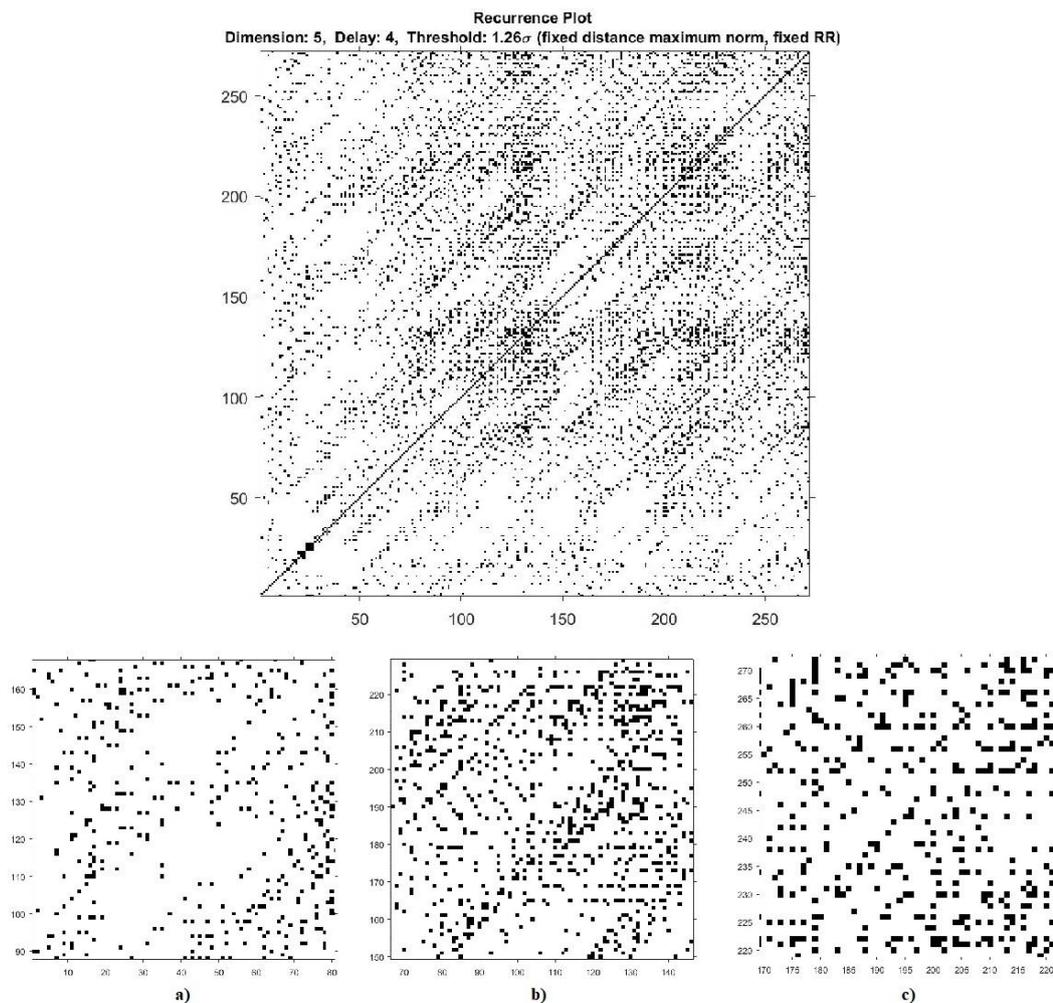


Figura 37. Mapa recurrente de la variable precipitación

En la Figura 38, se indica el mapa recurrente de la variable caudal, obtenido a partir de los parámetros de embebimiento de la Tabla 31. Se pueden distinguir interrupciones o bandas blancas, líneas horizontales y verticales. Según la clasificación propuesta por (Espinosa Contreras, 2004), el mapa recurrente de la variable caudal, corresponde aparentemente a datos aleatorios.

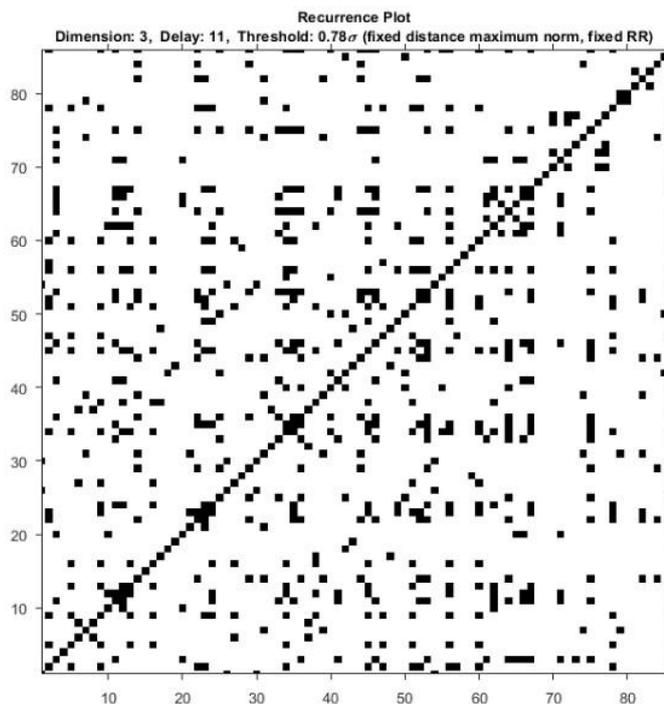


Figura 38. Mapa recurrente de la variable caudal

En la Figura 39, se indica el mapa recurrente de la variable humedad, obtenido a partir de los parámetros de embebimiento de la Tabla 36. Se pueden distinguir grandes bandas blancas, puntos aislados, líneas horizontales y verticales. El mapa recurrente de la variable humedad, no corresponde a ninguno de los mapas según la clasificación propuesta por (Espinosa Contreras, 2004), debido a que, se identifican varios patrones dispersos y gran parte del mapa recurrente tiene áreas blancas.

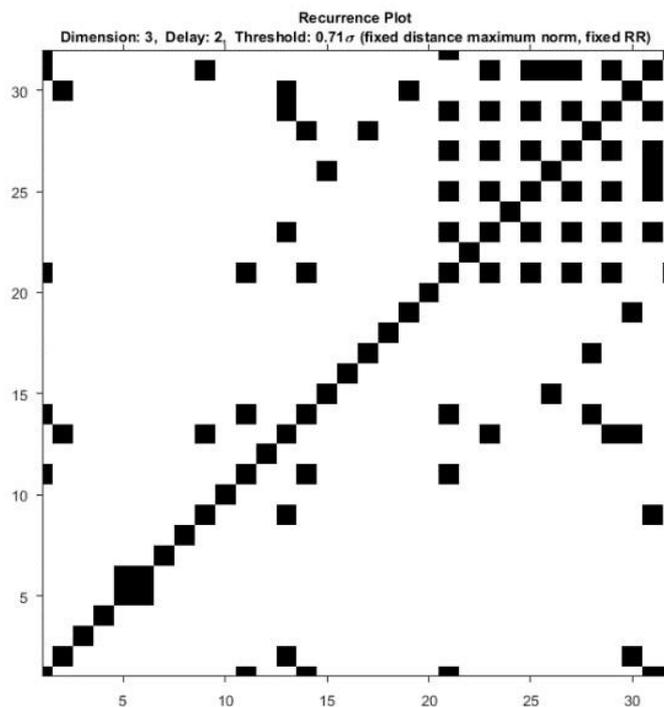


Figura 39. Mapa recurrente de la variable humedad

En la Figura 40, se indica el mapa recurrente de la variable temperatura, obtenido a partir de los parámetros de embebimiento de la Tabla 36. Se pueden distinguir grandes bandas blancas, puntos aislados, líneas horizontales y verticales. El mapa recurrente de la variable temperatura, no corresponde a ninguno de los mapas según la clasificación propuesta por (Espinosa Contreras, 2004), debido a que, se identifican varios patrones dispersos y gran parte del mapa recurrente tiene áreas blancas.

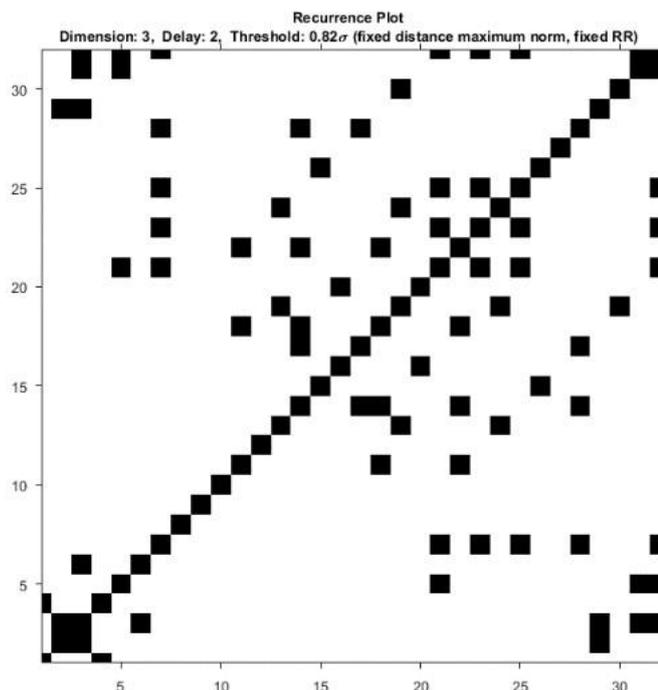


Figura 40. Mapa recurrente de la variable temperatura

La cantidad de patrones que se visualizan en un mapa recurrente se relaciona con el número de datos de la serie, es por ello, que al contar con 388 datos de precipitación total mensual correspondientes al período 1990 a 2013, se distinguen varios patrones en el mapa recurrente de la variable precipitación, tales como, desvanecimientos, puntos aislados, líneas diagonales, horizontales y verticales, presentado en la Figura 37.

En el mapa recurrente de la variable caudal, presentado en la Figura 38, se distinguen patrones como bandas blancas, líneas horizontales y verticales. Existen menos patrones en este mapa recurrente, debido a que, se cuenta con 108 datos de caudal medio mensual correspondientes al período 2003 al 2011. Según la clasificación propuesta por (Espinosa Contreras, 2004), las series de tiempo de las variables precipitación y caudal corresponden aparentemente a datos aleatorios, dado que, se tiene una distribución uniforme de colores.

En los mapas recurrentes, tanto de la variable humedad, como de la variable temperatura, en las Figuras 39 y 40 respectivamente, no se distinguen patrones de la clasificación propuesta por (Espinosa Contreras, 2004), porque se cuenta con 36 datos de humedad relativa mensual y 36 de temperatura media mensual, es así, que

no se puede identificar el comportamiento de esas variables con los mapas recurrentes generados por el escaso número de datos de ambas series.

Los histogramas y mapas recurrentes son herramientas de análisis no lineal de las series de tiempo que permiten analizar de manera visual las mismas, dejando al criterio del observador la identificación de patrones, por ello, se dificulta llegar a una conclusión que permita determinar la dinámica de las series de tiempo. En los mapas recurrentes de series de tiempo con escaso número de datos no se identifican patrones que ayuden a determinar la dinámica de las variables. Por estas razones, se necesita un método cuantitativo como el determinismo para detectar cambios en el comportamiento de las variables y explicar de una manera asertiva la dinámica de las series de tiempo.

4.1.5 Recurrencia cuantitativa

En la Figura 41, se muestra el valor de determinismo que se obtuvo de la serie de precipitación, que corresponde a $DET_{(precipitación)}=0,2013$, cuando el valor de DET tiende a 1, representa un largo período de ocurrencia de procesos con comportamiento dinámico similar, en este caso, la serie de precipitación no presenta un largo período de ocurrencia, es decir, no es una serie determinista.

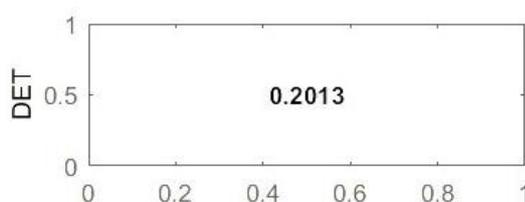


Figura 41. Recurrencia cuantitativa de la variable precipitación

En la Figura 42, se muestra el valor de determinismo que se obtuvo de la serie de caudal, que corresponde a $DET_{(caudal)}=0,1810$, cuando el valor de DET tiende a 1, representa un largo período de ocurrencia de procesos con comportamiento dinámico similar, en este caso, la serie de caudal no presenta un largo período de ocurrencia, es decir, no es una serie determinista.

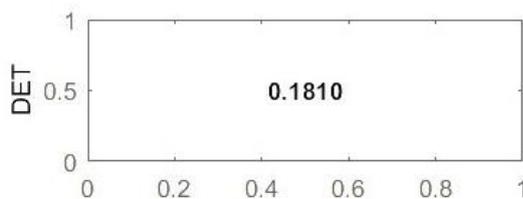


Figura 42. Recurrencia cuantitativa de la variable caudal

En la Figura 43, se muestra el valor de determinismo que se obtuvo de la serie de humedad, que corresponde a $DET_{(humedad)}=0,00$, cuando el valor de DET tiende a 1, representa un largo período de ocurrencia de procesos con comportamiento dinámico similar, en este caso, la serie de humedad no presenta un largo período de ocurrencia, es decir, no es una serie determinista.

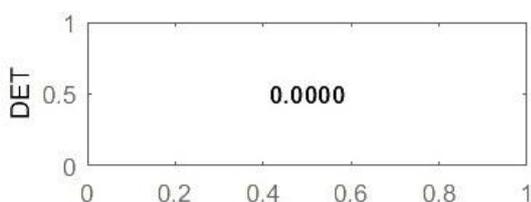


Figura 43. Recurrencia cuantitativa de la variable humedad

En la Figura 44, se muestra el valor de determinismo que se obtuvo de la serie de temperatura, que corresponde a $DET_{(temperatura)}=0,00$, cuando el valor de DET tiende a 1, representa un largo período de ocurrencia de procesos con comportamiento dinámico similar, en este caso, la serie de temperatura no presenta un largo período de ocurrencia, es decir, no es una serie determinista.

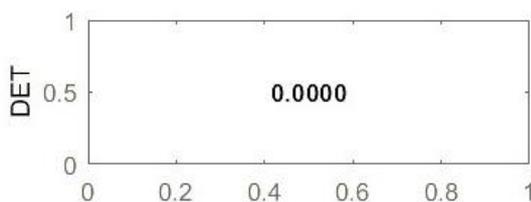


Figura 44. Recurrencia cuantitativa de la variable temperatura

Mediante el análisis visual de los mapas recurrentes de las variables precipitación y caudal, según la clasificación de (Espinosa Contreras, 2004), estos corresponden a datos aleatorios y mediante el análisis cuantitativo del determinismo, se dice que no

son series de tiempo deterministas, sin embargo, presentan cierta tendencia en su comportamiento, debido a que se obtuvo un valor de determinismo bajo pero mayor a cero, es decir, no se lo puede clasificar estrictamente como un comportamiento aleatorio, ya que muestra indicios de caos.

Las series de datos de las variables humedad y temperatura no presentan patrones de la clasificación propuesta por (Espinosa Contreras, 2004) y esto se corrobora con el análisis cuantitativo del determinismo, ya que, se obtuvo valores iguales a cero, por ello, se puede decir que estas series de tiempo no son deterministas. Sin embargo, se puede atribuir este comportamiento al escaso número de datos de las series.

4.2 Análisis de resultados para el diseño hidráulico

4.2.1 Bases de diseño

4.2.1.1 Población actual

Para el diseño del sistema de agua potable, se debe conocer la población actual tanto de la parroquia Huambi, como de las comunidades Bellavista y La Florida. En la Tabla 38 se indican los datos poblacionales de la parroquia Huambi correspondientes a los censos de los años 1990, 2001 y 2010, además de las proyecciones para los años 2019 y 2030 indicados en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia Huambi (Altamirano, 2015). Se puede evidenciar un decremento en la población, que pasó de 2634 en 1990 a 2546 en 2001, de modo que, no se consideró población flotante.

Tabla 38.

Población de la parroquia Huambi

	Año	Lugar	Población
Censo	1990	Parroquia Huambi	2634
Censo	2001	Parroquia Huambi	2546
Censo	2010	Parroquia Huambi	2891
Proyección	2019	Parroquia Huambi	3675
Proyección	2030	Parroquia Huambi	4925

En la Tabla 39 se indican los datos poblacionales de las comunidades Bellavista y La Florida.

Tabla 39.
Población de las comunidades Bellavista y La Florida

	Año	Lugar	Población	Porcentaje
Censo	2010	Comunidad Bellavista	82	2.84%
Proyección	2019	Comunidad Bellavista	104	2.84%
Censo	2010	Comunidad La Florida	-	-
Comunicación verbal	2019	Comunidad La Florida	25	0.68%
(Warlet, 2019)	2019	Huambi Ayamtai	300	

Para la población actual se considera a la población de las comunidades Bellavista y La Florida, según los valores de la Tabla 39:

$$Pa = 104 + 25$$

$$Pa = 129 \text{ hab}$$

4.2.1.2 Población futura

Para la población futura, se tomó en consideración el método geométrico, con una tasa de crecimiento de 1.5% correspondiente a la Amazonía y un período de diseño de 20 años.

$$Pf = Pa * (1 + r)^n$$

$$Pf = 129 * \left(1 + \frac{1.5}{100}\right)^{20}$$

$$Pf = 129 * \left(1 + \frac{1.5}{100}\right)^{20}$$

$$Pf = 173.74 \approx 174 \text{ hab}$$

Se debe considerar que no puede ser mayor a 1.25 veces la población actual (Norma CO 10.7-602).

$$Pf = 1.25 * Pa$$

$$Pf = 1.25 * 129$$

$$Pf = 161.25 \approx 162 \text{ hab}$$

Se toma el menor valor calculado y se adiciona la proyección de 300 habitantes, cuyo valor fue expuesto por (Warlet, 2019) propietario de un lote en la comunidad Bellavista, donde se pretende construir un complejo ecoturístico denominado Huambi Ayantai.

$$Pf = 162 + 300$$

$$Pf = 462 \text{ hab}$$

En la Tabla 40 se indica el resumen de cálculo de población futura mediante el método geométrico.

Tabla 40.
Población futura con método geométrico

Método geométrico		
Parámetro	Cantidad	Unidad
n	20	años
r	1.5	%
Pa	129	habitantes
Pf	174	habitantes
Pf	162	habitantes
Pf	462	habitantes

Según el Plan de Desarrollo de la Parroquia Huambi, existe migración hacia países como Estados Unidos, España y destinos dentro de la provincia de Morona Santiago (Altamirano, 2015), otra razón por la cual no se consideró población flotante.

En la Fotografía 7 se presenta la entrevista con el señor Philippe Warlet y la socialización del proyecto con la comunidad.



Fotografía 7. Recopilación de datos de población

Adicionalmente, se consideró la densidad demográfica (d) de 14hab/km², que se presenta en el Plan de Desarrollo de la Parroquia Huambi y el área a servir de 1.38 km² que comprende las comunidades de Bellavista y La Florida, para calcular la población de saturación:

$$Pd = A * d$$

$$Pd = 1.38 * 14$$

$$Pd = 19.32 \approx 20 \text{ hab}$$

En la Tabla 41 se indica el resumen del cálculo de la población de saturación.

Tabla 41.

Población de saturación

Población de saturación		
Parámetro	Cantidad	Unidad
A	1.38	km ²
d	14	hab/km ²
Pd	20	habitantes

La población de saturación es menor a la población futura, por lo que esta última se consideró como la población de diseño.

4.2.1.3 Nivel de servicio, dotación y porcentaje de fugas

Se consideró un nivel de servicio IIB con conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa, se adoptó la dotación de agua potable de 100 l/hab*día considerando clima cálido y el porcentaje de fugas de 20%, como se indica en la Tabla 42.

Tabla 42.

Dotación de agua

Nivel de servicio	IIB	
Dotación	100	l/hab*día
Fugas	20	%

4.2.1.4 Variaciones de consumo

Se calculó el caudal medio anual, máximo diario y máximo horario, valores presentados a continuación.

- **Caudal medio anual**

$$Q_m = f * (P * D) / 86400$$

$$Q_m = 1.20 * (462 * 100) / 86400$$

$$Q_m = 0.642 \text{ l/s}$$

- **Caudal máximo diario**

$$Q_{MD} = K_{MD} * Q_m$$

$$Q_{MD} = 1.25 * 0.642$$

$$Q_{MD} = 0.802 \text{ l/s}$$

- **Caudal máximo horario**

$$Q_{MH} = K_{MH} * Q_m$$

$$Q_{MH} = 3 * 0.642$$

$$Q_{MH} = 1.925 \text{ l/s}$$

En la Tabla 43 se presenta el resumen del cálculo las variaciones de consumo:

Tabla 43.*Variaciones de consumo*

Caudal	Cantidad	Unidad
Qm	0.642	l/s
QMD	0.802	l/s
QMH	1.925	l/s

4.2.1.5 Aforo de la fuente

Se realizó el aforo de las fuentes subterráneas y del río Arapicos con los métodos volumétrico y del flotador respectivamente, explicados por (Bello & Pino, 2000). Para determinar el caudal con el que se cuenta, se tomaron simultáneamente varias medidas, y se calculó el promedio para obtener un dato más aproximado y fiable. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 44 y 45.

Tabla 44.*Caudal de fuentes subterráneas en época de lluvia*

Fecha: 7 de abril de 2019			
Fuente subterránea 1		Fuente subterránea 2	
Volumen (l)	Tiempo (s)	Volumen (l)	Tiempo (s)
9.6	145.5	9.3	40.2
9.6	147.3	9.3	41.3
9.6	152.1	9.3	42.7
Promedio	148.3	Promedio	41.4
Caudal (l/s)	0.065	Caudal (l/s)	0.225

Tabla 45.*Caudal del río Arapicos en época de lluvia*

Fecha: 7 de abril de 2019	
Río Arapicos	
Distancia (m)	Tiempo (s)
2.40	11.4
2.40	10.2
2.40	9.5
Promedio	10.4

Velocidad (m/s)	0.232
Área (m²)	0.4737
Caudal (m³/s)	0.110
Caudal (l/s)	109.70

Se puede apreciar en la Fotografía 8 la toma de muestras y el aforo de la fuente subterránea 1 y en la Fotografía 9 se observa lo propio para el caso de la fuente subterránea 2.



Fotografía 8. Fuente subterránea 1



Fotografía 9. Fuente subterránea 2

En la Fotografía 10 se presenta el río Arapicos.



Fotografía 10. Río Arapicos

4.2.2 Parámetros físico morfométricos de la cuenca del río Arapicos

En la Figura 45 se observa la delimitación de la cuenca del río Arapicos. Se debe conocer los parámetros físico-morfométricos de dicha cuenca, para determinar la oferta de agua, los cuales se indican en la Tabla 46. Según la clasificación de cuencas por área propuesta por (Sánchez Vélez & Palma Trujano, 2003), se denomina a la cuenca del río Arapicos, como microcuenca.

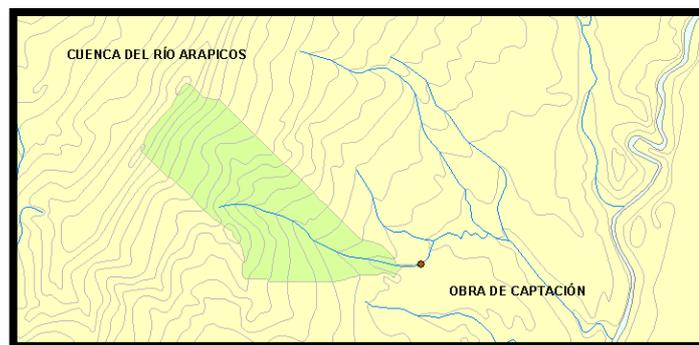


Figura 45. Cuenca del Río Arapicos

Tabla 46.
Parámetros físico-morfométricos de la cuenca del río Arapicos

Cuenca	A	P	Lr	L	Cotas (msnm)		Ir	Ic	Ip	Tc
	km ²	km	km	km	Sup	Inf	%	-	%	horas
Arapicos	1.7	6.6	1.844	1.8	1448	774.16	16.598	1.43	3.12	0.424

4.2.3 Curva de duración de la estación H908

La cuenca del río Arapicos, no se encuentra dentro del registro de datos hidrológicos del INAMHI, ya que es una microcuenca estudiada para este proyecto en específico, es por ello, que se requieren datos de apoyo de una cuenca conocida. Se pueden relacionar los datos de la cuenca de la EHA Upano Dj Tutamangoza (H908) con la cuenca del río Arapicos mediante la curva de duración de caudales, ambas pertenecen al sistema hidrográfico del río Tutanangosa.

Se parte de los caudales medios diarios de la estación H908, aplicando la metodología propuesta por (Sandoval, 2018), se construye la curva teórica.

4.2.3.1 Curva empírica

A partir de los 3287 datos de caudales medios diarios, de la estación Upano Dj Tutamangoza H908, ordenados de mayor a menor, se procede a calcular la probabilidad (p%). Se construye la gráfica, que se indica en la Figura 46, colocando en las abscisas la probabilidad y en las ordenadas los caudales expresados en m³/s.

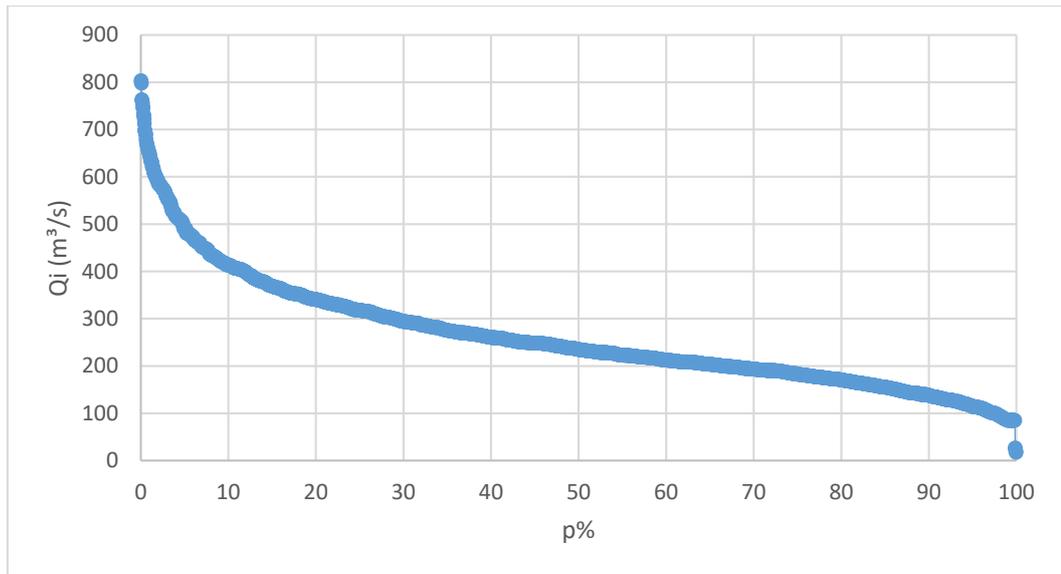


Figura 46. Curva de duración de caudales empírica de la estación H908

4.2.3.2 Curva teórica

Se parte del cálculo de la media aritmética de la serie de caudales medios diarios:

$$Q_m = \frac{\sum_1^N Q_i}{N}$$

$$Q_m = \frac{857153.81}{3287}$$

$$Q_m = 260.77 \text{ m}^3/\text{s}$$

Se calcula el coeficiente de variación:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_1^N \left(\frac{Q_i}{Q_m} - 1\right)^2}{N}}$$

$$C_v = \sqrt{\frac{653.89}{3287}}$$

$$C_v = 0.45$$

A continuación, se calcula el coeficiente de asimetría:

$$C_s = \frac{\sum_1^N \left(\frac{Q_i}{Q_m} - 1 \right)^3}{N * C_v^3}$$

$$C_s = \frac{368.35}{3287 * 0.45^3}$$

$$C_s = 1.26$$

Con los datos antes calculados, se procede a construir la curva teórica, que se muestra en la Figura 47. Se toma el valor de la función de la distribución Pearson tipo III ($F_{p\%}$) para $C_s = 1.3$, se calcula el coeficiente para cada probabilidad $K_{p\%}$ y el caudal correspondiente, cuyos valores se indican en la Tabla 47.

Tabla 47.

Probabilidades para construir la curva teórica

p%	Fp%	Kp%	Qp%
0.01	6.64	3.96	1033.06
0.1	4.95	3.21	836.50
0.5	3.78	2.69	700.42
1	3.21	2.43	634.12
3	2.34	2.04	532.93
5	1.92	1.86	484.08
10	1.34	1.60	416.62
20	0.72	1.32	344.51
25	0.51	1.23	320.09
30	0.33	1.15	299.15
40	0.04	1.02	265.42
50	-0.21	0.91	236.35
60	-0.43	0.81	210.76
70	-0.63	0.72	187.50
75	-0.74	0.67	174.70
80	-0.84	0.63	163.07
90	-1.06	0.53	137.48
95	-1.2	0.46	121.20
97	-1.28	0.43	111.90
99	-1.38	0.38	100.27
99.9	-1.48	0.34	88.63

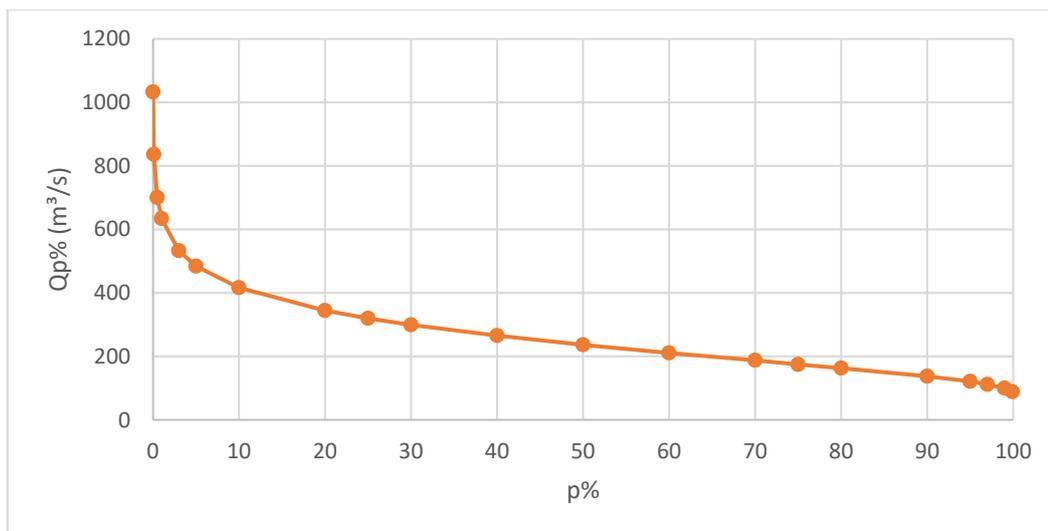


Figura 47. Curva de duración de caudales teórica de la estación H908

Debido al número de datos de caudal medio diario con los que se cuenta (N=3287), ambas curvas coinciden ampliamente, como se puede evidenciar en la Figura 48.

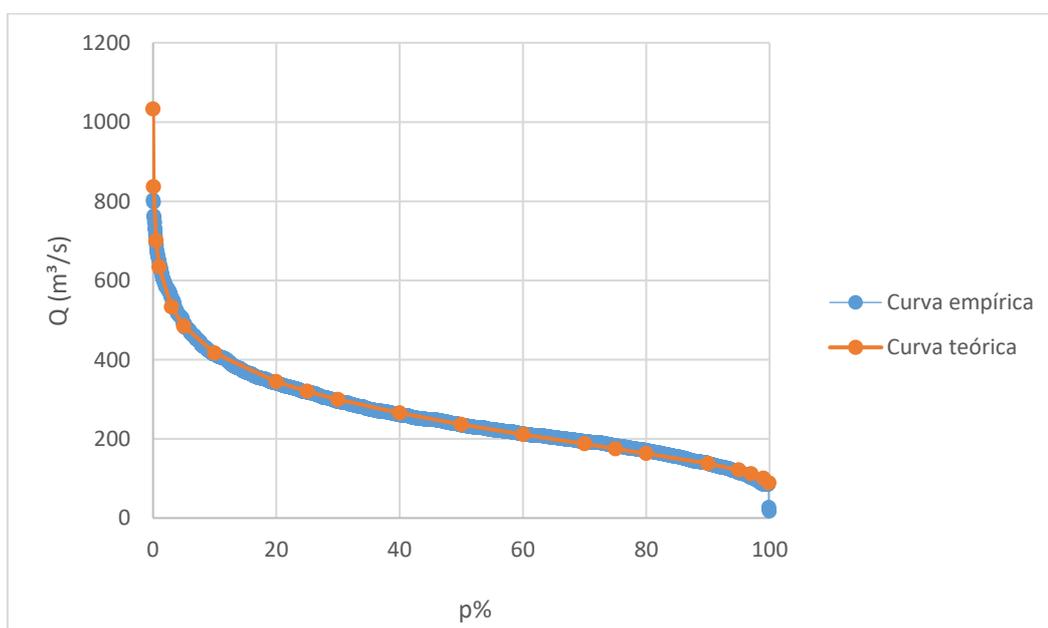


Figura 48. Curva de duración de caudales empírica y teórica estación H0908

4.2.3.3 Curva de duración de caudales para la cuenca del río Arapicos

Para cuencas de un mismo sistema hidrográfico es posible relacionar sus curvas de duración de caudales (Sandoval, 2018), se inicia con el cálculo de la precipitación

media de la cuenca del río Arapicos, empleando el método de Isoyetas, presentado en la Tabla 48:

Tabla 48.

Cálculo de la precipitación media de la cuenca del río Arapicos

p1	1720	mm
p2	1730	mm
p3	1740	mm
p4	1750	mm
A1	0.088	km ²
A2	0.87	km ²
A3	0.73	km ²
P med	1738.83	mm

En la Figura 49 se identifican las diferentes áreas e isoyetas de la cuenca del río Arapicos.

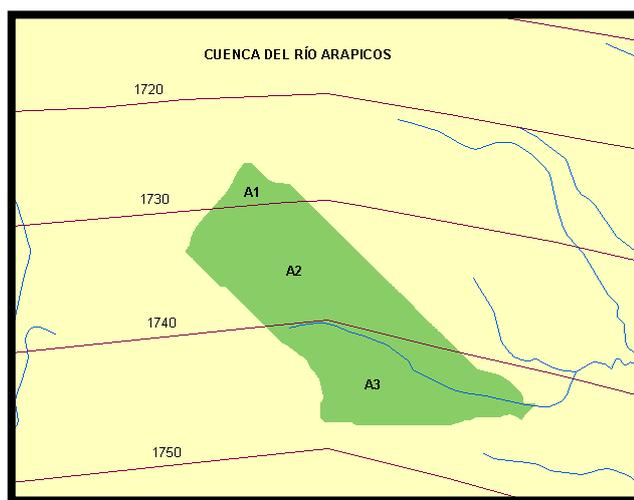


Figura 49. Mapa de Isoyetas de la cuenca del río Arapicos

Se procede a calcular el caudal medio de la cuenca del río Arapicos tomando el valor del coeficiente de escorrentía de 0.75.

$$Q_0 = \frac{31.71C\bar{P}A}{10^6}$$

$$Q_0 = \frac{31.71 * 0.75 * 1738.83 * 1.7}{10^6}$$

$$Q_0 = \frac{31.71 * 0.75 * 1738.83 * 1.7}{10^6}$$

$$Q_0 = 0.07 \frac{m^3}{s} = 70.30 \frac{l}{s}$$

Para construir la curva de duración de caudal de la cuenca del río Arapicos, se utilizan los coeficientes $K_{p\%}$ de la estación H908 y el caudal medio determinado, como se indica en la Tabla 49.

Tabla 49.

Curva de duración de caudal de la cuenca del río Arapicos

p%	Kp%	Qp%
0.01	3.96	278.50
0.1	3.21	225.51
0.5	2.69	188.83
1	2.43	170.95
3	2.04	143.67
5	1.86	130.50
10	1.60	112.32
20	1.32	92.88
25	1.23	86.29
30	1.15	80.65
40	1.02	71.56
50	0.91	63.72
60	0.81	56.82
70	0.72	50.55
75	0.67	47.10
80	0.63	43.96
90	0.53	37.06
95	0.46	32.67
97	0.43	30.17
99	0.38	27.03
99.9	0.34	23.90

En la Figura 50 se muestra la curva de duración de caudales de la cuenca del río Arapicos.

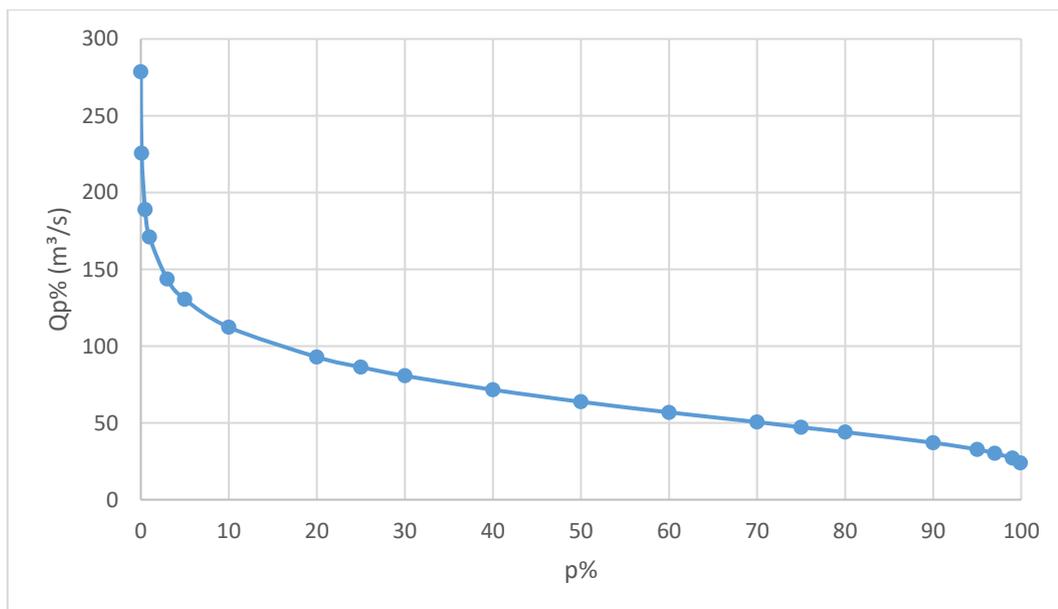


Figura 50. Curva de duración de caudales para la cuenca del río Arapicos

El caudal disponible de una cuenca para obras de toma se establece como el $Q_{95\%}$, este índice corresponde al caudal excedido el 95% del tiempo según la curva de duración de caudales construida (Casanova & Figueroa, 2014). Para el caso se tiene $Q_{95\%} = 32.67 \frac{l}{s}$.

4.3 Caudales de diseño

- **Caudal fuente de abastecimiento**

Se analizó la cuenca del río Arapicos, la cual servirá de abastecimiento para el proyecto de dotación de agua. Se calcula el caudal de la fuente de abastecimiento según lo descrito en la (Norma CO 10.7-602).

$$Q = 2 * QMD$$

$$Q = 2 * 0.802$$

$$Q = 1.604 \frac{l}{s}$$

El caudal disponible de la cuenca es de $Q = 32.67 \frac{l}{s}$ y el caudal necesario para el abastecimiento calculado anteriormente es de $Q = 1.604 \frac{l}{s}$, de manera que, se

dispone del caudal suficiente para la dotación de agua para la población de diseño, y así, se acepta la hipótesis inicialmente planteada.

- **Caudal de captación**

Se calcula el caudal de captación según lo descrito en la (Norma CO 10.7-602).

$$Q = 1.2 * QMD$$

$$Q = 1.2 * 0.802$$

$$Q = 0.963 \text{ l/s}$$

- **Caudal de conducción**

Se calcula el caudal de conducción según lo descrito en la (Norma CO 10.7-602).

$$Q = 1.1 * QMD$$

$$Q = 1.1 * 0.802$$

$$Q = 0.882 \text{ l/s}$$

- **Caudal de tratamiento**

Se calcula el caudal de tratamiento según lo descrito en la (Norma CO 10.7-602).

$$Q = 1.1 * QMD$$

$$Q = 1.1 * 0.802$$

$$Q = 0.882 \text{ l/s}$$

- **Volumen de almacenamiento**

Se calcula el volumen de almacenamiento de acuerdo a lo descrito en la (Norma CO 10.7-602).

$$V = 0.5 * Qm * 86400$$

$$V = 0.5 * 0.642 * 86400/1000$$

$$V = 27.72 \text{ m}^3$$

En la Tabla 50 se presentan los caudales de las diferentes estructuras del sistema de agua potable (fuente de abastecimiento, captación, conducción y tratamiento) descritos en la (Norma CO 10.7-602), así como el volumen de almacenamiento.

Tabla 50.
Caudales de diseño

Estructura	Cantidad	Unidad
Fuente de abastecimiento	1.604	l/s
Captación	0.963	l/s
Conducción	0.882	l/s
Tratamiento	0.882	l/s
Almacenamiento	27.72	m ³

4.4 Diseño del sistema de agua potable

4.4.1 Diseño de captación tipo Coanda

Para diseñar la captación con toma tipo Coanda, se escoge una relación de $\frac{H}{R} = 0.3$ y un $R = 0.1 \text{ m}$, es decir, una tubería lisa de $D = 200 \text{ mm}$. En base a estas consideraciones, se garantiza que la lámina de agua sobre la tubería lisa es de $H = 3 \text{ cm}$. La Tabla 51 resume los valores de la relación $\frac{H}{R}$ antes mencionados.

Tabla 51.
Relación H/R de la captación tipo Coanda

H/R	0.3	
R	0.1	m
H	0.03	m

En el gráfico de caudal unitario que capta la toma tipo Coanda propuesto por (Sandoval Erazo W. R., 2018), se puede visualizar que, con una relación de $\frac{H}{R} = 0.3$, se capta un caudal unitario de $q = 2.1 \frac{l}{s \cdot m}$; es decir, que para cada metro de tubería lisa, se va a captar dicho caudal. Esta longitud se puede reducir, debido a que, el caudal de diseño de la captación es de $Q = 0.963 \frac{l}{s}$, de la siguiente manera:

$$q = 2.1 \frac{l}{s} \rightarrow 1m$$

$$Q = 0.963 \frac{l}{s} \rightarrow 0.46m$$

Por lo tanto, se considera una longitud de tubería de $0.50m$ por facilidades constructivas, captando un $Q = 1.05 \frac{l}{s}$.

Así mismo, la tubería que recolecta el agua hacia el tanque inicial tiene un diámetro $D = 200 \text{ mm}$ y se decidió colocarla con una pendiente del 10% para que el agua circule con una velocidad adecuada. Se seleccionó una longitud de $5.50m$ para esta tubería, de modo que, el tanque quede fuera de la zona de inundación. Para calcular el tirante de dicha tubería, se utilizó el software libre HCanales, como se indica en la Figura 51.

The screenshot shows the HCanales software interface with the following data:

Lugar:		Bellavista - La Florida		Proyecto:		Agua potable	
Tramo:		Captación		Revestimiento:			
Datos:							
Caudal (Q):	0.00105	m3/s					
Diámetro (d):	0.20	m					
Rugosidad (n):	0.009						
Pendiente (S):	0.1	m/m					
Resultados:							
Tirante normal (y):	0.0119	m	Perímetro mojado (p):	0.0987	m		
Área hidráulica (A):	0.0008	m2	Radio hidráulico (R):	0.0077	m		
Espejo de agua (T):	0.0948	m	Velocidad (v):	1.3745	m/s		
Número de Froude (F):	4.8879		Energía específica (E):	0.1082	m-Kg/Kg		
Tipo de flujo:	Supercrítico						

A diagram on the right shows a circular pipe cross-section with diameter 'd', water depth 'y', and water surface width 'T'.

Figura 51. Tirante normal en sección circular

Las dimensiones interiores del tanque inicial son de $40 \times 40 \text{ cm}$, por facilidad constructiva y se seleccionó una dimensión de 30 cm desde la tubería hasta el fondo del tanque.

A continuación, se calcula el diámetro de la tubería desde el tanque inicial hacia el tanque de control, se seleccionó una longitud de tubería de 3 m y se considera la pendiente en esta parte del terreno de 4.5%, tomando en cuenta la topografía.

En las Figuras 52 y 53 se muestran las vistas en planta y en perspectiva de la estructura de captación, respectivamente.

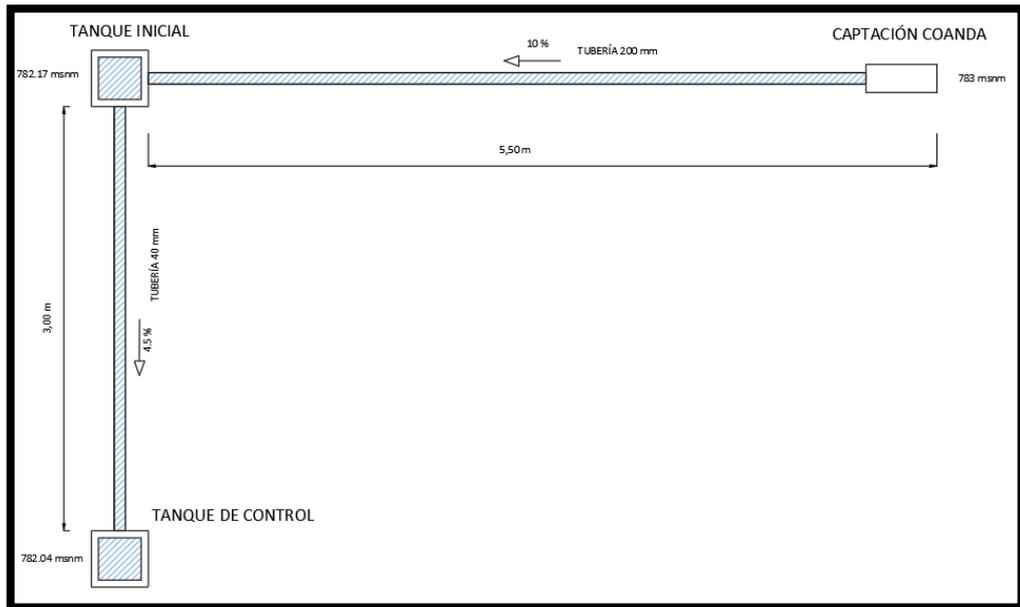


Figura 52. Vista en planta de la estructura de captación

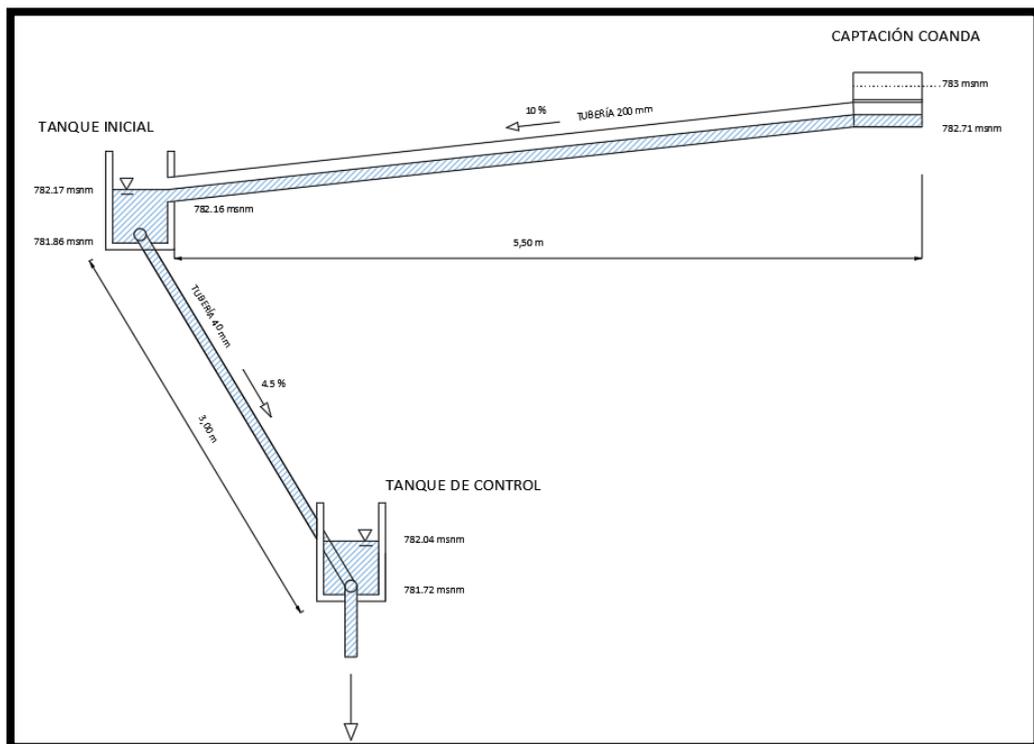


Figura 53. Vista en perspectiva de la estructura de captación

Como se puede ver en la Figura 53, la carga desde el tanque inicial hasta el tanque de control es $H = 0.13m$. Se calcula el factor de gasto:

$$H = \frac{Q^2}{K^2} \cdot L$$

$$K = Q \cdot \sqrt{\frac{L}{H}}$$

$$K = 0.001 \cdot \sqrt{\frac{3}{0.13}}$$

$$K = 0.0048$$

Se calcula el factor F :

$$K = \frac{F}{n}$$

$$F = K \cdot n$$

$$F \cdot 10^3 = 0.0048 \cdot 0.009 \cdot 10^3$$

$$F \cdot 10^3 = 0.043$$

Se escoge el diámetro $D = 40mm$ según la tabla de factor de gasto propuesta por (Sandoval Erazo W. , 2013), dado que, es el valor más aproximado de $F \cdot 10^3 = 0.058$. En la Figura 54 se indica un esquema de las partes que conforman la estructura de captación.

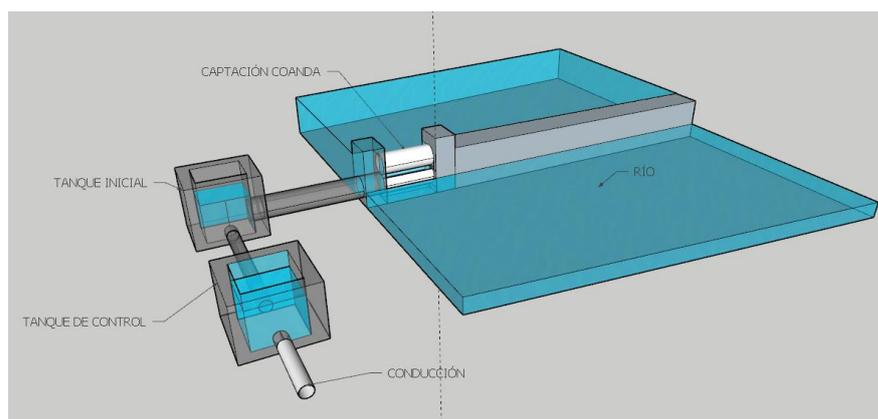


Figura 54. Esquema captación tipo Coanda

4.4.2 Diseño del sistema de tratamiento

4.4.2.1 Evaluación de la calidad de agua

En las Tablas 52, 53 y 54 se detallan los resultados de calidad de agua del río Arapicos obtenidos en laboratorio, para cada una de las muestras tomadas en campo.

Tabla 52.

Muestra 1. Parámetros de calidad de agua.

Muestra N°		1					
Origen de la muestra		Río Arapicos					
Fecha		4/7/2019					
Coordenadas		X	813047	Y	9718742	Z	764

Parámetro	Unidades	Resultado	Límite deseable	Límite máximo admisible
Turbiedad	NTU	-	5	20
pH	U	7.6	7,0 - 8,5	6,5 -9,5
Coliformes totales	NMP/100 ml	2100	AUSENCIA	AUSENCIA
Color	Pt-Co	-	5	30
Olor	-	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA
Sabor	-	INOBJETABLE	INOBJETABLE	INOBJETABLE
Dureza total	mg/l CaCO ₃	55	120	300
Sólidos totales disueltos	mg/l	60	500	1000
Sulfatos	mg/l	5.3	50	400
DQO	mg/l	8.3	-	10

Parámetro	Unidades	Resultado
Conductividad	mS/cm	0.08
Temperatura	°C	22.2
Residuo seco evaporado	g/l	0.052
Densidad	g/cm ³	1.108
Calcio	mg Ca ²⁺ /l	25
Magnesio	mg Mg ²⁺ /l	30
Carbonatos	meq CO ₃ ²⁻ /l	0
Bicarbonatos	meq HCO ₃ ⁻ /l	1.835
Cloruros	meq Cl ⁻ /l	2.75

Tabla 53.*Muestra 2. Parámetros de calidad de agua.*

Muestra N°	2					
Origen de la muestra	Río Arapicos					
Fecha	5/10/2019					
Coordenadas	X	813047	Y	9718742	Z	764

Parámetro	Unidades	Resultado	Límite deseable	Límite máximo admisible
Turbiedad	NTU	5	5	20
pH	U	7.4	7,0 - 8,5	6,5 -9,5
Color	Pt-Co	26	5	30
Olor	-	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA
Sabor	-	INOBJETABLE	INOBJETABLE	INOBJETABLE
Sólidos totales disueltos	mg/l	63	500	1000
DQO	mg/l	8	-	10

Parámetro	Unidades	Resultado
Conductividad	mS/cm	0.08
Temperatura	°C	20.9
Residuo seco evaporado	g/l	0.051
Carbonatos	meq CO ₃ ²⁻ /l	0
Bicarbonatos	meq HCO ₃ ⁻ /l	1.3
Cloruros	meq Cl ⁻ /l	0.6

Tabla 54.*Muestra 3. Parámetros de calidad de agua.*

Muestra N°	3					
Origen de la muestra	Río Arapicos					
Fecha	5/10/2019					
Coordenadas	X	812807	Y	9718695.3	Z	783

Parámetro	Unidades	Resultado	Límite deseable	Límite máximo admisible
Turbiedad	NTU	6.5	5	20
pH	U	7.1	7,0 - 8,5	6,5 -9,5
Color	Pt-Co	48	5	30
Olor	-	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA
Sabor	-	INOBJETABLE	INOBJETABLE	INOBJETABLE
Sólidos totales disueltos	mg/l	65	500	1000
DQO	mg/l	28	-	10

Parámetro	Unidades	Resultado
Conductividad	mS/cm	0.08
Temperatura	°C	21.3
Residuo seco evaporado	g/l	0.052
Carbonatos	meq CO ₃ ²⁻ /l	0
Bicarbonatos	meq HCO ₃ ⁻ /l	2.3
Cloruros	meq Cl ⁻ /l	1.2

Los resultados presentados en las Tablas 52, 53 y 54 corresponden a las muestras de agua del río Arapicos, en donde se puede observar que los parámetros físico químicos se encuentran dentro de los límites deseables que dicta la (Norma CO 10.7-602) para calidad de agua potable en zonas rurales y se clasifica a la fuente como Tipo C según la caracterización de agua cruda. Sin embargo, en este muestreo existe presencia de coliformes, lo cual indica que es necesario aplicar un tratamiento de desinfección para garantizar la calidad del agua. Según lo propuesto por (Galvis Castaño & Latorre Montero, 1999), el tratamiento recomendado para la eliminación de microorganismos es el de cloración, por ello se propone la desinfección con hipoclorito de calcio y sodio.

En las Tablas 55, 56 y 57 se detallan los resultados obtenidos en laboratorio, para cada una de las muestras tomadas en campo.

Tabla 55.

Muestra 4. Parámetros de calidad de agua.

Muestra N°	4					
Origen de la muestra	Fuente subterránea 1					
Fecha	4/7/2019					
Coordenadas	X	814214	Y	9717718	Z	107

Parámetro	Unidades	Resultado	Límite deseable	Límite máximo admisible
Turbiedad	NTU	-	5	20
pH	U	6.2	7,0 - 8,5	6,5 -9,5
Coliformes totales	NMP/100 ml	1200	AUSENCIA	AUSENCIA
Color	Pt-Co	-	5	30
Olor	-	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA
Sabor	-	INOBJETABLE	INOBJETABLE	INOBJETABLE
Dureza total	mg/l CaCO ₃	40.5	120	300
Sólidos totales disueltos	mg/l	91	500	1000
Sulfatos	mg/l	3.95	50	400
DQO	mg/l	18.6	-	10

Parámetro	Unidades	Resultado
Conductividad	mS/cm	0.12
Temperatura	°C	25.2
Residuo seco evaporado	g/l	0.003
Densidad	g/cm ³	1.102
Calcio	mg Ca ²⁺ /l	22.165
Magnesio	mg Mg ²⁺ /l	18.335
Carbonatos	meq CO ₃ ²⁻ /l	0
Bicarbonatos	meq HCO ₃ ⁻ /l	1.275
Cloruros	meq Cl ⁻ /l	3.1

Tabla 56.*Muestra 5. Parámetros de calidad de agua.*

Muestra N°	5				
Origen de la muestra	Fuente subterránea 1				
Fecha	5/10/2019				
Coordenadas	X	814214	Y	9717718	Z 107

Parámetro	Unidades	Resultado	Límite deseable	Límite máximo admisible
Turbiedad	NTU	0.5	5	20
pH	U	6.2	7,0 - 8,5	6,5 -9,5
Color	Pt-Co	13	5	30
Olor	-	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA
Sabor	-	INOBJETABLE	INOBJETABLE	INOBJETABLE
Sólidos totales disueltos	mg/l	67	500	1000
DQO	mg/l	19	-	10

Parámetro	Unidades	Resultado
Conductividad	mS/cm	0.08
Temperatura	°C	23.9
Residuo seco evaporado	g/l	0.053
Carbonatos	meq CO ₃ ²⁻ /l	0
Bicarbonatos	meq HCO ₃ ⁻ /l	1.3
Cloruros	meq Cl ⁻ /l	0.5

Tabla 57.*Muestra 6. Parámetros de calidad de agua.*

Muestra N°	6				
Origen de la muestra	Fuente subterránea 2				
Fecha	4/7/2019				
Coordenadas	X	814288	Y	9717856	Z 697

Parámetro	Unidades	Resultado	Límite deseable	Límite máximo admisible
Turbiedad	NTU	-	5	20
pH	U	6.2	7,0 - 8,5	6,5 -9,5
Coliformes totales	NMP/100 ml	900	AUSENCIA	AUSENCIA
Color	Pt-Co	-	5	30
Olor	-	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA
Sabor	-	INOBJETABLE	INOBJETABLE	INOBJETABLE
Dureza total	mg/l CaCO ₃	32.67	120	300
Sólidos totales disueltos	mg/l	70	500	1000
Sulfatos	mg/l	4.15	50	400
DQO	mg/l	7.4	-	10

Parámetro	Unidades	Resultado
Conductividad	mS/cm	0.09
Temperatura	°C	25.3
Residuo seco evaporado	g/l	0.048
Densidad	g/cm ³	1.096
Calcio	mg Ca ²⁺ /l	19.665
Magnesio	mg Mg ²⁺ /l	13
Carbonatos	meq CO ₃ ²⁻ /l	0
Bicarbonatos	meq HCO ₃ ⁻ /l	0.4
Cloruros	meq Cl ⁻ /l	8

Los resultados de las Tablas 55, 56 y 57 corresponden al muestreo realizado en las fuentes subterráneas encontradas en el área de estudio, las cuales presentan similar comportamiento a las muestras de agua del río Arapicos, no obstante, dichas fuentes no se consideraron para la dotación de agua potable, pero se mantendrán como alternativa para proyectos futuros.

Como estudio complementario se realizó un muestreo para analizar la calidad de agua en el lugar de desfogue del río Arapicos hacia el río Tutanangosa, mostrando un cambio considerable en el comportamiento de los parámetros físico químicos aguas abajo del proyecto, como se puede evidenciar en la Tabla 58.

Tabla 58.*Muestra 7. Parámetros de calidad de agua.*

Muestra N°	7					
Origen de la muestra	Río Arapicos - Río Tutanangosa					
Fecha	5/10/2019					
Coordenadas	X	814491	Y	9717928	Z	637

Parámetro	Unidades	Resultado	Límite deseable	Límite máximo admisible
Turbiedad	NTU	10.76	5	20
pH	U	8.2	7,0 - 8,5	6,5 - 9,5
Color	Pt-Co	28	5	30
Olor	-	AUSENCIA	AUSENCIA	AUSENCIA
Sabor	-	INOBJETABLE	INOBJETABLE	INOBJETABLE
Sólidos totales disueltos	mg/l	124	500	1000
DQO	mg/l	36	-	10

Parámetro	Unidades	Resultado
Conductividad	mS/cm	0.17
Temperatura	°C	21.6
Residuo seco evaporado	g/l	0.057
Carbonatos	meq CO ₃ ²⁻ /l	0
Bicarbonatos	meq HCO ₃ ⁻ /l	2.8
Cloruros	meq Cl ⁻ /l	0.7

4.4.2.2 Diseño de la desinfección

Para la etapa de tratamiento de agua, se propone la desinfección del recurso analizando dos alternativas: hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio.

Se considera el agua consumida por la población en un día para el cálculo del volumen.

$$V = Q_{\text{diseño}} * t$$

$$V = 0.882 \frac{l}{s} * 86400 \frac{s}{\text{día}}$$

$$V = 76204.8 \frac{l}{\text{día}}$$

Hipoclorito de sodio

- **Dosificación**

Se toma el promedio entre la dosis mínima y máxima recomendada.

$$D = \frac{0.2 + 2}{2}$$

$$D = 1.1 \frac{mg}{l}$$

- **Cálculo del consumo de cloro**

El hipoclorito de sodio comúnmente se comercializa en presentación líquida, con una concentración del 10%.

$$P = \frac{V * D}{C}$$

$$P = \frac{76204.8 \frac{l}{día} * 1.1 \frac{mg}{l}}{0.10}$$

$$P = 838252.8 \frac{mg}{día}$$

- **Cálculo del volumen de cloro**

Se debe considerar la densidad del hipoclorito de sodio, la cual es $\delta = 1.11 \frac{g}{cm^3}$. El volumen de hipoclorito de sodio se calcula a continuación:

$$V_{cl} = \frac{P}{\delta}$$

$$V_{cl} = \frac{838252.8 \frac{mg}{día}}{1110 \frac{mg}{cm^3}}$$

$$V_{cl} = 755.18 \text{ cm}^3$$

$$V_{cl} = 755.18 \frac{cm^3}{día}$$

$$V_{cl} = 0.76 \frac{l}{día}$$

Hipoclorito de calcio

- **Dosificación**

Se toma el promedio entre la dosis mínima y máxima recomendada.

$$D = \frac{0.5 + 5}{2}$$

$$D = 2.75 \frac{mg}{l}$$

- **Cálculo del consumo de cloro**

El hipoclorito de calcio se comercializa en presentación sólida, con una concentración del 80%.

$$P = \frac{V * D}{C}$$

$$P = \frac{76204.8 \frac{l}{día} * 2.75 \frac{mg}{l}}{0.80}$$

$$P = 261.95 \frac{mg}{día}$$

$$P = 0.26 \frac{kg}{día}$$

La colocación de pastillas de cloro presenta una ventaja debido a que se puede colocar un clorador el cual regule la cantidad requerida para desinfectar el agua, por ello, y debido que el pH del agua del río Arapicos se encuentra entre los valores de ácidos y neutros, se escoge al hipoclorito de calcio como compuesto para la desinfección del agua.

Se diseñó un vertedero de pared delgada en el tanque rompe presiones en el cual se coloca el hipoclorito, se mezcla con el agua y circula hacia el tanque de almacenamiento. Se ha demostrado experimentalmente que el valor del coeficiente de caudal m_o toma valores entre 0.30 a 0.60 (Sandoval Erazo W. , 2013), se considera un valor de $m_o = 0.40$, se selecciona un ancho b del vertedero de $0.40m$ y se calcula la carga del vertedero:

$$m_o = \frac{2}{3} \left(0.616 - 0.1 \frac{H}{b} \right)$$

$$\frac{2}{3} \left(0.616 - 0.1 \frac{H}{0.40} \right) = 0.40$$

$$0.4107 - 0.167H = 0.40$$

$$0.4107 - 0.167H = 0.40$$

$$H = 0.064m = 6.4cm$$

Se calcula el valor del coeficiente de inmersión, para que el caudal sea de $1 \frac{l}{s}$.

$$Q = n_s m_o b \sqrt{2g} H^{3/2}$$

$$0.001 = n_s \cdot 0.40 \cdot 0.40 \sqrt{2 \cdot 9.81} \cdot 0.064^{3/2}$$

$$n_s = 0.0872$$

En la Figura 55 y 56 se muestran los esquemas del tanque rompe presiones y del tanque de almacenamiento.

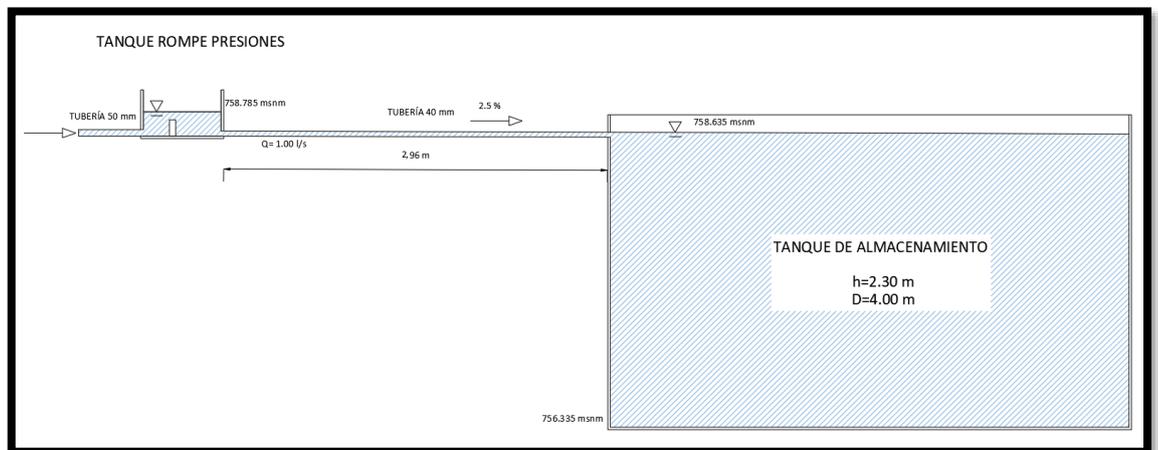


Figura 55. Tanque rompe presiones

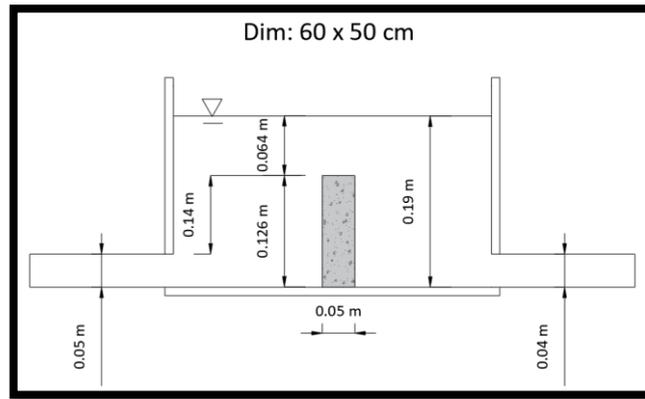


Figura 56. Detalle tanque rompe presiones (vertedero)

4.4.3 Diseño del tanque de almacenamiento

El volumen de almacenamiento requerido es de 27.72 m^3 , por ello, se propone un tanque cilíndrico asumiendo una altura de 2.30 m. A continuación, se indica el cálculo de las dimensiones del tanque.

$$V = A * h$$

$$A = \frac{27.72 \text{ m}^3}{2.30 \text{ m}}$$

$$A = 12.05 \text{ m}^2$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$12.05 = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$D = 3.92 \text{ m}$$

Se asume un $D = 4.00 \text{ m}$, y se obtiene como volumen real un tanque de 28.90 m^3 .

4.4.4 Modelamiento del sistema de conducción

Se modeló el sistema de conducción, el cual debe cumplir con valores de velocidades y presiones admisibles como se menciona en la (Norma CO 10.7-602). La conducción se modeló utilizando el software libre EPANET. Según el levantamiento topográfico la captación cuenta con una altura piezométrica de 783 msnm, mientras que para el punto donde se encuentra el tanque de almacenamiento se cuenta con una altura de 760 msnm. La tubería es de PVC con una rugosidad de 0.0015.

En la Figura 57 se muestra el esquema del sistema de agua potable.



Figura 57. Esquema del sistema de agua potable

4.4.4.1 Trazado de tubería

El trazado de la tubería, que se indica en la Figura 58, se realizó desde el tanque de captación hasta el tanque de almacenamiento, tomando en cuenta el camino vecinal existente en el área de estudio. La tubería está enterrada a una profundidad de 1 m.

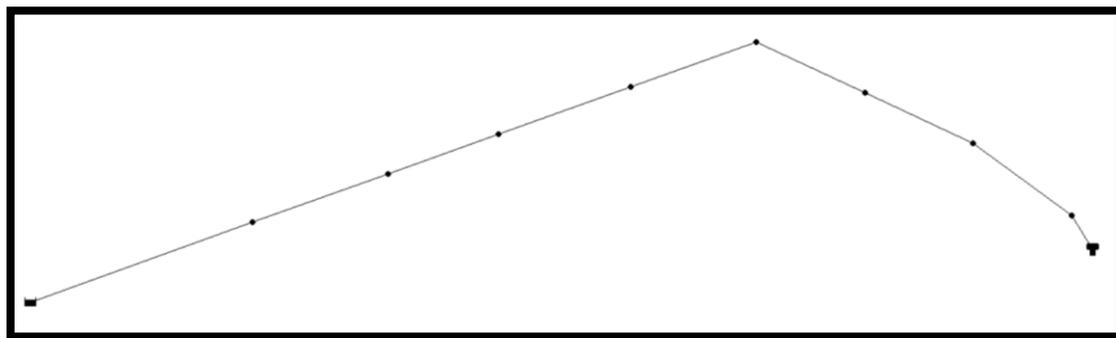


Figura 58. Trazado de la tubería

4.4.4.2 Demanda base

En cada uno de los puntos, a lo largo de la conducción, se ingresó la demanda base de $1 \frac{l}{s}$, tomando en cuenta el caudal de diseño.

4.4.4.3 Diámetros de tubería

Con ayuda del software Epanet, se pudo determinar los diámetros efectivos en la línea de conducción, cumpliendo con las velocidades y presiones recomendadas. En la Figura 59, se indica los diferentes diámetros determinados, que van desde 50 mm hasta 90 mm.

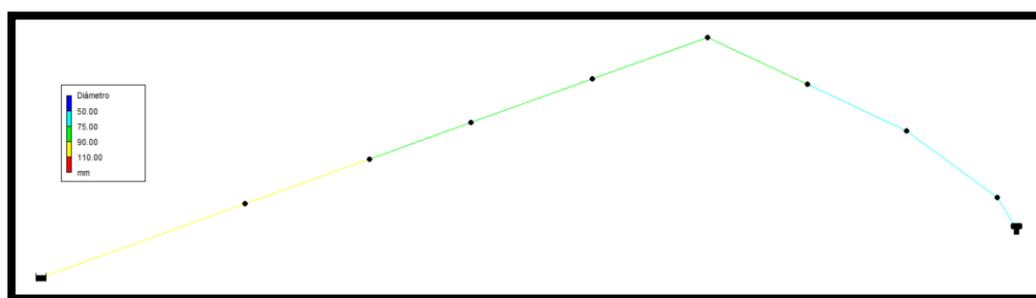


Figura 59. Diámetros en la línea de conducción

4.4.4.4 Velocidades medidas en el software

En las Figuras 60 y 61 se indican las velocidades calculadas en la tubería con el modelamiento del sistema, siendo la velocidad máxima de $1.90 \frac{m}{s}$, la cual se

encuentra dentro del límite presentado en la (Norma CO 10.7 - 601), de $4.5 \frac{m}{s}$. Así mismo, se indican las pérdidas calculadas para cada tramo de la línea de conducción.

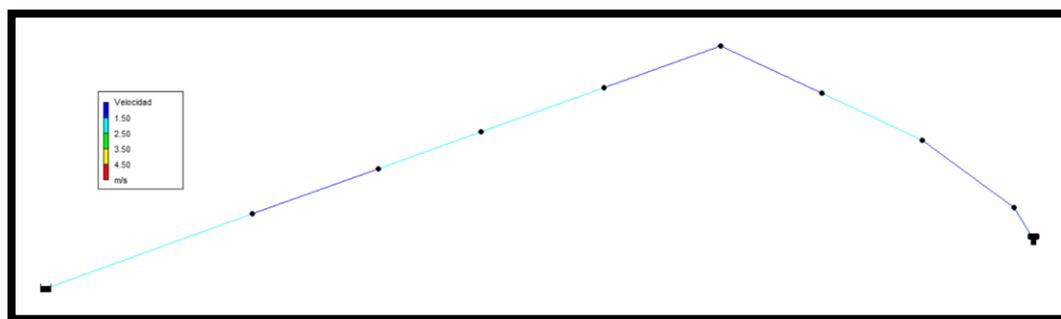


Figura 60. Velocidades en la línea de conducción

ID Línea	Caudal LPS	Velocidad m/s	Pérd. Unit. m/km	Factor de Fricción	Estado
Tubería 2	8.73	1.37	18.44	0.017	Abierto
Tubería 4	6.73	1.52	27.74	0.018	Abierto
Tubería 5	5.73	1.30	20.78	0.018	Abierto
Tubería 8	2.73	1.39	38.55	0.020	Abierto
Tubería 1	9.73	1.53	22.42	0.017	Abierto
Tubería 9	1.73	0.88	17.12	0.022	Abierto
Tubería 6	4.73	1.07	14.73	0.019	Abierto
Tubería 7	3.73	1.90	67.43	0.018	Abierto
Tubería 3	7.73	1.75	35.60	0.017	Abierto

Figura 61. Velocidades y pérdidas en la línea de conducción

4.4.4.5 Presiones medidas en el software

En las Figuras 62 y 63 se indican las presiones calculadas en la tubería con el modelamiento del sistema, siendo la presión mínima de $5.18 mca$ y la presión máxima $17.27 mca$, cumpliendo con los límites presentados en la norma (Norma CO 10.7 - 601).

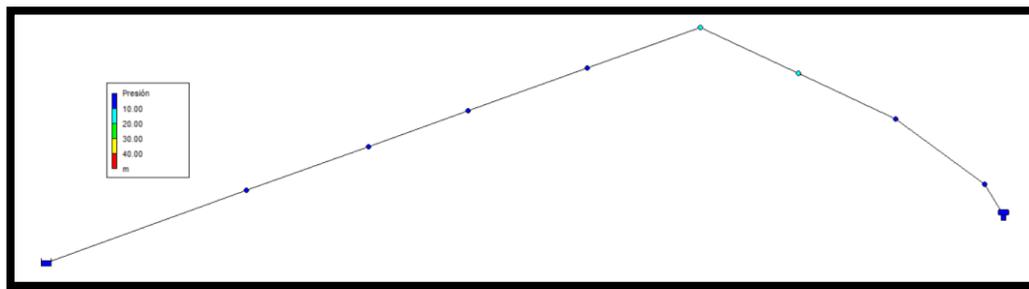


Figura 62. Presiones en la línea de conducción

ID Nudo	Cota m	Demanda LPS	Altura m	Presión m
Conexión n1	770.92	1.00	778.73	7.81
Conexión n2	771.92	1.00	777.10	5.18
Conexión n3	766.96	1.00	774.54	7.58
Conexión n4	765.92	1.00	772.14	6.22
Conexión n5	753.169	1.00	770.44	17.27
Conexión n7	756.299	1.00	764.24	7.94
Conexión n8	756	1.00	761.34	5.34
Conexión n6	754.73	1.00	769.30	14.57
Embalse 1	782	-9.73	782.00	0.00
Depósito 2	758.62	1.73	760.92	2.30

Figura 63. Presiones en la línea de conducción

Como se puede observar en la Figura 63, se tiene un caudal de $1.73 \frac{l}{s}$ en el tanque de almacenamiento y se necesita un caudal de $1 \frac{l}{s}$, por lo tanto, el excedente de $0.73 \frac{l}{s}$ se puede separar del sistema desde el vertedero de pared delgada, colocando una tubería de $D = 40mm$ a uno de los costados de la estructura hasta una zanja cercana.

Se coloca una tee y una válvula de bola en el punto más bajo de la conducción, para el mantenimiento y limpieza de la conducción.

En el Anexo 16 se presentan los planos correspondientes al diseño del sistema de agua potable en planta y en perfil.

CAPÍTULO 5

PRESUPUESTO

Para calcular el presupuesto referencial, se consideraron los precios unitarios de la CAMICON (Cámara de la Industria de la Construcción) de abril de 2019.

Tabla 59.
Presupuesto referencial

Proyecto: "Diseño del sistema de agua potable para las comunidades Bellavista y La Florida, parroquia Huambi"							
Presupuesto Referencial							
Descripción del rubro	Unidad	Cantidad	Materiales	Mano de obra	Equipo	Costo Unitario	Costo Total
Capítulo 1: Captación							
Limpieza manual del terreno	m ²	10.00	\$0.00	\$1.28	\$0.06	\$1.34	\$13.40
Replanteo y nivelación	m ²	10.00	\$0.10	\$1.22	\$0.36	\$1.68	\$16.80
Excavación manual	m ³	4.81	\$0.00	\$9.30	\$0.46	\$9.76	\$46.95
Hormigón simple f'c=210 kg/cm ²	m ³	0.52	\$88.65	\$39.98	\$12.23	\$140.86	\$72.98
Encofrado tabla de monte	m ²	5.36	\$16.10	\$3.36	\$1.28	\$20.74	\$111.17
Acero de refuerzo fy=4200 kg/cm ²	kg	37.97	\$1.07	\$0.50	\$0.05	\$1.62	\$61.51
Tubo PVC 200mm x 6m e=3.9mm	u	1.00	\$99.09	\$7.26	\$0.36	\$106.71	\$106.71
Capítulo 2: Cloración							
Hipoclorio de calcio	kg	1872	\$5.22	\$0.00	\$0.00	\$5.22	\$9,771.84
Dosificador de cloro pastillas	u	1	\$135.00	\$0.00	\$0.00	\$135.00	\$135.00
Hormigón simple f'c=210 kg/cm ²	m ³	0.16	\$88.65	\$39.98	\$12.23	\$140.86	\$22.54
Acero de refuerzo	kg	14.9	\$1.07	\$0.50	\$0.05	\$1.62	\$24.14
Capítulo 3: Tanque de almacenamiento							
Hormigón simple f'c=210 kg/cm ²	m ³	18.96	\$88.65	\$39.98	\$12.23	\$140.86	\$2,670.71
Acero de refuerzo fy=4200	kg	1403.09	\$1.07	\$0.50	\$0.05	\$1.62	\$2,273.01
Capítulo 4: Conducción							
Limpieza manual del terreno	m ²	908.88	\$0.00	\$1.28	\$0.06	\$1.34	\$1,217.90
Replanteo y nivelación	m ²	908.88	\$0.10	\$1.22	\$0.36	\$1.68	\$1,526.92
Excavación de zanjas ancho=1m	m ³	908.88	\$0.00	\$0.81	\$2.49	\$3.30	\$2,999.30
Rasanteo y cama de arena	m ³	45.44	\$18.14	\$4.47	\$1.92	\$24.53	\$1,114.74
Relleno de zanjas	m ³	863.44	\$0.02	\$4.05	\$2.47	\$6.54	\$5,646.87
Tubo PVC 90mm x 6m e=2.2mm	u	49	\$24.41	\$3.18	\$0.18	\$27.77	\$1,360.73
Tubo PVC 75mm x 6m e=2.3mm	u	66	\$22.11	\$2.28	\$0.12	\$24.51	\$1,617.66
Tubo PVC 50mm x 6m e=2.4mm	u	38	\$14.88	\$2.28	\$0.12	\$17.28	\$656.64
Tubo PVC 40mm x 6m e=1.9mm	u	2	\$8.49	\$2.25	\$0.10	\$10.84	\$21.68
Codo PVC 75 mm 135°	u	15	\$2.67	\$0.38	\$0.02	\$3.07	\$46.05
Reductor PVC 90mm a 75 mm	u	1	\$2.50	\$0.53	\$0.03	\$3.06	\$3.06
Reductor PVC 75mm a 50mm	u	1	\$1.95	\$0.38	\$0.02	\$2.35	\$2.35
Tee desague 75 mm	u	1	\$3.55	\$0.38	\$0.02	\$3.95	\$3.95
Válvula de bola 3" PVC	u	1	\$16.50	\$0.38	\$0.02	\$16.90	\$16.90
Soldadura para tubo de PVC kalipega 250 cc	u	8	\$4.74	\$0.00	\$0.00	\$4.74	\$37.92
Subtotal							\$31,599.42
Costos Indirectos (20%)							\$6,319.88
TOTAL							\$37,919.30

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Las series de datos hidrometeorológicos con las que se cuenta en el Ecuador, muchas veces se presentan incompletas, por ende, se rellenó la serie de precipitación total mensual de la estación Logroño (M0497) con el método de regresión lineal simple y se validó los datos rellenados con prueba de rachas, curva de doble masa y t de Student, así mismo, las series de caudal medio diario de la estación Upano Dj. Tutamangoza (H0908), humedad relativa diaria y temperatura media diaria de la estación Shimpis (M5118) se rellenaron con el método del promedio diario y se validaron los datos rellenados con t de Student.

Se analizó la dinámica de las series de tiempo de las variables precipitación, caudal, humedad y temperatura mediante un análisis cualitativo con histogramas y mapas recurrentes, así, se distingue de una manera visual un comportamiento aleatorio en dichas variables, complementando el estudio con un análisis cuantitativo de recurrencia, el cual evidencia un grado bajo de determinismo, por lo que, se puede afirmar que las variables precipitación y caudal manifiestan indicios de caos.

Mediante el método del flotador y método de curva de duración de caudales, se comprobó la disponibilidad de agua superficial para las comunidades Bellavista y La Florida para el consumo humano previo a un tratamiento de desinfección, así mismo, se comprobó la disponibilidad de agua proveniente de fuentes subterráneas mediante el método volumétrico, para el uso en riego.

Los ensayos de calidad de agua correspondientes a las muestras tomadas en el río Arapicos determinaron que los parámetros físicos se encuentran dentro de los rangos admisibles, sin embargo, se encontró presencia de coliformes en dichas muestras por lo que fue necesario proponer un tratamiento de desinfección con hipoclorito de calcio (sólido).

El levantamiento topográfico se realizó utilizando estación total y GPS de precisión, los datos obtenidos sirvieron para modelar la topografía y posterior establecer el lugar más propicio para ubicar la estructura de captación. A partir de este punto se diseñó la red de conducción incluyendo el tratamiento y el tanque de almacenamiento.

Utilizar la captación tipo Coanda brinda ventajas como la de servir de estructura de control y cuantificación de caudal, la captación evita el ingreso al sistema de material vegetal, partículas gruesas y sólidos en suspensión, prescindiendo de la necesidad de diseñar un desarenador.

En el modelo de conducción se utilizó tubería de PVC de diámetros 90 mm, 75 mm y 50 mm, cumpliendo así, los valores máximos y mínimos de velocidad y presión. Para el almacenamiento se diseñó un tanque circular en hormigón armado de diámetro 4 m y altura 2.30 m, con el fin de almacenar el volumen correspondiente a 24 horas. En conjunto las obras de captación, tanque de desinfección, conducción y tanque de almacenamiento, se presupuestaron en un valor de \$ 37 919.30 considerando valores estimados basados en los precios unitarios de la CAMICON (Cámara de la Industria de la Construcción) de abril de 2019.

6.2 Recomendaciones

Para modelar mapas recurrentes, se debe escoger los parámetros de embebimiento considerando el criterio que mejor se ajuste al comportamiento de la variable, debido a la sensibilidad de las condiciones iniciales de estos algoritmos

La herramienta gráfica de mapas recurrentes depende directamente de la cantidad de datos con la que cuente la serie de tiempo, es por ello, que se debe trabajar con series de al menos 10 años para obtener resultados visuales coherentes, patrones identificables, y así, distinguir de una manera visual el comportamiento de las variables. Al ser un método visual se pueden tener distintas interpretaciones dependiendo del observador, por ello, se requiere un análisis complementario de recurrencia cuantitativa para obtener un resultado numérico sobre la dinámica de las series de tiempo.

Realizar al menos una vez al año, el análisis de la calidad del agua del río Arapicos para advertir posibles cambios en la composición del recurso y complementar el análisis de plaguicidas y metales pesados.

Realizar el aforo de las fuentes en época seca para contrastar los datos de caudales obtenidos en época de lluvia.

BIBLIOGRAFÍA

- Altamirano, M. (2015). *Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia Huambi*. GAD Huambi.
- Anderson , D., Sweeney, D., & Williams, T. (2008). *Estadística para administración y economía* . Australia: CENGAGE Learning .
- Andreu, C., De Echave, J., & Buela-Casal, G. (1998). Actividad electroencefálica según la teoría del caos. *Psicothema*, 319-331.
- Aparicio Mijares, F. (2012). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México D.F.: Limusa.
- Arboleda Valencia, J. (2000). *Teoría y práctica de purificación del agua*. Bogotá: Acodal.
- Arocha, S. (1977). *Abastecimientos de agua. Teoría y Diseño*. Caracas.
- Ayala, M. F., Carrera-Villacrés, D. V., & Tierra, A. R. (2018). Relación espacio-temporal entre estaciones utilizadas para el relleno de datos de precipitación en Chone, Ecuador. *Revista Geográfica Venezolana*.
- Bello, M., & Pino, M. (2000). *Medición de presión y caudal*. Punta Arenas: Comisión Nacional de Riego.
- Caballero, I. (2013). *Análisis de la homogeneidad de las series de precipitación de Guipúzcoa*.
- Campozano, L., Sánchez, E., Aviles, A., & Samaniego, E. (2014). Evaluation of infilling methods for time series of daily precipitation and temperature: The case of the Ecuadorian Andes. *MASKANA*.
- Cárdenas, D., & Patiño, F. (2010). *Estudios y diseños definitivos del sistema de agua potable de la comunidad de Tutucán, cantón Paute, provincia del Azuay*. Cuenca.

- Carrera Villacrés , D. V., Guevara García, P. V., Tamayo Bacacela , L. C., Balarezo Aguilar, A. L., Narváez Rivera, C. A., & Morocho López, D. R. (2016). Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandiana del Ecuador, y cálculo de la precipitación media. *IDESIA*, 10.
- Casanova, J. F., & Figueroa, A. (2014). Determinación del caudal ambiental y su relación con variables indicadoras de calidad del recurso hídrico. *SciELO*.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (1984). *Criterios de diseño de plantas de tratamiento de agua*. Lima: CEPIS.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima: CEPIS.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2006). *Manual II: Diseño de plantas de tecnología apropiada*. Lima: CEPIS.
- Chow, V. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw Hill.
- Comisión Nacional del Agua. (2016). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. México, D.F. Obtenido de <http://www.mapasconagua.net/libros/SGAPDS-1-15-Libro4.pdf>
- CONAGUA. (2011). *Estadísticas del agua en México*. México, D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Obtenido de http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/sina/capitulo_8.pdf
- CONAGUA. (2016). *Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento*. México D.F.
- Conexionismo. (2012). *Prueba t de Student para la comparación de dos muestras independientes*. Obtenido de http://www.conexionismo.com/leer_articulo.php?ref=prueba_t_de_student_para_la_comparacion_de_dos_muestras_independientes-j9604971

- Coordinación de Tecnología Hidráulica (IMTA). (2001). *Serie autodidáctica de medición. Canal Parshall*. Jiutepec: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. .
- Coppo, J. A. (2010). Teoría del caos y método científico. *Revista*.
- Díaz, P., & Fernández, P. (2001). *La distribución normal*. Coruña.
- Dirección de Protección Ambiental Gobierno Descentralizado de Morona Santiago. (2015). *Cartilla Meteorológico de Morona Santiago*. Macas: GADPMS.
- Dolan, K., & Spano, M. (2001). Surrogate for nonlinear time series analysis. *Physical review* .
- Espinosa Contreras, A. E. (2004). *El caos y la caracterización de series de tiempo a través de técnicas de la dinámica no lineal*. México, D.F.
- Fabretti, A., & Ausloos, M. (2005). Recurrence plot and recurrence quantification analysis techniques for detecting a critical regime. Examples from financial market indices.
- Falconí, C. (2014). *Ecuador, Plan Nacional de agua potable y saneamiento básico*.
- Freire, J. (2013). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la comunidad de Nizag en el cantón Alausí*.
- Galvis Castaño, G., & Latorre Montero, J. (1999). *Filtración en múltiples etapas. Tecnología innovativa para el tratamiento de agua*. Santiago de Cali.: CINARA.
- González Casimiro, M. P. (2009). *Análisis de series temporales: Modelos ARIMA*. Bizkaia, España.
- Goroshkov, I. (1979). *Cálculos hidrológicos* . San Petersburgo.
- Heipel, K., & McLeod, I. (1994). *Time series modelling of water resources and enviromental systems*. Elsevier.
- Hilborn, R. (1994). *Chaos and Nonlinear Dynamics: An Introduction for Scientists and Engineers*. Estados Unidos: Oxford University Press.

- Ibañez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. (2011). Métodos para la determinación del coeficiente de escorrentía. *Universidad Politécnica de Valencia*.
- IDEAM. (2014). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Glosario*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario#E>
- INAMHI. (2013). *Anuario Hidrológico*.
- INAMHI. (2014). *Anuario Meteorológico*. Obtenido de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202011.pdf>
- INAMHI. (20 de febrero de 2015). *Fichas metodológicas de indicadores, estadísticos y variables meteorológicas, hidrológicas y ambientales*. Obtenido de http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/Fichas_Metodologicas_Ambientales_Inamhi_v1_1.pdf
- INAMHI. (2017). *Compendio Anuarios EHA*.
- INEC. (2010). *Censo poblacional*.
- INEC. (2015). *Compendio de Resultados Encuesta Condiciones de Vida ECV*.
- INEC. (2018). *Agua, saneamiento e higiene. Medición de los ODS en Ecuador*. Quito.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC. (2018). *Desestacionalización del emplep asalariado registrado en la seguridad social 2009-2016*.
- Jiménez, A., Vargas, V., Salinas, W., Aguirre, M., & Rodríguez, D. (2004). Aptitud agroecológica para el cultivo de caña de azúcar en el su de Tamaulipas, México. *Scielo*.
- Kliková, B., & Raidl, A. (2011). Reconstruction of phase space of dynamical system using method of time delay. *WDS'11 Proceeding of Contributed Papers. 20th Annual Conference of Doctoral Students.*, 83-87.

- Krakovska, A., Mezeiova, K., & Budacova, H. (2015). Use of False Nearest Neighbours for Selecting Variables and Embedding Parameters for State Space Reconstruction. *Journal of Complex Systems*.
- Lind, D., Marchal, W., & Wathen, S. (2012). *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Loaiza Ramírez, M. (2006). *Diseño y Simulación de un criptosistema caótico para comunicaciones*. Puebla: Universidad de las Américas Puebla.
- Luna Romero, E., & Lavado Casimiro, W. (2015). Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la cuenca Jetepeque, Perú. *Revista Tecnológica ESPOL*.
- Mandelbrot, B. (1997). *La geometría fractal de la naturaleza*. Barcelona: Tusquets.
- Marín, J. M. (2000). *Análisis no paramétrico*.
- Marwan, N., & Kurths, J. (2004). Cross recurrence plots and their applications. *Mathematical physics research at the cutting edge*, 1001-139.
- Mauricio, J. A. (2007). *Introducción al Análisis de Series Temporales*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Ministerio de Ambiente Ecuador. (2002). *División hidrográfica del Ecuador*. Ministerio de Ambiente Ecuador.
- Moore, B. J. (2006). Chaos Theory: Unpredictable Order in Chaos. En *In Shaking the Invisible Hand* (págs. 43-74). London: Palgrave Macmillan UK.
- Norma CO 10.7 - 601. (s.f.). *Abastecimiento de agua potable y eliminación de aguas residuales en el área urbana*. Código ecuatoriano para el diseño de la construcción de obras sanitarias.
- Norma CO 10.7-602. (s.f.). *Sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural*. Código Ecuatoriano para el Diseño de la Construcción de Obras Sanitarias.

- Norma CO 10.7-602. (s.f.). *Sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural*. Código Ecuatoriano para el Diseño de la Construcción de Obras Sanitarias.
- OMM. (2010). *Guía del Sistema Mundial de Observación N° 488*.
- OMM. (2011). *Guía de prácticas climatológicas. OMM N°100*. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial.
- OMM. (2011). *Guide to Climatological Practices WMO-No. 100*.
- ONU. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Organización Panamericana de la Salud. (2009). *Guía de orientación en saneamiento básico para alcaldías en municipios rurales y pequeñas comunidades*. Lima: Asociación Servicios Educativos Rurales SER.
- Ortiz, J. (20 de junio de 2018). El Universo. *Acceso y consumo de agua potable para todos*.
- Ospina Gutiérrez, L., & Soto Mejía, J. (2015). Metodología para la detección de determinismo y no linealidad en series temporales financieras. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería. Universidad del Zulia*.
- Packard, N., Crutchfield, J., & Farmer, D. (1980). Geometry of a time series. *Physical Review Letters*, 712.
- Piñeiro, D. (2009). Henry Marie Coanda y el "efecto Coanda". *Scielo*.
- Pizarro, R., Ausensi, P., Aravena, D., Sangüesa, C., León, L., & Balocchi, F. (2009). Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la región de Maule, Chile. *Aqua-LAC*.
- Pozo Fonseca, B. M. (2015). *Investigación de una obra de toma de agua sumergida con efecto Coanda*. Sangolquí.
- Rodríguez, L. (2007). *Probabilidad y estadística básica para ingenieros*. Guayaquil.
- Romero, P. (2013). *Apuntes de Topografía*. Sangolquí.

- Samaniego, J. (2008). *Validación y calibración de los parámetros hidrológicos del polinomio ecológico*.
- Sánchez Turcios, R. (2015). Student's t. Uses and abuses. *Revista mexicana de cardiología*.
- Sánchez Vélez, A., & Palma Trujano, A. (2003). *La cuenca hidrográfica: unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales*. México D.F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Sandoval Erazo, W. (2013). *Principios de la Hidráulica 2*.
- Sandoval Erazo, W. (2019). *Diseño de obras hidrotécnicas*. Sangolquí .
- Sandoval Erazo, W. R. (2018). Toma de agua con efecto Coanda. *XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*, 9.
- Sandoval, W. (2018). *Diseño de Obras Hidrotécnicas*. Sangolquí.
- Secretaría del Agua. (1992). *Norma CO 10.7 - 602. Normas de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural*.
- SENAGUA. (2016). *Estrategia Nacional de Agua Potable y Saneamiento*. Obtenido de <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/07/REVISTA-SENAGUA.compressed.pdf>
- SENPLADES. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda un vida*. Quito.
- Silva, C., & Young, A. (2000). Introduction to Chaos-Based Communications and Signal Processing. *The Aerospace Corporation*.
- Smith, R., & Campuzano, C. (2000). Análisis exploratorio para la detección de cambios y tendencias en series hidrológicas. *XIV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología*.
- Socolar, J. (2003). *Nonlinear Dynamical Systems*.
- Soong, T. (2004). *Fundamentals of probability and statistics for engineers*.
- Unidas, N. (2019). *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Obtenido de <https://www.undp.org/content/undp/es/home.html>

- Vera, L. (2001). *Análisis de aforo de la estación hidrométrica Obrajillo*.
- Villavicencio, J. (2011). *Introducción a Series de Tiempo*. Obtenido de Instituto de Estadística de Puerto Rico:
http://www.estadisticas.gobierno.pr/iepr/LinkClick.aspx?fileticket=4_BxecUaZmg%3D
- Warlet, P. (16 de Febrero de 2019). Entrevista personal al representante de la fundación Huambi Ayamtai. (D. Espinosa Yáñez, & S. Pazmiño Dávila, Entrevistadores)
- Warlet, P. (7 de abril de 2019). Población de proyección en proyecto Huambi Ayamtai. (D. Espinosa Yáñez, & S. Pazmiño Dávila, Entrevistadores)
- Williams, G. (1997). *Chaos Theory Tamed*. Washington: Joseph Henry Press.
- Young, Z., & Marwan, N. (2010). Identifying complex periodic windows in continuous time dynamical systems using recurrence based methods. *AIP Publishing. Chaos*.