



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Calidad de agua lluvia y consumo en Zapallo Grande, Loma Linda-Ecuador mediante
modelos Unidimensionales**

Granja Ojeda, José Alexander

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Geógrafo y del Medio
Ambiente

Ing. Bolaños Guerrón, Darío Roberto, Ph.D.

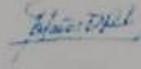
24 de julio del 2020

URKUND

Document Information

Analyzed document	Tesis José Granja Rev DBG 19-05-2020.docx (D74194323)
Submitted	6/5/2020 8:51:00 PM
Submitted by	CAROLINA DEL ROCIO MONTERO CALDERÓN
Submitter email	cdmontero@uce.edu.ec
Similarity	5%
Analysis address	cdmontero.uce@analysis.arkund.com

Firma



Ing. Bolaños Guerrón, Dario Roberto, Ph.D.

C.C: 1715206593



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "**Calidad de agua lluvia y consumo en Zapallo Grande, Loma Linda-Ecuador mediante modelos Unidimensionales**" fue realizado por el señor **Granja Ojeda, José Alexander** el mismo que ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolqui, 5 de junio del 2020

Firma

Una firma manuscrita en tinta azul que parece leer 'Darío Roberto Bolaños'.

Ing. Bolaños Guerrón, Darío Roberto, Ph.D.

C.C: 1715206593



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, Granja Ojeda, José Alexander, con cédula de ciudadanía 1804287025, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Calidad de agua lluvia y consumo en Zapallo Grande, Loma Linda-Ecuador mediante modelos Unidimensionales"** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolqui, 24 de julio del 2020

Firma

Granja Ojeda, José Alexander

C.C: 1804287025



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Granja Ojeda José Alexander**, con cédula de ciudadanía 1804287025, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: "**Calidad de agua lluvia y consumo en Zapallo Grande, Loma Linda-Ecuador mediante modelos Unidimensionales**" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolqui, 24 de julio del 2020

Firma

Granja Ojeda José Alexander

C.C: 1804287025

Dedicatoria

Este trabajo de titulación es dedicado especialmente a mi madre, Marlene, por su apoyo, trabajo, sacrificio, motivación a pesar de las dificultades, por los valores que me ha inculcado, sobretodo, gracias por el amor que me ha entregado.

A mi padre Ramiro, mi abuelo Leonardo y mi tía Elizabeth, que aunque no estén físicamente conmigo los llevo presente en mi mente, en mi corazón y sé que siempre me están bendiciendo y guiando.

A mis hermanos, Estefania y Antonio, por ser mi fortaleza, por estar siempre presentes y por el apoyo moral, que me han brindado a lo largo de esta etapa tan importante de mi vida.

A mis amigos, por demostrarme su cariño y apoyo en todo momento. Gracias por formar parte de esta aventura, por las risas, enojos, bromas, llantos, por todos aquellos momentos compartidos a lo largo de estos años. No duden que cuentan conmigo, cuando lo necesiten.

Agradecimientos

Quiero expresar mi gratitud a Dios, por su bendición y por permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre y hermanos por ser los pilares más importantes y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. Al igual que a toda mi familia por su apoyo y consejos.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento a los docentes del Departamento de Ciencias de la Tierra y Construcción, especialmente al Dr. Dario Bolaños, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento y enseñanza permitió el desarrollo de este trabajo.

Índice de Contenido

Urkund	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Índice de Tablas	12
Resumen	16
Abstract	17
Capítulo I	1
Planteamiento del Problema de Investigación	1
Antecedentes	1
Definición del problema	5
Justificación	6
Objetivos	7
Objetivo General	7
Objetivos Específicos	8
Hipótesis	8
Capítulo II:	9
Marco Teórico	9

	9
El Agua _____	9
Características físico – químicas _____	9
Importancia _____	9
Polución del agua _____	9
Contaminación del agua _____	10
Contaminantes del agua _____	10
Agua de consumo humano _____	10
Calidad del agua _____	11
Estándares de calidad _____	11
Índices de calidad _____	11
Indicadores físicos, químicos y bacteriológicos _____	11
Parámetros físicos _____	11
Parámetros químicos _____	12
Parámetros biológicos _____	12
Enfermedades relacionadas con el agua presentes en Esmeraldas _____	12
Dengue _____	12
Enfermedades intestinales _____	12
Enfermedades Diarreicas _____	13
Modelación unidimensional _____	13
Modelación hidrológica _____	14
Parámetros morfométricos necesarios para una modelación Hidrológica _____	15
Parámetros de Relieve _____	15
Parámetros de Forma _____	17
Parámetros relativos de la red hidrográfica _____	19

	10
Importancia de Modelación Hidrológica _____	21
Variables de una Modelación Hidrológica _____	21
Modelación hidrológica con HEC-HMS _____	22
Marco legal _____	23
Capítulo III _____	24
<i>Metodología</i> _____	24
Descripción del área de estudio _____	24
Caracterización socioeconómica de la población. _____	25
Muestreo y análisis de agua _____	26
Muestreo _____	26
Método de Análisis _____	30
Datos Meteorológicos _____	31
Modelación hidrológica _____	31
Morfometría de las subcuencas _____	32
Precipitación Histórica _____	32
Condiciones de humedad del suelo _____	33
Transformación de lluvia en escorrentía _____	35
Hidráulica de los métodos de tránsito _____	36
Capítulo IV _____	37
Resultados y Discusión _____	37
Análisis de resultados de las encuestas _____	37
Resultados Físico-químico y bacteriológico _____	43

	11
Parámetros analizados en campo _____	43
Parámetros analizados en laboratorio _____	44
Modelación Hidrológica con HEC-HMS _____	54
Morfometría de las subcuencas _____	54
Precipitación histórica _____	57
Curvas IDF _____	57
Hietogramas _____	61
Condiciones de humedad del suelo _____	65
Transformación de lluvia en escorrentía _____	68
Hidráulica de los métodos de tránsito _____	68
Caudales obtenidos del modelo HEC-HMS _____	69
Capítulo V _____	74
Conclusiones y Recomendaciones _____	74
Conclusiones _____	74
Recomendaciones _____	76
Capítulo VI _____	77
Bibliografía _____	77
Anexos _____	81

Índice de Tablas

Tabla 1: <i>Tipos De Pendiente</i>	17
Tabla 2: <i>Clasificación Del Índice De Compacidad</i>	18
Tabla 3: <i>Descripción De Los Puntos Muestreados</i>	27
Tabla 4: <i>Tipos De Suelo Y Características</i>	34
Tabla 5: <i>Valores Del Número De Curva</i>	35
Tabla 6: <i>Promedio de los parámetros de campo de todos los puntos</i>	43
Tabla 7: <i>Parámetros de laboratorio de ZG1</i>	44
Tabla 8 <i>Parámetros de laboratorio de ZG2</i>	45
Tabla 9: <i>Parámetros de laboratorio de ZG3</i>	46
Tabla 10: <i>Parámetros de laboratorio de ZG4</i>	47
Tabla 11: <i>Parámetros de laboratorio de LL1</i>	48
Tabla 12: <i>Parámetros de laboratorio de LL2</i>	49
Tabla 13: <i>Parámetros de laboratorio de LL3</i>	50
Tabla 14 <i>Parámetros Físico-químicos de los puntos muestreados</i>	52
Tabla 15: <i>Coliformes muestreadas en el río Cayapas</i>	53
Tabla 16: <i>Parámetros de relieve de la cuenca de estudio</i>	54
Tabla 17: <i>Parámetros de Forma</i>	55
Tabla 18: <i>Parámetros de la red hidrográfica</i>	56
Tabla 19: <i>Tiempo de Concentración de las subcuencas del río Cayapas</i>	56
Tabla 20 <i>Intensidad máxima en 24 horas</i>	58
<i>Tabla 21: Intensidad de lluvia Estación M058</i>	58
Tabla 22: <i>Intensidades de lluvia Estación M224</i>	59

Tabla 23: <i>Intensidades de lluvia Estación M154</i>	61
Tabla 24: <i>Hietograma de precipitación (Estación M058)</i>	62
Tabla 25: <i>Hietograma de precipitación (Estación M224)</i>	63
Tabla 26: <i>Hietograma de precipitación (Estación M154)</i>	64
Tabla 27: <i>Valores de CN, S, la de la cuenca del río Cayapas</i>	67
Tabla 28: <i>Valores de tiempo de concentración de las subcuencas</i>	68
Tabla 29: <i>Valores de tiempo de retardo de las subcuencas</i>	68
Tabla 30: <i>Caudales máximos en la cuenca del río Cayapas</i>	73

Índice de Figuras

Figura 1: <i>Ubicación de la Cuenca</i>	24
Figura 2: <i>Mapa de Ubicación de los puntos muestreados</i>	29
Figura 3: <i>¿Quién responde la encuesta?</i>	37
Figura 4: <i>Número de familias que viven en la vivienda</i>	38
Figura 5: <i>Habitaciones disponibles para dormir</i>	38
Figura 6: <i>¿Cuál es el tipo de letrina con la que cuenta el hogar?</i>	39
Figura 7: <i>¿Cuál es la fuente principal de dónde obtiene agua la vivienda?</i>	40
Figura 8: <i>¿Considera que el agua que consume puede causar enfermedades?</i>	40
Figura 9: <i>¿Cuál es la forma en que beben el agua los miembros de la familia?</i>	41
Figura 10 <i>¿Cuáles son las actividades económicas a las que se dedican el resto de miembros de la familia?</i>	42
Figura 11: <i>¿Qué enfermedades afectan con mayor frecuencia a los miembros de su familia....</i>	42
Figura 12: <i>Cuenca del Río Cayapas</i>	55
Figura 13: <i>Curva IDF estación M058</i>	59
Figura 14: <i>Curva IDF estación M224</i>	60
Figura 15: <i>Curva IDF Estación M154</i>	61
Figura 16: <i>Hietograma de precipitación (Estación M058)</i>	62
Figura 17: <i>Hietograma Estación M224</i>	63
Figura 18: <i>Hietograma Estación M154</i>	64
Figura 19: <i>Mapa de tipos de suelo en la cuenca del río Cayapas</i>	65
Figura 20: <i>Mapa de números de curva “CN” en la cuenca del río Cayapas</i>	66
Figura 21: <i>Hidrograma de la subcuenca del río Santiago</i>	69
Figura 22: <i>Hidrogramas de las subcuencas del río Cayapas</i>	70

Figura 23: <i>Cuadro de resumen para periodo de retorno de 10 años</i>	71
Figura 24: <i>Cuadro de resumen para periodo de retorno de 25 años</i>	72
Figura 25: <i>Cuadro de resumen para periodo de retorno de 50 años</i>	72

Resumen

La cuenca del río Cayapas está ubicada en la provincia de Esmeraldas, tiene una superficie de 241,8327 km^2 . La importancia de esta cuenca radica en que alberga y es la principal fuente de abastecimiento de aproximadamente 50 comunidades, en las cuales las principales actividades son la agricultura, ganadería y la industria maderera. Por esta razón, este estudio está dirigido a contribuir al acceso a adecuados servicios de saneamiento y agua en las comunidades de Cayapas, San Lorenzo - Esmeraldas partiendo de una caracterización socio económica y cultural de comunidades del río Cayapas. Además, realizar un diagnóstico sobre las actuales características físico químico y bacteriológico de la calidad de agua del río Cayapas, así como también elaborar una modelación unidimensional para conocer los caudales máximos probables del sistema hidrográfico. Con estos análisis poder comprobar si el agua que consumen las comunidades asentadas a lo largo del río Cayapas cumplen o no cumplen con la norma ambiental vigente para aguas de consumo humano y uso doméstico según la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Acuerdo No 061, Acuerdo No 097-A, lo cual puede ser el causante de las constantes enfermedades que presenta dicha población.

Palabras Clave:

- **RÍO CAYAPAS**
- **CALIDAD DE AGUA**
- **MODELO HIDROLÓGICO**

Abstract

The Cayapas river basin is located in the province of Esmeraldas, it has an area of 241,8327 km^2 . The importance of this basin lies in the fact that it houses and is the main source of supply for approximately 50 communities, in which the main activities are agriculture, livestock and the wood industry. For this reason, this study is aimed at contributing to access to adequate sanitation and water services in the communities of Cayapas, San Lorenzo - Esmeraldas based on a socio-economic and cultural characterization of communities in the Cayapas River. In addition, make a diagnosis on the current physical, chemical and bacteriological characteristics of the water quality of the Cayapas River, as well as prepare a one-dimensional modeling to know the maximum probable flows of the hydrographic system. With these analyzes, it can be verified whether the water consumed by the communities settled along the Cayapas river comply or not with the current environmental standard for water for human consumption and domestic use, according to the Reform of Book VI of the Unified Text of Secondary Legislation, Agreement No. 061, Agreement No. 097-A, which may be the cause of the constant diseases that this population presents.

Key words:

- **CAYAPAS RIVER**
- **WATER QUALITY**
- **HYDROLOGICAL MODEL**

Capítulo I

Planteamiento del Problema de Investigación

Antecedentes

De acuerdo con Galárraga (2010), Ecuador es uno de los países de Sudamérica que posee grandes reservas de agua. Para 1998, la cobertura de agua potable era de aproximadamente 41% del total de hogares, 20 años después, la infraestructura de agua potable y alcantarillado del Ecuador ha incrementado a un 68%, puesto que la conservación, el manejo adecuado del agua es de importancia en el país, sin embargo la población de la provincia de Esmeraldas, en especial la del cantón Eloy Alfaro, no cuenta con abastecimiento de agua potable y alcantarillado ya que presentan complicaciones con respecto a la captación y uso de dicho recurso (Alfaro, 2018).

Adicional a esto, teniendo en cuenta que el agua es un recurso vital para la humanidad, a nivel mundial aproximadamente el 4% de la población muere por causas relacionadas con el agua y su calidad. El desarrollo agrícola e industrial aumentó la presión o amenaza sobre este recurso, lo cual ha limitado su aprovechamiento al existir un crecimiento en el uso indiscriminado de sustancias tóxicas que han sido vertidas directamente al medio ambiente, alterando así sus características fisicoquímicas (Cirelli, 2016).

A partir de la resolución de Naciones Unidas, en la que declara el derecho al agua como un derecho humano, es posible entender su importancia desde una perspectiva integral en la que confluyen otros derechos como la salud, la soberanía alimentaria para el derecho a la alimentación, los derechos colectivos y de la naturaleza (Hernández, 2010).

En la misma línea, la Asamblea General de la ONU declaró el agua de consumo humano limpia y segura y, el saneamiento como un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida, así como todos los demás derechos humanos, por lo cual mediante la Normativa ecuatoriana vigente se ha presentado una mayor exigencia en la calidad de agua especialmente en la aplicación para el consumo humano (Mancheno, 2015).

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente declara que la contaminación patógena afecta a un tercio de los ríos a nivel mundial (un séptimo de los tramos de un río), al igual que la contaminación inorgánica afecta a un décimo de los tramos de un río (UNESCO, 2017), afectando así el ecosistema y las actividades que se producen en el mismo, lo cual provoca un impacto negativo en la salud y el bienestar humano.

Como menciona Hernández (2010), el agua es el recurso natural de mayor incidencia en la vida económica y social del Ecuador. De su disponibilidad o déficit depende el desarrollo de las actividades de la población, así como su supervivencia. En el agua, así mismo, se exteriorizan los graves problemas de salud pública que aquejan a varias zonas del territorio nacional. Y, según SENAGUA (2011), la minería, agricultura, la descarga de aguas servidas domiciliarias, son algunas de las actividades que han generado procesos de contaminación en los ríos, causando graves riesgos en la salud humana y en el ambiente, provocando cambios indeseables en las características físico químicas y bacteriológicas. Para promover la gestión sustentable del recurso es necesario realizar estudios de calidad del agua, sedimentos y otros.

De igual forma, la calidad del agua para consumo ha sido asociada con diferentes enfermedades, ya que debido a la falta de acceso adecuado se han generado enfermedades infecciosas y parasitarias, siendo los menores de edad, personas debilitadas y adultos mayores los más afectados (Guzmán, 2012). Según Corvalán (2006) estima que el 94 % de los casos de

diarrea podría evitarse mediante el aumento de la disponibilidad del agua potable y el acceso al saneamiento básico, así como la promoción de acciones de educación en salud (Cairncross S, 2018).

Por su parte, los costos de atención médica para atender estas afecciones son muy incidentes y de influencia negativa en la economía familiar de la población pobre del país, lo que los convierte en un estrato de mayor vulnerabilidad y con pocas posibilidades de optar por un grado mínimo de desarrollo.

En el Ecuador existen zonas en las que el agua subterránea es el único recurso accesible para abastecer poblaciones o para el riego de cultivos, por lo que constituye el recurso esencial para la seguridad alimentaria y de carácter vital para el funcionamiento de los ecosistemas. Pese a ello, desde el año 1983 hasta la presente fecha, no se ha actualizado el mapa hidrogeológico nacional a escala de 1:1'000.000, ni se dispone de estudios que permitan identificar áreas susceptibles de contaminación y sobreexplotación, para establecer estrategias de protección del agua, definir y priorizar soluciones y mantener un sistema adecuado de monitoreo y observación (CEPAL, 2012).

Realizar estudios de concentraciones orgánicas e inorgánicas es fundamental para el análisis del recurso hídrico, puesto que sirven para definir la calidad y aceptabilidad del agua para su uso y consumo según la normativa ambiental vigente, para posteriormente determinar una gestión y saneamiento del agua.

El río Cayapas fue objeto de estudio en el 2011 por parte de la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA), en este estudio se determinó la calidad del agua del Cantón Eloy Alfaro en el cual se concluyó que los cuerpos de agua de la zona están afectados por las actividades antrópicas y ponen en riesgo la salud de las poblaciones que consumen de estas aguas, de igual

forma en marzo del 2020, Wáter Research realizó un estudio de estrategias de afrontamientos de hogares asociados con suministros de agua poco confiables en Ecuador especialmente en Borbón en el cual se llegó a la conclusión que el aumento del almacenamiento y el uso de fuentes secundarias poco confiables se asocian con enfermedades diarreicas.

Otro aspecto en el estudio de las concentraciones orgánicas e inorgánicas radica en que el río Cayapas es el principal afluente de aproximadamente 50 comunidades como lo menciona el Proyecto de Vinculación “Mejora del acceso al agua y saneamiento en comunidades de la parroquia San José del Cayapas”. Realizado en 2019, en las cuales la principal actividad es la agricultura, ganadería y la industria maderera, por lo que incrementar el uso del agua del río Cayapas generarían beneficio social y económico en la comunidad.

El Proyecto está dirigido a contribuir al acceso a adecuados servicios de saneamiento y agua en las comunidades de Cayapas, San Lorenzo - Esmeraldas partiendo de una caracterización socio económica y cultural de comunidades del río Cayapas, que incluye información sobre los servicios de agua y saneamiento actuales de los que dispone la población. Además, considera hacer un amplio diagnóstico sobre las actuales características físico químico y bacteriológico de la calidad de agua para abastecimiento, saneamiento y tratamiento de aguas residuales

La modelación unidimensional (hidrológica), parte de la obtención de datos hidrológicos y meteorológicos, los cuales son proporcionales por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). En este proyecto se tomó en cuenta tres estaciones meteorológicas (Cayapas M154, San Lorenzo M224 y Esmeraldas Tachina M058), que se ubican en la zona de estudio – provincia de Esmeraldas.

Definición del problema

La provincia de Esmeraldas ha sufrido un grave problema como es la minería ilegal, lo cual ha generado un impacto negativo en el medio ambiente y en la sociedad, mediante el oficio SN.1-0233 en 2011 se declaró el estado de emergencia a los Cantones de San Lorenzo y Eloy Alfaro por daño ecológico, social y económico, por tal razón la Dirección Nacional de Protección de Derechos Humanos y de la Naturaleza solicitó a diferentes instituciones del Estado como SENAGUA, al Ministerio del Ambiente, entre otras a realizar evaluaciones para determinar el grado de afectación que genera la explotación minera. Otro grave problema que sufre la provincia de Esmeraldas en especial el Río Cayapas es la descarga de aguas servidas de las comunidades asentadas a lo largo de las fuentes en mención, lo que aumenta la carga de microorganismos y carga orgánica, que afecta al uso y consumo del recurso (Secretaría Nacional del agua, 2011).

Actualmente las comunidades identificadas como CHACHI, localizadas en la zona alta del río Cayapas, pertenecientes al cantón Eloy Alfaro, en la provincia de Esmeraldas, se dedican casi en su totalidad a la pesca y agricultura. Las poblaciones cuentan con una alta incidencia de enfermedades diarreicas, respiratorias y desnutrición, debido a la falta de acceso a servicios de salud, así como la deficiente infraestructura en servicios básicos principalmente al no poseer suministro de agua potable (GAD San Jose Cayapas, 2018).

La investigación realizada por Voloshenko (2015), estudió la mayor corriente de agua en la cuenca de Esmeraldas en el Ecuador, para cuantificar los micro contaminantes orgánicos y la calidad de agua del río, con lo cual llegó al mismo resultado que la Secretaría Nacional del Agua en 2010, que los ríos de la Provincia de Esmeraldas están contaminados debido a la presencia

de metales pesados como son aluminio, arsénico, así como los elevados valores en cuanto a DBO5, coliformes totales y fecales que sobrepasan los límites máximos permisibles.

Asimismo, a través del proyecto CARTOMUNDO realizado por la ONGD (amigos de Cayapas) se identifica que la mayoría de las enfermedades que presentan las comunidades situadas a lo largo del río Cayapas están directamente asociadas a la higiene, encontrando así una relación entre las diferencias sociales, el nivel de salubridad y el número de diagnósticos por causas de higiene.

Justificación

El Proyecto de Vinculación “Mejora del acceso al agua y saneamiento en comunidades de la parroquia San José del Cayapas”, desarrollado por el CENCINAT de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en colaboración con Universidad Politécnica de Madrid y la fundación amigos del Cayapas, menciona que una de las principales problemáticas de las comunidades alrededor del río Cayapas es la deficiente calidad del agua de abastecimiento y un sistema de saneamiento precario.

La parroquia de San José de Cayapas tiene un nivel de pobreza de 61.3% (Bonilla, 2015), esto se puede palpar a través de su bajo nivel de escolaridad y su analfabetismo, lo que no les permite tener niveles de ingresos buenos, desde hace varios años se reconoce que existe una correlación entre la calidad y cobertura de servicios con la calidad de vida e ingresos de una familia (Cirelli, 2016).

Una inadecuada provisión de agua y servicios de saneamiento pueden generar a los pobladores del cantón enfermedades, así como incrementar la tasa de mortalidad y morbilidad, generando un mal desarrollo de la población (Mancheno, 2015).

Partiendo de lo expresado en el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, en el eje 1: derechos para todos durante toda la vida, en especial en los objetivos uno y tres, donde menciona lo importante que es garantizar una vida digna, así como también los derechos de la naturaleza, esta investigación sirve para determinar las características físico-químicas y bacteriológicas del agua, en el tramo del río Cayapas, entre las comunidades de Zapallo Grande y Loma Linda, y así, mejorar la calidad de vida de sus pobladores. Esta información de base, permitirá generar proyectos de abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas servidas en las parroquias rurales, de difícil acceso.

En este contexto, el presente proyecto conlleva el manejo de información hidrológica y de calidad de agua, que será procesado en el programa hidrológico (HEC-HMS), el cual permitirá por medio de una modelación conocer los caudales máximos probables y calidad actual del sistema hidrográfico del río Cayapas.

Objetivos

Objetivo General

Analizar los parámetros físicos – químicos (color, turbidez, cloro residual, caudal, temperatura del agua, temperatura ambiente, pH, nitritos, nitratos, DBO, DQO) y bacteriológicos (coliformes fecales y coliformes totales) de calidad del agua para consumo humano en el río Cayapas en el tramo de las comunidades Zapallo Grande – Loma Linda de la parroquia San José de Cayapas del Cantón Eloy Alfaro–Ecuador , mediante métodos estándar y modelos unidimensionales para capacitar a las familias sobre el aprovechamiento del agua para abastecimiento humano.

Objetivos Específicos

- Definir y caracterizar el área de estudio desde un aspecto socioeconómico mediante la elaboración de encuestas a la población de dichas comunidades para determinar el nivel de ingresos, el consumo de agua y crecimiento poblacional.
- Analizar los parámetros físicos – químicos (color, turbidez, cloro residual, caudal, temperatura del agua, temperatura ambiente, pH, nitritos, nitratos, DBO, DQO) y bacteriológicos (coliformes fecales y coliformes totales) del agua de abastecimiento en el tramo de las comunidades Zapallo Grande – Loma Linda, para determinar si es apta para consumo humano, mediante un muestreo simple en los diferentes puntos seleccionados en tres épocas distintas.
- Capacitar a los miembros de las comunidades sobre el control, desinfección y mantenimiento de aguas lluvia para que exista un mejoramiento en la calidad de agua para consumo humano, mediante una charla en cada comunidad (Zapallo Grande, Loma Linda).
- Realizar una modelación unidimensional (hidrológica) utilizando el programa HEC-HMS, para la futura construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales que se llevara a cabo por el proyecto de Vinculación “Mejora del acceso al agua y saneamiento en comunidades de la parroquia San José del Cayapas.” Desarrollado por el CENCINAT de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE en colaboración con Universidad Politécnica de Madrid y la fundación amigos del Cayapas.

Hipótesis

El agua del río Cayapas en el tramo de las comunidades Zapallo Grande y Loma Linda es apta para el consumo humano.

Capítulo II:

Marco Teórico

El Agua

El agua es un recurso natural renovable, esencial para todas las formas de vida, es la única sustancia que existe en los tres estados de la materia, en nuestro planeta se encuentra distribuida en un 97.6% en aguas marinas, 1.9% casquetes polares, 0.5% aguas subterráneas, suelo y atmósfera (Auge, 2007).

Características físico – químicas

El agua pura tiene su punto de ebullición y congelación de 100°C y 0°C respectivamente, en condiciones normales de 0°C y 1atm de presión alcanza su densidad máxima a una temperatura de 4° C y se expande al congelarse. Es un líquido casi incompresible por su estructura compacta, es disolvente universal (Auge, 2007).

Importancia

El agua es necesaria para realizar diversas actividades, por ejemplo, para consumo humano, preparación y producción de alimentos, higiene personal, cría de animales, etc. Es así, que se necesita agua para desintoxicar el cuerpo humano y mantener constante su temperatura (Mancheno, 2015). Sin embargo se considera que el agua es un vehículo de transmisión de muchas enfermedades, ya que el agua sirve como hábitat a los agentes patógenos en los cuales ciertos parásitos pasan parte de su ciclo de vida (Contreras K, 2008).

Polución del agua

Es una modificación, generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua, haciéndola impropia y peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca, las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural (Espigares & Pérez, 2005).

Contaminación del agua

La contaminación del agua es la presencia en el medio ambiente de uno o más contaminantes que causen efectos negativos en el ambiente y los recursos naturales en general. (Ministerio del Ambiente, Mayo 2015).

Contaminantes del agua

De acuerdo con Heising (2009) las principales sustancias que contaminan el agua son:

- ✓ Agentes patógenos. - Parásitos que entran al agua proveniente de desechos orgánicos, bacterias, virus, protozoarios.
- ✓ Sustancias químicas orgánicas. - Petróleo, plásticos, plaguicidas, detergentes.
- ✓ Sustancias químicas inorgánicas. - Ácidos, compuestos de metales tóxicos que envenenan el agua.
- ✓ Nutrientes vegetales que ocasionan eutrofización del agua debido al crecimiento excesivo de plantas acuáticas que agotan el oxígeno del agua.
- ✓ Materia Suspendida. - partículas insolubles de suelo.
- ✓ Sustancias radiactivas pueden causar defectos congénitos y cáncer

Agua de consumo humano

Es aquella agua que está limpia, saludable, libre de sustancias tóxicas y agentes patógenos que son un factor de riesgo para el individuo y para su salud (Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, 2015).

Calidad del agua

Son las características físicas, químicas y biológicas que establecen la composición del agua y hacen apta para satisfacer la salud, el bienestar de la población y el equilibrio ecológico (Ministerio del Ambiente, Mayo 2015).

Estándares de calidad

Son valores límites establecidos legalmente para cada parámetro que indiquen y sirvan de referencia para establecer la calidad del agua, son valores propios para cada medio de estudio (Sánchez, 2016).

Índices de calidad

Es una valoración global de la calidad o grado de contaminación, asignan un valor único a partir de la ponderación de diferentes indicadores específicos, pueden ser índices físicoquímicos, biológicos, hidromorfológicos (Sánchez, 2016).

Indicadores físicos, químicos y bacteriológicos

Mediante la evaluación de los indicadores físicos, químicos y biológicos del agua se puede obtener información acerca de las propiedades del agua, así como su composición, estos indicadores se realizan para analizar la calidad del agua de consumo y determinar si es un agua de buena o mala calidad (Contreras K, 2008).

Parámetros físicos

Son indicadores relativos que pueden variar considerablemente, la variación de un solo parámetro nos da una idea del grado de contaminación del agua, Los principales parámetros son; turbidez, color, olor, sabor, temperatura (Sánchez, 2016).

Parámetros químicos

Permiten identificar y medir los agentes de contaminación, dependen de la finalidad específica del estudio o el grado de contaminación. Los principales parámetros son: dureza, conductividad, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno (DQO), demanda química de oxígeno (DBO) (Sánchez, 2016).

Parámetros biológicos

Son complementarios a los parámetros físico-químicos, se utiliza organismos vivos significativos y fáciles de identificar que permiten estimar la calidad del agua mediante el control de dichos organismos. Los principales parámetros son: coliformes totales, coliformes fecales (Sánchez, 2016).

Enfermedades relacionadas con el agua presentes en Esmeraldas

Dengue

Es una enfermedad causada y transmitida por la picadura de las hembras de mosquitos *Aedes aegypti*, una forma de prevención para esta enfermedad es con insecticidas en todos los recipientes que puedan contener agua (Cornejo, 2013).

Enfermedades intestinales

Es un problema mundial debido a que son causados por alimentos y agua contaminada con materia fecal, es una de las principales causas de muerte que pueden afectar a personas de cualquier edad y condición social, sus síntomas son fiebre, vómito, náuseas, dolor abdominal (Mosquera, 2014).

Enfermedades Diarreicas

Es la disposición de tres o más veces al día de heces sueltas o líquidas, es una infección del tracto digestivo, suele ser ocasionada por organismos bacterianos, víricos y parásitos, generalmente se transmite por una higiene deficiente por los alimentos o agua de consumo, los síntomas son fiebre, vómito, dolor de vientre y sangre en las heces, según Mosquera (2014) existen tres enfermedades diarreicas que son:

- ✓ La diarrea acuosa aguda que dura varias horas o días
- ✓ La diarrea aguada con sangre
- ✓ La diarrea persistente que dura más de 10 días

Modelación unidimensional

Los modelos unidimensionales, asumen que una de las dimensiones prevalece sobre las otras dos. Esta dimensión es la longitudinal a lo largo del eje del río o canal, el tirante y la velocidad son calculadas de las secciones transversales introducidas, es decir toda la sección es representada por un único valor medio de velocidad, los modelos unidimensionales no consideran variaciones en la distribución de velocidades horizontal y verticalmente (Cabrera, 2017).

Los modelos unidimensionales son herramientas sencillas y de amplia difusión ya que no toma en cuenta la evolución temporal, se basan en esquemas numéricos relativamente simples pero eficaces (ecuación de la conservación de la energía, ecuación de Manning, ecuación de la cantidad de movimiento, etc.), que pueden considerar cambios de régimen, tales como azudes, puentes, pasos bajo vía, etc. (Molero, 2009).

Modelación hidrológica

Un modelo se puede definir como una representación simplificada del mundo real, que permite tener una idea de lo que ocurre bajo ciertas circunstancias en un determinado lugar.

Una modelación hidrológica es una representación de fenómenos que ocurren en la cuenca hidrográfica durante las fases del ciclo hidrológico, tales como precipitación, infiltración, escorrentía y agua subterránea, que son factores que varían espacial y temporalmente dependiendo de las características del sitio, con el objetivo de estudiar y comprender su funcionamiento para poder predecir su salida que son variables hidrológicas medibles (Martinez, 2014).

Por su parte Boston (2009), menciona que los modelos hidrológicos no son más que abstracciones matemáticas que describen el ciclo hidrológico con la finalidad de simular la conversión de precipitación en escorrentía y que su objetivo principal es estimar el caudal pico en el punto de cierre del estudio de cada cuenca, con el uso de sistemas de información geográfica SIG, ya que estos nos permiten calcular el área de la cuenca, longitud del cauce y los coeficientes de escorrentía e función del uso del suelo.

El modelo hidrológico se lo realiza con un modelo matemático formado por ecuaciones que representan un proceso ligado a una secuencia espacio-temporal, lo cual se lleva a cabo con datos hidroclimatológicos, así como datos fisiográficos de la cuenca de estudio (González, 2008).

Parámetros morfométricos necesarios para una modelación Hidrológica

Los parámetros morfométricos son indicadores de la influencia que tiene la forma o tamaño de la cuenca con la captación y movimiento de agua de lluvia. La forma de la cuenca permite conocer la velocidad con la que la gota de lluvia llega al cauce principal, los principales parámetros morfométricos son: de relieve, de forma, relativos a la red hidrográfica (Tapia, 2012).

Parámetros de Relieve

Los parámetros de relieve tienen una relación directa con el tiempo de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje, los parámetros utilizados en este proyecto son:

a) Área (A):

Es el parámetro básico que define y delimita a la cuenca, es decir, la superficie delimitada por la divisoria de agua expresada en Km².

b) Perímetro (P):

Es la longitud de la línea envolvente del área de la cuenca, es el límite exterior de la cuenca, generalmente expresada en metros o kilómetros.

c) Longitud Axial (La):

Es la distancia en línea recta entre la desembocadura y el punto de la red más alejada.

d) Ancho promedio (Ap):

Es la relación entre el área de la cuenca y su longitud axial. (Fórmula 1).

$$AP = \frac{A}{La} \quad (1)$$

Dónde:

Ap: Ancho promedio de la cuenca (m).

A: Área (Km²).

La: Longitud axial (m).

f) Altura media (h):

Es la diferencia entre la cota máxima y la cota mínima del área de estudio dividida para 2 (Fórmula 2).

$$h = \frac{H_{\text{máx}} - H_{\text{mín}}}{2} \quad (2)$$

Dónde:

h: altura media (m).

Hmáx: cota máxima (m).

Hmín: cota mínima (m).

g) Factor topográfico o pendiente media de la cuenca (PM)

Es el tipo de relieve en el que se encuentra la cuenca, está muy influenciado por la configuración topográfica y el poder erosivo de acuerdo a los rasgos de pendiente. Mintegui Aguirre (1988) presentó una clasificación del tipo de relieve según la pendiente que se puede apreciar en la tabla 1:

Tabla 1:*Tipos De Pendiente*

Pendientes (%)	Tipo de relieve
0-3	Plano
3-12	Suave
12-18	Mediano
18-24	Levemente Accidentado
24-30	Accidentado
>30	Fuerte

Nota: (Tapia, 2012)

El cálculo de la pendiente media de la cuenca se lo realiza con la relación entre el desnivel y la longitud axial que se obtiene a partir del modelo digital de elevación (Fórmula 3).

$$PM(\%) = \frac{D}{La} \quad (3)$$

Dónde:

PM: Pendiente media (%).

D: Desnivel topográfico (m).

La: Longitud Axial (m).

Parámetros de Forma

Los parámetros de forma influyen los escurrimientos y el recorrido del hidrograma resultante de una lluvia, los principales parámetros que se utilizan son:

a) Índice de compacidad (Kc)

Es el tiempo que tarda una gota en trasladarse desde el punto más lejano de la cuenca hasta la salida y está relacionado con la forma de la cuenca, Es una relación de circularidad de la cuenca (0,28) (Fórmula 4).

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (4)$$

Dónde:

Kc: Índice de compacidad.

P: Perímetro (Km).

A: Superficie de la cuenca (Km²).

Gaspari (2009), presenta una clasificación del índice de compacidad (ver tabla 2), que está relacionado con el tiempo de concentración y está ligado a la forma de la cuenca.

Tabla 2:

Clasificación Del Índice De Compacidad

Kc	Forma de la Cuenca
1	Redonda
1,25	Oval redonda
1,50	Oblonga
1,75	Rectangular oblonga

Fuente (Tapia, 2012)

b) Factor de forma (IF)

Son las crecidas en la cuenca, es la relación entre el ancho promedio y la longitud axial, intenta medir cuán alargada es la cuenca (Fórmula 5), es un índice adimensional.

$$IF = \frac{AP}{La} \quad (5)$$

Dónde:

IF: Factor de forma.

Ap: Ancho promedio (m).

La: Longitud axial (m).

Parámetros relativos de la red hidrográfica

Los parámetros de la red hidrográfica o drenaje natural sirven para estudiar los escurrimientos cuando no se cuenta con información cuantitativa, son parámetros que describen la geometría de la red son:

a) Densidad de drenaje (D)

Es la respuesta de la cuenca ante una tormenta, la densidad de drenaje define el grado de correspondencia entre el tipo de red y la clase de material predominante en la zona, es la relación entre la longitud total de los cursos de agua dentro de la cuenca y el área expresada en km/km² (Fórmula 6).

$$D = \frac{\sum li}{A} \quad (6)$$

Dónde:

D: Densidad de drenaje (%).

$\sum li$: Longitud total de los cursos de agua (Km).

A: Área de la cuenca (Km²).

b) Pendiente media del cauce (J)

Es la diferencia entre la altura máxima y mínima del cauce principal y la longitud del mismo multiplicado por 100, por lo cual se expresa en porcentaje (Fórmula 7)

$$J = \frac{(H \text{ max} - H \text{ min})}{L} \times 100 \quad (7)$$

Dónde:

J: Pendiente media del cauce (%).

H Max: Cota máxima sobre el curso del agua (m).

H min: Cota mínima sobre el curso del agua (m).

L: Longitud del río más largo (Km).

c) Tiempo de concentración (Tc)

También llamado tiempo de respuesta, según López (1998), es el tiempo que tarda una gota de lluvia del extremo más alejado de la cuenca hasta la salida de la misma, asume que el tiempo de concentración es igual al de duración de la lluvia y que su distribución es uniforme a lo largo de toda la cuenca, la ecuación que se utilizó en este proyecto fue la propuesta por California que es en función de la pendiente y la longitud del cauce

$$T_c = 58 * \left(\frac{Lr^3}{H} \right)^{0.385} \quad (8)$$

Dónde:

Tc: Tiempo de concentración (min).

Lr: Longitud del río (km).

H: Diferencia de cotas (m).

Importancia de Modelación Hidrológica

La modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de avenidas, con este tipo de modelación se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones; además, maneja hipótesis que ofrecen un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia (Dueñas, 1997).

Otras finalidades de la modelación hidrológica según González (2008):

- ✓ Orientar la toma de decisiones y alertas en zonas sensibles a inundaciones e infraestructuras.
- ✓ Diseñar sistemas de drenajes efectivos, diseño de puentes.
- ✓ Canalización de cauces.
- ✓ Elaborar trámites para las confederaciones Hidrográficas como vertidos a cauce u obras dentro de cauce.
- ✓ Prever el impacto del cambio climático sobre la hidrología de la cuenca.
- ✓ Estimar la carga sedimentaria de los ríos y determinar la vida útil de los embalses.

VARIABLES DE UNA MODELACIÓN HIDROLÓGICA

Según Pascual y Días (2016) en los modelos hidrológicos se distinguen tres tipos de variables a tomar en cuenta:

- ✓ Variable de entrada: es la componente inicial del sistema sobre el cual se construye el modelo, en este caso es la precipitación.
- ✓ Variables de estado: es la cantidad de energía almacenada en cada subsistema, por ejemplo, los niveles de humedad.

- ✓ Variables de salida: es la componente que se considera el proceso del modelado, como el caudal.

Modelación hidrológica con HEC-HMS

HEC-HMS es un paquete de modelación hidrológica desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros de las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos (USACE) , utiliza métodos de precipitación-escorrentía para estimar los hidrogramas de escorrentía directa generados por las precipitaciones en una cuenca o región durante un período especificado, además del cálculo de pérdidas, flujo base y propagación en cauces, para simular la respuesta hidrológica de una cuenca, el HEC-HMS utiliza los siguientes componentes: modelo de la cuenca, modelo meteorológico, especificaciones de control y datos de entrada (Saavedra O. , 2018).

En el modelo de la cuenca se encuentra los elementos hidrológicos y se simula el proceso de escorrentía para representar la cuenca física.

El modelo meteorológico consiste en calcular la entrada de precipitación requerida por un elemento para simular el evento y poder modelar la lluvia congelada o líquida. El modelo de control define el lapso de tiempo de la simulación, especifica la fecha y hora de inicio y en la que finaliza la precipitación, con un intervalo de tiempo que puede variar según la necesidad (Tapia, 2012).

Los datos de entrada al modelo están relacionados con los métodos de cálculo que se van a operar. Los datos básicos que se debe proveer para realizar la modelación son los siguientes: precipitación histórica o de diseño, características del suelo, información morfométrica de las subcuencas, datos hidrológicos del proceso de transformación de lluvia en escorrentía, características hidráulicas de los tramos de canal y de la capacidad de los embalses (Tapia, 2012).

Además, para calibrar, validar y realizar el análisis de sensibilidad del modelo se requiere proporcionar información como hietogramas e hidrogramas y condiciones iniciales de humedad en los suelos (Tapia, 2012).

El programa utiliza cuatro procesos de simulación hidrológica (Sialva, 2005), que son:

1. Pérdidas por infiltración, el mismo que permite calcular que parte de la precipitación caída va a generar escorrentía directa, este proceso puede ser simulado mediante diferentes métodos.
2. Transformaciones, este proceso calcula la escorrentía directa producida por la lluvia neta.
3. El caudal base en donde suma a la escorrentía directa la escorrentía base puede utilizar el método de mensual constante, recepción exponencial o reservorio lineal.
4. El tránsito en canales este proceso calcula cómo evoluciona un hidrograma a medida que discurre a lo largo de un cauce o a través de un embalse.

Marco legal

En el acuerdo N° 061 se presenta la reforma del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria en el cual se establece los procedimientos y responsabilidades públicas y privadas en materia de calidad ambiental, así como también se exhibe una serie de parámetros que regulan la calidad del agua para consumo humano, este acuerdo contempla parámetros físicos, químicos, bacteriológicos que regulan los requisitos de los efluentes a ser descargados, así como su saneamiento básico y disposiciones respecto a los servicios de agua.

El acuerdo N° 061 presenta la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes cuyo objetivo es proteger la calidad del recurso agua, para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, ecosistemas y ambiente en general.

Capítulo III

Metodología

Descripción del área de estudio

El proyecto se llevó a cabo en la provincia de Esmeraldas en la cuenca del río Cayapas, que tiene una superficie de $241,8327 \text{ km}^2$, con un desnivel de aproximadamente 70 m, con un índice de compacidad de 1,57 y una pendiente media del terreno de 0,878%, se origina en las montañas de la Reserva Ecológica de Cotacachi-Cayapas.

Figura 1:

Ubicación de la Cuenca



Dentro de la cuenca, el estudio se realizó en las principales comunidades del distrito 08D02 Loma Linda y Zapallo Grande, las mismas que se encuentran ubicadas a la orilla del río Cayapas en la parroquia San José del Cayapas pertenece al cantón Eloy Alfaro, en la provincia Esmeraldas, zona noroeste del Ecuador.

Las comunidades Loma Linda y Zapallo Grande cuentan con 24 y 84 pobladores respectivamente, se encuentran situadas a una altura de 49 m.s.n.m, en una zona muy húmeda con un clima tropical lluvioso, temperatura anual de 25°C, son comunidades con auto identificación étnica CHACHI.

Caracterización socioeconómica de la población.

La investigación es de tipo descriptiva, consiste fundamentalmente, en caracterizar un fenómeno o situación concreta indicando sus rasgos más peculiares o diferenciadores. Conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas. Para el logro del objetivo se utilizaron métodos empíricos, para determinar la situación actual de las condiciones del agua pertenecientes a las comunidades en estudio.

Se diseñó un cuestionario de diagnóstico para la obtención, manejo y consumo del agua, mismo que cuenta con un coeficiente de correlación de 0.70 en sus variables cualitativas y fue aplicado en las comunidades de Loma Linda y Zapallo Grande con un total de 108 pobladores de los cuales 24 son de Loma Linda y 84 de Zapallo Grande. El análisis de la información se realizó aplicando estadística descriptiva, dentro de las cuales se utilizó Tablas de Frecuencias, mediante el programa estadístico SPSS v25. El número de contestaciones corresponde al 100% de los pobladores de las comunidades en estudio.

El interés de la investigación evalúa las siguientes dimensiones de información:

- ✓ General: Este factor se refiere a información específica de cada familia ($\alpha=0.73$).
- ✓ Vivienda: Esta dimensión se basa en las condiciones de la vivienda de los diferentes pobladores ($\alpha=0.68$).
- ✓ Abastecimiento de agua y saneamiento: Esta dimensión se refiere a la obtención y manejo del agua ($\alpha=0.77$).
- ✓ Socio-económica: Esta dimensión presenta las actividades económicas, el manejo del dinero y el alcance a las tecnologías de la comunicación con la que cuentan las familias ($\alpha=0.64$).
- ✓ Organización de la sociedad civil: Esta dimensión se basa en el nivel de participación de los pobladores en cuanto a temas de salud ambiental ($\alpha=0.70$).

Muestreo y análisis de agua

Muestreo

El muestreo para los análisis físicos, químicos y bacteriológicos de agua se lo realizó en el río Cayapas en tramo entre las comunidades Loma Linda y Zapallo Grande, las cuales no poseen suministro de agua potable, para el presente estudio se realizaron en tres épocas representativas, determinadas a partir de datos de precipitación proporcionados por el Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología del Ecuador (INHAMI).

En el trabajo de gabinete se identificó las principales zonas del río Cayapas que podrían estar afectadas por diferentes actividades antrópicas, los puntos a ser muestreados se escogieron en base a la accesibilidad al sitio, distancia entre el sitio y el lugar del laboratorio, asentamientos humanos y diferentes usos del suelo alrededor de los sitios muestreados.

El primer muestreo se lo realizó en noviembre que es la época de baja precipitación en el cual se tomaron 7 puntos que cumplían con los requisitos mencionados anteriormente y que eran utilizadas para sus actividades diarias, el segundo muestreo se lo realizó en diciembre que tiene un época de precipitación media, mientras que el tercer muestreo se lo realizó en enero que es la época de alta precipitación, los puntos muestreados y la descripción de los mismos se detallan en la tabla 3 y la figura 2, en total se obtuvo tres muestras en los 7 puntos escogidos, teniendo un total de 21 muestras para ser analizadas.

Tabla 3:

Descripción De Los Puntos Muestreados

No	Descripción	X	Y	Imagen
ZG1	Orilla del río en Zapallo Grande	731007.529	10118027.975	
ZG2	Agua lluvia almacenada en el interior de una vivienda de Zapallo Grande	731021.881	10117947.740	

ZG3 Centro del río en Zapallo Grande 730883.588 10118196.913



ZG4 Centro del río entre Zapallo Grande y Loma Linda 733882.405 10118382.629



LL1 Centro del río en Loma Linda 737302.868 10116724.214



LL2 Orilla del río Loma Linda 737299.696 10116724.474



LL3 Agua lluvia almacenada en el exterior de una vivienda 737296.845 10116701.941



Figura 2:

Mapa de Ubicación de los puntos muestreados



Para el muestreo se siguió las normas establecidas y que rigen en Ecuador NET INEN 2-176 y NTE INEN 2-169 para toma y conservación de las muestras obtenidas en campo, tomando en cuenta los recipientes de almacenamiento, tiempo de conservación para evitar cambios o alteraciones en los resultados.

Método de Análisis

Para el análisis de muestras se midieron 13 parámetros algunos de ellos analizados en campo y otros en laboratorio, para lo cual se almacenaron las muestras siguiendo la normativa de referencia para cada parámetro análisis físico, químico y bacteriológico, las muestras se analizaron en el laboratorio de nanociencia y nanotecnología de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Los parámetros analizados en campo fueron: temperatura del agua, temperatura ambiente, turbidez y pH, para los cuales se utilizó termómetro de mercurio y un equipo multiparamétrico HACH ión pH, para determinar la temperatura se siguió la norma EPA 1983, método 170.1, mientras que para determinar el pH la norma HACH 2000.

Para determinar el cloro residual en el agua se utilizó tiras de cloro para tratamiento de agua y aguas residuales 4250BJ, las cuales se sumergió la tira en la solución a analizar, luego se la retiró inmediatamente, se secó el exceso con papel absorbente y se procedió a compararla con la carta de colores.

Los parámetros físico-químicos analizados en el laboratorio fueron: nitritos, nitratos, fluoruros, cloruros, fosfatos, sulfatos, para estos parámetros se utilizó un equipo cromatógrafo de iones DIONEZ ICS 1100 con dilución SEVEN ANION 1 en 10, aplicando el método 4110 C del Standard Methods 18th Edition (1992), mientras que para la demanda química de oxígeno (DQO) se realizó el ensayo de Espectrofotometría con un equipo espectrofotómetro Hach DR5000

siguiendo la norma HACH, 2000, método 5220D, para concluir el último parámetro físico-químico analizado en laboratorio fue la demanda biológica de oxígeno (DBO) se utilizó un equipo Hach BOD Track/ método de Winkler y se siguió la norma APHA 2005, método 5210B.

Los parámetros bacteriológicos analizados en laboratorio fueron coliformes totales y coliformes fecales se los determino por el método de filtro de membrana, siguiendo la metodología de la norma APHA 1998, método 9222D.

Datos Meteorológicos

Para obtener las épocas representativas de muestreo, la precipitación media e histogramas de precipitación y todos los datos necesarios para la modelación hidrológica en HEC – HMS, los datos meteorológicos se obtuvieron de la Red Hidrometeorología Nacional del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI de las estaciones meteorológicas de la zona de estudio: San Lorenzo (M224), Esmeraldas Tachina (M058) y Cayapas (M154), ubicadas en la provincia de Esmeraldas de las cuales existe información desde el año 1980 hasta el 2013. Los datos de las estaciones meteorológicas no estaban completos por lo cual dichos datos fueron rellenados mediante una regresión lineal, debido a la cantidad de datos faltantes.

Para obtener los histogramas de precipitación se necesitó la precipitación máxima en 24 horas de las estaciones M224, M058, M154 dichas estaciones también necesitaron un relleno de datos mediante regresión lineal.

Modelación hidrológica

La modelación hidrológica se realizó a partir del programa ArcGIS 10.5 y la extensión HEC-HMS que fue desarrollado en Estados Unidos por el U.S Army Corps of Engineer, para la elección de la metodología utilizada en este proyecto se tomó en cuenta la información disponible y los requerimientos de cada parámetro que se manejan en el programa, según Alvear (2006) la

información de entrada que requiere el modelo se puede clasificar en cinco grupos los cuales son: morfometría de las subcuencas, precipitación histórica o de diseño, condiciones de humedad del suelo, transformación de lluvia en escorrentía y la hidráulica de los métodos de tránsito.

Morfometría de las subcuencas

Para la morfometría de las subcuencas se utilizó el programa ArcGIS 10.5, en el cual se determinó los parámetros físicos y morfológicos de las subcuencas, para establecer dichos parámetros fue necesario conocer el área de las subcuencas, longitud y pendiente del cauce principal, lo que se obtuvo a partir del modelo digital del terreno (MDT), que se generó en el programa ArcGIS 10.5, ahí se trazaron las subcuencas, se calculó sus áreas, se midió la longitud del cauce más largo de cada subcuenca, así como también, se determinaron la diferencia de niveles y las pendientes, todos estos datos fueron necesarios para el cálculo del tiempo de concentración el cual se explicó con más detalle en la sección 2.3.2.

Precipitación Histórica

En la precipitación histórica o de diseño (hietogramas de diseño), se utilizó los datos proporcionados por el INAMHI de las estaciones meteorológicas de la zona que son la M058, M224 se seleccionó el método de datos de las estaciones ponderadas por el usuario que requiere los hietogramas de precipitación de las estaciones.

Para determinar los hietogramas de diseño se siguió el método de la curva Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), como el INAMHI no cuenta con ecuaciones IDF de todas las estaciones meteorológicas, se tuvo que elaborar dichas ecuaciones de datos de precipitación máxima en 24 horas, a partir de ello se obtuvieron las precipitaciones diarias máximas probables para un período de retorno establecido para posteriormente calcular las regresiones intensidad-

duración-tiempo y la constante de regresión de la cuenca (coeficientes K,m,n) para determinar la ecuación IDF (Fórmula 8).

$$I = \frac{K * T^m}{t^n} \quad (8)$$

Dónde:

I: Intensidad en mm/h.

T: Periodo de retorno en años.

t: Duración de la lluvia en minutos.

K, m, n: Parámetros de ajuste.

Condiciones de humedad del suelo

Las condiciones de humedad se determinan con las pérdidas de infiltración cuya información necesaria son las pérdidas iniciales en milímetros (mm), el número de curva de cada subcuenca y el porcentaje de área impermeable. Para las pérdidas por infiltración se siguió el método de Soil Conservation Service (SCS) mediante la Fórmula 9.

$$R = \frac{(P-0.2 S_{max})^2}{(P+0.8 S_{max})} \quad \text{Para } P > S_{max} \quad (9)$$

Dónde:

R: Escorrentía superficial.

P: Precipitación total.

$S_{m\acute{a}x}$: Capacidad de almacenamiento.

La capacidad de almacenamiento se la determinó con la Fórmula 10.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{En mm} \quad (10)$$

Dónde:

CN: Número adimensional de curva.

Según el método SCS, se utilizó la tabla 4 para clasificar al suelo de las subcuencas según la taxonomía y características de cada una y así poder calcular el número de curva.

Tabla 4:

Tipos De Suelo Y Características

Tipo de suelo	Características
A	<ul style="list-style-type: none"> • Gravas y arenas • Porcentaje de arcilla (0-10%) • Alta permeabilidad • Bajo potencial de escorrentía • Alta infiltración • Mucha humedad
B	<ul style="list-style-type: none"> • Arenas calcáreas con limos • Granulometría entre gruesas y fina • Porcentaje de arcilla (10-30%) • Moderada permeabilidad • Moderadamente bajo potencial de escorrentía • Tasa de infiltración moderada • Moderada humedad
C	<ul style="list-style-type: none"> • Limo con arcillas y calizas con limos • Granulometría fina a muy fina • Porcentaje de arcilla (30-70%) • Permeabilidad lenta • Moderadamente alto potencial de escorrentía • Infiltración lenta • No existe movimiento hídrico vertical
D	<ul style="list-style-type: none"> • Arcillas, calizas • Porcentaje de arcilla (70-100%) • Material casi impermeable • Alto potencial de escorrentía • Infiltración muy lenta • Nivel freático alto permanente

Nota: (Alvear, 2006).

Después que se determinó el tipo de suelo de cada subcuenca, se clasificó al uso de suelo a través del shape existente a escala 1:50000, que a su vez se lo reagrupó en cuatro grupos (agua, poblados, bosque, agricultura), el shape de usos del suelo fue obtenido del Sistema Nacional de Información Geográfica. Posteriormente se utilizó la extensión HEC-HMS para la creación del número de curva, para lo cual se requirió el raster del modelo digital del terreno y el shape del uso de suelo con la clasificación SCS del grupo de suelo y la reagrupación, así como también el valor del número de curva que depende el uso y tipo de suelo ver tabla 5.

Tabla 5:

Valores Del Número De Curva

Grupo	Descripción	Tipo de suelo			
		A	B	C	D
1	Agua	100	100	100	100
2	Poblados	57	72	81	86
3	Bosque	30	58	71	78
4	Agricultura	67	77	85	89

Transformación de lluvia en escorrentía

Para determinar la información hidrológica del proceso de transformación de lluvia en escorrentía se seleccionó el método de hidrograma unitario sintético del SCS, en este método el único parámetro necesario fue el tiempo de retardo, el cual fue determinado en el programa ArcGIS 10.5 en la extensión HEC-HMS mediante la Fórmula 11 que fue propuesta por (Feldman, 2000).

$$T_{Lag} = T_c * 0.6 \quad (11)$$

Dónde:

TLag: Tiempo de retardo (min).

Tc: Tiempo de concentración (min).

Hidráulica de los métodos de tránsito

Para esta modelación hidrológica se escogió el método de tránsito más simple del HEC-HMS que fue el método de tiempo de retardo, en el cual el hidrograma del flujo de salida es el mismo del hidrograma de entrada con las ordenadas trasladadas por una duración específica, dichas ordenadas son calculadas mediante la Fórmula 12.

$$O_t = \begin{cases} I_t & t < TLag \\ I_{t-TLag} & t \geq TLag \end{cases} \quad (12)$$

Dónde:

O_t : Ordenada del hidrograma del flujo de salida en el tiempo t.

I_t : Ordenada del hidrograma del flujo de entrada en el tiempo t.

TLag: Tiempo por el cual las ordenadas son retardadas.

Capítulo IV

Resultados y Discusión

Análisis de resultados de las encuestas

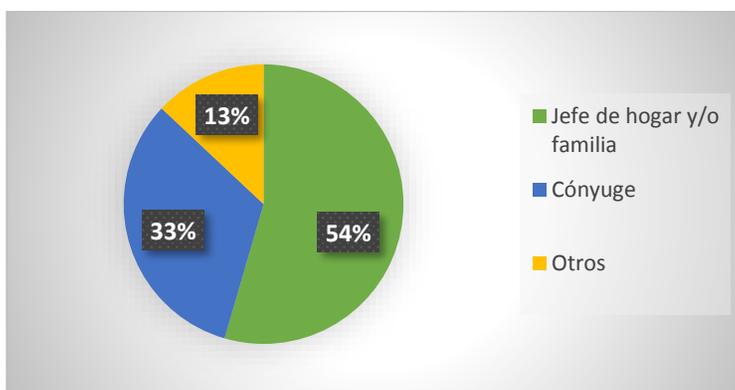
En el informe realizado por el proyecto de vinculación “Mejora del acceso al agua y saneamiento en comunidades de la parroquia San José del Cayapas”, ejecutado entre 2019 y 2020, se definieron varias dimensiones como son: información general, de la vivienda, socio-económica, abastecimiento de agua y saneamiento, A continuación, se presentan los que sirvieron de apoyo para esta investigación.

Información General

Las encuestas se realizaron principalmente a los jefes de hogar dentro de las comunidades de Cayapas, en un 54,5%, el 32,5% la respondieron los cónyuges y el 13% otros familiares, como se puede apreciar en la figura 3:

Figura 3:

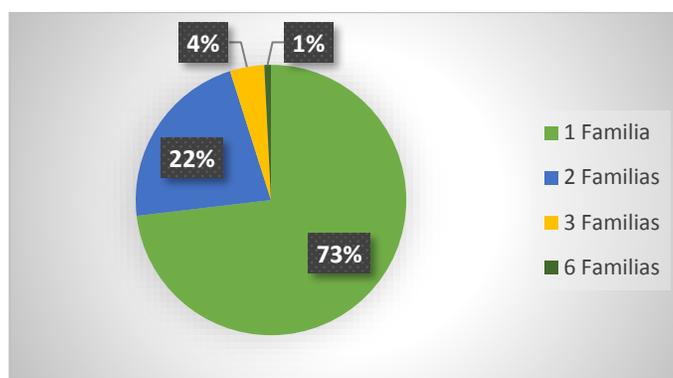
¿Quién responde la encuesta?



En las viviendas que se encuentran en las comunidades viven en su mayoría una sola familia que corresponde al 73,2%, en otras viviendas habitan dos familias correspondientes al 22%, y en otras, 3 y 6 familias correspondientes al 4,1% y al 0,8% respectivamente.

Figura 4:

Número de familias que viven en la vivienda

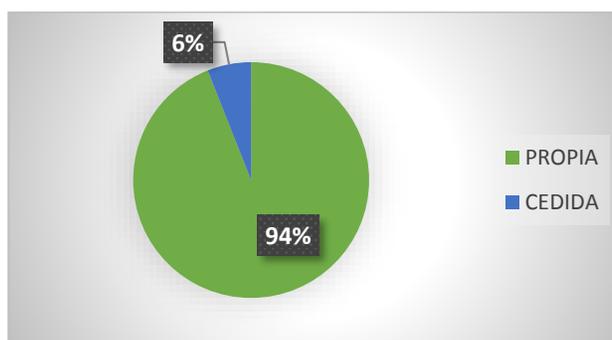


Información sobre la vivienda

En las viviendas de Loma Linda y Zapallo se pudo determinar que el 96% no realiza alguna actividad productiva dentro de la vivienda y el 27% si comercializan. Según la figura 5 el 94% de las viviendas son propias y el 6% son cedidas.

Figura 5:

Habitaciones disponibles para dormir



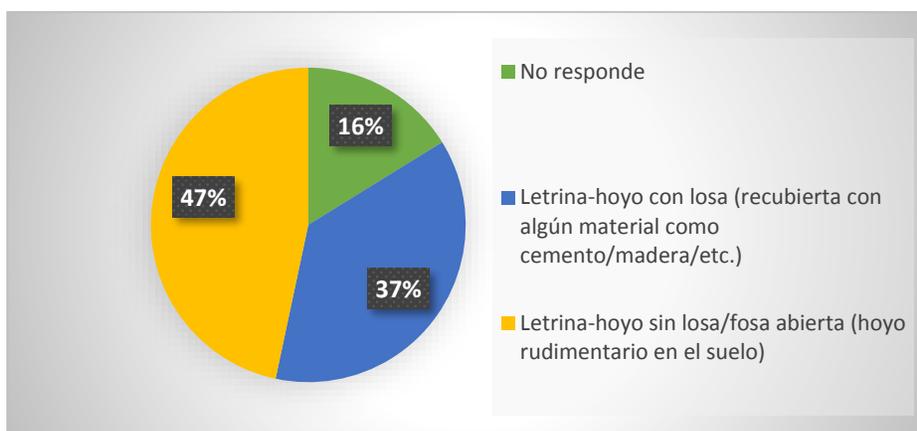
Abastecimiento de agua y saneamiento

El 83.8% de las comunidades Zapallo Grande y Loma linda cuenta con letrina, mientras que el 16.2% todavía realizan sus necesidades biológicas al aire libre y/o utilizan instalaciones prestadas.

Las instalaciones con losa representan un 37%, y son construidas con cemento, madera u otro material. Y las instalaciones sin losa un 47%, que son letrinas rudimentarias que no cuentan con un manejo adecuado de excretas.

Figura 6:

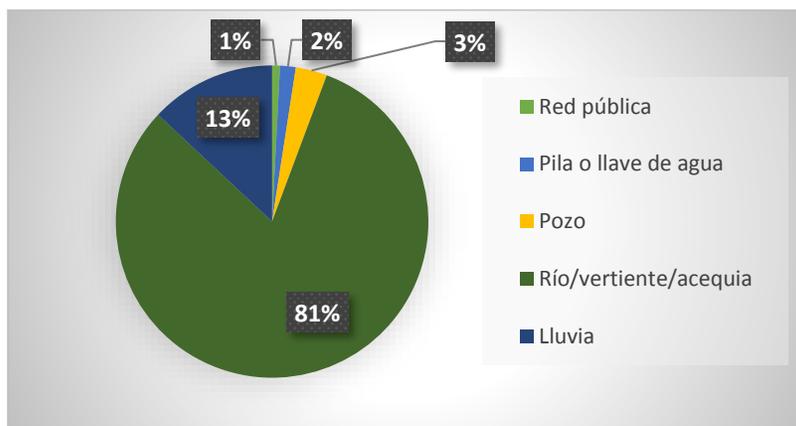
¿Cuál es el tipo de letrina con la que cuenta el hogar?



En estas dos comunidades la fuente principal de donde obtiene agua la vivienda es un 81,3% del río Cayapas y en época de invierno la recogen de la lluvia un 13% de los encuestados.

Figura 7:

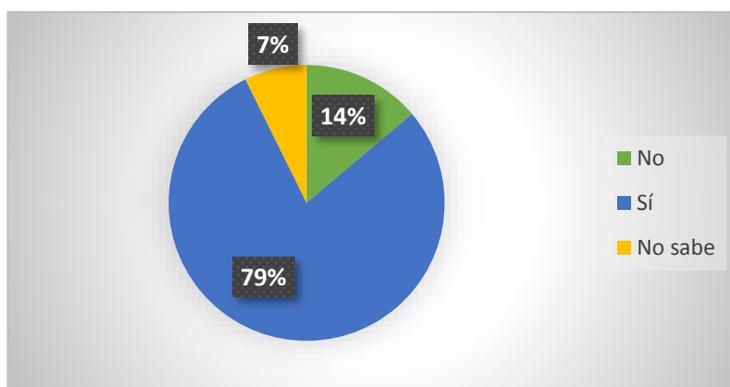
¿Cuál es la fuente principal de dónde obtiene agua la vivienda?



En la siguiente figura se puede mostrar que el 78,9% de los habitantes están conscientes que el consumo de esta agua contaminada causa enfermedades digestivas, parásitos y otras enfermedades de la piel.

Figura 8:

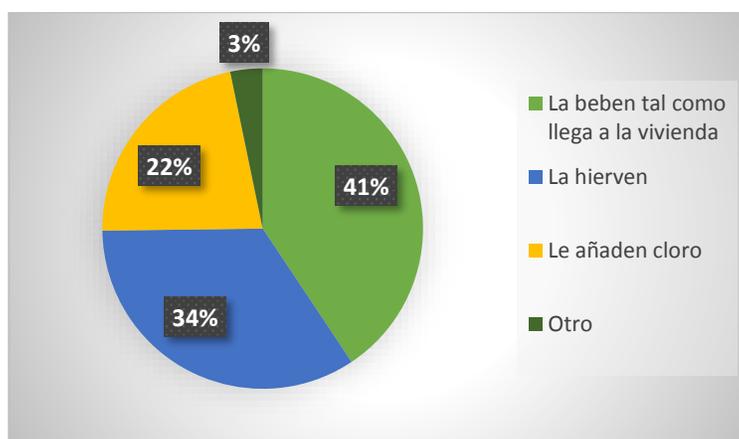
¿Considera que el agua que consume puede causar enfermedades?



Aun siendo conscientes que el agua sin tratar causa enfermedades un 41% la beben tal y como llega a la vivienda. Pero el 59% de las personas dan un tratamiento al agua antes de ingerir el líquido.

Figura 9:

¿Cuál es la forma en que beben el agua los miembros de la familia?

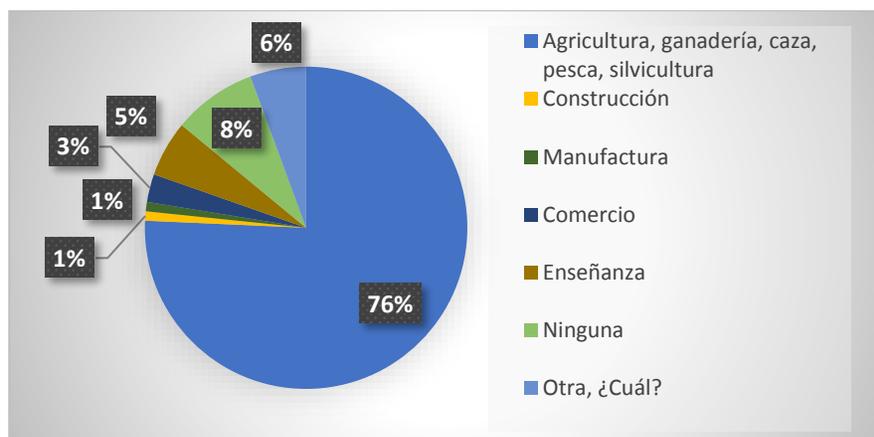


Información socio-económica

El desarrollo fluvial en el río Capayas provocó la explotación maderera y tala de bosques, liberando extensas tierras cultivables en las que se siembra principalmente cacao, actividades que fueron convirtiendo las orillas en zonas inundables del río. Según muestra la figura 10, un 76% de los miembros de una familia se dedican a la agricultura como actividad principal, el 8% no realiza actividad alguna ya que representan a niños y/o adolescentes que se encuentran en calidad de estudiantes y también incluye a las amas de casa.

Figura 10

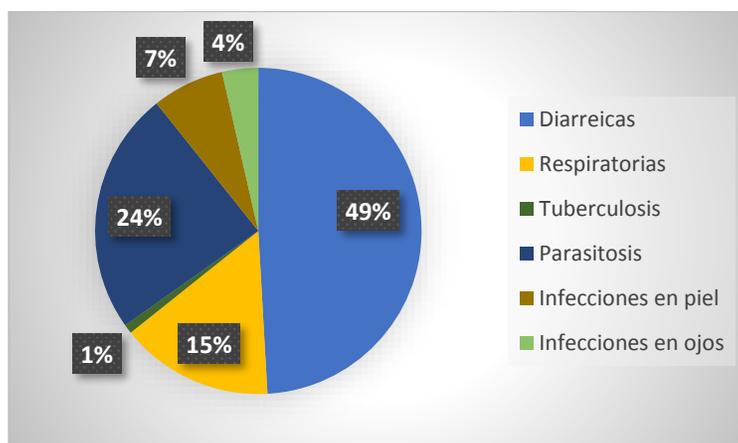
¿Cuáles son las actividades económicas a las que se dedican el resto de miembros de la familia?



Es cierto que las condiciones de salud son peores en estas comunidades, sin acceso al agua potable, pues tienen un mayor número de enfermedades y fallecimientos. Como lo muestra la figura 10, el 49% de familias presenta enfermedades diarreicas, seguidas por parasitosis con un 24% y respiratorias con el 15%.

Figura 11:

¿Qué enfermedades afectan con mayor frecuencia a los miembros de su familia



Resultados Físico-químico y bacteriológico

Los datos que se presentarán corresponden a tres muestreos realizados en el río Cayapas en siete puntos, en la comunidad Zapallo Grande se tomaron 4 muestras de agua, mientras que en la comunidad Loma Linda se tomaron los 3 restantes. A continuación, se presentan los resultados.

Parámetros analizados en campo

En la tabla 6 se observa el promedio de los parámetros analizados en campo.

Tabla 6:

Promedio de los parámetros de campo de todos los puntos

Parámetro	ZG1	ZG2	ZG3	ZG4	LL1	LL2	LL3	Criterio de Calidad AM-097A
T. del agua (°C)	27.37	27.33	26.83	26.93	25.8	26	25.87	-
T. Ambiente (°C)	26.47	27.33	26.73	27.67	27.73	27.37	27.33	-
Potencial de Hidrógeno (pH)	6.63	6.10	6.32	6.44	6.43	6.57	6.09	6-9
Turbiedad (UNT)	9.25	8.97	9.22	8.95	9.33	9.41	6.19	100
Cloro Residual (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01

Los parámetros de pH y turbiedad no tiene variación significativa en ninguno de los puntos de las dos comunidades durante el tiempo de estudio, por lo tanto estos parámetros no sobrepasan el criterio de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico descrito en la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Acuerdo No 061 (Mayo 2015), Acuerdo No 097-A (Noviembre 2015), tabla 1, esto indica que los vertidos de aguas

servidas en el río Cayapas no afectan a estos parámetros, por otra parte los parámetro de cloro residual, temperatura del agua y temperatura ambiente no cuentan con un criterio de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico, sin embargo el cloro residual se encuentra bajo el criterio de calidad para preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuarios que es de 0,01mg/L según Acuerdo No 061, Acuerdo No 097-A, tabla 2.

Parámetros analizados en laboratorio

En la tabla 7 se observa los valores obtenidos en el punto ZG1 que corresponde a la orilla del río en la comunidad de Zapallo Grande.

Tabla 7:

Parámetros de laboratorio de ZG1

Parámetro	Zapallo Grande punto 1 (ZG1)			Unidades	Criterio de Calidad AM-097A
	1° Muestreo	2° Muestreo	3° Muestreo		
Fluoruros	0,7521	0,6920	0,5101	mg/L	1,5
Cloruros	6,7761	6,1003	5,3123	mg/L	-
Nitritos	0,051	0,055	0,0021	mg/L	0,2
Nitratos	0,67	0,51	0,18	mg/L	50
Fosfatos	no se detectó	no se detectó	no se detectó	mg/L	-
Color	21	18	7	Unidades de Platino Cobalto	75
Sulfatos	0,535	0,4992	0,5001	mg/L	500
DQO	10	8	3,57	mg/L	<4
DBO₅	7.84	6,4	2,85	mg/L	<2

El primer y segundo muestreo que fueron las fechas con menor precipitación para la zona se tiene valores altos en los parámetros de DBO_5 y DQO siendo de 7,84 mg/l y 6,4 mg/l para DBO_5 y de 10mg/L y 8mg/L para DQO, mientras que en el tercer muestreo que es época de altas precipitaciones se tiene de 2,85 mg/L para DBO_5 y de 3,57mg/L, sobrepasando así el criterio de calidad que es <2,0 mg/l para DBO_5 y <4,0 mg/L para DQO para aguas de consumo humano y uso doméstico establecidos en la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Acuerdo No 061, Acuerdo No 097-A, tabla 1.

Los valores de fosfatos fueron bajos y estaban por bajo los límites de determinación del equipo de cromatografía, en los demás parámetros no se observa variación significativa esto se puede deber al tamaño y caudal del río que genera la disolución más rápida de los parámetros.

La tabla 8 indica los resultados obtenidos en el punto ZG2 correspondiente al agua de lluvia de una vivienda ubicada en la comunidad de Zapallo Grande.

Tabla 8

Parámetros de laboratorio de ZG2

Parámetro	Zapallo Grande punto 2 (ZG2)			Unidades	Criterio de Calidad AM-097A
	1° Muestreo	2° Muestreo	3° Muestreo		
Floruros	0,07966	0,07723	0,06813	mg/L	1,5
Cloruros	0,5453	0,5512	0,4998	mg/L	-
Nitritos	no se detectó	no se detectó	no se detectó	mg/L	0,2
Nitratos	0,5351	0,5	0,4	mg/L	50
Fosfatos	no se detectó	no se detectó	no se detectó	mg/L	-
Color	15	13	7	Unidades de Platino Cobalto	75

Sulfatos	0,5887	0,5452	0,6142	mg/L	500
DQO	5	5	4	mg/L	<4
DBO₅	1,88	1,08	1,4	mg/L	<2

Se obtuvo valores similares y sin una variación significativa en la mayoría de los parámetros a excepción del DQO que tuvo un valor promedio de 4,33 mg/L excediendo así el criterio de calidad establecido en la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Acuerdo No 061, Acuerdo No 097-A, tabla 1.

La tabla 9 indica los resultados obtenidos en el punto ZG3 correspondientes al centro del río en la comunidad de Zapallo Grande.

Tabla 9:

Parámetros de laboratorio de ZG3

Parámetro	Zapallo Grande punto 3 (ZG3)			Unidades	Criterio de Calidad AM-097A
	1° Muestreo	2° Muestreo	3° Muestreo		
Fluoruros	0,7124	0,6885	no se detectó	mg/L	1,5
Cloruros	0,9382	0,8213	0,0626	mg/L	-
Nitritos	no se detectó	no se detectó	no se detectó	mg/L	0,2
Nitratos	0,5475	0,48	0,4	mg/L	50
Fosfatos	no se detectó	no se detectó	no se detectó	mg/L	-
Color	7	7	6	Unidades de Platino Cobalto	75
Sulfatos	0,8110	0,7882	0,7986	mg/L	500
DQO	7	7	5	mg/L	<4
DBO₅	5,55	5,64	1,34	mg/L	<2

En el primer muestreo los valores obtenidos en nitritos y fosfatos estuvieron por bajo los límites de determinación del equipo de cromatografía, mientras que el valor de DQO promedio de 6,33 mg/L lo cual sobrepasa el criterio de calidad establecido en la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Acuerdo N° 061, Acuerdo N° 097-A, tabla 1, en el cual el valor es <4 mg/L. al igual que los valores de DQO del primer y segundo muestreo que son de 5,55 mg/L y de 5,64 mg/L que también sobrepasan el criterio del Acuerdo No 061, Acuerdo No 097-A para aguas de consumo doméstico que es <2mg/L.

La tabla 10 indica los resultados obtenidos en el punto ZG4 correspondientes al centro del río entre Zapallo Grande y Loma Linda.

Tabla 10:

Parámetros de laboratorio de ZG4

Parámetro	Zapallo Grande punto 4 (ZG4)			Unidades	Criterio de Calidad AM097-A
	1° Muestreo	2° Muestreo	3° Muestreo		
Floruros	0,9629	0,8921	0,8723	mg/L	1,5
Cloruros	0,8493	0,9101	0,7698	mg/L	-
Nitritos	no se detectó	no se detectó	no se detectó	mg/L	0,2
Nitratos	0,05	0,44	0,3	mg/L	50
Fosfatos	no se detectó	no se detectó	no se detectó	mg/L	-
Color	26	14	7	Unidades de Platino Cobalto	75
Sulfatos	1,8184	1,7012	1,7699	mg/L	500
DQO	6	6	4	mg/L	<4
DBO₅	5,85	6,56	1,5	mg/L	<2

Los valores de DQO fueron de 4 mg/L para el tercer muestreo y es de 6 mg/L para el primer y segundo muestreo sobrepasando así el criterio de calidad establecido en la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Acuerdo No 061, Acuerdo No 097-A, tabla 1 que es <4 mg/L, al igual para el parámetro DBO₅ que en el primer y segundo muestreo sus valores fueron de 5,85 mg/L y de 6,56 mg/L respectivamente, con lo cual sobrepasaron el criterio de calidad del Acuerdo N° 061, Acuerdo N°097-A que es <2 mg/L para aguas de consumo humano y uso doméstico, los valores de fosfatos estaban por bajo los límites de determinación del equipo de cromatografía, el resto de parámetros se encuentran dentro del criterio de calidad.

La tabla 11 indica los resultados obtenidos en el punto LL1 correspondientes al centro del río en la comunidad de Loma Linda.

Tabla 11:

Parámetros de laboratorio de LL1

Parámetro	Loma Linda punto 5 (LL1)			Unidades	Criterio de Calidad AM-097A
	1° Muestreo	2° Muestreo	3° Muestreo		
Floruros	0,8583	0,9112	0,8009	mg/L	1,5
Cloruros	0,8361	0,8598	0,7868	mg/L	-
Nitritos	no se detectó	no se detectó	no se detectó	mg/L	0,2
Nitratos	0,29	0,27	0,1	mg/L	50
Fosfatos	no se detectó	no se detectó	no se detectó	mg/L	-
Color	9	11	11	Unidades de Platino Cobalto	75
Sulfatos	2,0251	1,8823	1,920	mg/L	500
DQO	9	9	6	mg/L	<4
DBO₅	6.12	6,02	4,18	mg/L	<2

Los valores encontrados en el punto LL1 para DQO fueron de 6 mg/L para el tercer muestreo y 9 mg/L para el primero y segundo muestreo, mientras que para DBO₅ fueron de 6,12 mg/L, 6,02 mg/L y de 4,18 mg/L para el primer, segundo y tercer muestreo respectivamente, dichos valores de DQO y DBO₅ sobrepasan el criterio de calidad establecido en la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Acuerdo No 061, Acuerdo No 097-A, tabla 1 para aguas de consumo humano y uso doméstico que es <2 mg/L para DBO₅ y <4 para DQO. El valor de nitrito y los fosfatos en los tres muestreos fueron indetectables para el sensor, el resto de parámetros no tiene una variación significativa.

La tabla 12 indica los resultados obtenidos en el punto LL1 correspondientes a la orilla del río en la comunidad de Loma Linda.

Tabla 12:

Parámetros de laboratorio de LL2

Parámetro	Loma Linda punto 6 (LL2)			Unidades	Criterio de Calidad AM-097A
	1° Muestreo	2° Muestreo	3° Muestreo		
Fluoruros	0.964	0,7342	0,8912	mg/L	1,5
Cloruros	6,6935	6,6019	2,5574	mg/L	-
Nitritos	0,026	0,03	0,02	mg/L	0,2
Nitratos	0,27	0,2	0,3	mg/L	50
Fosfatos	no se detectó	no se detectó	no se detectó	mg/L	-
Color	28	22	11	Unidades de Platino Cobalto	75
Sulfatos	2,0191	1,8728	1,9982	mg/L	500
DQO	23	11	8	mg/L	<4
DBO₅	15,4	6,36	2,2	mg/L	<2

En el punto LL2 se encontró un aumento en los valores de cloruros de 2,55 mg/L en el tercer muestreo a 6,69 mg/L y de 6,60 mg/L en el primer y tercer muestreo esto se debe a la disminución del caudal a pesar de esto, el aumento de cloruros puede corresponder a las aguas residuales que se descargan en este punto. Al igual que los cloruros el DBO₅ y DQO también tuvo un aumento significativo partiendo de 8 mg/L a 23 mg/L en DQO, mientras que para DBO fue de 2,2 mg/L a 15,4 mg/L, por lo tanto, estos dos parámetros sobrepasan el criterio de calidad para consumo de agua según el Acuerdo No 061, Acuerdo No 097-A, que establece valores <4 mg/L para DQO y <2 mg/L para DBO₅, en el resto de parámetros se vio una variación, pero no fue relevante.

La tabla 13 indica los resultados obtenidos en el punto LL1 correspondientes al agua de lluvia de una vivienda de la comunidad de Loma Linda.

Tabla 13:

Parámetros de laboratorio de LL3

Parámetro	Loma Linda punto 7 (LL3)			Unidades	Criterio de Calida AM-097A
	1° Muestreo	2° Muestreo	3° Muestreo		
Floruros	0,8706	0,8872	0,5912	mg/L	1,5
Cloruros	0,8974	0,910	0,8009	mg/L	-
Nitritos	no se detectó	no se detectó	no se detectó	mg/L	0,2
Nitratos	0,32	0,4	0,1	mg/L	50
Fosfatos	no se detectó	no se detectó	no se detectó	mg/L	-
Color	8	7	7	Unidades de Platino Cobalto	75
Sulfatos	0,9968	0,6233	0,9123	mg/L	500
DQO	8	8	5	mg/L	<4
DBO₅	1,64	1,58	1,21	mg/L	<2

El punto LL3 se encontró valores altos de DQO teniendo 8 mg/L en el primer y segundo muestreo y 5 mg/L en el tercer muestreo sobrepasando el criterio de calidad establecido en la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Acuerdo No 061, Acuerdo No 097-A, tabla 1 que es <4mg/L, esto se debe al estado precario en el que se encuentra el envase en el cual se almacena el agua de lluvia, el resto de parámetros no tiene una variación significativa.

En la tabla 14 se puede observar que todos los resultados obtenidos de DQO fueron mayores a los del DBO en todos los puntos, esto se debe a que por medios químicos la oxidación de la materia orgánica es más completa (Fernández, 2016).

Es evidente el aumento de las concentraciones de los parámetros conforme el río aumenta en especial en las orillas del río Cayapas (ZG1, LL2), puesto que se encontraron los valores más altos en Cloruros de 6,06 mg/L en ZG1 y 5,28 mg/L en LL2, asimismo en Nitritos de 0,03 mg/L en ZG1 y 0,02mg/L en LL2 debido a que en estos puntos es donde se descargan las aguas residuales y la población realiza diversas actividades en especial el lavado de ropa, lo cual está causando un aumentó en la contaminación del río Cayapas que a pesar de tener un caudal elevado se está viendo afectado y a su vez afectando a la salud de la población que se encuentra asentada a lo largo del mismo ya que el agua es consumida directamente.

Tabla 14

Parámetros Físico-químicos de los puntos muestreados

Parámetro	ZG1	ZG2	ZG3	ZG4	LL1	LL2	LL3	AM 097A
Fluoruros(mg/L)	0,65	0,07	0,46	0,91	0,85	0,86	0,78	1,5
Cloruros (mg/L)	6,06	0,53	0,60	0,84	0,82	5,28	0,87	-
Nitritos (mg/L)	0,03	No se detectó	No se detectó	No se detectó	No se detectó	0,02	No se detectó	0,2
Nitratos (mg/L)	0,45	0,48	0,47	0,26	0,22	0,26	0,27	50
Fosfatos (mg/L)	No se detectó	-						
Color (Unidades de Platino cobalto)	15	12	7	16	11	21	7	75
Sulfatos (mg/L)	0,51	0,58	0,79	1,76	1,93	1,96	0,84	500
DQO (mg/L)	7,19	4,66	6,33	5,33	8	14	7	<4
DBO₅ (mg/L)	5,70	1,45	4,18	4,64	5,44	7,99	1,48	<2

El grupo de coliformes son un buen indicador de contaminación fecal en el agua, mientras mayor sea este número o indicador, habrá más posibilidades que esta fuente de agua este contaminado, las coliformes fecales son las más importantes, ya que se relacionan con patógenos excretados como son: los parásitos, bacterias, etc. En la tabla 15 se encuentran detallado el punto y el valor promedio de coliformes fecales y totales.

Tabla 15:*Coliformes muestreadas en el río Cayapas*

No	Descripción	Coliformes Totales NMP/100 mL	Coliformes Fecales NMP/100 mL
ZG1	Orilla del río en Zapallo Grande	3843,84	786,85
ZG2	Agua lluvia almacenada en el interior de una vivienda de Zapallo Grande	472,57	91,47
ZG3	Centro del río en Zapallo Grande	2046,09	657,23
ZG4	Centro del río entre Zapallo Grande y Loma Linda	2856,34	581
LL1	Centro del río en Loma Linda	3263,44	616,68
LL2	Orilla del río Loma Linda	4519,8	866,2
LL3	Agua lluvia almacenada en el exterior de una vivienda	183	114,3

Se puede apreciar que el contenido de coliformes totales va aumentando de 3843,84 NMP/100 mL en la comunidad de Zapallo Grande hasta 4519,8 NMP/100 mL en la comunidad de Loma Linda, con lo cual es evidente el crecimiento bacteriológico entre la comunidad de Zapallo Grande y Loma Linda, dicho parámetro no cuenta con un criterio de calidad en la Norma vigente Acuerdo No 061, Acuerdo No 097-A, por esa razón se lo comparó con la Norma antes vigente que es el Acuerdo Ministerial No 028 (Febrero 2015), en el cual los resultados obtenidos en todos los puntos no sobrepasan el criterio de calidad para aguas de consumo humano establecido en la tabla 1 que es de 20000 NMP/100.

El parámetro de coliformes fecales que va desde 786,85 en Zapallo Grande hasta 866,2 en Loma Linda sin sobrepasar el criterio de calidad del Acuerdo No 061, Acuerdo No 097-A para coliformes fecales que es de 1000 NMP/100, si bien cumple con los parámetros establecidos por el Acuerdo No 061, Acuerdo No 097-A, uno de los problemas que puede estar dando paso a la generación de las enfermedades diarreicas, respiratorias, tuberculosis y parasitarias que se presentan en las poblaciones de estudio es que los valores se encuentran sobre Límite Máximo

Permitido de agua potable para consumo humano de la Norma INEN 1108 (2011) que establece un valor $<1,1$ NMP/100.

Modelación Hidrológica con HEC-HMS

Morfometría de las subcuencas

El modelo físico representa al sistema real de la cuenca, en donde se incluye todos los elementos hidrológicos necesarios para modelar los procesos que ocurren en la cuenca del río Cayapas. A continuación, se presentan los resultados de los parámetros morfométricos necesarios para la modelación que se describió en la sección 2.3.2, los cuales se calcularon en el programa Excel. En la tabla 16 se presentan los resultados de los parámetros de relieve, el área es el principal parámetro que define a la cuenca, y que define el volumen de agua que ingresa por precipitación, el caudal, entre otros.

Tabla 16:

Parámetros de relieve de la cuenca de estudio

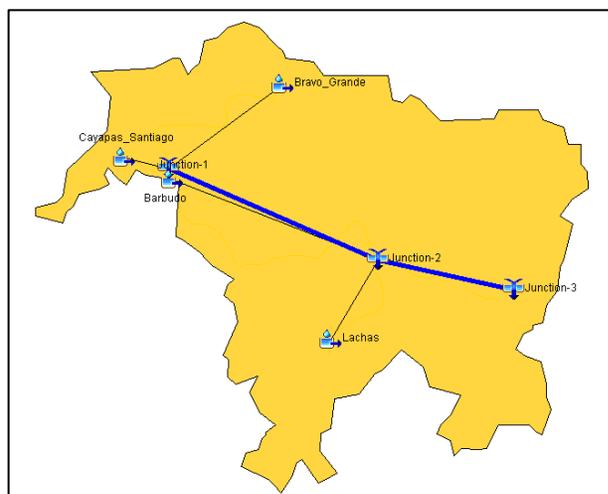
Cuenca	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud Axial (m)	Ancho Promedio (m)	Altura media (m)	Pendiente Media (%)
Río Cayapas	241.83	100.36	26101.03	9265.62	62.5	0.87%

Los parámetros de forma de la cuenca influyeron en el recorrido del hidrograma de la lluvia, ya que si es de forma alargada, el agua generalmente llega directo al cause principal, mientras que si es de forma ovalada, los causes secundarios son los encargados de llevar el agua hasta el cauce principal, y allí es cuando el escurrimiento es mayor. En la tabla 17 se presenta los resultados del índice de compacidad y el factor forma.

Tabla 17:*Parámetros de Forma*

Cuenca	Índice de compacidad	Factor de Forma
Río Cayapas	1.57	0.35

El índice de compacidad es alto con un valor de 1.57 que indica que la cuenca tiene una forma rectangular oblonga, lo que indica que el agua escurre a través del cauce principal, mientras que el factor forma presenta un valor de 0.35, el cual confirma la forma alargada que resulta en el índice de compacidad como se puede observar en la figura 12. Este resultado indica que el agua de los efluentes demora en circular por el cauce principal, aumentando así el tiempo de concentración y las crecidas de menor magnitud.

Figura 12:*Cuenca del Río Cayapas*

Los parámetros de la red hidrográfica o también llamados drenaje natural es por donde fluyen las aguas superficiales y la distribución de los afluentes. La densidad de drenaje es baja, lo que es propio de una cuenca alargada o rectangular oblonga que se demora un mayor tiempo en evacuar el agua de lluvia, para analizar el tiempo de concentración se utilizó datos morfológicos y de relieve, para representar el tiempo que tardaría una gota de lluvia en recorrer la cuenca y llegar a la sección de salida, dichos resultados son presentados en la tabla 18 y 19.

Tabla 18:

Parámetros de la red hidrográfica

Cuenca	Densidad de drenaje (%)	Pendiente media del cauce (%)	Tiempo de concentración (h)
Río Cayapas	0.056	0.8040	6.5876

Tabla 19:

Tiempo de Concentración de las subcuencas del río Cayapas

Nombre Subcuenca	Long cause (Km)	Cota máx. (m)	Cota min (m)	H (m)	Tc (min)	Tc (h)
Río Barbudo	0,34	15	10	5	9,09	0,152
Río Santiago	21,72	20,05	9,14	10,91	809,3	13,49
Río Lachas	5,617	19,4	12,41	6,99	201,36	3,35
Río Bravo Grande	9,166	12,12	10	2,12	561,18	9,35

Precipitación histórica

Curvas IDF

El INAMHI en **(2015)** actualizó, incorporó nuevas estaciones y aumentó la serie de datos de los fluviógrafos en el estudio de lluvias intensas publicado en 1999, en el cual se proporciona ecuaciones para el cálculo de curvas IDF.

De la zona de estudio se cuenta con las ecuaciones para las estaciones M058 y M224, la estación M058 Esmeralda Tachina dispone de datos desde 1976-2010, mientras que los datos de la estación M224 San Lorenzo son de 1959-1977. La Organización Meteorológica Mundial recomienda que para una mayor confiabilidad en los resultados la serie mínima debería ser de 30 años.

Estación M058

$$I_{TR} = \frac{36.14 * Id_{TR}}{t^{0.236}} \quad 5\text{min} < 52.69\text{min}$$

$$I_{TR} = \frac{309.85 * Id_{TR}}{t^{0.778}} \quad 52.69\text{min} < 1440\text{min}$$

Estación M224

$$I_{TR} = \frac{57.835 * Id_{TR}}{t^{0.378}} \quad 5\text{min} < 165.94\text{min}$$

$$I_{TR} = \frac{1280.8 * Id_{TR}}{t^{0.984}} \quad 165.94\text{min} < 1440\text{min}$$

Para determinar la intensidad máxima en 24 horas ($I_{d_{TR}}$), el INAMHI lo hace según el periodo de retorno los mismos que se presentan en la tabla 20, mientras que t es el tiempo de duración de la lluvia en minutos.

Tabla 20

Intensidad máxima en 24 horas

código	Estación	Coordenadas			Tr					
		Latitud	Longitud	Altitud	2	5	10	25	50	100
M058	Esmeraldas	652815	10107892	7	4.35	5.69	6.58	7.7	8.53	9.36
M224	S. Lorenzo	739928	10139923	5	4.69	6.06	6.98	8.13	8.98	9.83

Fuente: INAMHI, 2015

En la tabla 21 y 22 se presentan los resultados de las intensidades de las lluvias para distintos valores de tiempo de retorno y tiempos de duración de la lluvia, al igual que los gráficos de las curvas IDF (figuras 13 y 14), se tomó en cuenta el tiempo de concentración de la cuenca.

Tabla 21:

Intensidad de lluvia Estación M058

Tr	Estación M058													
	Tiempo de duración (min)													
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420
10	106.56	84.33	61.51	49.18	41.34	35.87	31.82	28.68	26.17	24.11	22.39	20.92	19.66	18.56
25	124.70	98.68	71.98	57.55	48.38	42.98	37.24	33.56	30.63	28.21	26.20	24.48	23.00	21.71
50	138.15	109.32	79.74	63.75	53.59	46.50	41.25	37.18	33.92	31.25	29.02	27.12	25.48	24.06

Figura 13:

Curva IDF estación M058

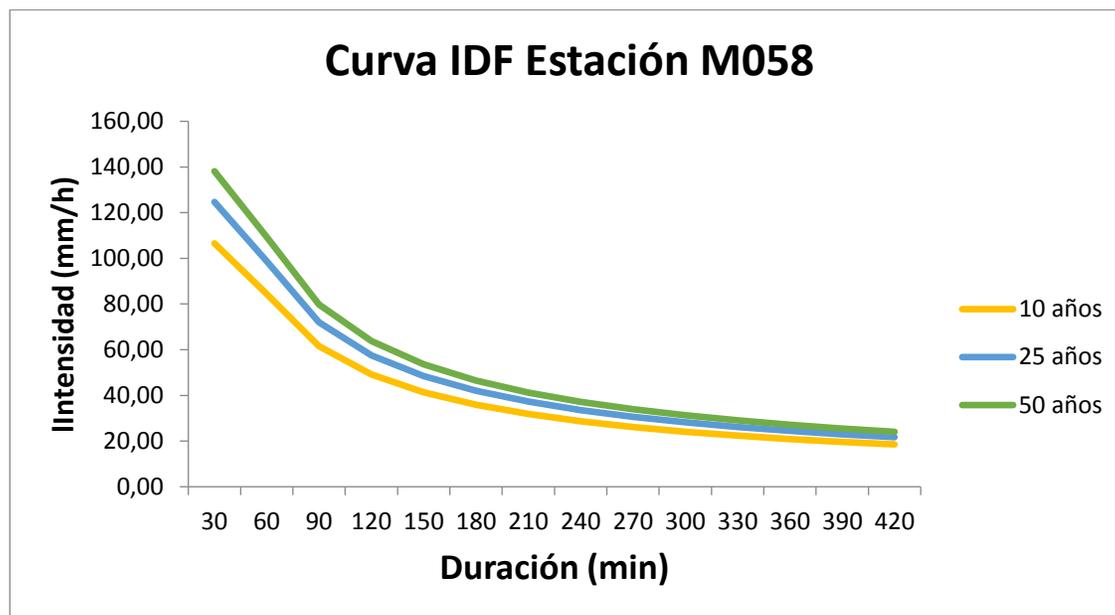


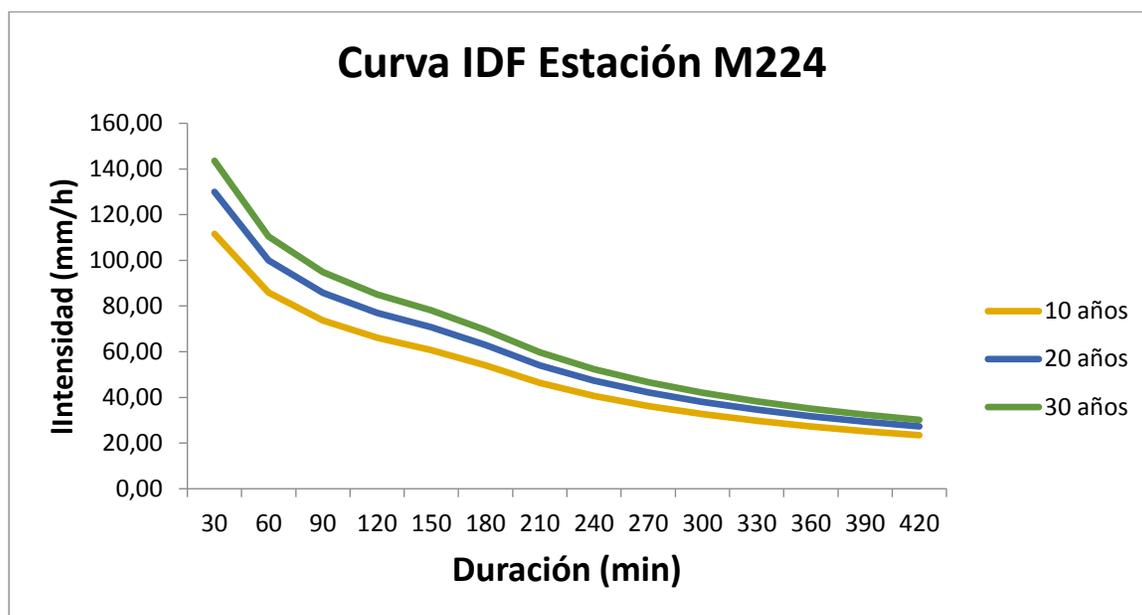
Tabla 22:

Intensidades de lluvia Estación M224

Estación M224														
Tr	Tiempo de duración (min)													
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420
10	111.61	85.88	73.68	66.09	60.74	53.97	46.37	40.66	36.21	32.65	29.72	27.29	25.22	23.45
25	130.00	100.03	85.82	75.98	70.75	62.86	54.01	47.36	42.18	38.03	34.62	31.78	29.37	27.31
50	143.59	110.49	94.79	85.02	78.15	69.43	59.66	52.32	46.59	42.00	38.24	35.10	32.45	30.16

Figura 14:

Curva IDF estación M224



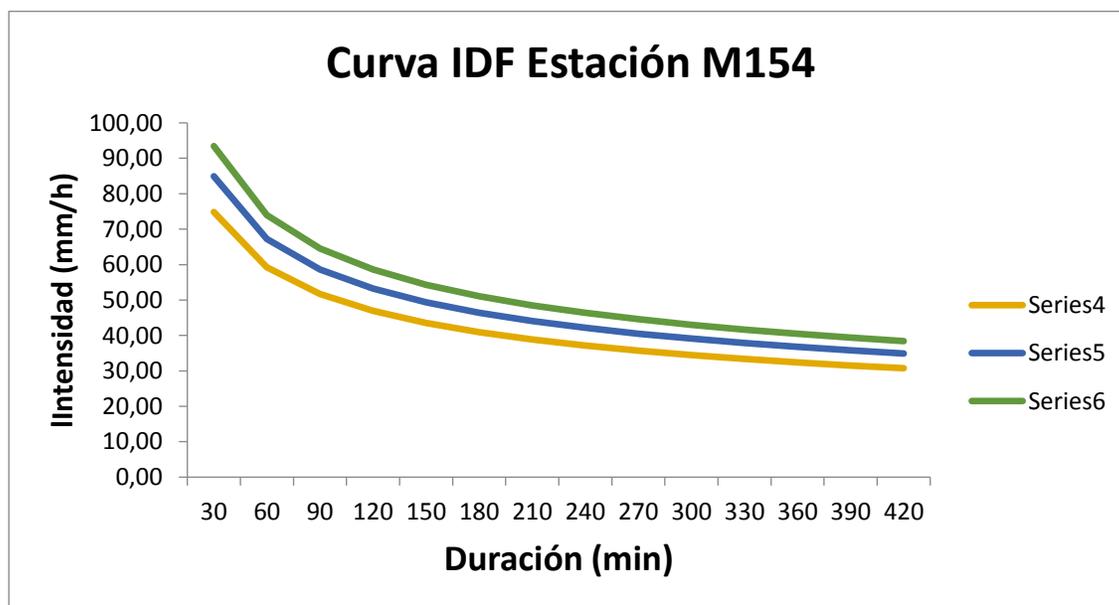
Para determinar la ecuación IDF de la estación Cayapas M154 se lo realizó por medio de la precipitación máxima en 24 horas ya que el INAMHI no contaba con dicha ecuación, en la tabla 23 se presentan los resultados de las intensidades para las curvas IDF que se presentan en la figura 15.

Estación M154

$$I = \frac{471.35 * T^{0.137}}{t^{0.237}}$$

Tabla 23:*Intensidades de lluvia Estación M154*

Estación M154														
Tr	Tiempo de duración (min)													
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420
10	105.15	89.22	81.05	75.7	71.8	68.77	66.3	64.24	62.47	60.93	59.57	58.35	57.25	56.26
25	119.32	101.25	91.97	85.91	81.48	78.04	75.24	72.89	70.89	69.14	67.59	66.21	64.97	63.84
50	131.30	111.41	101.20	94.53	89.66	85.87	82.79	81.21	78	76.08	74.38	72.86	71.49	70.25

Figura 15:*Curva IDF Estación M154***Hietogramas**

Se realizó los hietogramas de diseño para conocer la distribución de la precipitación en cierto periodo de tiempo, en la cuenca del río Cayapas se lo hizo en un tiempo de 7 horas con intervalos de 30 minutos a partir de las curvas IDF de cada estación (M058, M224, M154) para el periodo de retorno de 10, 25 y 50 años, los resultados de la estación Esmeraldas M058 se

presentan en la tabla 24 y figura 16, mientras que para la estación San Lorenzo M224 en la tabla 25 y figura 17, finalmente para la estación Cayapas M154 se presenta en la tabla 26 y la figura 18.

Tabla 24:

Hietograma de precipitación (Estación M058)

t (min)	Tr		
	Tr 10	Tr 25	Tr 50
	P(mm)	P(mm)	P(mm)
30	52,98	62,00	68,69
60	15,69	18,36	20,34
90	11,82	13,83	15,33
120	8,98	10,51	11,64
150	8,41	9,84	10,91
180	6,95	8,13	9,00
210	6,67	7,81	8,65
240	6,16	7,21	7,99
270	5,77	6,75	7,48
300	5,40	6,32	7,01
330	4,60	5,39	5,97
360	4,26	4,99	5,53
390	4,05	4,74	5,25
420	3,62	4,24	4,70

Figura 16:

Hietograma de precipitación (Estación M058)



Tabla 25:

Hietograma de precipitación (Estación M224)

t (min)	Tr		
	Tr 10	Tr 25	Tr 50
	P(mm)	P(mm)	P(mm)
30	77,22	89,94	99,35
60	22,25	25,91	28,62
90	17,78	20,72	22,88
120	12,42	14,47	15,98
150	12,36	14,40	15,90
180	9,33	10,87	12,01
210	9,04	10,53	11,63
240	7,38	8,60	9,49
270	7,18	8,36	9,23
300	6,00	6,99	7,72
330	5,88	6,84	7,56
360	5,20	6,05	6,68
390	4,58	5,33	5,89
420	4,46	5,20	5,74

Figura 17:

Hietograma Estación M224



Tabla 26:

Hietograma de precipitación (Estación M154)

t (min)	Tr		
	Tr 10	Tr 25	Tr 50
	P(mm)	P(mm)	P(mm)
30	64,68	73,40	80,76
60	20,32	23,05	25,37
90	13,48	15,30	16,84
120	12,24	13,89	15,29
150	9,53	10,82	11,90
180	8,85	10,05	11,05
210	8,05	9,14	10,05
240	7,13	8,09	8,90
270	6,62	7,52	8,27
300	6,50	7,37	8,11
330	6,01	6,82	7,50
360	5,18	5,87	6,46
390	4,05	4,60	5,06
420	2,99	3,40	3,74

Figura 18:

Hietograma Estación M154

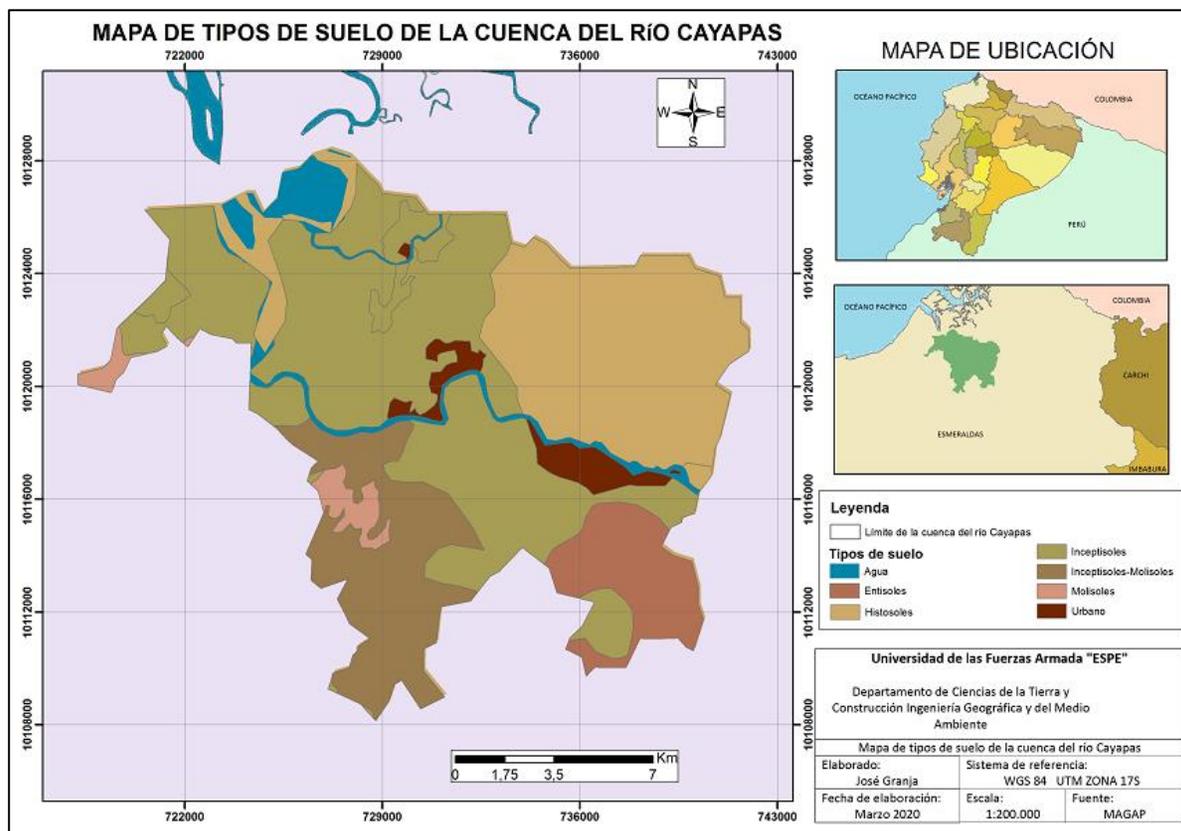


Condiciones de humedad del suelo

Para la clasificación de suelos se lo realizó tomando en cuenta las propiedades físicas y químicas del perfil del suelo. La cuenca del río Cayapas presenta en su mayoría suelos de tipo inceptisoles, así como se muestra en la figura 19.

Figura 19:

Mapa de tipos de suelo en la cuenca del río Cayapas



Los suelos inceptisoles son suelos negros, tienen textura arenosa a arcillosa, con un porcentaje de arcilla menor al 30%, tienen propiedades físicas y químicas muy variables como: suelos desde mal drenados a bien drenados, con un pH ligeramente ácido a ligeramente alcalinos, generalmente están bajo coberturas de bosques, pastizales y cultivos representativos.

El número de curva es un descriptor geográfico que permite caracterizar el potencial de escorrentía de una cuenca, se determina a partir de información del suelo y sus coberturas, puede tomar valores de 0 hasta 100, dicho valor depende del grupo hidrológico del suelo al que corresponda descrito en la sección 3.4.3, los valores de número de curvas para cada subcuenca del río Cayapas se observa en la figura 20 y la tabla 27.

Figura 20:

Mapa de números de curva "CN" en la cuenca del río Cayapas

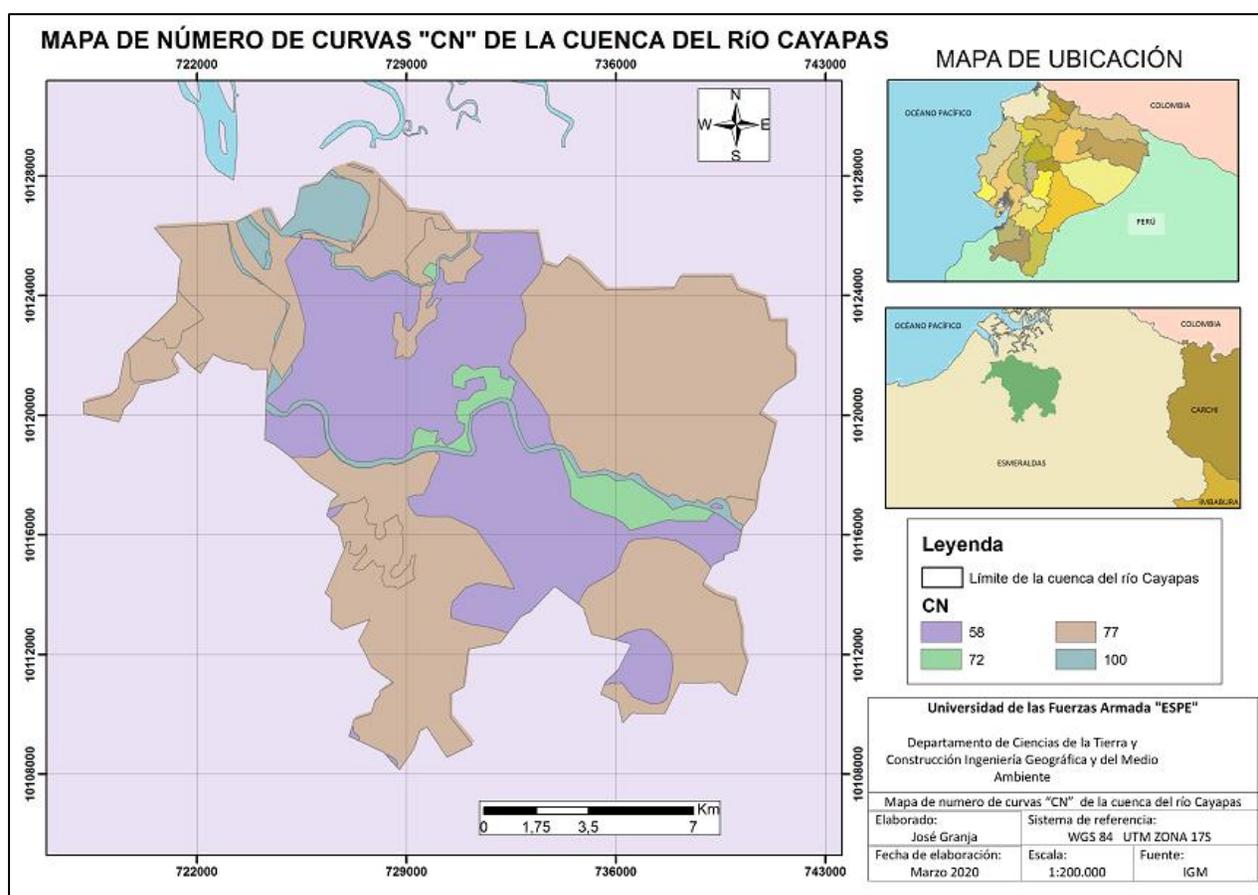


Tabla 27:

Valores de CN, S, la de la cuenca del río Cayapas

Nombre Subcuenca	Número de curva (CN)	Capacidad de retención máxima (S)	Pérdida inicial (Ia)
Río Barbudo	77	75,87	15,17
Río Cayapas	58	183,93	36,79
Río Lachas	58	183,93	36,79
Río Bravo Grande	77	75,87	15,17

El río Cayapas al tener un suelo tipo B, los números de curva puede tomar valores entre 58 y 100, en las subcuencas del río Cayapas prevalece los valores de 77 y 58 al existir una gran cantidad de bosques y agricultura ya que la mayoría de la población se dedica a la industria maderera y a la agricultura.

Transformación de lluvia en escorrentía

Para la transformación de lluvia en escorrentía fue precisó calcular el tiempo de concentración de una cuenca y así poder conocer en distintos puntos de la misma el tiempo mínimo que aportan agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, se lo realizó con el método de la SCS que se basa en los hidrogramas unitarios, de esta manera aplicando la fórmula 11 y se obtuvieron los resultados que se presentan en la tabla 28.

Tabla 28:

Valores de tiempo de concentración de las subcuencas

Nombre Subcuenca	Área	Long Cauce (km)	Tc (min)
Rio Barbudo	26,601	0,343	9,094
Rio Santiago	101,569	21,729	809,398
Rio Lachas	62,876	5,617	201,364
Rio Bravo Grande	50,784	9,166	561,185

Hidráulica de los métodos de tránsito

En cuanto a los parámetros de tránsito solicitados por el programa HEC-HMS y el método de SCS para transformar la precipitación o el tiempo de concentración en caudal es necesario determinar el tiempo de retardo en minutos como se indicó en la sección 3.4.5. En la tabla 29 se muestran los resultados del tiempo de retardo para cada subcuenca del río Cayapas.

Tabla 29:

Valores de tiempo de retardo de las subcuencas

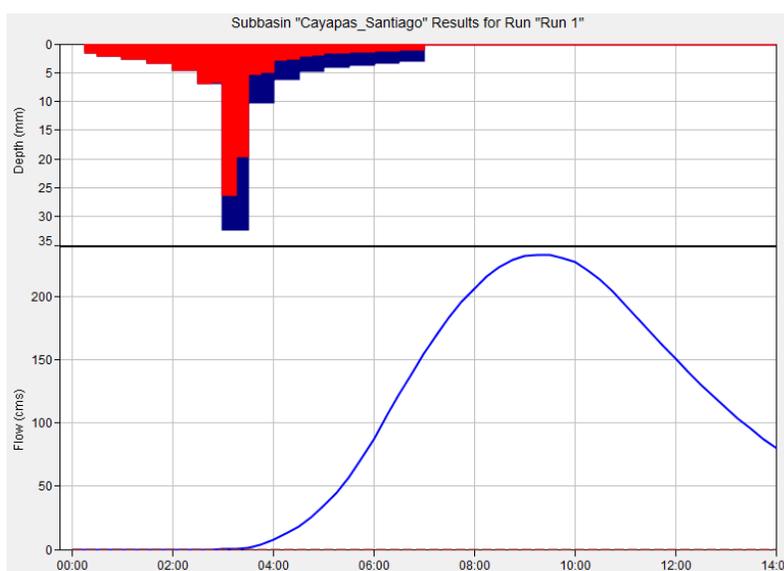
Nombre Subcuenca	Tc (min)	T Lag (min)
Río Barbudo	9,094	5,456
Río Santiago	809,398	485,639
Río Lachas	201,364	120,818
Río Bravo Grande	561,185	336,711

Caudales obtenidos del modelo HEC-HMS

Después de ingresar los datos de entrada como fueron: la morfometría de la cuenca, la precipitación histórica, condiciones de humedad, transformación de lluvia en escorrentía y la hidráulica de los métodos de tránsito en el programa HEC-HMS, en el cual entre otros parámetros se definió el modelo meteorológico con las estaciones cercanas a la cuenca de estudio a partir de los pluviografos de la zona, así como también se estableció el tiempo de control del modelo, pero al no contar con el tiempo exacto en el cual se genera el caudal máximo se utilizó el tiempo de concentración de la cuenca y tomando en cuenta lo que se menciona en el manual de utilización del programa HEC-HMS que el tiempo de modelación debe ser suficiente para que todos los hidrogramas de la cuenca se desarrollen por completo, se decidió inicialmente establecer dos veces el tiempo de concentración de la cuenca por lo cual el tiempo que se utilizó en el modelo de lluvia fue de 14 horas con intervalos de 15 min. Una vez establecidos todos los parámetros se procedió a correr el programa y verificar su resultado, con la figura 21 se demostró que el tiempo que se escogió inicialmente no fue el adecuado ya que en una de las subcuencas del río Cayapas el hidrograma no se desarrolló por completo.

Figura 21:

Hidrograma de la subcuenca del río Santiago

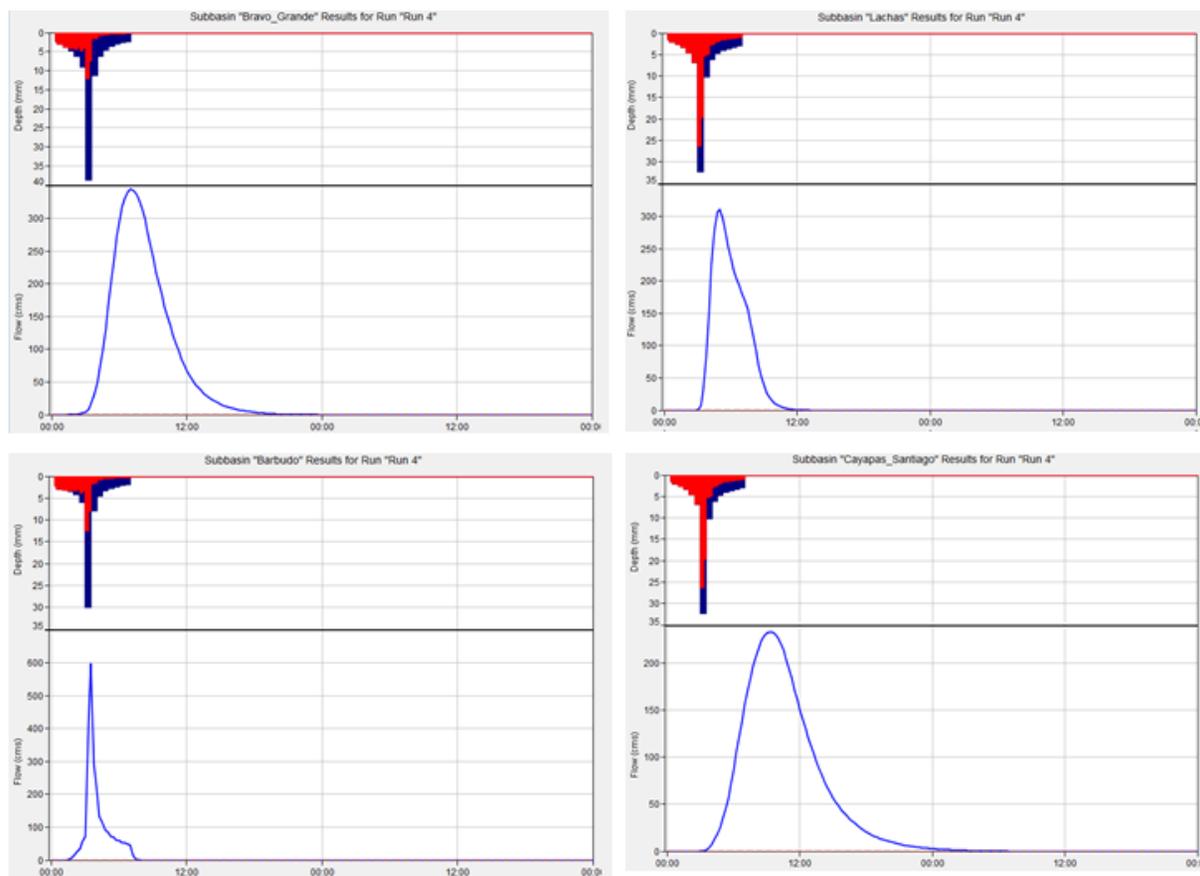


Por este motivo se cambió el tiempo del modelo de lluvia a un tiempo de 48 horas como lo sugiere Mario Angulo en **(2018)** que es el tiempo mínimo para que una modelo tenga un grado de confianza aceptable debe ser de 24 a 48 horas para que todos los hidrogramas se desarrollen por completo y así poder tomar cualquier decisión. Posteriormente se corrió de nuevo el programa y se pudo evidenciar que el nuevo tiempo que se estableció en el modelo de lluvia (48h) fue el correcto ya que cumplió con la condición de que todos los hidrogramas de la cuenca se desarrollen por completo.

En la figura 22 se muestra los hidrogramas correspondientes a las subcuencas del río Cayapas para un periodo de retorno de 10 años, donde se demuestra el desarrollo completo de todos hidrogramas en el tiempo de lluvia establecido.

Figura 22:

Hidrogramas de las subcuencas del río Cayapas



El programa HEC-HMS nos proporciona los caudales e hidrogramas para cada subcuenca, tramo y nudo durante todo el tiempo de modelación de lluvia, en las siguientes figuras se presenta el cuadro de resumen del programa HEC-HMS en el cual se encuentra el caudal máximo y la hora en la que se produce para cada periodo de retorno (10,25, 50) años.

Figura 23:

Cuadro de resumen para periodo de retorno de 10 años

Project: cayapas Simulation Run: Run 1

Start of Run: 01ene2000, 00:00 Basin Model: cayapas
 End of Run: 03ene2000, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Junction-2	150,262966	704,7	01ene2000, 03:30	98,31
Lachas	62,876502	371,5	01ene2000, 04:45	71,32
Junction-1	60,784867	379,3	01ene2000, 07:00	127,81
Cayapas_Santiago	10,000000	27,0	01ene2000, 09:15	71,32
Bravo_Grande	50,784867	359,9	01ene2000, 07:00	138,93
tramo 1	60,784867	375,7	01ene2000, 07:30	127,81
Barbudo	26,601597	623,5	01ene2000, 03:30	94,74
tramo2	150,262966	609,0	01ene2000, 07:00	98,31
Junction-3	150,262966	609,0	01ene2000, 07:00	98,31

Figura 24:

Cuadro de resumen para periodo de retorno de 25 años

Project: cayapas Simulation Run: Run 2

Start of Run: 01ene2000, 00:00 Basin Model: cayapas
 End of Run: 03ene2000, 00:00 Meteorologic Model: Met 1
 Compute Time: 25mar2020, 13:21:12 Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Junction-2	150,262966	776,3	01ene2000, 03:30	119,93
Lachas	62,876502	471,5	01ene2000, 04:45	88,56
Junction-1	60,784867	464,6	01ene2000, 07:00	156,47
Cayapas_Santiago	10,000000	33,6	01ene2000, 09:00	88,56
Bravo_Grande	50,784867	440,2	01ene2000, 07:00	169,84
tramo 1	60,784867	459,8	01ene2000, 07:30	156,47
Barbudo	26,601597	671,9	01ene2000, 03:30	110,63
tramo2	150,262966	745,6	01ene2000, 07:00	119,93
Junction-3	150,262966	745,6	01ene2000, 07:00	119,93

Figura 25:

Cuadro de resumen para periodo de retorno de 50 años

Project: cayapas Simulation Run: Run 3				
Start of Run: 01ene2000, 00:00		Basin Model: cayapas		
End of Run: 03ene2000, 00:00		Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time: 25mar 2020, 13:25:38		Control Specifications: Control 1		
Show Elements:	All Elements	Volume Units:	<input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3	Sorting: Hydrologic
Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
Junction-2	150,262966	897,0	01ene2000, 03:30	138,07
Lachas	62,876502	560,3	01ene2000, 04:45	103,74
Junction-1	60,784867	528,9	01ene2000, 07:00	178,28
Cayapas_Santiago	10,000000	39,4	01ene2000, 09:00	103,74
Bravo_Grande	50,784867	500,0	01ene2000, 07:00	192,96
tramo1	60,784867	523,3	01ene2000, 07:30	178,28
Barbudo	26,601597	770,9	01ene2000, 03:30	127,34
tramo2	150,262966	855,7	01ene2000, 06:45	138,07
Junction-3	150,262966	855,7	01ene2000, 06:45	138,07

De los periodos de retorno de 10,25 y 50 años se obtuvo el caudal máximo y el tiempo en el que se da dicho caudal, y se presenta en la tabla 30.

Tabla 30:

Caudales máximos en la cuenca del río Cayapas

Tr	HEC-HMS Q máx. (m ³ /seg)	Tiempo del caudal máximo
10	704.7	3:30
25	776.3	3:30
50	897	3:30

Con los resultados obtenidos por la modelación se observa que el caudal máximo en la cuenca del río Cayapas sobrepasa el caudal óptimo para la construcción de una planta de tratamiento

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- En las dos comunidades las viviendas son casi en su totalidad propias, que no desarrollan actividades productivas dentro de la vivienda, son habitadas generalmente por una o dos familias, el servicio higiénico es básicamente a través de letrinas sin losa y escusado, basan su economía en la agricultura, la mayoría de la población no cuentan con afiliación al seguro social, la principal fuente de abastecimiento de agua para su consumo diario es el río y agua de lluvia, la mayor parte de la población presenta enfermedades diarreicas, parasitosis y respiratorias.
- Turbidez, cloro residual, temperatura del agua, temperatura ambiente y pH, no tuvieron variación significativa, por lo tanto, se puede decir que los vertidos al río Cayapas de aguas residuales de las dos comunidades no afectan a estos parámetros en tiempos de lluvia ni de sequía.
- No se reportaron valores de fosfatos en ninguno de los puntos muestreados, por lo tanto, no se puede observar la presencia de algas en el río Cayapas, en cuanto a los valores de nitritos en su mayoría tampoco fueron detectados a excepción de los dos puntos ubicados a la orilla del río ZG1 y LL2 con valores de 0,036 mg/L Y 0,025 mg/L debido a la presencia de detergentes ya que estos puntos son en los cuales la población de las dos comunidades lava la ropa y a la descarga de aguas residuales.
- Con respecto a DBO_5 los valores obtenidos en todos los puntos a excepción del agua de lluvia van desde 4,18 mg/L hasta 7,99 mg/L, sobrepasando el criterio de calidad que es <2 mg/L, esto debido a la descarga de aguas residuales, mientras que los valores

obtenidos del agua de lluvia de las viviendas fueron de 1,45 en Zapallo Grande y de 1,48 en Loma Linda dichos valores cumplen con los criterios de calidad establecidos.

- Los valores obtenidos de DQO en todos los puntos no cumple con el criterios de calidad establecidos en la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Acuerdo No 061, Acuerdo No 097-A, tabla 1 que es $<4\text{mg/L}$, ya que los valores en los puntos son de 7,19 en ZG1, 4,66 en ZG2, 6,33 en ZG3, 5,33 en ZG4, 8 en LL1, 14 en LL2 y 7 en LL3, sobrepasando así el criterio de calidad.
- Los valores obtenidos de coliformes fecales van aumentando conforme el río va descendiendo, en el primer punto el valor es 786,85 NMP/100 mL, mientras que en el último punto es 866,2 NMP/100 mL sin sobrepasar el criterio de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico que se estableció en la Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria, Acuerdo No 061, Acuerdo No 097-A, tabla 1 que es de 1000 NMP/100 mL, pero teniendo en cuenta que el agua es consumida directamente por la población y al comparar con el Límite Máximo Permisible para agua potable que es $<1,1\text{NMP/100 mL}$ podemos considerar que dicha agua es la causante de varias enfermedades que presenta la comunidad.
- El 22 de noviembre del 2019 se realizó la capacitación con los jefes de hogar de las comunidades de Zapallo Grande y Loma Linda, en la cual se les indicó que la desinfección con hipoclorito de sodio, el hervido del agua, así como un adecuado mantenimiento de los reservorios para garantizar la calidad de agua de lluvia y que sea apta para consumo humano en cualquier época del año.

- De la modelación hidrológica realizada con HEC-HMS, se obtuvo el caudal máximo en cada tramo, nudo y subcuenca el río Cayapas, para un periodo de retorno de 10 años el caudal máximo fue de 704,7 (m^3/seg), para 20 años de 776,3 (m^3/seg), mientras que para 50 años fue de 897 (m^3/seg).

Recomendaciones

- Tener un cuidado especial con los recipientes de las muestras para el análisis biológico, ya que este parámetro se puede alterar con facilidad.
- Fomentar los estudios de calidad de agua en fuentes de agua especialmente en zonas rurales donde la población no cuenta con alcantarillado y agua potable. Realizar capacitaciones de control, desinfección y mantenimiento de aguas lluvia en todas las comunidades cercanas al río Cayapas.
- Se recomienda la construcción de un sistema de recolección de aguas lluvia adaptándose a las características socioeconómicas de la población, el costo de los materiales, la accesibilidad y la demanda de los usuarios.

Capítulo VI

Bibliografía

- Alfaro, G. E. (2018). Alcaldía del cantón Eloy Alfaro. Obtenido de <http://www.loyalfaro.gob.ec/index.php>
- Alvear, C. C. (2006). Modelación Hidrológica para el pronóstico de caudales mediante la aplicación del Paquete HEC - HMS en la Cuenca del Río Paute. Sangolquí: Tesis Facultad de Ingeniería Civil. ESPE.
- Auge, M. (2007). Agua Fuente de Vida. La Plata: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- Bonilla, M. (26 de Febrero de 2015). Pueblos chachis viven junto al río sin agua potable. El Comercio, pág. 5.
- Boston, S. (2009). Modelación hidrológica y de recursos hídricos con el modelo WEAP. Chile: Centro de cambio Global-Universidad Católica de Chile.
- Cabrera, J. (2017). Evaluación del modelo HEC-HMS para la simulación hidrológica de una cuenca de páramo. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Cairncross S, H. C. (2018). Water Sanitation and hygiene for the prevention of diarrhea.
- CEPAL. (2012). Diagnóstico de la estadística del agua en el Ecuador. Quito: Secretaría del agua.
- Cirelli, A. (2016). Evaluación de la condición del agua para consumo humano en Latinoamérica. Buenos Aires: Centro de estudios Transdisciplinarios del Agua.
- Contreras K. (2008). El agua un recurso para preservar. Corti.

- Cornejo, D. J. (2013). Vigilancia y Control de Vectores para la Prevención de la Transmisión de Enfermedades Metaxénicas en el Ecuador. Guayaquil: Servicio Nacional de Control de Enfermedades Transmitidas por Vectores Artrópodos (SNEM).
- Corvalán. (2006). Ambientes saludables y prevención de enfermedades hacia una estimación de la carga de morbilidad atribuible al medio ambiente. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.
- Dario Bolaños. (2019). Mejora del acceso al agua y saneamiento en comunidades de la parroquia San José del Cayapas. Quito: Instituciones Públicas o privadas, ONGS.
- Días, A. P. (2016). Guía práctica sobre la modelización hidrológica y el modelo HEC-HMS. Castellón: CIVILSCAPE.
- Dueñas, C. (1997). Marco normativo vigente ante el riesgo de inundaciones. Madrid: La protección civil ante el riesgo de inundaciones.
- Espigares, M., & Pérez, J. (2005). Aguas residuales, composición.
- Feldman, A. (2000). Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Hec.usace.
- Fernández, C. (2016). Métodos analíticos para aguas residuales. Uvigo.
- GAD San José Cayapas. (2018). San José Cayapas Historia. Obtenido de <http://sanjosedelcayapas.gob.ec/index.php/ct-menu-item-13/ct-menu-item-15>
- Galárraga, R. (2010). Informe Nacional sobre la Gestión del agua en el Ecuador. Quito.
- Gaspari, F. S. (2009). Manual de Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. La Plata: Primera Edición.

- González, T. (2008). Modalación Hidrológica como base para el pago por servicios ambientales en las microcuencas del Río Magdalena, distrito Federal. Querétaro: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Guzmán, B. (2012). Calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbimortalidad en Colombia. Grupo de Calidad del Agua .
- Heising, K. (2009). Agentes Patógenos que entran al agua proveniente del desechos orgánicos. Corporación Técnica Alemana.
- Hernández, M. (2010). El agua como recurso natural. Quito: Universidad Andina Simón Bolívar.
- INAMHI. (2015). Determinación de ecuaciones para el calculo de intensidades maximas de precipitacion, Actualización del estudio de lluvias intensas. Quito-Ecuador.
- Libro Blanco del Agua en España. (2015). la calidad de las aguas . Madrid.
- López Cadena de Llano, F. (1998). Restauración hidrológica forestal y control de la erosión, Ingeniería Ambiental. Tragsa-Tragsatec. Ministerio del Medio Ambiente. Madrid, España: Mundiprensa.
- MAE. (2017). TULSMA. Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua Libro VI anexo 1.
- Mancheno, G. (2015). Evaluación de la calidad del agua en la quebrada Huarmiyacu del cantón Urcuqui, provincia de Imbabura para el prediseño de la planta de potabilizacion de agua para consumo humano de las poblaciones de San Blas y Urcuqui. Quito: Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.
- Martinez, E. (2014). Modelación hidrológica de la cuenca alta del Río Atrato mediante HEC-HMS, para la determinación de caudales máximos. Bogota: IDEAM.

Ministerio del Ambiente. (Febrero 2015). Acuerdo Ministerial No 028. En Sustituyese el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (pág. 220). Quito: CEP-Corporación de Estudios y Publicaciones.

Ministerio del Ambiente. (Mayo 2015). Acuerdo Ministerial N° 061. En Reforma del libro XI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (pág. 80). Quito: CEP- Corporación de Estudios y Publicaciones.

Ministerio del ambiente. (Noviembre 2015). Acuerdo Ministerial No 097-A. En Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (pág. 184). CEP-Corporación de Estudios y Publicaciones: Quito.

Mintegui, J. A. (1988). Análisis de la influencia del relieve en la en la erosión hídrica. Hipótesis de estudio para correlacionar la pendiente con la longitud del declive en un terreno. Madrid: V Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica.

Molero, E. (2009). La modelización hidrológica-hidráulica y los sistemas de información geográfica. Granada: Guía nueva cultura del agua.

Mosquera, M. (2014). Factores predisponentes para el aparecimiento de enfermedades diarreicas agudas en menores de 1 año de los recintos San Agustín, San Miguel de Cayapas y de la parroquia Borbón del cantón Eloy Alfaro. Esmeraldas: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

Saavedra, M. A. (2018). Modelacion hidrológica de la cuenca maylanco utilizando HEC-HMS . Bolivia: Centro de Investigacion en Ingenieria Civil y Ambiental (CIICA).

Saavedra, O. (2018). Hydrological modeling of maylanco basin using HEC-HMS. Bolivia: Centro de Investigación en Ingeniería Civil y Ambiental (CIICA).

- Sánchez, D. (2016). Calidad de las aguas. Madrid: Escuela de Ingenieros de Caminos, Cnales y Puertos de Ciudad Real.
- Secretaria Distrital de Salud de Bogota. (2015). Calidad del agua para consumo humano. Bogota: Dirección de salud pública.
- Secretaria Nacional del agua. (2011). Informe Técnico, calidad del aga en los cantones San Lorenzo, Eloy Alfaro, Provincia de Esmeraldas. Quito.
- Sialva, A. C. (2005). Modelación Hidrológica para pronóstico de caudales mediante la aplicación del paquete HEC-HMS ® en la cuenca del Río Paute. Mexico: Alfaomega Grupo Editor.
- Tapia, J. C. (2012). Modelización Hidrológica de un área experimental en la Cuenca del Rio Guayas. La Plta, Argentina: Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales .
- UNESCO, P. M. (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos, Aguas residuales, El recurso desaprovechado. Paris: UNESCO.
- Voloshenko, A., G., G., J., C., L., C., W., P., F., S., . . . O., L. (2015). Emerging pollutants in the Esmeraldas watershed in Ecuador: discharge and attenuation of emerging organic pollutants along the San Pedro–Guayllabamba–Esmeraldas rivers. Environmental Science Processes & Impacts, 17, 41-53.

Anexos