



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**TEMA:**

**VULNERABILIDAD HÍDRICA EN TRES PARROQUIAS DEL CANTÓN  
SANTA ANA, MEDIANTE EL USO DEL SISTEMA DE INDICADORES  
HÍDRICOS DEL IDEAM**

**AUTOR: Eduardo Andrés Pico Menéndez**

**TUTOR: Ing. César Patricio Borja Bernal, M.Sc.**

**GUAYAQUIL, SEPTIEMBRE 2019**



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
FACULTAD CIENCIAS NATURALES  
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL  
UNIDAD DE TITULACIÓN



Guayaquil, 6 de Agosto del 2019

ANEXO 4

Señor Ingeniero  
**Vinicio Macas Espinosa. MSc.**  
**DIRECTOR (E) DE LA CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL**  
FACULTAD CIENCIAS NATURALES  
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
Ciudad.-

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación **VULNERABILIDAD HÍDRICA EN TRES PARROQUIAS DEL CANTÓN SANTA ANA, MEDIANTE EL USO DEL SISTEMA DE INDICADORES HÍDRICOS DEL IDEAM** del estudiante **EDUARDO ANDRÉS PICO MENÉNDEZ**, indicando ha cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo de titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que el estudiante está apto para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,

  
CÉSAR PATRICIO BORJA BERNAL

C.I. 0601605918

**RECIBIDO**

HORA

9:26

Herlinda Flores Freire



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
FACULTAD CIENCIAS NATURALES  
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL  
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 5

RÚBRICA DE EVALUACIÓN TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del Trabajo: VULNERABILIDAD HÍDRICA EN TRES PARROQUIAS DEL CANTÓN SANTA ANA, MEDIANTE EL USO DEL SISTEMA DE INDICADORES HÍDRICOS DEL IDEAM		
Autor(s): EDUARDO ANDRÉS PICO MENÉNDEZ		
ASPECTOS EVALUADOS	PUNTAJE MÁXIMO	CALF.
<b>ESTRUCTURA ACADÉMICA Y PEDAGÓGICA</b>	<b>4.5</b>	<b>4.5</b>
Propuesta integrada a Dominios, Misión y Visión de la Universidad de Guayaquil.	0.3	0.3
Relación de pertinencia con las líneas y sublíneas de investigación Universidad / Facultad/ Carrera	0.4	0.4
Base conceptual que cumple con las fases de comprensión, interpretación, explicación y sistematización en la resolución de un problema.	1	1
Coherencia en relación a los modelos de actuación profesional, problemática, tensiones y tendencias de la profesión, problemas a encarar, prevenir o solucionar de acuerdo al PND-BV	1	1
Evidencia el logro de capacidades cognitivas relacionadas al modelo educativo como resultados de aprendizaje que fortalecen el perfil de la profesión	1	1
Responde como propuesta innovadora de investigación al desarrollo social o tecnológico.	0.4	0.4
Responde a un proceso de investigación – acción, como parte de la propia experiencia educativa y de los aprendizajes adquiridos durante la carrera.	0.4	0.4
<b>RIGOR CIENTÍFICO</b>	<b>4.5</b>	<b>4.5</b>
El título identifica de forma correcta los objetivos de la investigación	1	1
El trabajo expresa los antecedentes del tema, su importancia dentro del contexto general, del conocimiento y de la sociedad, así como del campo al que pertenece, aportando significativamente a la investigación.	1	1
El objetivo general, los objetivos específicos y el marco metodológico están en correspondencia.	1	1
El análisis de la información se relaciona con datos obtenidos y permite expresar las conclusiones en correspondencia a los objetivos específicos.	0.8	0.8
Actualización y correspondencia con el tema, de las citas y referencia bibliográfica	0.7	0.7
<b>PERTINENCIA E IMPACTO SOCIAL</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Pertinencia de la investigación	0.5	0.5
Innovación de la propuesta proponiendo una solución a un problema relacionado con el perfil de egreso profesional	0.5	0.5
<b>CALIFICACIÓN TOTAL *</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
* El resultado será promediado con la calificación del Tutor Revisor y con la calificación de obtenida en la Sustentación oral.		

CÉSAR PATRICIO BORJA BERNAL  
Tutor de trabajo de titulación  
No. C.I. 0601605918

RECIBIDO

HORA  
fecha: 6 de agosto del 2019

Herlinda Flores Freire



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
FACULTAD CIENCIAS NATURALES  
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL  
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 6

**CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD**

Habiendo sido nombrado **CÉSAR PATRICIO BORJA BERNAL**, tutor del trabajo de titulación, certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por **EDUARDO ANDRÉS PICO MENÉNDEZ, C.C. 1311737033**, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Ambiental.

Se informa que el trabajo de titulación: **VULNERABILIDAD HÍDRICA EN TRES PARROQUIAS DEL CANTÓN SANTA ANA, MEDIANTE EL USO DEL SISTEMA DE INDICADORES HÍDRICOS DEL IDEAM**, ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa antiplagio **URKUND** quedando el 2% de coincidencia.

**URKUND**

Documento: [Eduardo Pico URKUND.docx](#) (D54750161)  
Presentado: 2019-09-06 16:04 (-05:00)  
Presentado por: dra.beatrizperlasantos@gmail.com  
Recibido: dra.beatrizperlasantos.ug@analysis.orkund.com  
Mensaje: Tesis Eduardo Pico [Mostrar el mensaje completo](#)  
2% de estas 115 páginas, se componen de texto presente en 4 fuentes.

Lista de fuentes	Bloques
Lista de fuentes	Bloques
Categoría	Enlace/nombre de archivo
ANDRES SILVA TESIS 2015.docx	
TESIS BELLO PALADINES Y MOREIRA VELEZ.docx	
<a href="#">b5a937d6-d670-4584-92f5-d4932a2aff0a</a>	
<a href="#">9b7eeac9c-1570-444f-8a38-42a608b278e8</a>	
Fuentes alternativas	

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
TRABAJO DE TITULACION PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL  
TEMA: VULNERABILIDAD HIDRICA EN TRES PARROQUIAS DEL CANTON SANTA ANA, MEDIANTE EL USO DEL SISTEMA DE INDICADORES HIDRICOS DEL IDEAM  
AUTOR: Eduardo Andres Pico Menendez  
TUTOR: Ing. Cesar Patricio Borja Bernal, MSc.  
GUAYAQUIL, SEPTIEMBRE 2019  
Resumen  
El proposito de este trabajo fue determinar la vulnerabilidad al desabastecimiento hidrico en el canton Santa

<https://secure.orkund.com/view/53295755-662337-682244>

**CÉSAR PATRICIO BORJA BERNAL**  
Tutor del trabajo de titulación  
C.I. 0601605918

**RECIBIDO**

HORA 9:26 12 130 2019

Herlinda Flores Freire



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
FACULTAD CIENCIAS NATURALES  
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL  
UNIDAD DE TITULACIÓN



Guayaquil, agosto 21 de 2019

ANEXO 7

Señor ingeniero

**Vinicio Macas Espinosa. MSc.**

**DIRECTOR DE LA CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL**

FACULTAD CIENCIAS NATURALES

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la **REVISIÓN FINAL** del Trabajo de Titulación: **VULNERABILIDAD HÍDRICA EN TRES PARROQUIAS DEL CANTÓN SANTA ANA, MEDIANTE EL USO DEL SISTEMA DE INDICADORES HÍDRICOS DEL IDEAM**, del estudiante **EDUARDO ANDRÉS PICO MENÉNDEZ**. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

- El título tiene un máximo de 19 palabras.
- La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.
- El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad.
- La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.
- Los soportes teóricos son de máximo 3 años.
- La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que el estudiante **EDUARDO ANDRÉS PICO MENÉNDEZ** está apto para continuar el proceso de titulación. Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,

*Clelia Naranjo Freire*

Ing. Clelia Naranjo Freire, M.Sc.

DOCENTE TUTOR REVISOR

C.I. 0923860803





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
FACULTAD CIENCIAS NATURALES  
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL  
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 8

RÚBRICA DE EVALUACIÓN MEMORIA ESCRITA TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del Trabajo: VULNERABILIDAD HÍDRICA EN TRES PARROQUIAS DEL CANTÓN SANTA ANA, MEDIANTE EL USO DEL SISTEMA DE INDICADORES HÍDRICOS DEL IDEAM  
Autor: Eduardo Andrés Pico Menéndez

ASPECTOS EVALUADOS	PUNTAJE MÁXIMO	CALF.	COMENTARIOS
<b>ESTRUCTURA Y REDACCIÓN DE LA MEMORIA</b>	3	3	
Formato de presentación acorde a lo solicitado	0.6	0.6	
Tabla de contenidos, índice de tablas y figuras	0.6	0.6	
Redacción y ortografía	0.6	0.6	
Correspondencia con la normativa del trabajo de titulación	0.6	0.6	
Adecuada presentación de tablas y figuras	0.6	0.6	
<b>RIGOR CIENTÍFICO</b>	6	6	
El título identifica de forma correcta los objetivos de la investigación	0.5	0.5	
La introducción expresa los antecedentes del tema, su importancia dentro del contexto general, del conocimiento y de la sociedad, así como del campo al que pertenece	0.6	0.6	
El objetivo general está expresado en términos del trabajo a investigar	0.7	0.7	
Los objetivos específicos contribuyen al cumplimiento del objetivo general	0.7	0.7	
Los antecedentes teóricos y conceptuales complementan y aportan significativamente al desarrollo de la investigación	0.7	0.7	
Los métodos y herramientas se corresponden con los objetivos de la investigación	0.7	0.7	
El análisis de la información se relaciona con datos obtenidos	0.4	0.4	
Factibilidad de la propuesta	0.4	0.4	
Las conclusiones expresa el cumplimiento de los objetivos específicos	0.4	0.4	
Las recomendaciones son pertinentes, factibles y válidas	0.4	0.4	
Actualización y correspondencia con el tema, de las citas y referencia bibliográfica	0.5	0.5	
<b>PERTINENCIA E IMPACTO SOCIAL</b>	1	1	
Pertinencia de la investigación/ Innovación de la propuesta	0.4	0.4	
La investigación propone una solución a un problema relacionado con el perfil de egreso profesional	0.3	0.3	
Contribuye con las líneas / sublíneas de investigación de la Carrera/Escuela	0.3	0.3	
<b>CALIFICACIÓN TOTAL*</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	

\* El resultado será promediado con la calificación del Tutor y con la calificación de obtenida en la Sustentación oral.

Clelia Naranjo Freire

Ing. Clelia Naranjo Freire, M.Sc.  
No. C.I. 0923860803



Fecha: 21 de agosto de 2019



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL**  
**FACULTAD CIENCIAS NATURALES**  
**CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL**  
**UNIDAD DE TITULACIÓN**



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



**SENESCYT**  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

**ANEXO 10**

**REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y  
TECNOLOGÍA**

**FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE GRADUACIÓN**

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	VULNERABILIDAD HÍDRICA EN TRES PARROQUIAS DEL CANTÓN SANTA ANA, MEDIANTE EL USO DEL SISTEMA DE INDICADORES HÍDRICOS DEL IDEAM	
<b>AUTOR</b> (apellidos/nombres):	PICO MENÉNDEZ EDUARDO ANDRÉS	
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b> (apellidos/nombres):	CLELIA NARANJO FREIRE, MSc. PATRICIO BORJA BERNAL, MSc.	
<b>INSTITUCIÓN:</b>	UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL	
<b>UNIDAD/FACULTAD:</b>	FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES	
<b>TERCER NIVEL:</b>	INGENIERÍA AMBIENTAL	
<b>GRADO OBTENIDO:</b>	INGENIERO AMBIENTAL	
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	<b>N° DE PÁGINAS:</b>	65
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	CIENCIAS AMBIENTALES	
<b>PALABRAS CLAVE/KEYWORDS:</b>	Vulnerabilidad, desabastecimiento, IDEAM, Santa Ana, Manabí.	

**RESUMEN/ABSTRACT**

El cantón Santa Ana se caracteriza por presentar continuos escenarios de sequía debido a las condiciones climáticas y geográficas del sector, afectando su desarrollo social y económico. El objetivo de este trabajo es determinar la vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico en el cantón Santa Ana. El trabajo se dividió en dos etapas. La primera consistió en el cálculo del índice de Retención y Regulación Hídrica, se estableció como base de datos un registro histórico de caudales diarios de la represa Poza Honda para la elaboración de la Curva de Duración de Caudales. La segunda se fundamentó en la obtención del Índice de Uso de Agua, se estimó la oferta hídrica a partir de un registro de caudales mensuales, considerando las mismas dimensiones temporales y espaciales utilizadas para el Índice de Retención y Regulación Hídrica. Se calculó la demanda hídrica con base en la identificación de los principales usos consuntivos del área de estudio. El cálculo del índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico se definió mediante la matriz de relación establecida por el IDEAM. Los resultados obtenidos muestran valores de 0,24156749 para el Índice de regulación y Retención Hídrica; adquiriendo una caracterización de "Muy bajo", lo que denota una baja capacidad de retención de humedad. Mientras que el Índice de Uso de Agua se categorizó como "muy alto", al presentar valores de 58,99% evidenciando una baja eficiencia del manejo del agua por parte de los usuarios del cantón, por consiguiente, el índice de Vulnerabilidad Hídrica presentó valores muy altos en las tres parroquias.

<b>ADJUNTO PDF:</b>	En base de datos	SI
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> 0969178944	<b>E-mail:</b> eduardo_pico95@hotmail.com
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:</b>	<b>Nombre:</b> Blg. Miriam Salvador Brito, MSc. <b>Teléfono:</b> 593 4 3080777 – 593 4 3080758 <b>E-mail:</b> info@fccnugye.com; Miriam.salvadorb@ug.edu.ec	



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
FACULTAD CIENCIAS NATURALES  
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL  
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 11

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR REVISOR

Habiendo sido nombrado **Ing. Clelia Naranjo Freire, M.Sc.**, Tutor revisor del Trabajo de Titulación **VULNERABILIDAD HÍDRICA EN TRES PARROQUIAS DEL CANTÓN SANTA ANA, MEDIANTE EL USO DEL SISTEMA DE INDICADORES HÍDRICOS DEL IDEAM**, certifico que el presente trabajo de titulación, elaborado por **EDUARDO ANDRÉS PICO MENÉNDEZ**, con C.I. No. **1311737033**, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Ambiental, en la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ciencias Naturales, ha sido **REVISADO Y APROBADO** en todas sus partes, encontrándose apto para su sustentación.

Guayaquil, 21 de agosto de 2019

*Clelia Naranjo Freire*

Ing. Clelia Naranjo Freire, M.Sc.

C.I. 0923860803





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
FACULTAD CIENCIAS NATURALES  
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL  
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 12

**LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL  
USO NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES ACADÉMICOS**

Yo, **EDUARDO ANDRÉS PICO MENÉNDEZ** con C.I. No.1311737033, certifico que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es **VULNERABILIDAD HÍDRICA EN TRES PARROQUIAS DEL CANTÓN SANTA ANA, MEDIANTE EL USO DEL SISTEMA DE INDICADORES HÍDRICOS DEL IDEAM**, son de mi absoluta propiedad y responsabilidad Y SEGÚN EL Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN\*, autorizo el uso de una licencia gratuita intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la presente obra con fines académicos, en favor de la Universidad de Guayaquil, para que haga uso del mismo, como fuera pertinente

**EDUARDO ANDRÉS PICO MENÉNDEZ**  
C.I. No. 1311737033

\*CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN (Registro Oficial n. 899 - Dic./2016) Artículo 114.- De los titulares de derechos de obras creadas en las instituciones de educación superior y centros educativos.- En el caso de las obras creadas en centros educativos, universidades, escuelas politécnicas, institutos superiores técnicos, tecnológicos, pedagógicos, de artes y los conservatorios superiores, e institutos públicos de investigación como resultado de su actividad académica o de investigación tales como trabajos de titulación, proyectos de investigación o innovación, artículos académicos, u otros análogos, sin perjuicio de que pueda existir relación de dependencia, la titularidad de los derechos patrimoniales corresponderá a los autores. Sin embargo, el establecimiento tendrá una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra con fines académicos.





UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
FACULTAD CIENCIAS NATURALES  
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL  
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 13

**VULNERABILIDAD HÍDRICA EN TRES PARROQUIAS DEL CANTÓN SANTA ANA,  
MEDIANTE EL USO DEL SISTEMA DE INDICADORES HÍDRICOS DEL IDEAM**

*Autor: Eduardo Andrés Pico Menéndez.*

*Tutor: Patricio Borja Bernal, M.Sc*

**Resumen**

El cantón Santa Ana se caracteriza por presentar continuos escenarios de sequía debido a las condiciones climáticas y geográficas del sector, afectando su desarrollo social y económico. El objetivo de este trabajo es determinar la vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico en el cantón Santa Ana. El trabajo se dividió en dos etapas. La primera consistió en el cálculo del índice de Retención y Regulación Hídrica, se estableció como base de datos un registro histórico de caudales diarios de la represa Poza Honda para la elaboración de la Curva de Duración de Caudales. La segunda se fundamentó en la obtención del Índice de Uso de Agua, se estimó la oferta hídrica a partir de un registro de caudales mensuales, considerando las mismas dimensiones temporales y espaciales utilizadas para el Índice de Retención y Regulación Hídrica. Se calculó la demanda hídrica con base en la identificación de los principales usos consuntivos del área de estudio. El cálculo del índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico se definió mediante la matriz de relación establecida por el IDEAM. Los resultados obtenidos muestran valores de 0,24156749 para el Índice de regulación y Retención Hídrica; adquiriendo una caracterización de "Muy bajo", lo que denota una baja capacidad de retención de humedad. Mientras que el Índice de Uso de Agua se categorizó como "muy alto", al presentar valores de 58,99% evidenciando una baja eficiencia del manejo del agua por parte de los usuarios del cantón, por consiguiente, el índice de Vulnerabilidad Hídrica presentó valores muy altos en las tres parroquias.

**Palabras clave:** Vulnerabilidad, desabastecimiento, IDEAM, Santa Ana, Manabí.



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
FACULTAD CIENCIAS NATURALES  
CARRERA INGENIERIA AMBIENTAL  
UNIDAD DE TITULACIÓN



ANEXO 14

*WATER VULNERABILITY IN THREE PARISHES OF SANTA ANA CANTON,  
THROUGH THE USE OF THE IDEAM SYSTEM OF WATER INDICATORS*

*Author: Eduardo Andrés Pico Menéndez*

*Advisor: Patricio Borja Bernal, M.Sc*

**Abstract**

The Santa Ana canton is characterized by presenting continuous drought scenarios due to the climatic and geographical conditions of the sector, affecting its social and economic development. The purpose of this work was to determine the vulnerability to water shortages in the Santa Ana canton. For this purpose, the work was divided into two stages. The first consisted in the calculation of the Water Retention and Regulation index, for this purpose, a historical record of daily flows of the Poza Honda dam was established as a database for the elaboration of the Flow Duration Curve. The second stage was based on obtaining the Water Use Index, for this, the water supply was determined from a monthly flow register, considering the same temporal and spatial dimensions used for the Water Retention and Regulation Index. The calculation of water demand was based on the identification of the main consumptive uses of the study area. The calculation of the Vulnerability Index to Water Shortage was defined by the relationship matrix established by the IDEAM. The results obtained show values of 0.24156749 for the Water Retention and Regulation Index; acquiring a "Very low" characterization, which denotes a low moisture retention capacity. On the other hand, the Water Use Index was categorized as "very high", presenting values of 58.99% showing a low efficiency of water management by the users of the canton, therefore, the Water Vulnerability Index It presented very high values in the three parishes.

**Keywords:** Vulnerability, shortage, IDEAM, Santa Ana, Manabí.

## DEDICATORIA

A Jaime Pico Macías, Reilina Menéndez García, Jaime Pico Menéndez y Juan  
Carlos Pico Menéndez

Por ayudarme a crecer como persona.

## AGRADECIMIENTO

A mis padres por ser el principal soporte intelectual y moral a lo largo de este proceso académico.

A mis hermanos, por estar siempre conmigo y brindarme ánimos, haciendo más sencillo cada paso.

Al equipo técnico de la Secretaría Nacional del Agua y la Empresa Pública del Agua, quienes facilitaron insumos imprescindibles para el desarrollo del presente estudio.

A mi tutor del Trabajo de Titulación, por haberme guiado pacientemente durante este proceso

Patricio Borja Bernal

Finalmente, quiero agradecer a mis amigos, Jimmy León, Alan Arcentales, Kevin Alvarado, Karen Añezco, Sharon Ruíz, Cinthya Mendoza, Juan Carlos Guevara, Felipe Zambrano, Javier Vera, Cristhian Argandoña, Santiago Olivares, Leonel Briones, Melissa Moscoso, Carla Risco y Alicia Tafúr, por haberme apoyado incondicionalmente desde el primer día.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2. OBJETIVOS.....	5
1.2.1. Objetivo general.....	5
1.2.2. Objetivos específicos.....	5
1.3. HIPÓTESIS.....	5
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	5
CAPÍTULO II.....	8
2.1. ANTECEDENTES.....	8
2.2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.2.1. Cuenca Hidrográfica.....	9
2.2.2. Delimitación de una cuenca Hidrográfica.....	10
2.2.3. Vulnerabilidad.....	10
2.2.4. Resiliencia ecológica.....	11
2.2.5. Resiliencia social.....	12
2.2.6. Sequías.....	12
2.2.7. Curva de duración de caudales.....	14
2.2.8. Oferta Hídrica.....	15
2.2.9. Demanda hídrica.....	16
2.2.10. Categorías de consumo de agua consideradas en el estudio.....	16
2.2.11. Escasez de Agua.....	18
2.2.12. Estrés Hídrico.....	19
2.3. MARCO LEGAL.....	20
CAPÍTULO III.....	25
3.1. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1.1. Área de estudio.....	25
3.2. METODOLOGÍA.....	27
3.2.1. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).....	29
3.2.2. Índice de Uso de Agua (IUA).....	34
3.2.3. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH).....	44
CAPÍTULO IV.....	45
4.1. RESULTADOS.....	45
4.1.1. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).....	45
4.1.2. Índice de Uso de Agua (IUA).....	46

4.1.3. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH) .....	49
4.2. DISCUSIÓN .....	50
4.3. CONCLUSIONES .....	51
RECOMENDACIONES .....	51
REFERENCIAS .....	53
ANEXOS .....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Categorías de valoración para los rangos del IRH .....	34
Tabla 2 Categorías de valoración para los rangos del IUA .....	35
Tabla 3 Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio en poblaciones rurales .....	38
Tabla 4 Dotaciones de agua para la población urbana.....	39
Tabla 5 Valores promedios de las propiedades físicas de los suelos según la textura .....	43
Tabla 6. Matriz de relación para el Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico.....	44
Tabla 7 Oferta Hídrica Anual Disponible.....	47
Tabla 8 Demanda Hídrica sectorial.....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1** Mapa de ubicación del área de estudio. .... ¡Error! Marcador no definido.

**Figura 2** Flujograma del proceso metodológico (ETAPA I: Índice de Retención y Regulación Hídrica; ETAPA II: Índice de Uso de Agua) ..... ¡Error! Marcador no definido.

**Figura 3** Curva de Duración de Caudales ..... 45

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Módulo "CLIMA" para el programa CROPWAT 8.0 .....	61
Anexo 2 Módulo "PRECIPITACIÓN" para el programa CROPWAT 8.0 .....	61
Anexo 3 Módulo "CULTIVO" para el programa CROPWAT 8.0.....	62
Anexo 4 Módulo "SUELO" para el programa CROPWAT 8.0 .....	63
Anexo 5 Sondeo para Estudio de Penetración Estándar.....	64
Anexo 7 Mapa de áreas cultivadas.....	64
Anexo 8 Mapa de puntos de muestreo.....	65

## INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los compuestos más abundantes en la superficie terrestre, a pesar de esto, el 1% es aprovechable y está distribuido entre ríos, acuíferos, embalses y otros. El agua es un recurso que no puede ser sustituido y que es necesario para la supervivencia y desarrollo humano, aun así, su disponibilidad para consumo humano se ha ido degradando notablemente con el tiempo. Cabe destacar que la presencia de este recurso dentro del ciclo hidrológico no se ve alterada, por lo que se considera un recurso renovable, sin embargo, el porcentaje del mismo apto para el consumo humano es el que gradualmente se agota, tanto en la superficie terrestre, como en el manto freático (Salazar, 2014).

En América Latina, la escasez de agua se ha convertido en uno de los principales problemas en el siglo XXI. Esto debido a que el uso se ha incrementado a un ritmo que supera la tasa de crecimiento de la población que de ella se abastece, por esta razón, existe un creciente número de regiones que se encuentra en situaciones extremas de déficit hídrico (Arroyo, 2017).

Ecuador refleja una situación semejante en cuanto al recurso hídrico, presentando en numerosas ocasiones escenarios de sequías e inundaciones. La Secretaría Técnica de Gestión de Riesgos (2008), indica que entre los años 1997 y 1998, el Fenómeno del Niño generó daños por valores que superaron los dos mil ochocientos millones de dólares. Si bien es cierto, no se puede evitar un evento natural, pero sí es posible reducir la vulnerabilidad de la población, generando información correspondiente al régimen hídrico y al patrón de consumo del recurso por parte de las comunidades (Secretaría Nacional del Agua, 2012).

Considerando las limitaciones en cuanto al aprovechamiento que se le puede dar para satisfacer las necesidades básicas de las poblaciones y la

evidente relación que existe en el deterioro de los cuerpos hídricos y el cambio climático, resulta imprescindible el desarrollo de instrumentos que sirvan como mecanismo de gestión de los recursos hídricos.

Ávila (2008) define como vulnerabilidad al proceso que lleva a una población y al medio en que circundan, a una situación de exposición ante daños y amenazas resultantes de la interacción desfavorable de factores biofísicos y sociales. En este contexto, la vulnerabilidad del agua dentro de un sistema constituye un indicador de la seguridad hídrica, siendo la calidad y cantidad de agua aprovechable por los distintos usuarios para cubrir sus necesidades básicas, y la capacidad para hacer frente a eventos naturales adversos, factores dependientes de la misma. Por otra parte, el doctor Oscar Escolero Fuentes, del Departamento de Geología Regional del Instituto de Geología de la UNAM, establece que la vulnerabilidad hídrica se debe, además de variaciones en el ambiente, a las poblaciones en constante crecimiento, quienes necesitan cada vez más recursos para satisfacer sus necesidades (Universidad Nacional Autónoma de México, 2016).

Para determinar el grado de vulnerabilidad hídrica dentro del cantón Santa Ana, se aplicó la metodología descrita por el IDEAM (2010) misma que busca evaluar el índice de escasez del recurso hídrico a nivel municipal. Ésta consiste en la identificación del efecto resultante de la interacción de la variación en la capacidad que poseen los sistemas para retener y regular el componente hídrico, y la eficiencia en el manejo del agua por parte de los usuarios. El Resultado se refleja en la fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta dentro de su sistema

El presente trabajo tiene como principal objetivo diagnosticar el estado actual y tendencial del sistema hídrico en el cantón Santa Ana, para de esta manera determinar qué eventos pueden implicar una mayor amenaza para el

recurso hídrico, su capacidad de satisfacer las necesidades de la población y el correcto funcionamiento de la estructura ecológica del cantón.

## **CAPÍTULO I**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

América Latina es a nivel global la región que goza de mayor presencia de agua, al contar aproximadamente con una de las tres partes de agua que hay en planeta, por lo que genera un ingreso de agua que supera la media a nivel mundial (Arroyo, 2017). Desde un punto de vista global, se entiende que América Latina se encuentra en óptimas condiciones con respecto al régimen hídrico, pero la realidad del subcontinente es diferente al analizar la situación de sus países; esto se debe a que la distribución del recurso presenta escenarios con tendencias desiguales, donde hay territorios que muestran un registro histórico con precipitaciones duraderas y proporcionadas; asimismo, existen naciones en las cuales la lluvia es estacional y solo se presenta en determinados meses del año, por lo que su capacidad para abastecerse de agua se ve comprometida (Yáñez & Villacís, 2016).

La provincia de Manabí se caracteriza por obtener aporte hídrico de cuencas hidrográficas, pero no del deshielo de la serranía, volviéndose dependiente de condiciones meteorológicas como precipitaciones, mismas que dentro de la región central de la provincia de Manabí son estacionales y están ligadas al calentamiento temporal del océano Pacífico y al tránsito de la Zona de Convergencia Intertropical (Hernández & Zambrano, 2007; Cedeño & Donoso, 2010) En este sector, la variabilidad tanto del clima costero como de la irregularidad interanual de la pluviometría se debe principalmente a los fenómenos de “El Niño” y “La Niña” (Rossel et al., 1998).

El río Grande o río Portoviejo es la fuente de agua con mayor relevancia para el sector central de la provincia de Manabí, este provee agua a la población

de los cantones Portoviejo, Santa Ana y Rocafuerte, que pertenecen a su cuenca, y los cantones que se encuentran fuera de cuenca son Manta, Montecristi, Jaramijó, Sucre y Jipijapa. Las sequías han generado problemas en cuanto a la economía del cantón, como pérdida de producción y aumento de costos; sin mencionar que la falta de agua ocasiona gastos adicionales a los pobladores al tener que optar por medios alternos, disminuyendo la calidad de vida de la población (Neira et al., 2009). Se ha considerado tres parroquias del cantón como área de estudio, esto debido a que dentro del mismo son las únicas que presentan disponibilidad de información meteorológica e hidrológica y se encuentran dentro de la cuenca del Río Portoviejo.

Los recursos hídricos en el área de estudio se encuentran bajo constante presión, por este motivo, es fundamental priorizar acciones que permitan conocer la influencia de los factores climáticos sobre la distribución y variaciones en tiempo y espacio (Donoso, 2010). Considerando la ausencia de información referente a la fragilidad del sistema para mantener la oferta de agua, surge la necesidad de realizar un estudio de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico que proporcione un diagnóstico de la situación real del cantón Santa Ana.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar el grado de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico en tres parroquias del cantón Santa Ana, provincia de Manabí.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Conocer las condiciones del cantón en cuanto a su población y su relación con el recurso hídrico.
- Definir el índice de retención y regulación hídrica de la cuenca del Río Portoviejo dentro del área de estudio.
- Calcular el índice de Uso de Agua sectorial de la población.
- Estimar el grado de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico en tres parroquias del cantón Santa Ana.

## **1.3. HIPÓTESIS**

El cantón Santa Ana, presenta un alto grado de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico, ocasionado principalmente por el gran consumo del recurso hídrico en agricultura.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN**

Sudamérica genera más de la tercera parte de la escorrentía a nivel global, a pesar de que solo constituye el 13% de tierras emergidas, y 6% del total de la población del planeta. Los valores antes mencionados no son tan contundentes al análisis de la disponibilidad del recurso para las distintas poblaciones de la región. Existen varios factores que condicionan la presencia del agua; tales como su distribución (espacio-tiempo), problemas de contaminación y las distintas actividades que con ella realizan. Esto implica que

para algunos sectores la presión sobre el recurso sea mayor, incrementando la amenaza por escasez (Stefano, Martinez-Santos, & Willaarts, 2014).

La disminución del suministro de agua puede tener consecuencias directas a la salud humana, al desarrollo económico y social. Bajos niveles en el aprovisionamiento del líquido vital resultan en la disminución de ingresos, al no poder mantener un caudal mínimo para salvaguardar los insumos necesarios para la producción agrícola y ganadera. Por esta razón, se torna muy difícil mantener un hogar en condiciones óptimas de asepsia, conservar los alimentos limpios para su consumo, e incrementan las tasas de morbilidad y mortalidad por proliferación de enfermedades infecciosas, consecuencia de la mala disposición de desechos sólidos humanos (Salazar, 2014).

El manejo del recurso hídrico consiste en la interacción de las decisiones tomadas por parte de las entidades reguladoras del mismo y la capacidad de los pobladores para abastecerse mediante su uso eficiente. A esto se suma la disponibilidad que ofrece la situación geográfica y climática del sector, misma que para la provincia de Manabí, corresponde a una condición adversa. Dentro de esta jurisdicción, la oferta hídrica otorgada por las autoridades competentes sobre el recurso hídrico es calculada a partir de estimaciones, mas no se realiza considerando las necesidades de los consumidores con base a las distintas actividades productivas.

La interrelación de estas condiciones puede resultar en escenarios de pérdidas económicas e insalubridad, al desconocerse qué tan propenso es un determinado sistema a la disminución crítica del aprovisionamiento hídrico (Helguera & Lanfranco, 2008). Tomando en cuenta que, en el pasado, el cantón Santa Ana ha presentado registros de sequías que han afectado tanto a la población, su producción agrícola y ganadera; y también su fauna silvestre, surge la necesidad e importancia de evaluar la vulnerabilidad al desabastecimiento dentro de este cantón, en la provincia de Manabí.

Con el presente estudio, se pretende disminuir el estado de incertidumbre en tres parroquias del cantón y a su vez, generar una herramienta para la toma de decisiones por parte de las autoridades con respecto al recurso hídrico disponible, al utilizar los resultados obtenidos para desarrollar y producir una gestión eficiente sobre el recurso considerando las oferta y demanda actual, y permitiendo a los usuarios conocer los factores que vuelven vulnerable al área de estudio con la finalidad de que empleen medidas para optimizar el uso del agua.

## CAPÍTULO II

### 2.1. ANTECEDENTES

La Organización de las Naciones Unidas y la Organización Mundial de Meteorología, establecieron al Índice de Escasez de Agua Superficial, como un indicador de los efectos provocados por las actividades antrópicas sobre el recurso hídrico. En Colombia, el IDEAM (2004) planteó una metodología con la finalidad disminuir la incertidumbre en los resultados, al considerar las variables biofísicas, meteorológicas y condiciones del régimen hídrico en caudales abastecedores (González, Aragón, & Moreno, 2015).

Suarez (2014), en su proyecto de Formulación y Ordenamiento del recurso hídrico Río Chichimene, utilizó la metodología empleada por el IDEAM, y señaló que, para el Índice de uso del agua, el río Chichimene presentaba valores muy altos, correspondientes al 59%, indicando que la presión de la demanda es elevada con respecto al caudal ofertado. Por otra parte, para el índice de retención y regulación hídrica, los valores también fueron altos (0.44 %) lo que implica una baja capacidad de retener la humedad. Como resultado de la interacción de los índices descritos previamente, el índice de Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico fue muy alto.

González, Aragón, & Moreno (2015), realizaron un estudio en Bogotá, Colombia, de nombre “Determinar la vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico del páramo guerrero y establecer las posibles medidas de adaptación y mitigación” con la finalidad de diagnosticar las condiciones del régimen hídrico en los municipios de Carmen de Carupa, Cogua, Tausa y Zapaquirá, donde se demostró que la mayoría de municipios presentaban valores muy altos para el índice de retención hídrica, comprobando que más del 70% del área de estudio posee buena capacidad de retención de humedad; para el índice de Uso de Agua se determinó que las zonas que presentaban mayor desarrollo socioeconómico, son las que tienen mayor consumo de agua. Concluyendo que, los resultados sobre la vulnerabilidad fueron bajos, lo que indica que el riesgo a amenazas por

desabastecimiento, es bajo por lo que la amenaza no es preocupante a corto plazo.

En el Municipio de Manizales, Colombia, fue demostrado por Ocampo (2012) en su estudio “Análisis de Vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático” que la retención de humedad en el suelo es muy baja, contrastando con los valores estimados en el Estudio Nacional del Agua. Manizales presenta mayor consumo de agua por sectores industriales, incrementando el estrés hídrico y, por lo tanto, manifestando muy altos valores para el Índice de uso de agua. Estas condiciones resultan desfavorables en términos de aprovisionamiento en escenarios de estiaje.

La investigación realizada por Thielen, Cevallos, Erazo, Zurita, Figueroa, Quintero, Matute, Velázquez, y Cárdenas (2015), denominada “Dinámica de los eventos climáticos extremos en la cuenca del río Portoviejo, Manabí, Ecuador”; abarca el estudio y análisis de las precipitaciones históricas como herramienta para el cálculo de la vulnerabilidad, determinando que la condición seca sobre el medio es predominante y muy próxima a las condiciones de sequía, razón por la cual el recurso hídrico debe ser manejado con criterio de insuficiencia, ya que existe una notable tendencia a presentar escenarios de sequías, ubicando este factor como principal amenaza con respecto al recurso hídrico (Neira et al., 2009).

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Cuenca Hidrográfica**

Una cuenca, también llamada cuenca de drenaje o área de captación, se define como un área en la que toda el agua que fluye en ella se dirige a una salida común. Las personas y el ganado son la parte integral de la cuenca, sus actividades afectan el estado productivo de las cuencas y viceversa. Desde el

punto de vista hidrológico, las diferentes fases del ciclo hidrológico en una cuenca dependen de las diversas características naturales y actividades humanas. La cuenca hidrológica no es simplemente la unidad hidrológica, sino también una entidad sociopolítica-ecológica que desempeña un papel crucial en la determinación de la seguridad alimentaria, social y económica y proporciona servicios de soporte vital a la población rural (Wani, Sreedevi, Reddy, Venkateshvarlu, & Prasad, 2008)

### **2.2.2. Delimitación de una cuenca Hidrográfica**

Hidrológicamente, la cuenca hidrográfica es un área desde la cual el flujo llega a un punto común en el sistema de drenaje. Cada corriente, afluente o río tiene una cuenca asociada y las cuencas pequeñas se agregan para convertirse en cuencas más grandes. El agua viaja desde el agua de cabecera hasta la ubicación descendente y se encuentra con una fuerza similar de la corriente, luego forma un curso de un orden superior (Wani & Garg, 2009),

El orden de las corrientes describe la ubicación relativa del alcance en la cuenca. La identificación del orden de los arroyos es útil para comprender la cantidad de agua disponible y su calidad; y también se utiliza como criterio para dividir una cuenca más grande en una unidad más pequeña. Además, los criterios para seleccionar el tamaño de la cuenca también dependen de los objetivos del desarrollo y la pendiente del terreno. Una cuenca grande puede manejarse en áreas de valles llanos o donde el desarrollo de bosques o pastos es el objetivo principal (Singh, 2000). En áreas montañosas o donde se planea un desarrollo agrícola intensivo, el tamaño de la cuenca preferido es relativamente pequeño (Wani & Garg, 2009).

### **2.2.3. Vulnerabilidad**

El concepto de vulnerabilidad implica cierto riesgo combinado con el nivel de responsabilidad social y económica; y la capacidad para hacer frente al evento resultante. La vulnerabilidad se ha definido como el grado en que un

sistema, o parte de un sistema, puede reaccionar adversamente durante la ocurrencia de un evento peligroso. Por lo tanto, las personas se vuelven "vulnerables" si el acceso a los recursos, ya sea en el hogar o a nivel individual, es el factor más crítico para lograr un medio de vida seguro o para recuperarse efectivamente de un desastre. Los hogares con acceso directo a capital, herramientas y equipo, y los miembros sanos son los que pueden recuperarse más rápidamente cuando ocurre un desastre. Como tal, las personas más vulnerables son las más pobres, que tienen pocas opciones más que ubicarse en entornos inseguros (Proag, 2014).

Klein & Nicholls, citado por Kelman, (2007), sugiere que la vulnerabilidad es una función de:

- Resistencia, la capacidad de soportar el cambio debido a un peligro.
- Resiliencia, la capacidad de volver al estado original después de un evento de peligro.
- Susceptibilidad, el estado físico actual, sin tener en cuenta los cambios temporales.

#### **2.2.4. Resiliencia ecológica**

La resiliencia de un sistema ecológico se relaciona con el funcionamiento del sistema, más que con la estabilidad de sus poblaciones componentes, o incluso con la capacidad de mantener un estado ecológico estable, por ello, la resiliencia en los sistemas ecológicos no se observa fácilmente, y parece que en la actualidad no existe una relación acordada, por ejemplo, entre la diversidad de los ecosistemas y su resiliencia (Naeem, Thompson, Lawler, Lawton, & Woodfin, 1994). Por lo tanto, muchos ecosistemas terrestres tropicales tienen poblaciones estables y diversas, pero tienen una resistencia relativamente baja, mientras que ecosistemas similares en regiones templadas con una diversidad aparentemente baja pueden exhibir una mayor capacidad de recuperación (Adger, 2014).

### **2.2.5. Resiliencia social**

Todas las definiciones de resiliencia social se refieren a entidades sociales, ya sean individuos, organizaciones o comunidades, y sus capacidades para tolerar, absorber, hacer frente y adaptarse a amenazas ambientales y sociales de diversos tipos. Como Obrist, Mayumana, & Kessy (2010) señalaron, el punto de entrada para los estudios empíricos sobre resiliencia social es la pregunta: "¿Resiliencia a qué? ¿Cuál es la amenaza o el riesgo que examinamos?" Se suele suponer que las amenazas se originan externamente con respecto a las unidades sociales, pero también pueden derivarse de la dinámica interna o de la interacción entre los dos (Gallopín, 2006). Se puede distinguir entre situaciones, que se caracterizan por amenazas continuas o que aumentan lentamente (por ejemplo, degradación del suelo) y perturbaciones, que se refieren a peligros de inicio rápido, a los que están expuestas las unidades sociales (Turner et al., 2003)

### **2.2.6. Sequías**

Las sequías son fenómenos climáticos complejos que afectan tanto a la sociedad, como al ambiente. Esta complejidad se debe, en gran medida, a la dificultad que se presenta para identificar el momento en el que inicia, así como su duración y severidad. En términos generales, es posible identificar una sequía por sus efectos en diversos aspectos aunque no se ha identificado una variable física que permita determinar efectivamente la severidad de la misma (Vicente-Serrano, Beguería, & López-Moreno, 2010).

La sequía se diferencia de otros peligros naturales (por ejemplo, inundaciones, ciclones tropicales y terremotos) en varias formas; en primer lugar, dado que los efectos de la ausencia de agua a menudo se acumulan de manera paulatina en un rango de tiempo considerable y pueden persistir durante años después de la finalización del evento, es difícil determinar el inicio y el final de la

sequía. Debido a esto, la sequía a menudo se conoce como un fenómeno progresivo (Tannehill, 1949).

Generalmente, una sequía implica una disminución significativa en la presencia de agua debido a precipitaciones por debajo de los patrones normales; sin embargo, aún esta definición puede verse afectada cuando se intenta comparar sequías en diferentes regiones (Meulenert, 2006). A continuación, se presentan algunas de las principales definiciones que se han acuñado para el término “sequía”, así como clasificaciones que se han propuesto para la misma y los índices que se han empleado para determinar grados de severidad.

#### **2.2.6.1. Sequía meteorológica**

Se define como la falta de precipitación sobre una región determinada en un período dado. En general, la precipitación ha sido empleada en análisis meteorológicos de sequías incluyendo análisis de déficits de precipitación respecto a valores medios y estudios de duración e intensidad relacionados con escasez acumulada de precipitación (Mishra & Singh, 2010).

#### **2.2.6.2. Sequía hidrológica**

Se encuentra ligada a periodos con recurso hídrico, tanto superficial como subterráneo, que no cumple con las condiciones para abastecer usos determinados dentro de un sistema específico. En general, para su análisis se utilizan series históricas de caudales. A partir de regresiones, que relacionaban sequías en las corrientes con propiedades de las cuencas, se ha encontrado que la geología es uno de los principales factores que influyen en las sequías hidrológicas (Mishra & Singh, 2010).

### **2.2.6.3. Sequía agrícola**

En general, se refiere a un periodo con bajas en la humedad del suelo y la subsecuente falla de cultivos sin ninguna relación con los recursos hídricos superficiales. La disminución en la humedad del suelo puede depender de varios factores, que también pueden influir en las sequías meteorológicas e hidrológicas, junto con diferencias entre la evapotranspiración real y potencial. Así mismo, la demanda de agua de las plantas depende de sus características biológicas, etapa dentro de su crecimiento, las condiciones prevalecientes del clima y de las propiedades físicas y biológicas del suelo. Para el estudio de las sequías agrícolas, se han desarrollado varios índices basados en combinaciones de parámetros como precipitación, temperatura y humedad del suelo (Mishra & Singh, 2010).

### **2.2.6.4. Sequía socioeconómica**

Generalmente, hace referencia a la incapacidad de los sistemas de suministro de agua para cumplir con las demandas que se presentan. En este caso, se considera que el agua es un bien económico y que la sequía se presenta cuando la demanda del mismo excede al suministro. Lo anterior, ocurre como consecuencia de déficits del recurso causados por condiciones climáticas (Mishra & Singh, 2010).

### **2.2.7. Curva de duración de caudales**

La CDC es una herramienta utilizada para indicar la distribución de la ocurrencia de niveles de caudales a lo largo del tiempo. Para su elaboración se ordenan los valores de caudales registrados de mayor a menor y se asigna a cada valor de caudal la probabilidad de excedencia (función de probabilidad empírica Weibull). Luego, se grafican los datos de caudal en el eje de las ordenadas y los respectivos valores de probabilidad en el eje de las abscisas (Gallego & Carvajal, 2017).

### **2.2.8. Oferta Hídrica**

Representa el volumen de agua que recorre la superficie y compone los sistemas de drenaje superficial. Esta variable se analiza para unidades temporales anuales y mensuales en condiciones hidrológicas para una temporada promedio, húmeda y año típico seco, mediante el uso de las series sintéticas de caudales generadas a partir del modelo lluvia-escorrentía (Suárez, 2014).

La estimación de la oferta distingue dos tipos de cuencas hidrográficas: intervenidas y poco intervenidas, en función de si el régimen de caudales ha sido significativamente alterado o no por la acción antrópica (IDEAM, 2013). Para el presente estudio se contempla los siguientes conceptos relacionados con la oferta hídrica:

#### **2.2.8.1. Oferta hídrica total superficial (OHTS)**

Volumen total de agua que pasa sobre la superficie del terreno y se almacena en los cauces de los ríos y demás cuerpos de agua lénticos. Se representa por el caudal total de escorrentía (IDEAM, 2013)

#### **2.2.8.2. Oferta hídrica disponible (OHTD)**

Volumen promedio de agua que se obtiene a partir de la sustracción del volumen de agua necesario para el funcionamiento de los ecosistemas, a la oferta total superficial (OHTS). Se representa por el caudal disponible (IDEAM, 2013).

### **2.2.8.3. Oferta hídrica regional disponible (OHRD)**

Volumen medio de agua que se obtiene a partir de la adición de los volúmenes de agua utilizados para los distintos usos consuntivos y el aporte de los caudales trasvasados desde cuencas, a la oferta hídrica disponible (OHTD). Es la oferta utilizada para el cálculo del índice de uso de agua (IDEAM, 2013).

### **2.2.9. Demanda hídrica**

En teoría, el término demanda de agua coincide con el consumo de agua. Sin embargo, en la práctica, la demanda a menudo se monitorea en los puntos de suministro donde las mediciones incluyen fugas, así como las cantidades utilizadas para rellenar los tanques de equilibrado que pueden existir en el sistema. Para evitar conclusiones falsas, siempre se debe hacer una distinción clara entre las mediciones en varios puntos del sistema (Trifunovic, 2006). Para poder planificar en forma adecuada su aprovechamiento, es necesario conocer la demanda actual y proyectada de uso del agua, en forma tal que los usos o concesiones no superen las disponibilidades, para evitar el agotamiento del recurso (J. González et al., 2018). En este estudio se contempla los siguientes conceptos relacionados con la demanda hídrica:

### **2.2.10. Categorías de consumo de agua consideradas en el estudio**

#### **2.2.10.1. Uso del agua por diversos sectores**

El consumo de agua se divide inicialmente en componentes domésticos y no domésticos. La mayor parte del consumo no doméstico se relaciona con el agua utilizada para la agricultura, ocasionalmente suministrada desde sistemas integrales de suministro de agua, para la industria y otros usos comerciales como tiendas, oficinas, escuelas, hospitales, etc. (Trifunovic, 2006).

### **2.2.10.2. Uso doméstico**

El uso doméstico del agua incluye usos interiores y exteriores en las residencias. Los usos comunes del agua en interiores son beber, preparar alimentos, lavar la ropa y los platos, bañarse y limpiar los inodoros. Los usos comunes al aire libre son regar el césped y los jardines o mantener piscinas, estanques u otras características del paisaje en un entorno doméstico (Dieter et al., 2015). Esto implica que los requisitos con respecto a la adecuación del agua se aplican a todos estos usos y no solo en relación con el consumo de agua (Bartram & Howard, 2003).

### **2.2.10.3. Uso agrícola**

La actividad agrícola domina la mayor parte del uso global del agua. La proporción del uso del agua en el sector agrícola aumentó considerablemente desde la década de 1940 y para el año 2000 se estimaba en un 70% del uso total mundial de agua. Esta proporción varía según la región, y las estimaciones del uso del agua en la agricultura oscilan entre el 40% en los países que importan alimentos y tienen una economía desarrollada a más del 95% en los países donde la agricultura es la actividad económica principal (Naciones Unidas, 2006).

La mayor parte de la producción agrícola mundial se alimenta de la lluvia. Las tierras irrigadas representan actualmente solo el 20 por ciento de las tierras agrícolas del mundo, pero se han expandido en un 117 por ciento desde 1961 (FAO, 2011).

El uso del agua de riego depende de los requisitos de agua del cultivo y del agua disponible para los cultivos (precipitación efectiva, humedad del suelo, etc.). La producción de cultivos es, con mucho, el sector de mayor consumo de agua dentro de la agricultura, donde el arroz, el trigo, otros cereales, raíces y tubérculos, legumbres y frutas y hortalizas constituyen los principales cultivos irrigados para el suministro mundial de alimentos (Wheeler, Adam, Bark, & Connor, 2015).

#### **2.2.10.4. Uso en ganadería**

El ganado se puede dividir en tres grupos: ganado de engorde, ganado de rango y ganado lechero (Parker, 2003). Dentro de estos grupos, una variedad de factores puede afectar el consumo de agua, incluidas las especies o razas, el tipo de dieta, el consumo de alimento, la tasa y la composición de la ganancia, el embarazo, la lactancia, la actividad y las condiciones ambientales. Winchester & Morris (1956) publicaron una de las primeras referencias de ingesta diaria de agua por parte de ganado lechero y ganado de carne. Aunque a menudo se hace referencia a los valores de ingesta de agua presentados en esta publicación, hay muchas cosas que han cambiado para alterar la ingesta de agua en el ganado hoy en día, especialmente las características de la raza, el manejo de la alimentación y los ingredientes dietéticos (Parker, 2003).

#### **2.2.11. Escasez de Agua**

La escasez de agua, que puede entenderse en términos generales como la falta de acceso a cantidades adecuadas de agua para uso humano y ambiental, se reconoce cada vez más en muchos países como una preocupación seria y creciente (White, 2018). Dos de las funciones más fundamentales del agua, su papel como requisito previo para la vida, por un lado, y su uso como un recurso o factor económico por el otro, están cada vez más en conflicto. En muchas áreas, la extracción de más agua dulce para la agricultura, la industria o las ciudades ahora pone en riesgo la salud de los ecosistemas acuáticos y la vida que soportan esos ecosistemas (Postel, 2000).

La escasez de agua afecta a todos los sectores sociales y económicos y amenaza la sostenibilidad de la base de recursos naturales. Abordar la escasez de agua requiere un enfoque intersectorial y multidisciplinario para administrar los recursos hídricos a fin de maximizar el bienestar económico y social de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales. Esta integración debe tener en cuenta el desarrollo, la oferta, el uso y la demanda, y hacer hincapié en las personas, sus medios de vida y los

ecosistemas que las sustentan. Por el lado de la demanda, la mejora de la productividad del agua en todos los sectores es fundamental para el éxito de los programas de alivio de la escasez de agua (Naciones Unidas, 2007).

#### **2.2.12. Estrés Hídrico**

El estrés hídrico es producido durante un período prolongado de tiempo, en el que la presencia de agua se ve considerablemente disminuida, llegando a niveles que se encuentran por debajo de condiciones estadísticamente necesarias para las distintas regiones, esta ocurrencia es debida a la ausencia de lluvias; situación que genera un desbalance hídrico que afecta a todos los sistemas que del recurso dependen, uno de los más importantes es el sistema de producción agrícola, por ello, el estrés hídrico se ha convertido un factor relevante al ser uno de las principales limitantes del desarrollo de especies vegetales (Straschnoy, Di bella, Jaimes, Oricchio, & Rebella, 2007).

## **2.3. MARCO LEGAL**

### **2.3.1. Constitución de la República del Ecuador**

La Constitución se refiere a la gestión de riesgos en el marco de dos sistemas:

- i. Como componente del Sistema Nacional de Inclusión y Equidad Social
- ii. Como función del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos y de su ente rector

#### **Artículo No. 340:**

Establece la existencia de un “Sistema Nacional de Inclusión y Equidad Social como el conjunto articulado y coordinado de sistemas, instituciones, políticas, normas, programas y servicios que aseguran el ejercicio, garantía y exigibilidad de los derechos reconocidos en la Constitución y el cumplimiento de los objetivos del régimen de desarrollo

#### **Artículo No. 389:**

El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad.

#### **Artículo No. 390:**

Los riesgos se gestionarán bajo el principio de descentralización subsidiaria, que implicará la responsabilidad directa de las instituciones dentro de su ámbito geográfico. Cuando sus capacidades para la gestión del riesgo sean insuficientes, las instancias de mayor ámbito territorial y mayor capacidad técnica y financiera brindarán el apoyo necesario con respeto a su autoridad en el territorio y sin relevarlos de su responsabilidad.

### **2.3.2. Ley de Seguridad Pública y del Estado**

#### **Artículo No. 11:**

De los órganos ejecutores.- Los órganos ejecutores del Sistema de Seguridad Pública y del Estado estarán a cargo de las acciones de defensa, orden público, prevención y gestión de riesgos, conforme lo siguiente:

De la gestión de riesgos.-La prevención y las medidas para contrarrestar, reducir y mitigar los riesgos de origen natural y antrópico o para reducir la vulnerabilidad, corresponden a las entidades públicas y privadas, nacionales, regionales y locales. La rectoría la ejercerá el Estado a través de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos.

### **2.3.3. El Reglamento a la Ley de Seguridad Pública y del Estado**

Este reglamento se refiere a la Gestión de Riesgos en tres artículos:

- i. Artículo 3: que está contemplado en el Título II: Del Sistema de Seguridad Pública y del Estado, Capítulo I: De los Órganos Ejecutores.
- ii. En el artículo 18: que lo describe en el Título III: del Sistema Descentralizado de Gestión de Riesgos: Capítulo I: del Sistema, su rectoría, fines y objetivos específicos.
- iii. En el artículo 20: que lo define en el Título III: de los Organismos del Sistema.

#### **Artículo No. 3:**

**Del órgano ejecutor de Gestión de Riesgos.-** La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos es el órgano rector y ejecutor del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos.

#### **Artículo No. 18:**

**Rectoría del Sistema.-** El Estado ejerce la rectoría del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos a través de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo

#### **Artículo No. 20:**

**De la Organización.-** La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, como órgano rector, organizará el Sistema Descentralizado de Gestión de Riesgos, a través de las herramientas reglamentarias o instructivas que se requieran.

#### **Artículo No. 140:**

**Ejercicio de la competencia de gestión de riesgos.-** La gestión de riesgos que incluye las acciones de prevención, reacción, mitigación, reconstrucción y transferencia, para enfrentar todas las amenazas de origen natural o antrópico que afecten al cantón se gestionarán de manera concurrente y de forma articulada con las políticas y los planes emitidos por el organismo nacional responsable, de acuerdo con la Constitución y la ley.

#### **2.3.4. El Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas (COPLAFIP).**

Está contemplada en la Sección Cuarta: de los Instrumentos Complementarios del Sistema, Parágrafo 1: de la Inversión Pública y sus Instrumentos, en el Artículo No. 64:

#### **Artículo No. 64:**

Preeminencia de la producción nacional e incorporación de enfoques ambientales y de gestión de riesgo.- En el diseño e implementación de los programas y proyectos de inversión pública, se promoverá la incorporación de acciones favorables al ecosistema, mitigación, adaptación al cambio climático y a la gestión de vulnerabilidades y riesgos antrópicos y naturales

#### **2.3.5. Constitución de la República del Ecuador: Biodiversidad y Recursos Naturales.**

La Constitución se refiere en el Capítulo Segundo Biodiversidad y Recursos Naturales, Sección Sexta: Agua

#### **Artículo No. 411.**

El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua

#### **Artículo No. 412.**

La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

### **2.3.6. La Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua.**

CAPÍTULO III de los derechos de la naturaleza

#### **Artículo 64.- Conservación del agua.**

La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida. En la conservación del agua, la naturaleza tiene derecho a:

- a) La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares;
- b) El mantenimiento del caudal ecológico como garantía de preservación de los ecosistemas y la biodiversidad;
- c) La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico;
- d) La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación; y,

e) La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos.

**Artículo. 65.- Gestión integrada del agua.**

Los recursos hídricos serán gestionados de forma integrada e integral, con enfoque ecosistémico que garantice la biodiversidad, la sustentabilidad y su preservación conforme con lo que establezca el Reglamento de esta Ley.

**Artículo 66.- Restauración y recuperación del agua.**

La restauración del agua será independiente de la obligación del Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos afectados por la contaminación de las aguas o que dependan de los ecosistemas alterados. La indemnización económica deberá ser

**Artículo 86.- Agua y su prelación.**

De conformidad con la disposición constitucional, el orden de prelación entre los diferentes destinos o funciones del agua es:

- a) Consumo humano;
- b) Riego que garantice la soberanía alimentaria;
- c) Caudal ecológico; y,
- d) Actividades productivas.

El agua para riego que garantice la soberanía alimentaria comprende el abrevadero de animales, acuicultura y otras actividades de la producción agropecuaria alimentaria doméstica; de conformidad con el Reglamento de esta Ley.

## **CAPÍTULO III**

### **3.1. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1.1. Área de estudio**

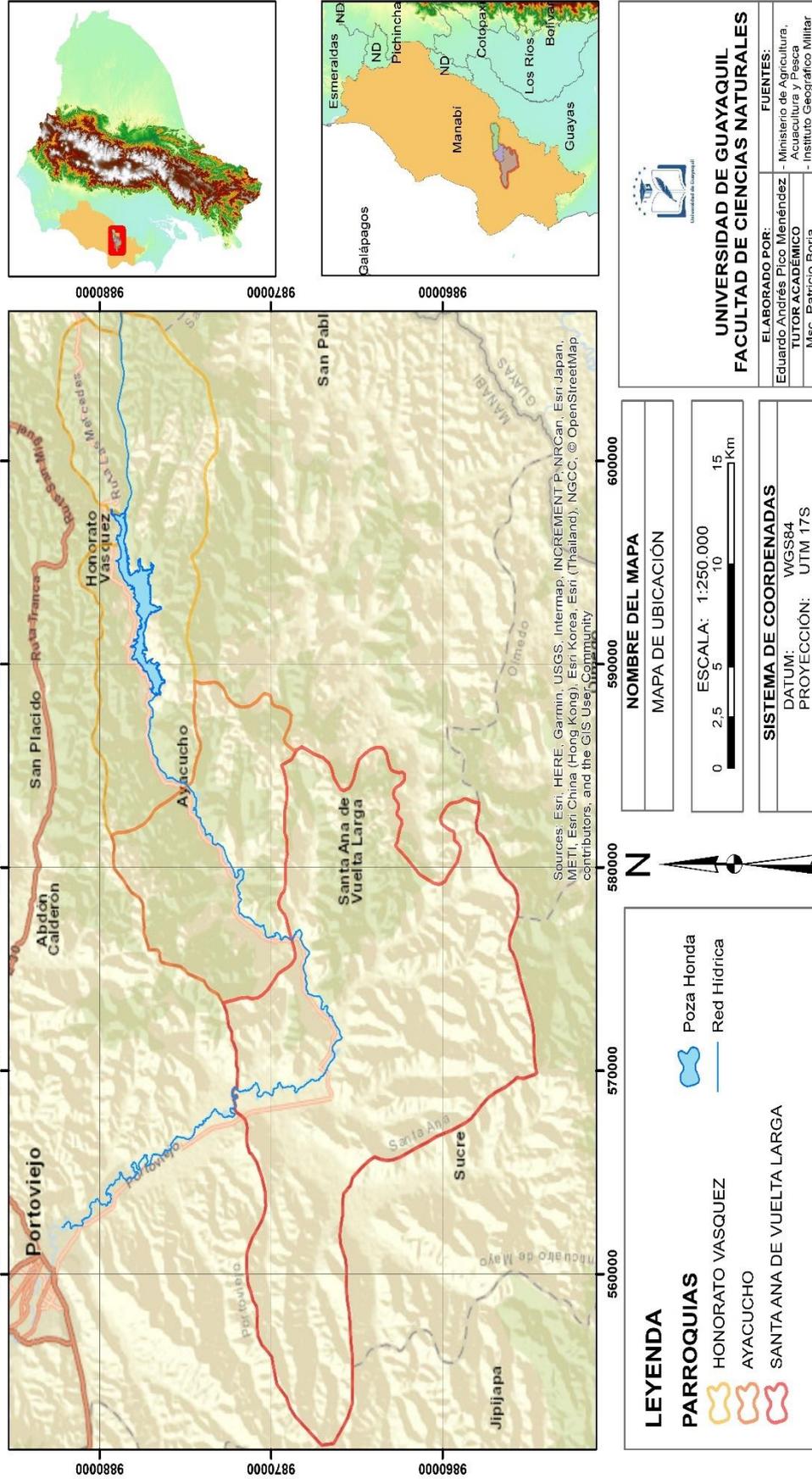
El área de estudio está ubicada en el cantón Santa Ana, provincia de Manabí (1° 12' de latitud sur y 80° 22' de longitud oeste; altitud 50 msnm), limita al norte con el cantón Portoviejo; al sur con los cantones Olmedo y 24 de Mayo; al este con el cantón Pichincha y al oeste con los cantones 24 de Mayo, Jipijapa y Portoviejo (figura 1). El cantón Santa Ana está conformado por 5 parroquias, Santa Ana de Vuelta Larga, Ayacucho, Honorato Vázquez, La Unión y San Pablo de Pueblo Nuevo (León, 2013).

El cantón Santa Ana presenta como principales actividades lucrativas la ganadería y agricultura, siendo por su cercanía a poblaciones urbanas, un importante proveedor de productos agropecuarios y de ganado vacuno. Entre los principales productos agrícolas del cantón constan: cacao, café, frejol, haba, limón, maíz, maní, pasto, plátano, tomate y yuca (Sistema Nacional de Información, 2015).

Para la elaboración del estudio, se consideró como límite las parroquias Santa Ana de vuelta Larga, Ayacucho y Honorato Vázquez, debido a que mantienen como característica en común su ubicación dentro de la cuenca del río Portoviejo y se abastecen por medio del embalse Poza Honda. Al analizar el Cantón Santa Ana, es necesario mencionar a la represa "Poza Honda", este embalse abastece a las poblaciones de Portoviejo, Manta, Santa Ana, Montecristi, Rocafuerte, Sucre y Jipijapa (Caballero, Menéndez, Guerra, & Guerrero, 2016).

**VULNERABILIDAD HÍDRICA EN TRES PARROQUIAS DEL CANTÓN SANTA ANA, MEDIANTE EL USO DE INDICADORES HÍDRICOS DEL IDEAM.**

Zona No.:4



**Figura 1** Mapa de ubicación del área de estudio.

### **3.2. METODOLOGÍA**

La metodología que se aplicó para la determinación de la vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico en el cantón Santa Ana, provincia de Manabí, fue originado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), con el principal objetivo de diagnosticar la situación real y los distintos escenarios que pueden presentarse con respecto al régimen hídrico. La metodología consiste en un sistema de indicadores hídricos, que, mediante su aplicación, responde a inquietudes relacionadas con la presencia del agua en un espacio físico determinado y las restricciones que puedan presentarse sobre la oferta y demanda, como los elementos con potencial de repercutir en la presencia y abundancia del mismo en la capa superficial de la tierra.

El Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH), se fundamenta en la relación que existe entre la presencia del hombre y su interacción con el régimen natural, por este motivo y para mayor comprensión, la presente investigación se la dividió en dos etapas. La primera, consistió en el desarrollo del indicador representativo del flujo del agua en el área de estudio y la capacidad del suelo para retener la humedad; y la segunda parte, en el análisis sobre el manejo del agua por parte de los pobladores de las tres parroquias. La metodología aplicada se describe en la figura 2.

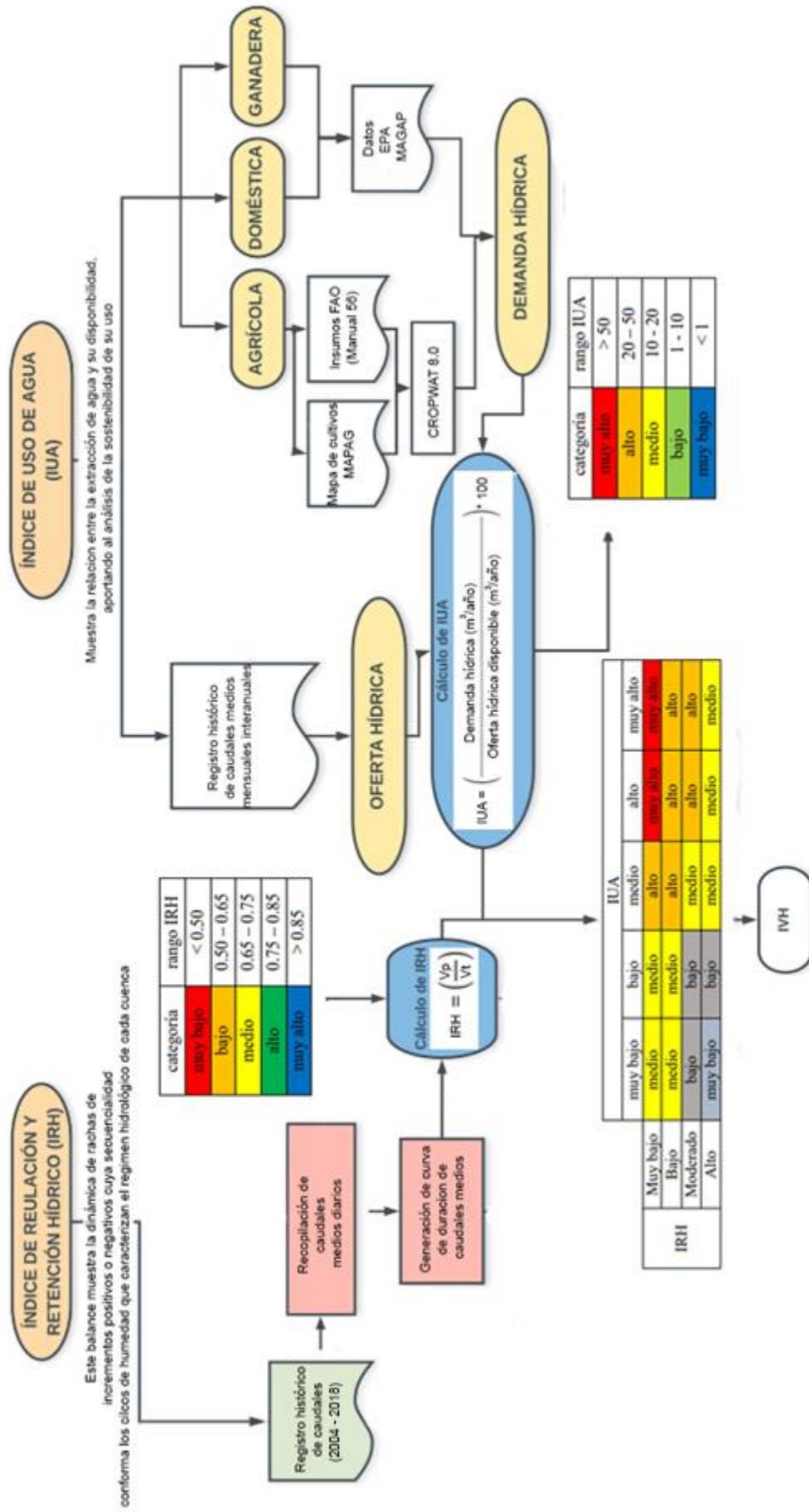


Figura 2. Flujoograma del proceso metodológico (ETAPA I: Índice de Retención y Regulación Hídrica; ETAPA II: Índice de Uso de Agua)

### **3.2.1. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)**

La distinción del régimen hidrológico dentro de una cuenca hidrográfica se puede precisar mediante el estudio de las variables físicas, bióticas y socioeconómicas bajo las cuales se rige la cuenca. Para llevar a cabo dicho análisis, es necesaria la obtención de un rango de información aceptable y una correcta disgregación espacial del área a evaluar. Uno de los componentes indispensables para caracterizar el caudal en el sistema hidrológico determinado, es el análisis de la periodicidad de los caudales, que puede realizarse bajo la metodología de la Curva de Duración de Caudales (IDEAM, 2015).

Además, el régimen hídrico puede verse afectado por otros fenómenos, entre ellos, factores meteorológicos, su interacción con la cobertura de la superficie terrestre y los procesos por los que pasa el agua en su recorrido por el suelo. Los últimos mencionados resultan en efectos sobre la capacidad de almacenar y regular el recurso hídrico. El Índice de Retención y Regulación permite determinar el régimen de caudales que puede mantener una cuenca, como consecuencia de la interacción del suelo, la vegetación y escenarios climáticos, con las particularidades morfométricas y físicas del sistema (IDEAM, 2010).

El propósito del cálculo de este Índice, es la representación de la regulación del agua en el sistema hidrológico, haciendo énfasis en las zonas que muestran mayor permanencia en cuanto a sus condiciones de escurrimiento y regulación de caudales. Estas observaciones, en conjunto con la curva de duración de caudales medios diarios evidencian la frecuencia con la que se presentan caudales altos y bajos, y las veces en las cuales el caudal ha sido superior o inferior a un valor determinado, sin considerar el periodo en el que sucede dicho acontecimiento (Bernal & Santander, 2014).

### **3.2.1.1. Depuración y procesamiento de insumos**

De acuerdo con la metodología establecida por el IDEAM (2010), el Índice de Retención y Regulación requiere como base de datos, un registro histórico (al menos 15 años) de caudales para su elaboración. En este caso, y considerando la ausencia de información hidrológica continua para caudales en el país, se consideró como base de datos, los caudales medidos diariamente por la Empresa Pública del Agua (EPA), provenientes de la represa Poza Honda en el período comprendido entre los años 2004 y 2018. Esta información consiste en un insumo de gran relevancia, ya que es precisamente desde dicho embalse del cual se abastece la población del cantón Santa Ana.

Una vez obtenido el registro histórico de caudales, fue necesario iniciar la preparación de este insumo para elaborar una curva de duración de caudales. Con este fin, se generó una hoja de cálculo a manera de lista de caudales, ordenados por la fecha en la cual fue registrado cada caudal, ubicando como encabezados el año, el mes, el día y el caudal registrado. Posteriormente, se ubicó los caudales en orden descendente y se enumeró cada uno de ellos, con un total de 5357 caudales, para determinar el número de datos con el que se cuenta. El conjunto de datos adquiridos y procesados hasta este punto, serán parte de la Curva de Duración de Caudales medios diarios.

### **3.2.1.2. Elaboración de la Curva de Duración de Caudales**

La curva de duración de caudales es una metodología estadística probabilística y gráfica que tiene la finalidad de evaluar el comportamiento de los caudales dentro de un sistema hídrico, a partir de su distribución de frecuencias acumuladas de ocurrencia de un caudal determinado (Ríos, 2010). Para generar la gráfica de la Curva de Duración de Caudales se tomaron los caudales diarios del registro histórico, de manera que en el eje de las Y (escala vertical) figura el historial de caudales medios diarios ordenados descendentemente; y en el eje

de las X (escala horizontal), la probabilidad (expresada en porcentaje) de que estos caudales igualen o excedan un valor dado.

Para el cálculo de esta variable, se relacionó una probabilidad (%) para cada celda asociada a un caudal, y se computó mediante la siguiente fórmula:

$$P(i) = \frac{i}{m} * 100$$

Donde:

$P(i)$  = vector de probabilidad expresado en porcentaje (%)

$i$  = posición del vector

$m$  = número total de caudales

### 3.2.1.3. Estimación de variables empleadas en el cálculo del Indicador

De forma consecutiva a la generación de la curva de duración de caudales, se identificó el valor del caudal equivalente al 50% de probabilidad de excedencia, que, de acuerdo a la hoja de cálculo elaborada, fue el caudal número 2679 con un flujo de 8.027 m<sup>3</sup>/s. Este paso es indispensable para la aplicación de la fórmula construida por IDEAM (2010), misma que es explicada a continuación.

$$IRH = \frac{Vp}{Vt}$$

Donde,

- $Vp$  = volumen representado por el área bajo la línea de caudal medio en la curva de duración de caudales diarios
- $Vt$  = volumen total representado bajo el área bajo la curva de duración de caudales diarios.

El cálculo del área que representa el volumen total ubicado por debajo de la curva de duración de caudales medios diarios ( $Vt$ ) se realizó a partir de la siguiente fórmula:

$$Vt = \Delta P_{exc} * \sum_{i=1}^n \frac{(Q_i + Q_{i+1})}{2}$$

$$\Delta P_{exc} = P_{exc i+1} - P_{exc i}$$

Donde,

- $Vt$  = Volumen total equivalente al área bajo la curva de duración de caudales ( $m^3$ )
- $Q_1$  = Caudal medio diario en la posición  $i$ , de una serie ordenada de caudales en orden descendente ( $m^3/s$ )
- $Q_{i+1}$  = Caudal medio diario en la posición  $i + 1$ , de una serie ordenada de caudales en orden descendente ( $m^3/s$ )
- $P_{exc i+1}$  = Probabilidad de excedencia de un caudal en la posición  $i + 1$  (%)
- $P_{exc i}$  = Probabilidad de excedencia de un caudal en la posición  $i$  (%)
- $\Delta P_{exc}$  = Diferencia entre las probabilidades de excedencia, será constante (%)
- $n$  = Número de datos de caudales con el que se cuenta (longitud de la serie)
- $m$  = Índice de Orden del caudal  $i$  en la serie ordenada

El volumen correspondiente al área representada bajo la línea del caudal medio en la curva de duración de caudales medios diarios ( $Vp$ ), se calcula con base en la fórmula presentada a continuación.

$$Vp = \sum (Vp_1 + Vp_2), \text{ donde } \begin{cases} Vp_1 = (P_{exc\ med} * Q_{medio}) & \text{Si } P_{exc} < P_{exc\ med} \\ Vp_2 = \left( \sum_{i=m_{medio}}^n \Delta P_{exc} * \frac{(Q_1 + Q_{i+1})}{2} \right) & \text{Si } P_{exc} > P_{exc\ med} \end{cases}$$

$$P_{exc\ med} = P_{exc\ m} + \frac{(P_{exc\ m+1} - P_{exc\ m}) * (Q_{medio} - Q_m)}{(Q_m - Q_{m+1})}$$

Donde,

- $Vp$  = Volumen parcial equivalente al parca bajo la curva de duración de caudales ( $m^3$ )
- $Q_{medio}$  = Caudal promedio de la serie de datos de caudal ( $m^3/s$ )
- $P_{exc\ med}$  = Probabilidad de excedencia del caudal medio diario consecutivamente menor al caudal promedio (%)
- $P_{exc\ m}$  = Probabilidad de excedencia del caudal medio diario consecutivamente mayor al caudal promedio (%)
- $P_{exc\ m+1}$  = Diferencia entre probabilidades de excedencia (%)
- $\Delta P_{exc}$  = Caudal medio diario en la posición  $i$ , de la serie ordenada de caudales en orden descendente ( $m^3/s$ )
- $Q_1$  = Caudal medio diario en la posición  $i+1$ , de la serie ordenada de caudales en orden descendente ( $m^3/s$ )
- $Q_m$  = Caudal medio diario inmediatamente menor al caudal promedio de la serie ordenada de caudales ( $m^3/s$ )
- $Q_{m+1}$  = Caudal medio diario inmediatamente mayor al caudal promedio de la serie ordenada de caudales ( $m^3/s$ )
- $n$  = Número de datos de caudales con el que se cuenta (longitud de la serie)
- $m_{medio}$  = Índice de Orden del caudal  $i$  en la serie ordenada

Para concluir el proceso de obtención del Índice de Retención y Regulación Hídrica, se asignó una valoración cualitativa (tabla 1) con respecto a los rangos establecidos por el IDEAM (2010).

**Tabla 1** Categorías de valoración para los rangos del IRH

Rango	Categoría	Criterio
< 0.5	Muy bajo	Muy baja retención y regulación de humedad
0.5 – 0.65	bajo	Baja retención y regulación de humedad
0.65 – 0.75	Moderado	+
0.75 – 0.85	Alto	Alta retención y regulación de humedad
> 0.85	Muy alto	Muy alta retención y regulación de humedad

**Autor:** IDEAM (2015)

**Fuente:** Estudio Nacional del Agua - 2014

Este índice se mueve en el rango entre 0 y 1, siendo los valores más bajos los que se interpretan como de menor regulación y con mayor posibilidad de presentar escenarios de alta vulnerabilidad.

### 3.2.2. Índice de Uso de Agua (IUA)

Una interacción equilibrada entre oferta y demanda del recurso hídrico, está en función de los factores que conforman cada una de sus variables; así, la presión hídrica sobre una cuenca hidrográfica depende de sus condiciones biofísicas, sociales y culturales. Una correcta apreciación de la correlación entre oferta y demanda de agua, no solo brinda una caracterización de la influencia del estrés hídrico sobre un determinado sistema hidrográfico, sino también facilita una herramienta para la toma de decisiones y la correcta gestión del agua por parte de las entidades competentes (Bernal & Santander, 2016a).

El objetivo de la estimación de este indicador, es la categorización de la presión de la demanda socioambiental sobre la oferta hídrica presente en un área determinada. De esta manera, se diagnostica la correspondencia entre el uso del agua en relación a la disponibilidad de la misma, generando una base informativa del uso consuntivo que se le da al agua en el cantón Santa Ana, y destacando las limitaciones que puedan presentarse al momento de abastecer a la población.

El cálculo del Índice de Uso de Agua se lo realiza utilizando la siguiente fórmula:

$$IUA = \left( \frac{\text{Demanda Hídrica (m}^3/\text{año)}}{\text{Oferta Hídrica Superficial Disponible (m}^3/\text{año)}} \right) * 100$$

A mayor resultado para el índice en la tabla de valoración elaborada por el IDEAM (tabla 2), será mayor la presión de la demanda sobre la oferta hídrica y la capacidad adaptativa del sistema será menor (Romero-Ruiz et al., 2016).

**Tabla 2** Categorías de valoración para los rangos del IUA

Rango IUA	Categoría	Significado
> 100	Crítico	La presión supera las condiciones de la oferta
50.01 - 100	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20,01 - 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10,01 - 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1.0 - 20	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

**Autor:** IDEAM (2015)

**Fuente:** Estudio Nacional del Agua - 2014

### 3.2.2.1. Oferta Hídrica

Para el desarrollo de la oferta hídrica, se consideró, del total de concepciones evaluadas por el IDEAM (2010) para la oferta hídrica, únicamente el concepto de Oferta Hídrica Total Superficial. Según Bernal y Santander (2016b) la oferta hídrica superficial disponible en una cuenca, es el volumen de agua que circula por la superficie del suelo, es decir, el volumen de agua que no se infiltra o evapora, y que se almacena en los cauces de cuerpos lénticos. Con este indicador, se busca determinar si el volumen de agua destinado para el

consumo doméstico y demás usos consuntivos identificados en el cantón, son suficientes para satisfacer las necesidades de la población y el funcionamiento estructural de los ecosistemas (IDEAM, 2010).

#### **3.2.2.1.1. Depuración y procesamiento de insumos**

El Índice de Uso de Agua se desarrolla en las mismas dimensiones espaciales y temporales que el Índice de Regulación y Retención Hídrica, por lo tanto, los caudales que fueron considerados como fuente de abastecimiento u oferta disponible para el cantón Santa Ana, fueron los proporcionados por la Empresa Pública de Agua provenientes del embalse Poza Honda, con la excepción de que, para este indicador, son necesarios los caudales medios mensuales. Es necesario sumar a la oferta hídrica, el caudal aportado por el trasvase La Esperanza, cuyas aguas contribuyen durante un período anual promedio de 6 meses.

La metodología en su desarrollo contempla el cálculo del caudal ambiental y lo define como el volumen de agua necesario en calidad, cantidad y duración, para la conservación de los ecosistemas acuáticos. En el país no existe una metodología estandarizada para el cálculo del caudal ambiental, por lo que en los distintos proyectos se utiliza el caudal ecológico, que constituye el 10% del caudal obtenido de la media interanual de una serie de caudales históricos (Flachier, 2016)

Una vez obtenida la serie de caudales aportados por el embalse, se procedió a calcular los caudales medios mensuales y multianuales, tanto para condiciones de año seco, como para año promedio. A la media obtenida de caudales multianuales, se determinó el 10% correspondiente al caudal ecológico. Por último y siguiendo las pautas establecidas por el IDEAM (2010), se sustrajo el caudal ecológico calculado, de la esorrentía total obtenida en la

serie elaborada de caudales medios mensuales multianuales en condiciones de año medio.

### **3.2.2.2. Demanda Hídrica**

Para el cantón Santa Ana, la demanda hídrica evaluada se dividió según los principales usos que se le da al recurso hídrico, tanto para cubrir las necesidades de consumo humano, como las exigencias mínimas requeridas para llevar a cabo las actividades socioeconómicas que en el cantón se desempeñan. De acuerdo con el Sistema Nacional de Información (2015), la economía en Santa Ana es promovida por los sectores agrícola y pecuario, principalmente, también se consideró el caudal necesario para el desarrollo y bienestar de la población.

Siguiendo el planteamiento metodológico del IDEAM, la demanda hídrica fue calculada a partir de la integración de los caudales extraídos para los distintos usos. La variable es expresada matemáticamente en la siguiente fórmula:

$$Dh = \sum U$$

Donde

- $Dh$  = Demanda hídrica
- $U$  = Uso sectorial, doméstico y ecosistemas

#### **3.2.2.2.1. Demanda Hídrica Doméstica**

Para el consumo doméstico, se identifican cuatro principales componentes básicos: 1) dotación de agua potable para la supervivencia, 2) agua destinada para higiene, esta incluye agua para cepillado de dientes, lavado de manos y cara; en este punto también se incluye el lavado de ropa, ya que constituye parte del aseo de cada individuo 3) agua para servicios de

saneamiento, incluye la limpieza de hogar y 4) las necesidades domésticas, como el agua destinada a la preparación de alimentos, lavado de platos y limpieza de cocina (Inocencio, 2015).

El caudal que se consideró para la demanda hídrica doméstica, es el propuesto en el Código Ecuatoriano de la Construcción, en las normas CO 10.7-601 y CO 10.7-602 para poblaciones rurales (tabla 3) y poblaciones urbanas (tabla 4), indicando la dotación mínima de agua requerida por habitante, tanto para condiciones determinadas de temperatura, densidad poblacional y distintos niveles de servicio (Secretaría Nacional del Agua, 2016).

**Tabla 3** Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio en poblaciones rurales

<b>Nivel de servicio</b>	<b>Descripción</b>	<b>Dotación en clima frío (l/hab/día)</b>	<b>Dotación en clima cálido (l/hab/día)</b>
la	Grifos públicos y letrinas sin arrastre de agua	20	30
lb	Grifos públicos más unidades de agua para lavado de ropa y baño y letrinas sin arrastre de agua	50	65
lla	Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa y letrinas con o sin arrastre de agua	60	85
llb	Conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa y sistema de alcantarillado sanitario	75	100

**Autor:** SENAGUA, 2016

**Fuente:** Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes

**Tabla 4** Dotaciones de agua para la población urbana

<b>Población (habitantes)</b>	<b>Clima</b>	<b>Dotación media (l/hab/día)</b>
hasta 5000	Frío	120-150
	Templado	130-160
	Cálido	170-200
5000-50000	Frío	180-200
	Templado	190-220
	Cálido	200-230
Más de 50000	Frío	>200
	Templado	>220
	Cálido	>2230

**Autor:** SENAGUA, 2016

**Fuente:** Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes

### 3.2.2.2.2. Demanda hídrica Pecuaria

El consumo de agua para ganadería es un factor importante en la carga del sector pecuario sobre las predisposiciones de agotamiento del recurso, mismas que se encuentran en constante aumento. De hecho, los volúmenes de agua para cubrir los requerimientos de los procesos productivos son cada vez mayores, esto es debido a que el agua constituye entre el 60 y 70 por ciento del peso del individuo y es necesario para su desarrollo y sus funciones fisiológicas. El ganado pierde agua por procesos como respiración, evaporación, por medio de su orina y heces; y por efecto de la temperatura, causando la pérdida de apetito, peso, y en casos de gravedad, incluso la muerte, una vez que la pérdida ha pasado el 30% del contenido corporal (Steinfeld et al., 2009).

La provincia de Manabí representa aproximadamente el 22% de la producción ganadera nacional, siendo una de las principales actividades productivas y sustento de un sinnúmero de familias. Para el cantón Santa Ana, la ganadería representa el 4.14 % del total provincial y sus parroquias Honorato Vázquez, Ayacucho, y Santa Ana de Vuelta Larga, representan el 14,7; 8,8 y 30,9 por ciento, respectivamente, del total cantonal. Entre las especies encontradas de ganado vacuno dentro del área de estudio, se encontraron: toros,

vacas, terneros, terneras, toretes y vaconas (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2018). Los valores acerca de los caudales consumidos por cada individuo por día, fueron propiciados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

### **3.2.2.2.3. Demanda hídrica Agrícola**

Ante la ausencia de información local sobre las necesidades de agua que presenta cada cultivo en el cantón Santa Ana, se utilizó la herramienta CROPWAT 8.0, desarrollada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) que permite calcular los requerimientos de los cultivos, tomando como base datos climáticos, geológicos y referentes a cada cultivo. Cropwat 8.0 presenta cuatro módulos (Clima, precipitación, suelo, cultivo), y está basado en la publicación No. 56 de la serie de Riego y Drenaje de la FAO “Crop Evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements”, realizada por (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998)

#### **3.2.2.2.3.1. Depuración y procesamiento de insumos**

El programa CROPWAT está constituido por 8 módulos, 5 de ellos son módulos de entrada (clima, precipitación, cultivo, suelo y patrón de cultivo), los 3 restantes son módulos de cálculo (Requerimiento de agua del cultivo, programación y esquema de cálculo de abastecimiento del sistema)

#### **MÓDULO CLIMA / ETo**

Los insumos utilizados para la elaboración del módulo fueron obtenidos del INAMHI, medidos en la estación LA TEODOMIRA, ubicada en el cantón Santa Ana. Los parámetros requeridos por el programa en el módulo de clima para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ETo) fueron: temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), humedad (%), viento (km/día), insolación (horas). La fórmula utilizada por el programa fue la desarrollada por Penman-

Monteith, y modificada por FAO para proveer valores más cercanos a la realidad con respecto al uso del agua por parte de los cultivos (Allen et al., 1998).

La fórmula FAO Penman-Monteith es expresada de la siguiente manera:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34u_2)}$$

Donde,

- $ET_o$  = Evapotranspiración de referencia (mm/día)
- $R_n$  = Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m<sup>2</sup>/día)
- $R_a$  = Radiación extraterrestre (mm/día)
- $G$  = Flujo de calor de suelo (MJ/m<sup>2</sup>/día)
- $T$  = Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
- $u_2$  = Velocidad del viento a 2 m de altura (m/s)
- $e_s$  = Presión de vapor de saturación (kPa)
- $e_a$  = Presión real de vapor (kPa)
- $e_s - e_a$  = Déficit de presión de vapor (kPa)
- $\Delta$  = Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C)
- $\gamma$  = constante psicométrica (kPa/°C)

## MÓDULO PRECIPITACIÓN

Para determinar la precipitación efectiva, se utilizó como insumos, datos obtenidos de la estación meteorológica La TEODOMIRA, proporcionados por el INAMHI. El programa utiliza la fórmula propuesta por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA S.C), cuyas ecuaciones son las siguientes:

$$Pe = \frac{P}{125} (125 - 0.2P) \quad \text{Si la } P \leq 250\text{mm}$$

$$Pe = (125 + 0.1P) \quad \text{Si la } P > 250\text{mm}$$

Donde;

- $Pe$  = Precipitación efectiva (mm)
- $P$  = Precipitación media mensual (mm)

## **MÓDULO CULTIVO**

El módulo de cultivos requiere información pertinente a cada cultivo, entre la información que el programa necesita para el cálculo de la demanda hídrica de cada cultivo, está el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), etapas de desarrollo del cultivo (días), profundidad radicular (m), agotamiento crítico ( $p$ ), rendimiento productivo ( $K_y$ ) y altura (m). Este conjunto de datos fue tomado de las especificaciones técnicas de la FAO. Para el caso de la profundidad radicular, se hizo una modificación con base en el libro “HABLEMOS DE RIEGO” publicado por Vásquez, Vásquez, Vásquez, & Cañamero (2017), en el que indica que la mayor parte agua absorbida por las raíces de una planta corresponde al 40% de la profundidad radicular total.

Los insumos referentes al tipo de cultivo, como la extensión y periodicidad de cada uno de ellos, fue obtenida mediante shapefiles elaborados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) en conjunto con la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA); y sirvió para establecer la relación espacial de los resultados obtenidos para los distintos cultivos, con respecto a la totalidad de la extensión del área de estudio.

## **MÓDULO SUELO**

Los parámetros necesarios para el módulo son: Humedad de suelo disponible total (diferencia entre Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente, medido en mm/metro), tasa máxima de infiltración de la

precipitación (mm/día), Profundidad radicular máxima (cm), Agotamiento inicial de humedad de suelo (expresado como porcentaje de Agua Disponible Total), y Humedad de suelo inicialmente disponible (mm/metro).

Para esta sección del programa, fue necesario realizar visitas al campo con la finalidad de determinar cuántos puntos de muestreo eran necesarios para la obtención de datos relevantes y significativos. La metodología de muestreo consistió en la visita al sitio y la ejecución de tres sondeos exploratorios de dos metros de profundidad, con un equipo de perforación dinámica. La ubicación de los puntos de muestreo se especifica en el anexo 5.

La metodología utilizada para la realización de la investigación fue la normalizada como ASTM D 1586, conocida como Ensayo de Penetración Estándar. El ensayo consiste en contar el número de golpes necesarios para hacer penetrar un elemento normalizado (cuchara partida) a una distancia de 0.3 m. en el suelo. Teniendo la textura del suelo, se determinó la capacidad de campo, punto de marchitez, densidad aparente y tasa de infiltración con tablas elaboradas por Cadena (2016), como se muestra en la tabla 5.

**Tabla 5** Valores promedios de las propiedades físicas de los suelos según la textura

Textura	velocidad de infiltración (Mm/h)	densidad aparente	capacidad de campo (%)	punto de marchitez (%)	humedad peso seco (%)
Arenoso	50 (25 o más)	1.65 (1.55-1.80)	9 (6-14)	4 (2-6)	5 (4-6)
Franco Arenoso	25 (13-40)	1.50 (1.40-1.60)	14 (10-18)	6(4-8)	8 (6-10)
Franco	13 (7-20)	1.40 (1,35-1,50)	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)
Franco Arcilloso	8 (2-15)	1,35 (1,30-1,40)	27 (23-31)	13 (11-15)	14 (12-16)
Arcillo Limoso	2,5 (0,2-5)	1,30 (1,26-1,35)	31 (27-35)	15 (13-17)	16 (14-18)
Arcilloso	0,5 (0,1-1)	1,25 (1,20-1,30)	35 (31-39)	17 (15-19)	18 (16-20)

**Autor:** Cadena, V. (2016)  
**Fuente:** Hablemos de riego

### 3.2.3. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH)

El índice de Vulnerabilidad se refleja en la fragilidad de un sistema hídrico para suplir y abastecer a una población ante eventos climáticos e hidrológicos adversos como períodos prolongados de estiaje; esto implica una relación de dependencia entre el grado de vulnerabilidad y escenarios sociales, culturales, económicos, meteorológicos, físicos y biológicos (IDEAM, 2010).

Para la determinación de la vulnerabilidad de las parroquias del cantón Santa Ana, se aplicó la matriz de relación (IVH) descrita en la tabla 6. Cuanto mayor es la calificación del indicador, mayor es la fragilidad del sistema para mantener la oferta del agua, principalmente ante periodos largos de estiaje

**Tabla 6.** Matriz de relación para el Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico

IUA \ IRH	Alta	Moderado	Baja	Muy baja
Muy bajo	Muy baja	Baja	Media	Media
Bajo	Baja	Baja	Media	Media
Moderado	Media	Media	Alta	Alta
Alto	Media	Alta	Alta	Muy alta
Muy alto	Media	Alta	Alta	Muy alta
Crítico	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta

**Fuente:** IDEAM (2015)

**Fuente:** Estudio Nacional del Agua - 2014

## CAPÍTULO IV

### 4.1. RESULTADOS

#### 4.1.1. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)

En conformidad con el planteamiento metodológico expuesto, se obtuvo un registro histórico de 15 años, con un total de 5357 entradas de caudales medios diarios pertenecientes al embalse Poza Honda, representados en la Curva de Duración de Caudales (figura 3), en la cual se identificó como Q50 (caudal al 50% de probabilidad de excedencia) el caudal correspondiente a 8,027 m<sup>3</sup>/s. El volumen total que representa el área bajo la curva de duración de caudales fue de 978,017627 m<sup>3</sup>; mientras que el volumen parcial, representado por el área por debajo del Q50 fue de 236,257 m<sup>3</sup>. La relación entre ambos volúmenes, resultó en un valor de 0,24156749, que con base en la categoría de valoración para los rangos del Índice de Retención y Regulación Hídrica (tabla 1), denota la baja capacidad de retener humedad en el cuerpo hídrico abastecedor del cantón.

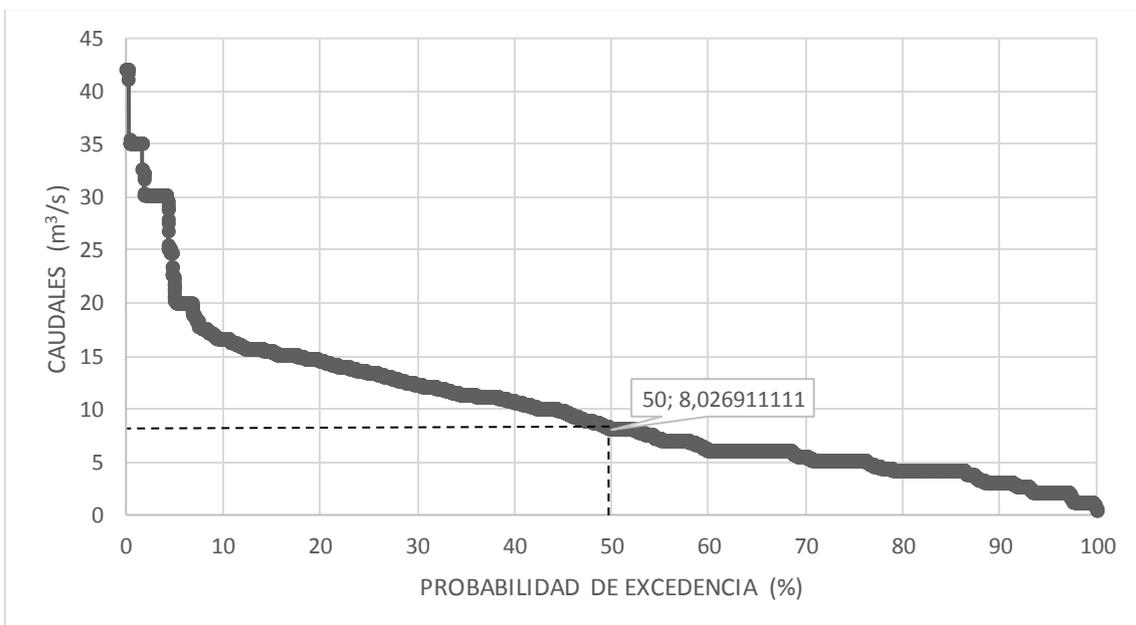


Figura 1 Curva de Duración de Caudales.

## **4.1.2. Índice de Uso de Agua (IUA)**

### **4.1.2.1. Oferta Hídrica**

En la tabla 7 se muestra la serie histórica de caudales mensuales comprendidos entre los años 2004 – 2018, de los cuales se identificó caudales medios anuales con un valor mínimo de 7,28 m<sup>3</sup>/s, y máximo de 13,70 m<sup>3</sup>/s. De estos caudales se obtuvo una media interanual de 9,71 m<sup>3</sup>/s, la misma que sirvió como insumo para el cálculo del caudal ecológico, cuyo resultado fue 0,97 m<sup>3</sup>/s. Con los valores anteriores se obtuvo una oferta hídrica promedio de 8,74 m<sup>3</sup>/s, la cual se expresa en 275,62 millones de metros cúbicos/año

**Tabla 7 Oferta Hídrica Anual Disponible**

<b>SERIE DE CAUDALES MENSUALES MULTIANUALES (m<sup>3</sup>/s)</b>													
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
2004	6,58	5,95	16,55	11,79	5,23	6,59	6,28	6,26	5,57	7,81	10,19	8,09	8,07
2005	8,33	12,75	11,80	17,18	4,50	4,08	4,34	7,36	5,75	9,57	12,50	10,94	9,09
2006	9,54	12,27	4,39	7,23	4,98	7,94	5,81	5,88	9,50	10,22	10,79	13,28	8,49
2007	13,25	4,83	4,59	4,85	8,70	8,42	9,05	11,29	11,46	14,23	13,27	13,53	9,79
2008	9,65	26,12	8,78	7,08	2,87	5,43	5,52	8,05	8,84	11,38	13,40	13,47	10,05
2009	8,91	8,53	10,83	7,40	9,02	10,51	11,89	14,37	14,12	14,11	9,85	8,00	10,63
2010	5,52	16,80	12,64	5,39	13,25	3,01	4,67	10,76	10,98	11,79	11,00	7,06	9,41
2011	4,20	8,23	3,44	3,61	1,71	3,74	4,00	7,71	14,28	13,81	11,95	10,69	7,28
2012	4,77	14,18	20,61	8,74	13,72	2,00	1,30	3,26	6,23	11,12	11,98	10,33	9,02
2013	4,45	3,20	16,91	4,86	2,78	2,70	3,76	8,80	9,22	11,72	11,57	10,70	7,56
2014	10,19	12,90	31,81	28,68	11,64	7,03	7,91	8,76	11,78	12,05	11,22	10,48	13,70
2015	9,11	3,60	2,02	1,16	21,36	8,71	3,66	5,49	7,28	11,12	13,26	8,44	7,94
2016	5,50	12,05	11,94	17,47	4,54	5,00	10,03	11,23	14,99	15,34	16,22	13,64	11,50
2017	5,83	12,10	11,72	17,06	4,49	3,96	9,15	13,46	14,54	15,52	12,74	11,18	10,95
2018	13,61	12,18	15,00	7,76	5,90	8,94	14,68	16,05	14,78	14,83	12,76	9,83	12,19
MINIMO	4,21	3,20	2,02	1,16	1,71	2,00	1,30	3,26	5,57	7,81	9,85	7,06	7,28
MEDIO	7,95	11,05	12,20	10,02	7,65	5,87	6,80	9,25	10,62	12,31	12,18	10,64	9,71
MAXIMO	13,61	26,12	31,81	28,68	21,36	10,51	14,68	16,05	14,99	15,52	16,22	13,64	13,70
CAUDAL ECOLÓGICO	0,97												0,97
<b>OFERTA HÍDRICA</b>	6,97	10,08	11,23	9,05	6,67	4,90	5,83	8,28	9,65	11,34	11,21	9,67	8,74
<b>OFERTA AÑO MEDIO</b>	Oferta Hídrica * 365 días/año * 86400 segundos/día												275619355

#### 4.1.2.2. Demanda Hídrica

El consumo de agua para uso doméstico en la parroquia Santa Ana, mostró el valor de 1871917,1 m<sup>3</sup>/s (tabla 8), debido a que es la única zona urbana dentro del área de estudio, además de presentar una mayor densidad poblacional en comparación con las otras dos parroquias analizadas. Los caudales destinados para uso agrícola y pecuario, también presentaron valores altos para esta parroquia 158216893,1 m<sup>3</sup>/s y 200771,9 m<sup>3</sup>/s, respectivamente (tabla 8), ya que la extensión del terreno para cultivos representa el 55% del área de estudio y existe mayor variedad de cultivos; de igual modo, posee el mayor porcentaje de ganado bovino (56,67%) con respecto a las otras áreas estudiadas.

**Tabla 88** Demanda Hídrica sectorial

Parroquia	Área (Ha)	Número de habitantes	Uso	Caudal calculado (L/s)	Caudal calculado (m <sup>3</sup> /s)	Demanda Total (m <sup>3</sup> /año)
Honorato Vásquez	15415,6	5886	Agrícola	1,930073047	0,001930073	60866,78361
			Doméstico	6,8125	0,0068125	214839
			Pecuario	2,78037037	0,00278037	87681,76
<b>Consumo por parroquia</b>						<b>363387,5436</b>
Ayacucho	10587,1	7423	Agrícola	52,14772047	0,05214772	1644530,513
			Doméstico	8,591435185	0,008591435	270939,5
			Pecuario	1,258194444	0,001258194	39678,42
<b>Consumo por parroquia</b>						<b>1955148,433</b>
Santa Ana	31253,9	22298	Agrícola	5017,024768	5,017024768	158216893,1
			Doméstico	59,35810185	0,059358102	1871917,1
			Pecuario	6,366435185	0,006366435	200771,9
<b>Consumo por parroquia</b>						<b>160289582,1</b>
<b>DEMANDA TOTAL</b>						<b>162608118,1</b>

Empleando como base los resultados de las tablas 7 y 8, se obtuvo que la relación entre el agua ofertada por el embalse Poza honda, y el consumo requerido por los usuarios del cantón para las diversas actividades antes mencionadas, el Índice de Uso de Agua se ubicó en una categoría muy alta (tabla 2), evidenciando una elevada presión por parte de la demanda sobre la oferta hídrica, constituyendo la demanda el 58,99% del caudal disponible dentro del área de estudio.

#### **4.1.3. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH)**

La tabla 6 muestra las posibles categorías para el Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico, dependiendo de los resultados obtenidos para el Índice de Uso de Agua y el Índice de Regulación y Retención Hídrica. Para el cantón Santa Ana, el IUA se encontró en una categoría “muy alta”, resaltando la fragilidad del cuerpo de agua para mantener una oferta equilibrada a la población, por otra parte, el IRH presentó una categoría “muy baja”, por ende, la capacidad del suelo para la retención de agua es muy limitada. En consecuencia, el Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico se ubica en la categoría “muy alta”, lo que refleja que el área de estudio es altamente susceptible a presentar cuadros de insuficiencia del recurso hídrico ante eventos prolongados de estiaje.

## 4.2. DISCUSIÓN

Los valores obtenidos de la fórmula del Índice de Retención y Regulación Hídrica demuestran lo que menciona Ocampo (2012), quien indica que la retención de humedad en el sistema hídrico depende de factores físicos del medio como temperatura, vegetación, pendiente y textura del suelo, mismos que influyen significativamente en la retención de humedad el cantón Santa Ana.

Con respecto al uso de agua del cantón, la demanda está sobre el 58% del agua disponible en el área. Los valores mínimos para la demanda hídrica los presentó la parroquia Honorato Vásquez, al ser la parroquia con menor desarrollo socioeconómico, tal como lo especifica González, Aragón, & Moreno (2015), quien demuestra que las poblaciones con mayor nivel de desarrollo, son aquellas que poseen un mayor consumo de agua.

La demanda hídrica por uso agrícola es la más representativa del cantón Santa Ana, con un 98% del consumo de agua en toda la zona. Esto se traduce en un alto índice de uso de agua, tal como indica Suarez (2014) en su estudio, donde determinó que los cultivos representan el 95% de la demanda hídrica, confirmando que, para zonas con grandes extensiones dedicadas al sector agrícola, el consumo de agua será superior en comparación a las demás actividades productivas, ya que esta labor requiere un suministro de riego constante.

El planteamiento metodológico propuesto por Thielen et al. (2015) se realizó con la finalidad de definir la vulnerabilidad de la cuenca del río Portoviejo ante eventos de sequía, utilizando el Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica. Este índice contempla como única variable la serie histórica de precipitaciones, y a pesar de que coincide con el resultado del presente estudio, el número de factores es menor, por lo que la metodología planteada por el IDEAM brinda un diagnóstico con menor grado de incertidumbre.

### **4.3. CONCLUSIONES**

- La Curva de Duración de Caudales medios diarios, reflejó un volumen total de 978,018 m<sup>3</sup>, y un volumen parcial de 236,26 m<sup>3</sup>, resultando en una muy baja retención de agua. Esto es debido a los factores climatológicos, orográficos y textura del suelo, que condicionan el régimen hídrico en la cuenca hidrográfica.
- La parroquia Santa Ana presentó mayor consumo del recurso hídrico, tanto para el uso doméstico (1871917,1 m<sup>3</sup>/año), agrícola (158216893,1 m<sup>3</sup>/año) y pecuario (2007719 m<sup>3</sup>/año), al constituir una zona urbana con extensión superior a las otras parroquias consideradas, mayor número de habitantes e individuos de ganado bovino.
- El Índice de Uso de Agua manifestó valores considerados como muy altos, como consecuencia de la relación existente entre la oferta disponible calculada y el caudal necesario para cubrir las necesidades domésticas y socioeconómicas de los pobladores del cantón.
- La vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico se expresó en la categoría “muy alta”, indicando que el cantón Santa Ana es propenso a verse desprovisto del recurso hídrico por mala gestión, así como por períodos de sequía prolongados.

### **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar más estudios para determinar el índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico en cuencas cercanas al área objeto del presente análisis, con la finalidad de generar una base de datos

que brinde una visión integral de la situación real de la cuenca del río Portoviejo.

- Se sugiere el uso del presente estudio para la elaboración de proyectos de optimización en sistemas de riego para disminuir el consumo de agua en zonas agrícolas.
- Debería considerarse actualizar la información meteorológica e hidrológica del cantón Santa Ana por parte del INAMHI, para facilitar la obtención de datos para futuros estudios.

## REFERENCIAS

- Adger, W. N. (2014). Social and ecological resilience: are they related? *Progress in Human Geography*, 24(3), 347–364.  
<https://doi.org/10.1191/030913200701540465>
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). *FAO Irrigation and Drainage Paper No . 56 Crop Evapotranspiration ( guidelines for computing crop water requirements )* by. (January 1998).
- Arroyo, V. (2017). La paradoja de la escasez de agua en América Latina. Retrieved October 16, 2018, from América Económica website:  
<https://www.americaeconomia.com/analisis-opinion/la-paradoja-de-la-escasez-de-agua-en-america-latina>
- Ávila, P. (2008). Vulnerabilidad socioambiental, seguridad hídrica y escenarios de crisis por el agua en México *Ciencias*, Núm. 90, abril-junio, 2008, pp. 46-57 Universidad Nacional Autónoma de México. *Ciencias*, (90), 46–57.
- Bartram, J., & Howard, G. (2003). Domestic Water Quantity , Service Level and Health. *World Health Organization*, 39.  
<https://doi.org/10.1128/JB.187.23.8156>
- Bernal, F., & Santander, J. (2014). *Hoja metodológica del indicador Índice de retención y regulación hídrica. 1.1*, 16.
- Bernal, F., & Santander, J. (2016a). *Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales Índice de Uso del Agua. 1.01*, 1–16.
- Bernal, F., & Santander, J. (2016b). *Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales Variable : Oferta Hídrica Total Superficial. 1*, 1–26.
- Caballero, I., Menéndez, C., Guerra, J., & Guerrero, M. (2016). Análisis de la calidad del agua: represa Poza Honda. *Revista de Investigaciones En Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, 1(2), 5.  
<https://doi.org/10.33936/riemat.v1i2.920>
- Cadena, V. (2016). *Hablemos de riego* (1st ed.). Quito: Congope.
- Cedeño, J., & Donoso, M. (2010). *Atlas pluviométrico del Ecuador* (Vol. 21, p. 76). Vol. 21, p. 76. Guayaquil.

- Dieter, C., Maupin, M., Caldwell, R., Harris, M., Ivahnenko, T., Lovelace, J., ... Lindsey, K. (2015). Estimated Use of Water in the United States in 2015. In *Geological Survey Circular*. <https://doi.org/10.3133/cir1441>
- Donoso, M. C. (2010). WATER INTERACTIONS WITH ENERGY, ENVIRONMENT, FOOD, AND AGRICULTURE. In *Encyclopedia of life supports systems* (Vol. 1, p. 454). Montevideo: United Nations.
- FAO. (2011). The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW) - Managing Systems at Risk. In *The Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan*. <https://doi.org/10.2307/23325659>
- Flachier, A. (2016). *Análisis de metodologías para el estudio de Caudales Ecológicos. Casos de estudio en ríos altoandinos ecuatorianos* (Pontificia Universidad Católica del Ecuador). Retrieved from [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13217/MonografiaCaudalEcologico\\_PUCE\\_ALF%287%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13217/MonografiaCaudalEcologico_PUCE_ALF%287%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gallego, S., & Carvajal, L. F. (2017). REGIONALIZACIÓN DE CURVAS DE DURACIÓN DE CAUDALES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA-COLOMBIA. *Universidad EIA*, 14(30 de Agosto de 20117), 21–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.24050/reia.v14i27.1158>
- Gallopín, G. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 16(3), 293–303. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004>
- González, J., Cubillos, Á., Chadid, M., Arias, M., Zúñiga, E., Joubert, F., ... Pérez, I. (2018). ELEMENTOS CONCEPTUALES Y METODOLÓGICOS TEMÁTICOS. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá.
- González, L., Aragón, A., & Moreno, R. (2015). *DETERMINAR LA VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO DEL PARAMO GUERRERO Y ESTABLECER LAS POSIBLES MEDIDAS DE ADAPTACION*. Universidad Católica de Colombia.
- Helguera, L., & Lanfranco, B. (2008). Alternativas tecnológicas para enfrentar

- situaciones de crisis forrajera. *INIA*, 27, 34. Retrieved from [https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/22224\\_crisis\\_forrajera.pdf](https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/22224_crisis_forrajera.pdf)
- Hernández, F., & Zambrano, E. (2007). INICIO, DURACIÓN Y TÉRMINO DE LA ESTACIÓN LLUVIOSA EN CINCO LOCALIDADES DE LA COSTA ECUATORIANA. *ACTA OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO*, 14(1), 10.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2010). *ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA*. Retrieved from [http://www.andi.com.co/Uploads/ENA\\_2010.compressed.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2010.compressed.pdf)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2013). METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA (ERA). *Epam s.a. Esp*, (2), 4–30.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2015). *ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA*. Retrieved from [http://www.andi.com.co/Uploads/ENA\\_2014.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2014.pdf)
- Inocencio, A. (2015). *Determination of Basic Household Water Requirements ( Revised ) Determination of Basic Household Water Requirements*. (January 1999).
- Kelman, I. (2007). Understanding Vulnerability to Understand Disasters. *Center for International Climate and Environmental Research - Oslo*, 1–14. Retrieved from <http://host.jibc.ca/crhnet/resources/onlineBook/Kelman.pdf>
- Klein, R., & Nicholls, R. (1999). Assessment of South Sinai Coastal Vulnerability to Climate Change. *Ambio*, 28(2), 128–187. <https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-14-00018.1>
- León, M. (2013). *PLAN DE GESTIÓN DE TURISMO CULTURAL COMO PARTE DEL DESARROLLO SOCIO ECONÓMICO DEL CANTÓN SANTA ANA, PROVINCIA DE MANABÍ* (Vol. 1). Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Ministerio de Agricultura y ganadería. (2018). Cifras Agroproductivas. Retrieved February 20, 2019, from <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras->

agroproductivas

- Meulenert, Á. (2006). *Condiciones de sequía y precipitaciones en América del Sur durante el periodo 2004-2006* (Universidad de Guadalajara). Retrieved from [http://www.sapoi-sa.com/Informe de sequias.pdf](http://www.sapoi-sa.com/Informe_de_sequias.pdf)
- Mishra, A., & Singh, V. (2010). Review paper A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1–2), 202–216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- Naciones Unidas (2006). *Water – A Shared Responsibility: The United Nations World Water Development Report 2* (Vol. 2). Retrieved from <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/Bios-Eco-Aqua-017-2.pdf>
- Naciones Unidas (2007). *Coping with water scarcity: challenge of the twenty-first century*. 29.
- Naeem, S., Thompson, L., Lawler, S., Lawton, J., & Woodfin, R. (1994). Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *NATURE*, 368, 734–737. <https://doi.org/10.1038/368734a0>
- Neira, D., Alarcón, F., Vicuña, S., Vega, R., García, M., Poma, J., ... Pabón, C. (2009). Estudio de vulnerabilidad actual a los riesgos climáticos en el sector de los recursos hídricos en las cuencas de los Ríos Paute, Jubones, Catamayo, Chone, Portoviejo y Babahoyo. *PACC*, (December), 45–66.
- Obrist, B., Mayumana, I., & Kessy, F. (2010). Livelihood, malaria and resilience: a case study in the Kilombero Valley, Tanzania. *Progress in Development Studies*, 10(4), 325–343. <https://doi.org/10.1177/146499340901000405>
- Ocampo, O. (2012). *Análisis de Vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático*.
- Parker, D. (2003). Water consumption for livestock and poultry production. *West Texas A&N University*, (January 2003). <https://doi.org/10.1081/E-EWS>
- Postel, S. (2000). Entering an era of water scarcity: The challenges ahead. *Ecological Applications*, 10(4), 941–948. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0941:EAEOWS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0941:EAEOWS]2.0.CO;2)

- Proag, V. (2014). The Concept of Vulnerability and Resilience. *Procedia Economics and Finance*, 18(December 2014), 369–376.  
[https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(14\)00952-6](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(14)00952-6)
- Ríos, L. (2010). *INCIDENCIA DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LOS CAUDALES MÍNIMOS DEL ECUADOR* (Escuela Politécnica Nacional). Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1538/1/CD-2721.pdf>
- Romero-Ruiz, M., Hernandez, N., Ocampo, O., Pacheco, C., Florián, M., Rodríguez, C., ... Medellín, C. (2016). Sistema Nacional de Indicadores de Adaptación al Cambio Climático ( SIACC ): propuesta de protocolos de indicadores incluidos en el. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, Centro y Red de Tecnología Del Clima, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*., 57.
- Rossel, F., Mejía, R., Ontaneda, G., Pombosa, R., Roura, J., Le Goulven, P., ... Calvez, R. (1998). Régionalisation de l'influence du El Niño sur les précipitations de l'Equateur. *Bulletin de l'Institut Francais d'Études Andines*, 27(3), 643–654. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/26431168\\_Regionalisation\\_de\\_l'influence\\_du\\_El\\_Nino\\_sur\\_les\\_precipitations\\_de\\_l'Equateur](https://www.researchgate.net/publication/26431168_Regionalisation_de_l'influence_du_El_Nino_sur_les_precipitations_de_l'Equateur)
- Salazar, M. del P. (2014). *VULNERABILIDAD SOCIAL A LA DISMINUCIÓN DEL SUMINISTRO HÍDRICO EN EL DISTRITO FEDERAL*. El Colegio de la Frontera Norte.
- Secretaría Nacional del Agua (2012). Diagnóstico de las estadísticas del agua. Retrieved May 24, 2019, from <https://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico de las Estadisticas del Agua Producto Ilc 2012-2.pdf>
- Secretaría Nacional del Agua. (2016). *Normas para estudio de sistemas de abastecimiento de agua potable y disposición de aguas residuales, para poblaciones mayores a 1000 habitantes*. (6), 420. Retrieved from [http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma\\_urbana\\_para\\_estudios\\_y\\_dise](http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_urbana_para_estudios_y_dise)

nos.pdf

Singh, V. (2000). Watershed planning and management. *Yash Publishing House*.

Sistema nacional de Información (2015). *PLAN DE DESARROLLO Y TERRITORIAL DEL CANTÓN SANTA ANA 2015-2019*. Retrieved from [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/1360001440001\\_PD y OT Santa Ana 2015-2019\\_10-04-2015\\_11-47-58.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1360001440001_PD y OT Santa Ana 2015-2019_10-04-2015_11-47-58.pdf)

Stefano, L. De, Martinez-santos, P., & Willaarts, B. (2014). *Water resources assessment in Latin America*. (March).

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & de Haan, C. (2009). *La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones*. Roma: FAO.

Straschnoy, J., Di bella, C., Jaimes, F., Oricchio, P., & Rebella, C. (2007, August). Caracterización espacial del estrés hídrico y de las heladas en la región pampeana a partir de información satelital y complementaria. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 35(2), 117–141.

Suárez, I. (2014). FORMULACIÓN PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO RÍO CHICHIMENE. In *FORMULACIÓN Y ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO RÍO CHICHIMENE* (Vol. 4, pp. 42–81). Retrieved from <http://www.cormacarena.gov.co/descargarpdf.php?libro=2075>

Tannehill, I. R. (1949). Drought, Its Causes and Effects. *Journal of the South African Forestry Association*, 29(3), 83–84. <https://doi.org/10.2307/1232917>

Thielen, D. E., Cevallos, J., Erazo, T., Zurita, I. S., Figueroa, J., Quintero, J., ... Puche, M. luz. (2015). Dinámica de los eventos climáticos extremos en la cuenca del río Portoviejo, Manabí, Ecuador. *Revista La Técnica*, 14, 80–91.

Trifunovic, N. (2006). Introduction to Urban Water Distribution. *Introduction to Urban Water Distribution*, 21–52. <https://doi.org/10.1201/9780203964699>

- Turner, B., Kasperson, R., Matson, P., McCarthy, J., Corell, R., Christensen, L., ... Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8074–8079. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2016). La UNAM te explica: ¿Qué es la vulnerabilidad del agua? Retrieved November 8, 2019, from Noticias UNAM website:  
[http://www.agua.unam.mx/noticias/2016/unam/not\\_unam\\_septiembre19.html](http://www.agua.unam.mx/noticias/2016/unam/not_unam_septiembre19.html)
- Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C., & Cañamero, M. (2017). *Fundamentos de Ingeniería de Riegos* (2nd ed.; U. N. A. La Molina, Ed.). Lima.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Wani, S. P., & Garg, K. K. (2009). Watershed Management Concept and Principles. *Icrisat*, (January), 1–11. <https://doi.org/10.1016/B978-84-8086-474-9.50110-X>
- Wani, S. P., Sreedevi, T. K., Reddy, T. S. V., Venkateshvarlu, B., & Prasad, C. S. (2008). Community watersheds for improved livelihoods through consortium approach in drought prone rain-fed areas. *Journal of Hydrological Research and Development*, 23(January 2008), 55–77.
- Wheeler, S. A., Adam, L., Bark, R. H., & Connor, J. D. (2015). *Agricultural water management*. 1(1), 71–77. <https://doi.org/10.4337/9781782549666.00011>
- White, C. (2018). Understanding water scarcity: Definitions and measurements. *Global Water: Issues and Insights*, 161–166.  
<https://doi.org/10.22459/gw.05.2014.28>
- Winchester, C. F., & Morris, M. J. (1956). Water Intake Rates of Cattle. *Journal of Animal Science*, 15(3), 722–740.  
<https://doi.org/10.2527/jas1956.153722x>

Yáñez, Á., & Villacís, L. (2016). El agua en América Latina. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 4(2), 46–47. Retrieved from [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2308-38592016000200001](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592016000200001)

## ANEXOS

	TEMP MIN	TEMP MAX	HUMEDAD	VIENTO	INSOLACIÓN	RAD	Eto
	°C	°C	%	Km/día	horas	MJ/m2/día	mm/día
<b>Enero</b>	20,7	35,0	81	173	9,5	23,6	5,29
<b>Febrero</b>	20,7	33,6	83	173	8,7	23,0	5,01
<b>Marzo</b>	21,1	34,1	82	173	8,7	23,2	5,13
<b>Abril</b>	20,9	33,9	82	173	8,7	22,4	4,95
<b>Mayo</b>	20,3	33,8	83	173	9,0	21,5	4,69
<b>Junio</b>	19,8	32,9	82	173	8,7	20,3	4,40
<b>Julio</b>	18,0	34,3	80	173	10,4	23,0	4,99
<b>Agosto</b>	17,8	34,1	78	173	10,4	24,3	5,27
<b>Septiembre</b>	18,6	34,5	76	173	10,3	25,2	5,57
<b>Octubre</b>	19,2	34,9	75	173	10,2	25,2	5,72
<b>Noviembre</b>	16,9	34,8	75	173	11,3	26,4	5,78
<b>Diciembre</b>	18,5	36,7	76	173	11,5	26,2	5,96

**Anexo 1** Módulo "CLIMA" para el programa CROPWAT 8.0

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
<b>Enero</b>	138.0	107.5
<b>Febrero</b>	201.7	136.6
<b>Marzo</b>	189.5	132.0
<b>Abril</b>	140.4	108.9
<b>Mayo</b>	44.2	41.1
<b>Junio</b>	15.1	14.7
<b>Julio</b>	13.5	13.2
<b>Agosto</b>	1.8	1.8
<b>Septiembre</b>	2.3	2.3
<b>Octubre</b>	3.1	3.1
<b>Noviembre</b>	1.0	1.0
<b>Diciembre</b>	34.4	32.5
<b>Total</b>	785.0	594.7

**Anexo 2** Módulo "PRECIPITACIÓN" para el programa CROPWAT 8.0

PARROQUIA	Kc			ETAPA (días)				Profundidad radicular (m)		Agotamiento crítico			Altura de cultivo (m)	
	Kc 1	Kc 2	Kc 3	inicial	desarrollo	media	fin temporada	inicial	desarrollo	1	2	3		
SANTA ANA														
SUELO LIMOSO	Cacao	1,00	1,05	1,05	60	90	120	95	0,2	1,0	0,30	0,30	0,30	3,00
	Café	1,05	1,10	1,10	20	70	120	60	0,2	1,5	0,40	0,40	0,40	2,00
	Frejol	0,50	1,05	0,90	20	30	30	20	0,2	0,7	0,45	0,45	0,45	0,40
	Haba	0,50	1,15	1,10	90	45	40	0	0,2	0,7	0,45	0,45	0,45	0,80
	Limon	0,85	0,85	0,85	60	90	120	95	0,2	1,1	0,50	0,50	0,50	2,00
	Maíz	0,70	1,20	0,60	30	40	50	40	0,2	1,7	0,50	0,50	0,50	2,00
	Maní	0,40	1,15	0,60	25	35	45	25	0,2	1,0	0,50	0,50	0,50	0,40
	Pasto	0,40	0,95	0,85	25	25	15	10	0,2	1,5	0,55	0,55	0,55	0,10
	Plátano	1,00	1,20	1,10	120	60	180	5	0,2	0,9	0,35	0,35	0,35	4,00
	Tomate	0,60	1,15	0,80	35	40	50	30	0,2	1,5	0,40	0,40	0,40	1,20
Yuca	0,30	1,10	0,50	150	40	110	60	0,2	1,0	0,40	0,40	0,40	1,00	
AYACUCHO														
SUELO LIMOSO-ARCILLOSO	Cacao	1,00	1,05	1,05	60	90	120	95	0,2	1,0	0,30	0,30	0,30	3,00
	Café	0,90	0,95	0,95	20	70	120	60	0,2	1,5	0,40	0,40	0,40	2,00
	Limon	0,85	0,85	0,85	60	90	120	95	0,2	1,1	0,50	0,50	0,50	2,00
	Maíz	0,70	1,20	0,60	30	40	50	40	0,2	1,7	0,50	0,50	0,50	2,00
	Maní	0,40	1,15	0,60	25	35	45	25	0,2	1,0	0,50	0,50	0,50	0,40
	Naranja	0,70	0,65	0,70	60	90	120	95	0,2	1,1	0,50	0,50	0,50	4,00
	Pasto	0,40	0,95	0,85	25	25	15	10	0,2	1,5	0,55	0,55	0,55	0,30
	Yuca	0,30	1,10	0,50	150	40	110	60	0,2	1,0	0,40	0,40	0,40	1,00
HONORATO VAZQUEZ														
SUELO ARCILLOSO	Cacao	1,00	1,05	1,05	60	90	120	95	0,2	1,0	0,30	0,30	0,30	3,00
	Café	0,90	0,95	0,95	20	70	120	60	0,2	1,5	0,40	0,40	0,40	2,00
	Maíz	0,70	1,20	0,60	30	40	50	40	0,2	1,7	0,50	0,50	0,50	2,00
	Pasto	0,40	0,95	0,85	25	25	15	10	0,2	1,5	0,55	0,55	0,55	0,30

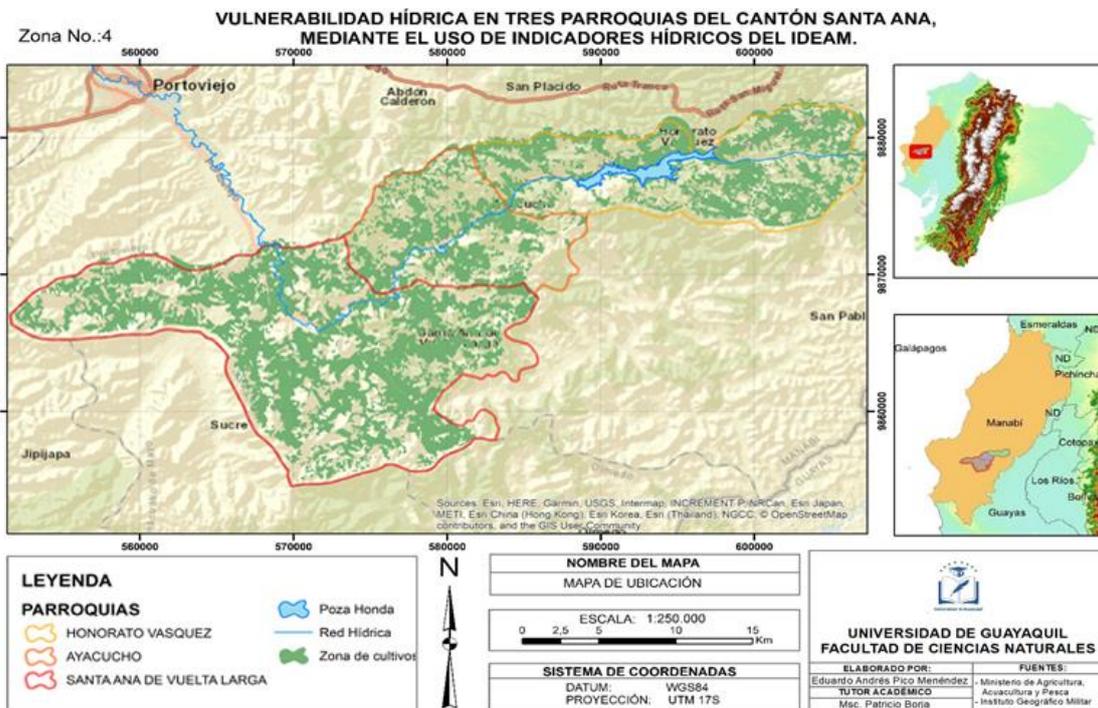
Anexo 3 Módulo "CULTIVO" para el programa CROPWAT 8.0

PARROQUIA		humedad de suelo disponible total (CC-PMP) (mm/metro)	Tasa máxima de infiltración de la precipitación (mm/día)	Profundidad radicular máxima (m)	Agotamiento inicial de humedad de suelo (%de ADT)	Humedad de suelo inicialmente disponible (mm/metro)
SANTA ANA						
A-4 SUELO LIMOSO	Cacao	242,88	285	0,4	90	24,29
	Café			0,6		
	Frejol			0,3		
	Haba			0,3		
	Limon			0,4		
	Maíz			0,7		
	Maní			0,4		
	Pasto			0,6		
	Plátano			0,4		
	Tomate			0,6		
	Yuca			0,4		
<b>AYACUCHO</b>						
SUELO LIMOSO-ARCILLOSO	Cacao	260	60	0,4	90	26
	Café			0,6		
	Limon			0,4		
	Maíz			0,7		
	Maní			0,4		
	Naranja			0,4		
	Pasto			0,6		
	Yuca			0,4		
<b>HONORATO VAZQUEZ</b>						
A-7-5 SUELO ARCILLOSO	Cacao	275	12	0,4	90	27,5
	Café			0,6		
	Maíz			0,7		
	Pasto			0,6		

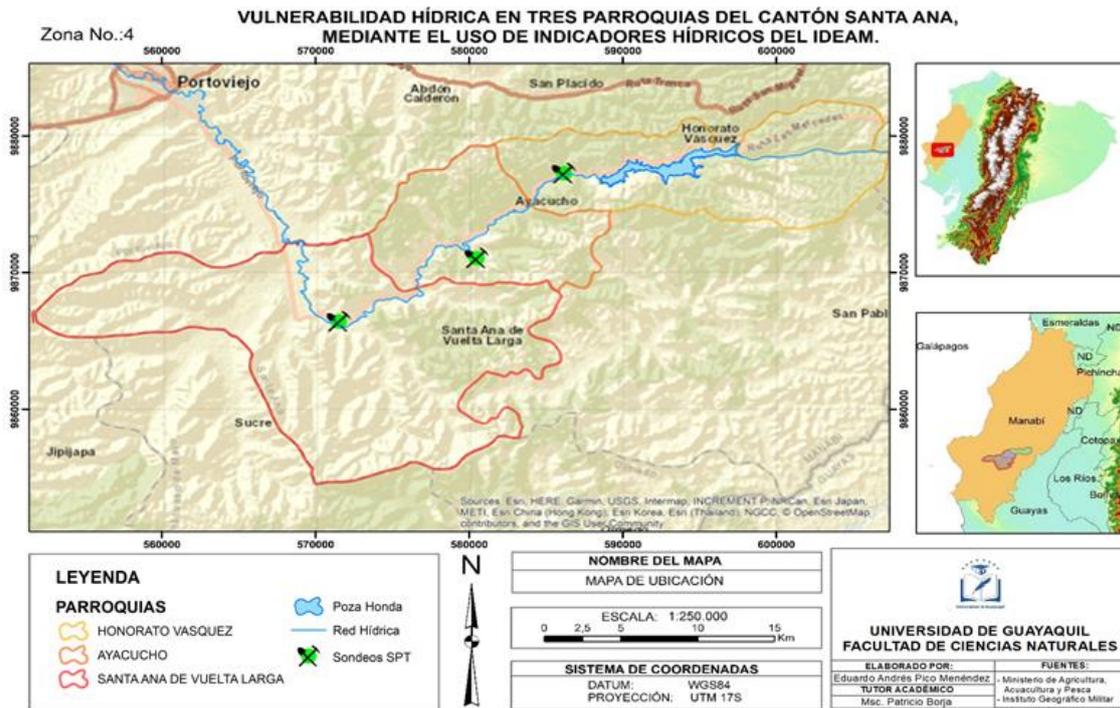
**Anexo 4** Módulo "SUELO" para el programa CROPWAT 8.0



Anexo 5 Sondeo para Estudio de Penetración Estándar



Anexo 6 Mapa de áreas cultivadas



Anexo 7 Mapa de puntos de muestreo



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**TEMA:  
VULNERABILIDAD HÍDRICA EN TRES PARROQUIAS DEL CANTÓN  
SANTA ANA, MEDIANTE EL USO DEL SISTEMA DE INDICADORES  
HÍDRICOS DEL IDEAM**

**AUTOR: Eduardo Andrés Pico Menéndez**

**TUTOR: Ing. César Patricio Borja Bernal, M.Sc.**

**GUAYAQUIL, SEPTIEMBRE 2019**



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES  
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN  
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**TEMA:  
VULNERABILIDAD HÍDRICA EN TRES PARROQUIAS DEL CANTÓN  
SANTA ANA, MEDIANTE EL USO DEL SISTEMA DE INDICADORES  
HÍDRICOS DEL IDEAM**

**AUTOR: Eduardo Andrés Pico Menéndez**

**TUTOR: Ing. César Patricio Borja Bernal M.Sc.**

**GUAYAQUIL, SEPTIEMBRE 2019**

## DEDICATORIA

A Jaime Pico Macías, Reilina Menéndez García, Jaime Pico Menéndez y Juan  
Carlos Pico Menéndez

Por ayudarme a crecer como persona.

## AGRADECIMIENTO

A mis padres por ser el principal soporte intelectual y moral a lo largo de este proceso académico.

A mis hermanos, por estar siempre conmigo y brindarme ánimos, haciendo más sencillo cada paso.

Al equipo técnico de la Secretaría Nacional del Agua y la Empresa Pública del Agua, quienes facilitaron insumos imprescindibles para el desarrollo del presente estudio.

A mi tutor del Trabajo de Titulación, por haberme guiado pacientemente durante este proceso

Patricio Borja Bernal

Finalmente, quiero agradecer a mis amigos, Jimmy León, Alan Arcentales, Kevin Alvarado, Karen Añezco, Sharon Ruíz, Cinthya Mendoza, Juan Carlos Guevara, Felipe Zambrano, Javier Vera, Cristhian Argandoña, Santiago Olivares, Leonel Briones, Melissa Moscoso, Carla Risco y Alicia Tafúr, por haberme apoyado incondicionalmente desde el primer día.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2. OBJETIVOS.....	5
1.2.1. Objetivo general.....	5
1.2.2. Objetivos específicos.....	5
1.3. HIPÓTESIS.....	5
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	5
CAPÍTULO II.....	8
2.1. ANTECEDENTES.....	8
2.2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.2.1. Cuenca Hidrográfica.....	9
2.2.2. Delimitación de una cuenca Hidrográfica.....	10
2.2.3. Vulnerabilidad.....	10
2.2.4. Resiliencia ecológica.....	11
2.2.5. Resiliencia social.....	12
2.2.6. Sequías.....	12
2.2.7. Curva de duración de caudales.....	14
2.2.8. Oferta Hídrica.....	15
2.2.9. Demanda hídrica.....	16
2.2.10. Categorías de consumo de agua consideradas en el estudio.....	16
2.2.11. Escasez de Agua.....	18
2.2.12. Estrés Hídrico.....	19
2.3. MARCO LEGAL.....	20
CAPÍTULO III.....	25
3.1. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1.1. Área de estudio.....	25
3.2. METODOLOGÍA.....	27
3.2.1. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).....	29
3.2.2. Índice de Uso de Agua (IUA).....	34
3.2.3. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH).....	44
CAPÍTULO IV.....	45
4.1. RESULTADOS.....	45
4.1.1. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH).....	45
4.1.2. Índice de Uso de Agua (IUA).....	46

4.1.3. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH) .....	49
4.2. DISCUSIÓN .....	50
4.3. CONCLUSIONES .....	51
RECOMENDACIONES .....	51
REFERENCIAS .....	53
ANEXOS .....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Categorías de valoración para los rangos del IRH .....	34
Tabla 2 Categorías de valoración para los rangos del IUA .....	35
Tabla 3 Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio en poblaciones rurales .....	38
Tabla 4 Dotaciones de agua para la población urbana.....	39
Tabla 5 Valores promedios de las propiedades físicas de los suelos según la textura .....	43
Tabla 6. Matriz de relación para el Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico.....	44
Tabla 7 Oferta Hídrica Anual Disponible.....	47
Tabla 8 Demanda Hídrica sectorial.....	48

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1** Mapa de ubicación del área de estudio. .... ¡Error! Marcador no definido.

**Figura 2** Flujograma del proceso metodológico (ETAPA I: Índice de Retención y Regulación Hídrica; ETAPA II: Índice de Uso de Agua) ..... ¡Error! Marcador no definido.

**Figura 3** Curva de Duración de Caudales ..... 45

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Módulo "CLIMA" para el programa CROPWAT 8.0 .....	61
Anexo 2 Módulo "PRECIPITACIÓN" para el programa CROPWAT 8.0 .....	61
Anexo 3 Módulo "CULTIVO" para el programa CROPWAT 8.0.....	62
Anexo 4 Módulo "SUELO" para el programa CROPWAT 8.0 .....	63
Anexo 5 Sondeo para Estudio de Penetración Estándar.....	64
Anexo 7 Mapa de áreas cultivadas.....	64
Anexo 8 Mapa de puntos de muestreo.....	65

## INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los compuestos más abundantes en la superficie terrestre, a pesar de esto, el 1% es aprovechable y está distribuido entre ríos, acuíferos, embalses y otros. El agua es un recurso que no puede ser sustituido y que es necesario para la supervivencia y desarrollo humano, aun así, su disponibilidad para consumo humano se ha ido degradando notablemente con el tiempo. Cabe destacar que la presencia de este recurso dentro del ciclo hidrológico no se ve alterada, por lo que se considera un recurso renovable, sin embargo, el porcentaje del mismo apto para el consumo humano es el que gradualmente se agota, tanto en la superficie terrestre, como en el manto freático (Salazar, 2014).

En América Latina, la escasez de agua se ha convertido en uno de los principales problemas en el siglo XXI. Esto debido a que el uso se ha incrementado a un ritmo que supera la tasa de crecimiento de la población que de ella se abastece, por esta razón, existe un creciente número de regiones que se encuentra en situaciones extremas de déficit hídrico (Arroyo, 2017).

Ecuador refleja una situación semejante en cuanto al recurso hídrico, presentando en numerosas ocasiones escenarios de sequías e inundaciones. La Secretaría Técnica de Gestión de Riesgos (2008), indica que entre los años 1997 y 1998, el Fenómeno del Niño generó daños por valores que superaron los dos mil ochocientos millones de dólares. Si bien es cierto, no se puede evitar un evento natural, pero sí es posible reducir la vulnerabilidad de la población, generando información correspondiente al régimen hídrico y al patrón de consumo del recurso por parte de las comunidades (Secretaría Nacional del Agua, 2012).

Considerando las limitaciones en cuanto al aprovechamiento que se le puede dar para satisfacer las necesidades básicas de las poblaciones y la

evidente relación que existe en el deterioro de los cuerpos hídricos y el cambio climático, resulta imprescindible el desarrollo de instrumentos que sirvan como mecanismo de gestión de los recursos hídricos.

Ávila (2008) define como vulnerabilidad al proceso que lleva a una población y al medio en que circundan, a una situación de exposición ante daños y amenazas resultantes de la interacción desfavorable de factores biofísicos y sociales. En este contexto, la vulnerabilidad del agua dentro de un sistema constituye un indicador de la seguridad hídrica, siendo la calidad y cantidad de agua aprovechable por los distintos usuarios para cubrir sus necesidades básicas, y la capacidad para hacer frente a eventos naturales adversos, factores dependientes de la misma. Por otra parte, el doctor Oscar Escolero Fuentes, del Departamento de Geología Regional del Instituto de Geología de la UNAM, establece que la vulnerabilidad hídrica se debe, además de variaciones en el ambiente, a las poblaciones en constante crecimiento, quienes necesitan cada vez más recursos para satisfacer sus necesidades (Universidad Nacional Autónoma de México, 2016).

Para determinar el grado de vulnerabilidad hídrica dentro del cantón Santa Ana, se aplicó la metodología descrita por el IDEAM (2010) misma que busca evaluar el índice de escasez del recurso hídrico a nivel municipal. Ésta consiste en la identificación del efecto resultante de la interacción de la variación en la capacidad que poseen los sistemas para retener y regular el componente hídrico, y la eficiencia en el manejo del agua por parte de los usuarios. El Resultado se refleja en la fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta dentro de su sistema

El presente trabajo tiene como principal objetivo diagnosticar el estado actual y tendencial del sistema hídrico en el cantón Santa Ana, para de esta manera determinar qué eventos pueden implicar una mayor amenaza para el

recurso hídrico, su capacidad de satisfacer las necesidades de la población y el correcto funcionamiento de la estructura ecológica del cantón.

## **CAPÍTULO I**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

América Latina es a nivel global la región que goza de mayor presencia de agua, al contar aproximadamente con una de las tres partes de agua que hay en planeta, por lo que genera un ingreso de agua que supera la media a nivel mundial (Arroyo, 2017). Desde un punto de vista global, se entiende que América Latina se encuentra en óptimas condiciones con respecto al régimen hídrico, pero la realidad del subcontinente es diferente al analizar la situación de sus países; esto se debe a que la distribución del recurso presenta escenarios con tendencias desiguales, donde hay territorios que muestran un registro histórico con precipitaciones duraderas y proporcionadas; asimismo, existen naciones en las cuales la lluvia es estacional y solo se presenta en determinados meses del año, por lo que su capacidad para abastecerse de agua se ve comprometida (Yáñez & Villacís, 2016).

La provincia de Manabí se caracteriza por obtener aporte hídrico de cuencas hidrográficas, pero no del deshielo de la serranía, volviéndose dependiente de condiciones meteorológicas como precipitaciones, mismas que dentro de la región central de la provincia de Manabí son estacionales y están ligadas al calentamiento temporal del océano Pacífico y al tránsito de la Zona de Convergencia Intertropical (Hernández & Zambrano, 2007; Cedeño & Donoso, 2010) En este sector, la variabilidad tanto del clima costero como de la irregularidad interanual de la pluviometría se debe principalmente a los fenómenos de “El Niño” y “La Niña” (Rossel et al., 1998).

El río Grande o río Portoviejo es la fuente de agua con mayor relevancia para el sector central de la provincia de Manabí, este provee agua a la población

de los cantones Portoviejo, Santa Ana y Rocafuerte, que pertenecen a su cuenca, y los cantones que se encuentran fuera de cuenca son Manta, Montecristi, Jaramijó, Sucre y Jipijapa. Las sequías han generado problemas en cuanto a la economía del cantón, como pérdida de producción y aumento de costos; sin mencionar que la falta de agua ocasiona gastos adicionales a los pobladores al tener que optar por medios alternos, disminuyendo la calidad de vida de la población (Neira et al., 2009). Se ha considerado tres parroquias del cantón como área de estudio, esto debido a que dentro del mismo son las únicas que presentan disponibilidad de información meteorológica e hidrológica y se encuentran dentro de la cuenca del Río Portoviejo.

Los recursos hídricos en el área de estudio se encuentran bajo constante presión, por este motivo, es fundamental priorizar acciones que permitan conocer la influencia de los factores climáticos sobre la distribución y variaciones en tiempo y espacio (Donoso, 2010). Considerando la ausencia de información referente a la fragilidad del sistema para mantener la oferta de agua, surge la necesidad de realizar un estudio de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico que proporcione un diagnóstico de la situación real del cantón Santa Ana.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar el grado de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico en tres parroquias del cantón Santa Ana, provincia de Manabí.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Conocer las condiciones del cantón en cuanto a su población y su relación con el recurso hídrico.
- Definir el índice de retención y regulación hídrica de la cuenca del Río Portoviejo dentro del área de estudio.
- Calcular el índice de Uso de Agua sectorial de la población.
- Estimar el grado de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico en tres parroquias del cantón Santa Ana.

## **1.3. HIPÓTESIS**

El cantón Santa Ana, presenta un alto grado de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico, ocasionado principalmente por el gran consumo del recurso hídrico en agricultura.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN**

Sudamérica genera más de la tercera parte de la escorrentía a nivel global, a pesar de que solo constituye el 13% de tierras emergidas, y 6% del total de la población del planeta. Los valores antes mencionados no son tan contundentes al análisis de la disponibilidad del recurso para las distintas poblaciones de la región. Existen varios factores que condicionan la presencia del agua; tales como su distribución (espacio-tiempo), problemas de contaminación y las distintas actividades que con ella realizan. Esto implica que

para algunos sectores la presión sobre el recurso sea mayor, incrementando la amenaza por escasez (Stefano, Martinez-Santos, & Willaarts, 2014).

La disminución del suministro de agua puede tener consecuencias directas a la salud humana, al desarrollo económico y social. Bajos niveles en el aprovisionamiento del líquido vital resultan en la disminución de ingresos, al no poder mantener un caudal mínimo para salvaguardar los insumos necesarios para la producción agrícola y ganadera. Por esta razón, se torna muy difícil mantener un hogar en condiciones óptimas de asepsia, conservar los alimentos limpios para su consumo, e incrementan las tasas de morbilidad y mortalidad por proliferación de enfermedades infecciosas, consecuencia de la mala disposición de desechos sólidos humanos (Salazar, 2014).

El manejo del recurso hídrico consiste en la interacción de las decisiones tomadas por parte de las entidades reguladoras del mismo y la capacidad de los pobladores para abastecerse mediante su uso eficiente. A esto se suma la disponibilidad que ofrece la situación geográfica y climática del sector, misma que para la provincia de Manabí, corresponde a una condición adversa. Dentro de esta jurisdicción, la oferta hídrica otorgada por las autoridades competentes sobre el recurso hídrico es calculada a partir de estimaciones, mas no se realiza considerando las necesidades de los consumidores con base a las distintas actividades productivas.

La interrelación de estas condiciones puede resultar en escenarios de pérdidas económicas e insalubridad, al desconocerse qué tan propenso es un determinado sistema a la disminución crítica del aprovisionamiento hídrico (Helguera & Lanfranco, 2008). Tomando en cuenta que, en el pasado, el cantón Santa Ana ha presentado registros de sequías que han afectado tanto a la población, su producción agrícola y ganadera; y también su fauna silvestre, surge la necesidad e importancia de evaluar la vulnerabilidad al desabastecimiento dentro de este cantón, en la provincia de Manabí.

Con el presente estudio, se pretende disminuir el estado de incertidumbre en tres parroquias del cantón y a su vez, generar una herramienta para la toma de decisiones por parte de las autoridades con respecto al recurso hídrico disponible, al utilizar los resultados obtenidos para desarrollar y producir una gestión eficiente sobre el recurso considerando las oferta y demanda actual, y permitiendo a los usuarios conocer los factores que vuelven vulnerable al área de estudio con la finalidad de que empleen medidas para optimizar el uso del agua.

## CAPÍTULO II

### 2.1. ANTECEDENTES

La Organización de las Naciones Unidas y la Organización Mundial de Meteorología, establecieron al Índice de Escasez de Agua Superficial, como un indicador de los efectos provocados por las actividades antrópicas sobre el recurso hídrico. En Colombia, el IDEAM (2004) planteó una metodología con la finalidad disminuir la incertidumbre en los resultados, al considerar las variables biofísicas, meteorológicas y condiciones del régimen hídrico en caudales abastecedores (González, Aragón, & Moreno, 2015).

Suarez (2014), en su proyecto de Formulación y Ordenamiento del recurso hídrico Río Chichimene, utilizó la metodología empleada por el IDEAM, y señaló que, para el Índice de uso del agua, el río Chichimene presentaba valores muy altos, correspondientes al 59%, indicando que la presión de la demanda es elevada con respecto al caudal ofertado. Por otra parte, para el índice de retención y regulación hídrica, los valores también fueron altos (0.44 %) lo que implica una baja capacidad de retener la humedad. Como resultado de la interacción de los índices descritos previamente, el índice de Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico fue muy alto.

González, Aragón, & Moreno (2015), realizaron un estudio en Bogotá, Colombia, de nombre “Determinar la vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico del páramo guerrero y establecer las posibles medidas de adaptación y mitigación” con la finalidad de diagnosticar las condiciones del régimen hídrico en los municipios de Carmen de Carupa, Cogua, Tausa y Zapaquirá, donde se demostró que la mayoría de municipios presentaban valores muy altos para el índice de retención hídrica, comprobando que más del 70% del área de estudio posee buena capacidad de retención de humedad; para el índice de Uso de Agua se determinó que las zonas que presentaban mayor desarrollo socioeconómico, son las que tienen mayor consumo de agua. Concluyendo que, los resultados sobre la vulnerabilidad fueron bajos, lo que indica que el riesgo a amenazas por

desabastecimiento, es bajo por lo que la amenaza no es preocupante a corto plazo.

En el Municipio de Manizales, Colombia, fue demostrado por Ocampo (2012) en su estudio “Análisis de Vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático” que la retención de humedad en el suelo es muy baja, contrastando con los valores estimados en el Estudio Nacional del Agua. Manizales presenta mayor consumo de agua por sectores industriales, incrementando el estrés hídrico y, por lo tanto, manifestando muy altos valores para el Índice de uso de agua. Estas condiciones resultan desfavorables en términos de aprovisionamiento en escenarios de estiaje.

La investigación realizada por Thielen, Cevallos, Erazo, Zurita, Figueroa, Quintero, Matute, Velázquez, y Cárdenas (2015), denominada “Dinámica de los eventos climáticos extremos en la cuenca del río Portoviejo, Manabí, Ecuador”; abarca el estudio y análisis de las precipitaciones históricas como herramienta para el cálculo de la vulnerabilidad, determinando que la condición seca sobre el medio es predominante y muy próxima a las condiciones de sequía, razón por la cual el recurso hídrico debe ser manejado con criterio de insuficiencia, ya que existe una notable tendencia a presentar escenarios de sequías, ubicando este factor como principal amenaza con respecto al recurso hídrico (Neira et al., 2009).

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Cuenca Hidrográfica**

Una cuenca, también llamada cuenca de drenaje o área de captación, se define como un área en la que toda el agua que fluye en ella se dirige a una salida común. Las personas y el ganado son la parte integral de la cuenca, sus actividades afectan el estado productivo de las cuencas y viceversa. Desde el

punto de vista hidrológico, las diferentes fases del ciclo hidrológico en una cuenca dependen de las diversas características naturales y actividades humanas. La cuenca hidrológica no es simplemente la unidad hidrológica, sino también una entidad sociopolítica-ecológica que desempeña un papel crucial en la determinación de la seguridad alimentaria, social y económica y proporciona servicios de soporte vital a la población rural (Wani, Sreedevi, Reddy, Venkateshvarlu, & Prasad, 2008)

### **2.2.2. Delimitación de una cuenca Hidrográfica**

Hidrológicamente, la cuenca hidrográfica es un área desde la cual el flujo llega a un punto común en el sistema de drenaje. Cada corriente, afluente o río tiene una cuenca asociada y las cuencas pequeñas se agregan para convertirse en cuencas más grandes. El agua viaja desde el agua de cabecera hasta la ubicación descendente y se encuentra con una fuerza similar de la corriente, luego forma un curso de un orden superior (Wani & Garg, 2009),

El orden de las corrientes describe la ubicación relativa del alcance en la cuenca. La identificación del orden de los arroyos es útil para comprender la cantidad de agua disponible y su calidad; y también se utiliza como criterio para dividir una cuenca más grande en una unidad más pequeña. Además, los criterios para seleccionar el tamaño de la cuenca también dependen de los objetivos del desarrollo y la pendiente del terreno. Una cuenca grande puede manejarse en áreas de valles llanos o donde el desarrollo de bosques o pastos es el objetivo principal (Singh, 2000). En áreas montañosas o donde se planea un desarrollo agrícola intensivo, el tamaño de la cuenca preferido es relativamente pequeño (Wani & Garg, 2009).

### **2.2.3. Vulnerabilidad**

El concepto de vulnerabilidad implica cierto riesgo combinado con el nivel de responsabilidad social y económica; y la capacidad para hacer frente al evento resultante. La vulnerabilidad se ha definido como el grado en que un

sistema, o parte de un sistema, puede reaccionar adversamente durante la ocurrencia de un evento peligroso. Por lo tanto, las personas se vuelven "vulnerables" si el acceso a los recursos, ya sea en el hogar o a nivel individual, es el factor más crítico para lograr un medio de vida seguro o para recuperarse efectivamente de un desastre. Los hogares con acceso directo a capital, herramientas y equipo, y los miembros sanos son los que pueden recuperarse más rápidamente cuando ocurre un desastre. Como tal, las personas más vulnerables son las más pobres, que tienen pocas opciones más que ubicarse en entornos inseguros (Proag, 2014).

Klein & Nicholls, citado por Kelman, (2007), sugiere que la vulnerabilidad es una función de:

- Resistencia, la capacidad de soportar el cambio debido a un peligro.
- Resiliencia, la capacidad de volver al estado original después de un evento de peligro.
- Susceptibilidad, el estado físico actual, sin tener en cuenta los cambios temporales.

#### **2.2.4. Resiliencia ecológica**

La resiliencia de un sistema ecológico se relaciona con el funcionamiento del sistema, más que con la estabilidad de sus poblaciones componentes, o incluso con la capacidad de mantener un estado ecológico estable, por ello, la resiliencia en los sistemas ecológicos no se observa fácilmente, y parece que en la actualidad no existe una relación acordada, por ejemplo, entre la diversidad de los ecosistemas y su resiliencia (Naeem, Thompson, Lawler, Lawton, & Woodfin, 1994). Por lo tanto, muchos ecosistemas terrestres tropicales tienen poblaciones estables y diversas, pero tienen una resistencia relativamente baja, mientras que ecosistemas similares en regiones templadas con una diversidad aparentemente baja pueden exhibir una mayor capacidad de recuperación (Adger, 2014).

### **2.2.5. Resiliencia social**

Todas las definiciones de resiliencia social se refieren a entidades sociales, ya sean individuos, organizaciones o comunidades, y sus capacidades para tolerar, absorber, hacer frente y adaptarse a amenazas ambientales y sociales de diversos tipos. Como Obrist, Mayumana, & Kessy (2010) señalaron, el punto de entrada para los estudios empíricos sobre resiliencia social es la pregunta: "¿Resiliencia a qué? ¿Cuál es la amenaza o el riesgo que examinamos?" Se suele suponer que las amenazas se originan externamente con respecto a las unidades sociales, pero también pueden derivarse de la dinámica interna o de la interacción entre los dos (Gallopín, 2006). Se puede distinguir entre situaciones, que se caracterizan por amenazas continuas o que aumentan lentamente (por ejemplo, degradación del suelo) y perturbaciones, que se refieren a peligros de inicio rápido, a los que están expuestas las unidades sociales (Turner et al., 2003)

### **2.2.6. Sequías**

Las sequías son fenómenos climáticos complejos que afectan tanto a la sociedad, como al ambiente. Esta complejidad se debe, en gran medida, a la dificultad que se presenta para identificar el momento en el que inicia, así como su duración y severidad. En términos generales, es posible identificar una sequía por sus efectos en diversos aspectos aunque no se ha identificado una variable física que permita determinar efectivamente la severidad de la misma (Vicente-Serrano, Beguería, & López-Moreno, 2010).

La sequía se diferencia de otros peligros naturales (por ejemplo, inundaciones, ciclones tropicales y terremotos) en varias formas; en primer lugar, dado que los efectos de la ausencia de agua a menudo se acumulan de manera paulatina en un rango de tiempo considerable y pueden persistir durante años después de la finalización del evento, es difícil determinar el inicio y el final de la

sequía. Debido a esto, la sequía a menudo se conoce como un fenómeno progresivo (Tannehill, 1949).

Generalmente, una sequía implica una disminución significativa en la presencia de agua debido a precipitaciones por debajo de los patrones normales; sin embargo, aún esta definición puede verse afectada cuando se intenta comparar sequías en diferentes regiones (Meulenert, 2006). A continuación, se presentan algunas de las principales definiciones que se han acuñado para el término “sequía”, así como clasificaciones que se han propuesto para la misma y los índices que se han empleado para determinar grados de severidad.

#### **2.2.6.1. Sequía meteorológica**

Se define como la falta de precipitación sobre una región determinada en un período dado. En general, la precipitación ha sido empleada en análisis meteorológicos de sequías incluyendo análisis de déficits de precipitación respecto a valores medios y estudios de duración e intensidad relacionados con escasez acumulada de precipitación (Mishra & Singh, 2010).

#### **2.2.6.2. Sequía hidrológica**

Se encuentra ligada a periodos con recurso hídrico, tanto superficial como subterráneo, que no cumple con las condiciones para abastecer usos determinados dentro de un sistema específico. En general, para su análisis se utilizan series históricas de caudales. A partir de regresiones, que relacionaban sequías en las corrientes con propiedades de las cuencas, se ha encontrado que la geología es uno de los principales factores que influyen en las sequías hidrológicas (Mishra & Singh, 2010).

### **2.2.6.3. Sequía agrícola**

En general, se refiere a un periodo con bajas en la humedad del suelo y la subsecuente falla de cultivos sin ninguna relación con los recursos hídricos superficiales. La disminución en la humedad del suelo puede depender de varios factores, que también pueden influir en las sequías meteorológicas e hidrológicas, junto con diferencias entre la evapotranspiración real y potencial. Así mismo, la demanda de agua de las plantas depende de sus características biológicas, etapa dentro de su crecimiento, las condiciones prevalecientes del clima y de las propiedades físicas y biológicas del suelo. Para el estudio de las sequías agrícolas, se han desarrollado varios índices basados en combinaciones de parámetros como precipitación, temperatura y humedad del suelo (Mishra & Singh, 2010).

### **2.2.6.4. Sequía socioeconómica**

Generalmente, hace referencia a la incapacidad de los sistemas de suministro de agua para cumplir con las demandas que se presentan. En este caso, se considera que el agua es un bien económico y que la sequía se presenta cuando la demanda del mismo excede al suministro. Lo anterior, ocurre como consecuencia de déficits del recurso causados por condiciones climáticas (Mishra & Singh, 2010).

### **2.2.7. Curva de duración de caudales**

La CDC es una herramienta utilizada para indicar la distribución de la ocurrencia de niveles de caudales a lo largo del tiempo. Para su elaboración se ordenan los valores de caudales registrados de mayor a menor y se asigna a cada valor de caudal la probabilidad de excedencia (función de probabilidad empírica Weibull). Luego, se grafican los datos de caudal en el eje de las ordenadas y los respectivos valores de probabilidad en el eje de las abscisas (Gallego & Carvajal, 2017).

### **2.2.8. Oferta Hídrica**

Representa el volumen de agua que recorre la superficie y compone los sistemas de drenaje superficial. Esta variable se analiza para unidades temporales anuales y mensuales en condiciones hidrológicas para una temporada promedio, húmeda y año típico seco, mediante el uso de las series sintéticas de caudales generadas a partir del modelo lluvia-escorrentía (Suárez, 2014).

La estimación de la oferta distingue dos tipos de cuencas hidrográficas: intervenidas y poco intervenidas, en función de si el régimen de caudales ha sido significativamente alterado o no por la acción antrópica (IDEAM, 2013). Para el presente estudio se contempla los siguientes conceptos relacionados con la oferta hídrica:

#### **2.2.8.1. Oferta hídrica total superficial (OHTS)**

Volumen total de agua que pasa sobre la superficie del terreno y se almacena en los cauces de los ríos y demás cuerpos de agua lénticos. Se representa por el caudal total de escorrentía (IDEAM, 2013)

#### **2.2.8.2. Oferta hídrica disponible (OHTD)**

Volumen promedio de agua que se obtiene a partir de la sustracción del volumen de agua necesario para el funcionamiento de los ecosistemas, a la oferta total superficial (OHTS). Se representa por el caudal disponible (IDEAM, 2013).

### **2.2.8.3. Oferta hídrica regional disponible (OHRD)**

Volumen medio de agua que se obtiene a partir de la adición de los volúmenes de agua utilizados para los distintos usos consuntivos y el aporte de los caudales trasvasados desde cuencas, a la oferta hídrica disponible (OHTD). Es la oferta utilizada para el cálculo del índice de uso de agua (IDEAM, 2013).

### **2.2.9. Demanda hídrica**

En teoría, el término demanda de agua coincide con el consumo de agua. Sin embargo, en la práctica, la demanda a menudo se monitorea en los puntos de suministro donde las mediciones incluyen fugas, así como las cantidades utilizadas para rellenar los tanques de equilibrado que pueden existir en el sistema. Para evitar conclusiones falsas, siempre se debe hacer una distinción clara entre las mediciones en varios puntos del sistema (Trifunovic, 2006). Para poder planificar en forma adecuada su aprovechamiento, es necesario conocer la demanda actual y proyectada de uso del agua, en forma tal que los usos o concesiones no superen las disponibilidades, para evitar el agotamiento del recurso (J. González et al., 2018). En este estudio se contempla los siguientes conceptos relacionados con la demanda hídrica:

### **2.2.10. Categorías de consumo de agua consideradas en el estudio**

#### **2.2.10.1. Uso del agua por diversos sectores**

El consumo de agua se divide inicialmente en componentes domésticos y no domésticos. La mayor parte del consumo no doméstico se relaciona con el agua utilizada para la agricultura, ocasionalmente suministrada desde sistemas integrales de suministro de agua, para la industria y otros usos comerciales como tiendas, oficinas, escuelas, hospitales, etc. (Trifunovic, 2006).

### **2.2.10.2. Uso doméstico**

El uso doméstico del agua incluye usos interiores y exteriores en las residencias. Los usos comunes del agua en interiores son beber, preparar alimentos, lavar la ropa y los platos, bañarse y limpiar los inodoros. Los usos comunes al aire libre son regar el césped y los jardines o mantener piscinas, estanques u otras características del paisaje en un entorno doméstico (Dieter et al., 2015). Esto implica que los requisitos con respecto a la adecuación del agua se aplican a todos estos usos y no solo en relación con el consumo de agua (Bartram & Howard, 2003).

### **2.2.10.3. Uso agrícola**

La actividad agrícola domina la mayor parte del uso global del agua. La proporción del uso del agua en el sector agrícola aumentó considerablemente desde la década de 1940 y para el año 2000 se estimaba en un 70% del uso total mundial de agua. Esta proporción varía según la región, y las estimaciones del uso del agua en la agricultura oscilan entre el 40% en los países que importan alimentos y tienen una economía desarrollada a más del 95% en los países donde la agricultura es la actividad económica principal (Naciones Unidas, 2006).

La mayor parte de la producción agrícola mundial se alimenta de la lluvia. Las tierras irrigadas representan actualmente solo el 20 por ciento de las tierras agrícolas del mundo, pero se han expandido en un 117 por ciento desde 1961 (FAO, 2011).

El uso del agua de riego depende de los requisitos de agua del cultivo y del agua disponible para los cultivos (precipitación efectiva, humedad del suelo, etc.). La producción de cultivos es, con mucho, el sector de mayor consumo de agua dentro de la agricultura, donde el arroz, el trigo, otros cereales, raíces y tubérculos, legumbres y frutas y hortalizas constituyen los principales cultivos irrigados para el suministro mundial de alimentos (Wheeler, Adam, Bark, & Connor, 2015).

#### **2.2.10.4. Uso en ganadería**

El ganado se puede dividir en tres grupos: ganado de engorde, ganado de rango y ganado lechero (Parker, 2003). Dentro de estos grupos, una variedad de factores puede afectar el consumo de agua, incluidas las especies o razas, el tipo de dieta, el consumo de alimento, la tasa y la composición de la ganancia, el embarazo, la lactancia, la actividad y las condiciones ambientales. Winchester & Morris (1956) publicaron una de las primeras referencias de ingesta diaria de agua por parte de ganado lechero y ganado de carne. Aunque a menudo se hace referencia a los valores de ingesta de agua presentados en esta publicación, hay muchas cosas que han cambiado para alterar la ingesta de agua en el ganado hoy en día, especialmente las características de la raza, el manejo de la alimentación y los ingredientes dietéticos (Parker, 2003).

#### **2.2.11. Escasez de Agua**

La escasez de agua, que puede entenderse en términos generales como la falta de acceso a cantidades adecuadas de agua para uso humano y ambiental, se reconoce cada vez más en muchos países como una preocupación seria y creciente (White, 2018). Dos de las funciones más fundamentales del agua, su papel como requisito previo para la vida, por un lado, y su uso como un recurso o factor económico por el otro, están cada vez más en conflicto. En muchas áreas, la extracción de más agua dulce para la agricultura, la industria o las ciudades ahora pone en riesgo la salud de los ecosistemas acuáticos y la vida que soportan esos ecosistemas (Postel, 2000).

La escasez de agua afecta a todos los sectores sociales y económicos y amenaza la sostenibilidad de la base de recursos naturales. Abordar la escasez de agua requiere un enfoque intersectorial y multidisciplinario para administrar los recursos hídricos a fin de maximizar el bienestar económico y social de manera equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales. Esta integración debe tener en cuenta el desarrollo, la oferta, el uso y la demanda, y hacer hincapié en las personas, sus medios de vida y los

ecosistemas que las sustentan. Por el lado de la demanda, la mejora de la productividad del agua en todos los sectores es fundamental para el éxito de los programas de alivio de la escasez de agua (Naciones Unidas, 2007).

#### **2.2.12. Estrés Hídrico**

El estrés hídrico es producido durante un período prolongado de tiempo, en el que la presencia de agua se ve considerablemente disminuida, llegando a niveles que se encuentran por debajo de condiciones estadísticamente necesarias para las distintas regiones, esta ocurrencia es debida a la ausencia de lluvias; situación que genera un desbalance hídrico que afecta a todos los sistemas que del recurso dependen, uno de los más importantes es el sistema de producción agrícola, por ello, el estrés hídrico se ha convertido un factor relevante al ser uno de las principales limitantes del desarrollo de especies vegetales (Straschnoy, Di bella, Jaimes, Oricchio, & Rebella, 2007).

## **2.3. MARCO LEGAL**

### **2.3.1. Constitución de la República del Ecuador**

La Constitución se refiere a la gestión de riesgos en el marco de dos sistemas:

- i. Como componente del Sistema Nacional de Inclusión y Equidad Social
- ii. Como función del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos y de su ente rector

#### **Artículo No. 340:**

Establece la existencia de un “Sistema Nacional de Inclusión y Equidad Social como el conjunto articulado y coordinado de sistemas, instituciones, políticas, normas, programas y servicios que aseguran el ejercicio, garantía y exigibilidad de los derechos reconocidos en la Constitución y el cumplimiento de los objetivos del régimen de desarrollo

#### **Artículo No. 389:**

El Estado protegerá a las personas, las colectividades y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres de origen natural o antrópico mediante la prevención ante el riesgo, la mitigación de desastres, la recuperación y mejoramiento de las condiciones sociales, económicas y ambientales, con el objetivo de minimizar la condición de vulnerabilidad.

#### **Artículo No. 390:**

Los riesgos se gestionarán bajo el principio de descentralización subsidiaria, que implicará la responsabilidad directa de las instituciones dentro de su ámbito geográfico. Cuando sus capacidades para la gestión del riesgo sean insuficientes, las instancias de mayor ámbito territorial y mayor capacidad técnica y financiera brindarán el apoyo necesario con respeto a su autoridad en el territorio y sin relevarlos de su responsabilidad.

### **2.3.2. Ley de Seguridad Pública y del Estado**

#### **Artículo No. 11:**

De los órganos ejecutores.- Los órganos ejecutores del Sistema de Seguridad Pública y del Estado estarán a cargo de las acciones de defensa, orden público, prevención y gestión de riesgos, conforme lo siguiente:

De la gestión de riesgos.-La prevención y las medidas para contrarrestar, reducir y mitigar los riesgos de origen natural y antrópico o para reducir la vulnerabilidad, corresponden a las entidades públicas y privadas, nacionales, regionales y locales. La rectoría la ejercerá el Estado a través de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos.

### **2.3.3. El Reglamento a la Ley de Seguridad Pública y del Estado**

Este reglamento se refiere a la Gestión de Riesgos en tres artículos:

- i. Artículo 3: que está contemplado en el Título II: Del Sistema de Seguridad Pública y del Estado, Capítulo I: De los Órganos Ejecutores.
- ii. En el artículo 18: que lo describe en el Título III: del Sistema Descentralizado de Gestión de Riesgos: Capítulo I: del Sistema, su rectoría, fines y objetivos específicos.
- iii. En el artículo 20: que lo define en el Título III: de los Organismos del Sistema.

#### **Artículo No. 3:**

**Del órgano ejecutor de Gestión de Riesgos.-** La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos es el órgano rector y ejecutor del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos.

#### **Artículo No. 18:**

**Rectoría del Sistema.-** El Estado ejerce la rectoría del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión de Riesgos a través de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo

#### **Artículo No. 20:**

**De la Organización.-** La Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, como órgano rector, organizará el Sistema Descentralizado de Gestión de Riesgos, a través de las herramientas reglamentarias o instructivas que se requieran.

#### **Artículo No. 140:**

**Ejercicio de la competencia de gestión de riesgos.-** La gestión de riesgos que incluye las acciones de prevención, reacción, mitigación, reconstrucción y transferencia, para enfrentar todas las amenazas de origen natural o antrópico que afecten al cantón se gestionarán de manera concurrente y de forma articulada con las políticas y los planes emitidos por el organismo nacional responsable, de acuerdo con la Constitución y la ley.

#### **2.3.4. El Código Orgánico de Planificación y Finanzas Públicas (COPLAFIP).**

Está contemplada en la Sección Cuarta: de los Instrumentos Complementarios del Sistema, Parágrafo 1: de la Inversión Pública y sus Instrumentos, en el Artículo No. 64:

#### **Artículo No. 64:**

Preeminencia de la producción nacional e incorporación de enfoques ambientales y de gestión de riesgo.- En el diseño e implementación de los programas y proyectos de inversión pública, se promoverá la incorporación de acciones favorables al ecosistema, mitigación, adaptación al cambio climático y a la gestión de vulnerabilidades y riesgos antrópicos y naturales

#### **2.3.5. Constitución de la República del Ecuador: Biodiversidad y Recursos Naturales.**

La Constitución se refiere en el Capítulo Segundo Biodiversidad y Recursos Naturales, Sección Sexta: Agua

#### **Artículo No. 411.**

El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua

#### **Artículo No. 412.**

La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

### **2.3.6. La Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua.**

CAPÍTULO III de los derechos de la naturaleza

#### **Artículo 64.- Conservación del agua.**

La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida. En la conservación del agua, la naturaleza tiene derecho a:

- a) La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares;
- b) El mantenimiento del caudal ecológico como garantía de preservación de los ecosistemas y la biodiversidad;
- c) La preservación de la dinámica natural del ciclo integral del agua o ciclo hidrológico;
- d) La protección de las cuencas hidrográficas y los ecosistemas de toda contaminación; y,

e) La restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos.

**Artículo. 65.- Gestión integrada del agua.**

Los recursos hídricos serán gestionados de forma integrada e integral, con enfoque ecosistémico que garantice la biodiversidad, la sustentabilidad y su preservación conforme con lo que establezca el Reglamento de esta Ley.

**Artículo 66.- Restauración y recuperación del agua.**

La restauración del agua será independiente de la obligación del Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos afectados por la contaminación de las aguas o que dependan de los ecosistemas alterados. La indemnización económica deberá ser

**Artículo 86.- Agua y su prelación.**

De conformidad con la disposición constitucional, el orden de prelación entre los diferentes destinos o funciones del agua es:

- a) Consumo humano;
- b) Riego que garantice la soberanía alimentaria;
- c) Caudal ecológico; y,
- d) Actividades productivas.

El agua para riego que garantice la soberanía alimentaria comprende el abrevadero de animales, acuicultura y otras actividades de la producción agropecuaria alimentaria doméstica; de conformidad con el Reglamento de esta Ley.

## **CAPÍTULO III**

### **3.1. MATERIALES Y MÉTODOS**

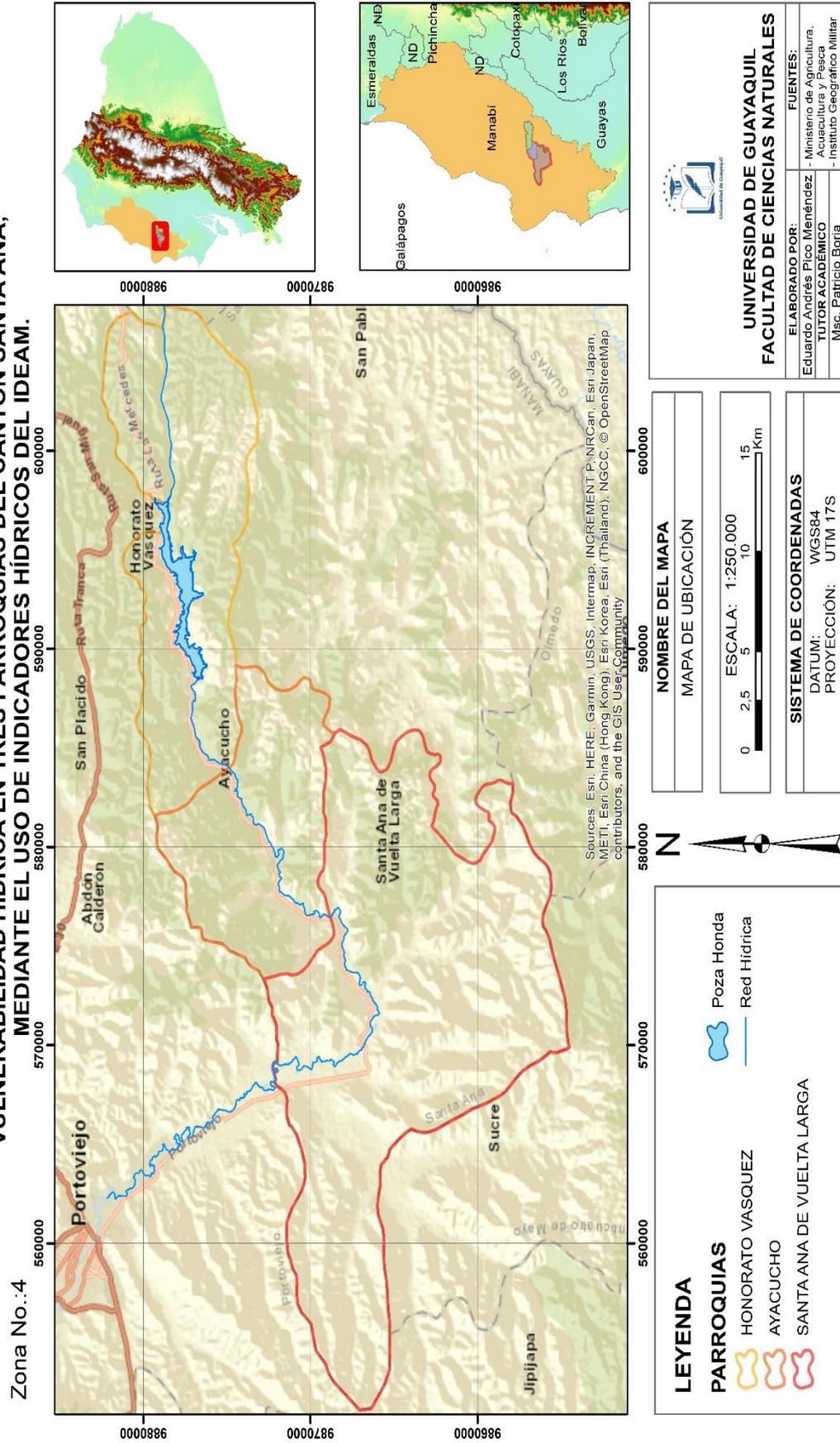
#### **3.1.1. Área de estudio**

El área de estudio está ubicada en el cantón Santa Ana, provincia de Manabí (1° 12' de latitud sur y 80° 22' de longitud oeste; altitud 50 msnm), limita al norte con el cantón Portoviejo; al sur con los cantones Olmedo y 24 de Mayo; al este con el cantón Pichincha y al oeste con los cantones 24 de Mayo, Jipijapa y Portoviejo (figura 1). El cantón Santa Ana está conformado por 5 parroquias, Santa Ana de Vuelta Larga, Ayacucho, Honorato Vázquez, La Unión y San Pablo de Pueblo Nuevo (León, 2013).

El cantón Santa Ana presenta como principales actividades lucrativas la ganadería y agricultura, siendo por su cercanía a poblaciones urbanas, un importante proveedor de productos agropecuarios y de ganado vacuno. Entre los principales productos agrícolas del cantón constan: cacao, café, frejol, haba, limón, maíz, maní, pasto, plátano, tomate y yuca (Sistema Nacional de Información, 2015).

Para la elaboración del estudio, se consideró como límite las parroquias Santa Ana de vuelta Larga, Ayacucho y Honorato Vázquez, debido a que mantienen como característica en común su ubicación dentro de la cuenca del río Portoviejo y se abastecen por medio del embalse Poza Honda. Al analizar el Cantón Santa Ana, es necesario mencionar a la represa "Poza Honda", este embalse abastece a las poblaciones de Portoviejo, Manta, Santa Ana, Montecristi, Rocafuerte, Sucre y Jipijapa (Caballero, Menéndez, Guerra, & Guerrero, 2016).

**VULNERABILIDAD HÍDRICA EN TRES PARROQUIAS DEL CANTÓN SANTA ANA, MEDIANTE EL USO DE INDICADORES HÍDRICOS DEL IDEAM.**



**Figura 1** Mapa de ubicación del área de estudio.

### **3.2. METODOLOGÍA**

La metodología que se aplicó para la determinación de la vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico en el cantón Santa Ana, provincia de Manabí, fue originado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), con el principal objetivo de diagnosticar la situación real y los distintos escenarios que pueden presentarse con respecto al régimen hídrico. La metodología consiste en un sistema de indicadores hídricos, que, mediante su aplicación, responde a inquietudes relacionadas con la presencia del agua en un espacio físico determinado y las restricciones que puedan presentarse sobre la oferta y demanda, como los elementos con potencial de repercutir en la presencia y abundancia del mismo en la capa superficial de la tierra.

El Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH), se fundamenta en la relación que existe entre la presencia del hombre y su interacción con el régimen natural, por este motivo y para mayor comprensión, la presente investigación se la dividió en dos etapas. La primera, consistió en el desarrollo del indicador representativo del flujo del agua en el área de estudio y la capacidad del suelo para retener la humedad; y la segunda parte, en el análisis sobre el manejo del agua por parte de los pobladores de las tres parroquias. La metodología aplicada se describe en la figura 2.

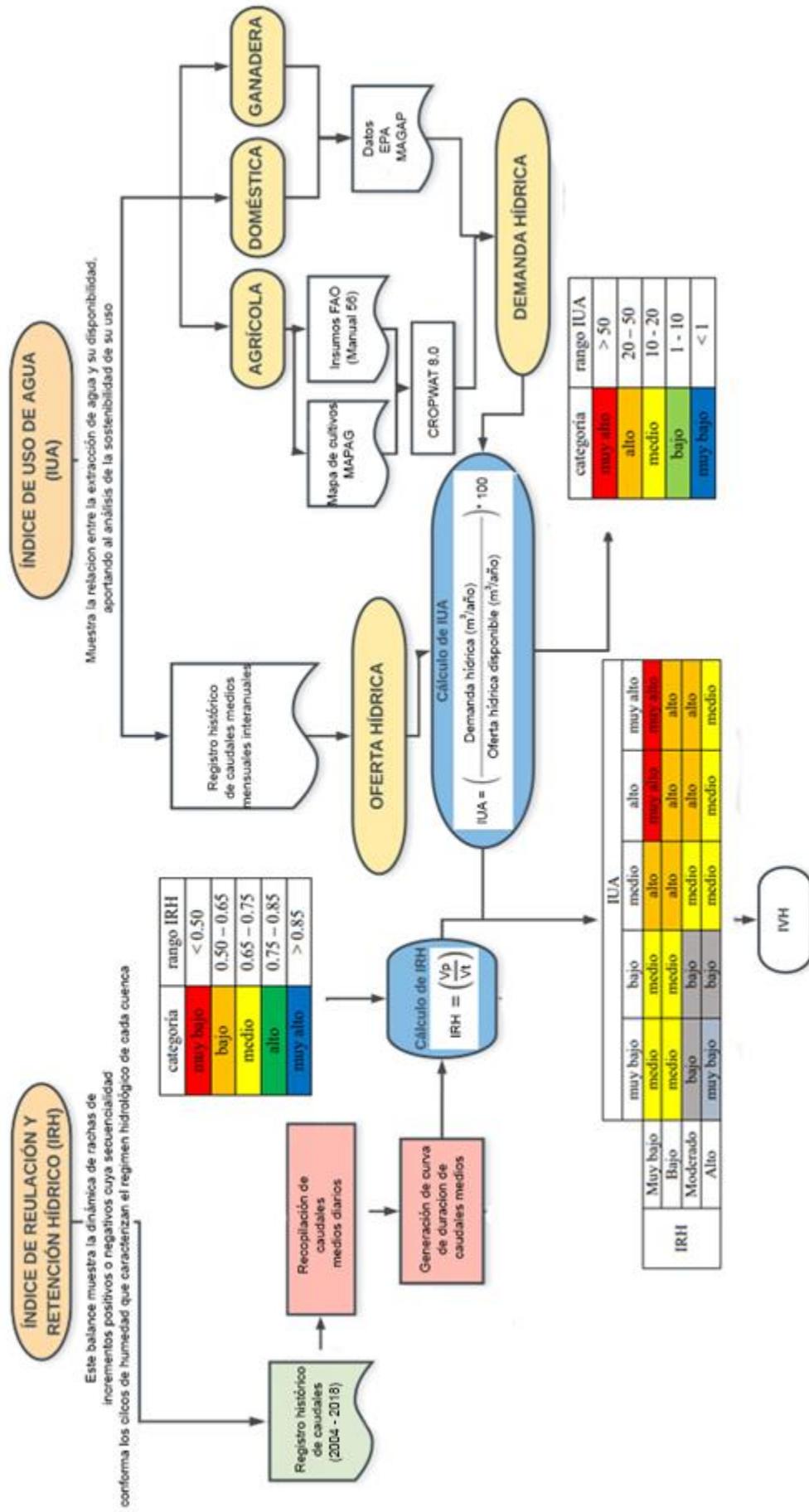


Figura 2. Flujoograma del proceso metodológico (ETAPA I: Índice de Retención y Regulación Hídrica; ETAPA II: Índice de Uso de Agua)

### **3.2.1. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)**

La distinción del régimen hidrológico dentro de una cuenca hidrográfica se puede precisar mediante el estudio de las variables físicas, bióticas y socioeconómicas bajo las cuales se rige la cuenca. Para llevar a cabo dicho análisis, es necesaria la obtención de un rango de información aceptable y una correcta disgregación espacial del área a evaluar. Uno de los componentes indispensables para caracterizar el caudal en el sistema hidrológico determinado, es el análisis de la periodicidad de los caudales, que puede realizarse bajo la metodología de la Curva de Duración de Caudales (IDEAM, 2015).

Además, el régimen hídrico puede verse afectado por otros fenómenos, entre ellos, factores meteorológicos, su interacción con la cobertura de la superficie terrestre y los procesos por los que pasa el agua en su recorrido por el suelo. Los últimos mencionados resultan en efectos sobre la capacidad de almacenar y regular el recurso hídrico. El Índice de Retención y Regulación permite determinar el régimen de caudales que puede mantener una cuenca, como consecuencia de la interacción del suelo, la vegetación y escenarios climáticos, con las particularidades morfométricas y físicas del sistema (IDEAM, 2010).

El propósito del cálculo de este Índice, es la representación de la regulación del agua en el sistema hidrológico, haciendo énfasis en las zonas que muestran mayor permanencia en cuanto a sus condiciones de escurrimiento y regulación de caudales. Estas observaciones, en conjunto con la curva de duración de caudales medios diarios evidencian la frecuencia con la que se presentan caudales altos y bajos, y las veces en las cuales el caudal ha sido superior o inferior a un valor determinado, sin considerar el periodo en el que sucede dicho acontecimiento (Bernal & Santander, 2014).

### **3.2.1.1. Depuración y procesamiento de insumos**

De acuerdo con la metodología establecida por el IDEAM (2010), el Índice de Retención y Regulación requiere como base de datos, un registro histórico (al menos 15 años) de caudales para su elaboración. En este caso, y considerando la ausencia de información hidrológica continua para caudales en el país, se consideró como base de datos, los caudales medidos diariamente por la Empresa Pública del Agua (EPA), provenientes de la represa Poza Honda en el período comprendido entre los años 2004 y 2018. Esta información consiste en un insumo de gran relevancia, ya que es precisamente desde dicho embalse del cual se abastece la población del cantón Santa Ana.

Una vez obtenido el registro histórico de caudales, fue necesario iniciar la preparación de este insumo para elaborar una curva de duración de caudales. Con este fin, se generó una hoja de cálculo a manera de lista de caudales, ordenados por la fecha en la cual fue registrado cada caudal, ubicando como encabezados el año, el mes, el día y el caudal registrado. Posteriormente, se ubicó los caudales en orden descendente y se enumeró cada uno de ellos, con un total de 5357 caudales, para determinar el número de datos con el que se cuenta. El conjunto de datos adquiridos y procesados hasta este punto, serán parte de la Curva de Duración de Caudales medios diarios.

### **3.2.1.2. Elaboración de la Curva de Duración de Caudales**

La curva de duración de caudales es una metodología estadística probabilística y gráfica que tiene la finalidad de evaluar el comportamiento de los caudales dentro de un sistema hídrico, a partir de su distribución de frecuencias acumuladas de ocurrencia de un caudal determinado (Ríos, 2010). Para generar la gráfica de la Curva de Duración de Caudales se tomaron los caudales diarios del registro histórico, de manera que en el eje de las Y (escala vertical) figura el historial de caudales medios diarios ordenados descendientemente; y en el eje

de las X (escala horizontal), la probabilidad (expresada en porcentaje) de que estos caudales igualen o excedan un valor dado.

Para el cálculo de esta variable, se relacionó una probabilidad (%) para cada celda asociada a un caudal, y se computó mediante la siguiente fórmula:

$$P(i) = \frac{i}{m} * 100$$

Donde:

$P(i)$  = vector de probabilidad expresado en porcentaje (%)

$i$  = posición del vector

$m$  = número total de caudales

### 3.2.1.3. Estimación de variables empleadas en el cálculo del Indicador

De forma consecutiva a la generación de la curva de duración de caudales, se identificó el valor del caudal equivalente al 50% de probabilidad de excedencia, que, de acuerdo a la hoja de cálculo elaborada, fue el caudal número 2679 con un flujo de 8.027 m<sup>3</sup>/s. Este paso es indispensable para la aplicación de la fórmula construida por IDEAM (2010), misma que es explicada a continuación.

$$IRH = \frac{Vp}{Vt}$$

Donde,

- $Vp$  = volumen representado por el área bajo la línea de caudal medio en la curva de duración de caudales diarios
- $Vt$  = volumen total representado bajo el área bajo la curva de duración de caudales diarios.

El cálculo del área que representa el volumen total ubicado por debajo de la curva de duración de caudales medios diarios ( $Vt$ ) se realizó a partir de la siguiente fórmula:

$$Vt = \Delta P_{exc} * \sum_{i=1}^n \frac{(Q_i + Q_{i+1})}{2}$$

$$\Delta P_{exc} = P_{exc i+1} - P_{exc i}$$

Donde,

- $Vt$  = Volumen total equivalente al área bajo la curva de duración de caudales ( $m^3$ )
- $Q_1$  = Caudal medio diario en la posición  $i$ , de una serie ordenada de caudales en orden descendente ( $m^3/s$ )
- $Q_{i+1}$  = Caudal medio diario en la posición  $i + 1$ , de una serie ordenada de caudales en orden descendente ( $m^3/s$ )
- $P_{exc i+1}$  = Probabilidad de excedencia de un caudal en la posición  $i + 1$  (%)
- $P_{exc i}$  = Probabilidad de excedencia de un caudal en la posición  $i$  (%)
- $\Delta P_{exc}$  = Diferencia entre las probabilidades de excedencia, será constante (%)
- $n$  = Número de datos de caudales con el que se cuenta (longitud de la serie)
- $m$  = Índice de Orden del caudal  $i$  en la serie ordenada

El volumen correspondiente al área representada bajo la línea del caudal medio en la curva de duración de caudales medios diarios ( $Vp$ ), se calcula con base en la fórmula presentada a continuación.

$$Vp = \sum (Vp_1 + Vp_2), \text{ donde } \begin{cases} Vp_1 = (P_{exc\ med} * Q_{medio}) & \text{Si } P_{exc} < P_{exc\ med} \\ Vp_2 = \left( \sum_{i=m_{medio}}^n \Delta P_{exc} * \frac{(Q_1 + Q_{i+1})}{2} \right) & \text{Si } P_{exc} > P_{exc\ med} \end{cases}$$

$$P_{exc\ med} = P_{exc\ m} + \frac{(P_{exc\ m+1} - P_{exc\ m}) * (Q_{medio} - Q_m)}{(Q_m - Q_{m+1})}$$

Donde,

- $Vp$  = Volumen parcial equivalente al área bajo la curva de duración de caudales ( $m^3$ )
- $Q_{medio}$  = Caudal promedio de la serie de datos de caudal ( $m^3/s$ )
- $P_{exc\ med}$  = Probabilidad de excedencia del caudal medio diario consecutivamente menor al caudal promedio (%)
- $P_{exc\ m}$  = Probabilidad de excedencia del caudal medio diario consecutivamente mayor al caudal promedio (%)
- $P_{exc\ m+1}$  = Diferencia entre probabilidades de excedencia (%)
- $\Delta P_{exc}$  = Caudal medio diario en la posición  $i$ , de la serie ordenada de caudales en orden descendente ( $m^3/s$ )
- $Q_1$  = Caudal medio diario en la posición  $i+1$ , de la serie ordenada de caudales en orden descendente ( $m^3/s$ )
- $Q_m$  = Caudal medio diario inmediatamente menor al caudal promedio de la serie ordenada de caudales ( $m^3/s$ )
- $Q_{m+1}$  = Caudal medio diario inmediatamente mayor al caudal promedio de la serie ordenada de caudales ( $m^3/s$ )
- $n$  = Número de datos de caudales con el que se cuenta (longitud de la serie)
- $m_{medio}$  = Índice de Orden del caudal  $i$  en la serie ordenada

Para concluir el proceso de obtención del Índice de Retención y Regulación Hídrica, se asignó una valoración cualitativa (tabla 1) con respecto a los rangos establecidos por el IDEAM (2010).

**Tabla 1** Categorías de valoración para los rangos del IRH

Rango	Categoría	Criterio
< 0.5	Muy bajo	Muy baja retención y regulación de humedad
0.5 – 0.65	bajo	Baja retención y regulación de humedad
0.65 – 0.75	Moderado	+
0.75 – 0.85	Alto	Alta retención y regulación de humedad
> 0.85	Muy alto	Muy alta retención y regulación de humedad

**Autor:** IDEAM (2015)

**Fuente:** Estudio Nacional del Agua - 2014

Este índice se mueve en el rango entre 0 y 1, siendo los valores más bajos los que se interpretan como de menor regulación y con mayor posibilidad de presentar escenarios de alta vulnerabilidad.

### 3.2.2. Índice de Uso de Agua (IUA)

Una interacción equilibrada entre oferta y demanda del recurso hídrico, está en función de los factores que conforman cada una de sus variables; así, la presión hídrica sobre una cuenca hidrográfica depende de sus condiciones biofísicas, sociales y culturales. Una correcta apreciación de la correlación entre oferta y demanda de agua, no solo brinda una caracterización de la influencia del estrés hídrico sobre un determinado sistema hidrográfico, sino también facilita una herramienta para la toma de decisiones y la correcta gestión del agua por parte de las entidades competentes (Bernal & Santander, 2016a).

El objetivo de la estimación de este indicador, es la categorización de la presión de la demanda socioambiental sobre la oferta hídrica presente en un área determinada. De esta manera, se diagnostica la correspondencia entre el uso del agua en relación a la disponibilidad de la misma, generando una base informativa del uso consuntivo que se le da al agua en el cantón Santa Ana, y destacando las limitaciones que puedan presentarse al momento de abastecer a la población.

El cálculo del Índice de Uso de Agua se lo realiza utilizando la siguiente fórmula:

$$IUA = \left( \frac{\text{Demanda Hídrica (m}^3/\text{año)}}{\text{Oferta Hídrica Superficial Disponible (m}^3/\text{año)}} \right) * 100$$

A mayor resultado para el índice en la tabla de valoración elaborada por el IDEAM (tabla 2), será mayor la presión de la demanda sobre la oferta hídrica y la capacidad adaptativa del sistema será menor (Romero-Ruiz et al., 2016).

**Tabla 2** Categorías de valoración para los rangos del IUA

Rango IUA	Categoría	Significado
> 100	Crítico	La presión supera las condiciones de la oferta
50.01 - 100	Muy alto	La presión de la demanda es muy alta con respecto a la oferta disponible
20,01 - 50	Alto	La presión de la demanda es alta con respecto a la oferta disponible
10,01 - 20	Moderado	La presión de la demanda es moderada con respecto a la oferta disponible
1.0 - 20	Bajo	La presión de la demanda es baja con respecto a la oferta disponible
≤ 1	Muy bajo	La presión de la demanda no es significativa con respecto a la oferta disponible

**Autor:** IDEAM (2015)

**Fuente:** Estudio Nacional del Agua - 2014

### 3.2.2.1. Oferta Hídrica

Para el desarrollo de la oferta hídrica, se consideró, del total de concepciones evaluadas por el IDEAM (2010) para la oferta hídrica, únicamente el concepto de Oferta Hídrica Total Superficial. Según Bernal y Santander (2016b) la oferta hídrica superficial disponible en una cuenca, es el volumen de agua que circula por la superficie del suelo, es decir, el volumen de agua que no se infiltra o evapora, y que se almacena en los cauces de cuerpos lénticos. Con este indicador, se busca determinar si el volumen de agua destinado para el

consumo doméstico y demás usos consuntivos identificados en el cantón, son suficientes para satisfacer las necesidades de la población y el funcionamiento estructural de los ecosistemas (IDEAM, 2010).

#### **3.2.2.1.1. Depuración y procesamiento de insumos**

El Índice de Uso de Agua se desarrolla en las mismas dimensiones espaciales y temporales que el Índice de Regulación y Retención Hídrica, por lo tanto, los caudales que fueron considerados como fuente de abastecimiento u oferta disponible para el cantón Santa Ana, fueron los proporcionados por la Empresa Pública de Agua provenientes del embalse Poza Honda, con la excepción de que, para este indicador, son necesarios los caudales medios mensuales. Es necesario sumar a la oferta hídrica, el caudal aportado por el trasvase La Esperanza, cuyas aguas contribuyen durante un período anual promedio de 6 meses.

La metodología en su desarrollo contempla el cálculo del caudal ambiental y lo define como el volumen de agua necesario en calidad, cantidad y duración, para la conservación de los ecosistemas acuáticos. En el país no existe una metodología estandarizada para el cálculo del caudal ambiental, por lo que en los distintos proyectos se utiliza el caudal ecológico, que constituye el 10% del caudal obtenido de la media interanual de una serie de caudales históricos (Flachier, 2016)

Una vez obtenida la serie de caudales aportados por el embalse, se procedió a calcular los caudales medios mensuales y multianuales, tanto para condiciones de año seco, como para año promedio. A la media obtenida de caudales multianuales, se determinó el 10% correspondiente al caudal ecológico. Por último y siguiendo las pautas establecidas por el IDEAM (2010), se sustrajo el caudal ecológico calculado, de la esorrentía total obtenida en la

serie elaborada de caudales medios mensuales multianuales en condiciones de año medio.

### **3.2.2.2. Demanda Hídrica**

Para el cantón Santa Ana, la demanda hídrica evaluada se dividió según los principales usos que se le da al recurso hídrico, tanto para cubrir las necesidades de consumo humano, como las exigencias mínimas requeridas para llevar a cabo las actividades socioeconómicas que en el cantón se desempeñan. De acuerdo con el Sistema Nacional de Información (2015), la economía en Santa Ana es promovida por los sectores agrícola y pecuario, principalmente, también se consideró el caudal necesario para el desarrollo y bienestar de la población.

Siguiendo el planteamiento metodológico del IDEAM, la demanda hídrica fue calculada a partir de la integración de los caudales extraídos para los distintos usos. La variable es expresada matemáticamente en la siguiente fórmula:

$$Dh = \sum U$$

Donde

- $Dh$  = Demanda hídrica
- $U$  = Uso sectorial, doméstico y ecosistemas

#### **3.2.2.2.1. Demanda Hídrica Doméstica**

Para el consumo doméstico, se identifican cuatro principales componentes básicos: 1) dotación de agua potable para la supervivencia, 2) agua destinada para higiene, esta incluye agua para cepillado de dientes, lavado de manos y cara; en este punto también se incluye el lavado de ropa, ya que constituye parte del aseo de cada individuo 3) agua para servicios de

saneamiento, incluye la limpieza de hogar y 4) las necesidades domésticas, como el agua destinada a la preparación de alimentos, lavado de platos y limpieza de cocina (Inocencio, 2015).

El caudal que se consideró para la demanda hídrica doméstica, es el propuesto en el Código Ecuatoriano de la Construcción, en las normas CO 10.7-601 y CO 10.7-602 para poblaciones rurales (tabla 3) y poblaciones urbanas (tabla 4), indicando la dotación mínima de agua requerida por habitante, tanto para condiciones determinadas de temperatura, densidad poblacional y distintos niveles de servicio (Secretaría Nacional del Agua, 2016).

**Tabla 3** Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio en poblaciones rurales

Nivel de servicio	Descripción	Dotación en clima frío (l/hab/día)	Dotación en clima cálido (l/hab/día)
Ia	Grifos públicos y letrinas sin arrastre de agua	20	30
Ib	Grifos públicos más unidades de agua para lavado de ropa y baño y letrinas sin arrastre de agua	50	65
IIa	Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa y letrinas con o sin arrastre de agua	60	85
IIb	Conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa y sistema de alcantarillado sanitario	75	100

**Autor:** SENAGUA, 2016

**Fuente:** Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes

**Tabla 4** Dotaciones de agua para la población urbana

<b>Población (habitantes)</b>	<b>Clima</b>	<b>Dotación media (l/hab/día)</b>
hasta 5000	Frío	120-150
	Templado	130-160
	Cálido	170-200
5000-50000	Frío	180-200
	Templado	190-220
	Cálido	200-230
Más de 50000	Frío	>200
	Templado	>220
	Cálido	>2230

**Autor:** SENAGUA, 2016

**Fuente:** Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes

### 3.2.2.2.2. Demanda hídrica Pecuaria

El consumo de agua para ganadería es un factor importante en la carga del sector pecuario sobre las predisposiciones de agotamiento del recurso, mismas que se encuentran en constante aumento. De hecho, los volúmenes de agua para cubrir los requerimientos de los procesos productivos son cada vez mayores, esto es debido a que el agua constituye entre el 60 y 70 por ciento del peso del individuo y es necesario para su desarrollo y sus funciones fisiológicas. El ganado pierde agua por procesos como respiración, evaporación, por medio de su orina y heces; y por efecto de la temperatura, causando la pérdida de apetito, peso, y en casos de gravedad, incluso la muerte, una vez que la pérdida ha pasado el 30% del contenido corporal (Steinfeld et al., 2009).

La provincia de Manabí representa aproximadamente el 22% de la producción ganadera nacional, siendo una de las principales actividades productivas y sustento de un sinnúmero de familias. Para el cantón Santa Ana, la ganadería representa el 4.14 % del total provincial y sus parroquias Honorato Vázquez, Ayacucho, y Santa Ana de Vuelta Larga, representan el 14,7; 8,8 y 30,9 por ciento, respectivamente, del total cantonal. Entre las especies encontradas de ganado vacuno dentro del área de estudio, se encontraron: toros,

vacas, terneros, terneras, toretes y vaconas (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2018). Los valores acerca de los caudales consumidos por cada individuo por día, fueron propiciados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

### **3.2.2.2.3. Demanda hídrica Agrícola**

Ante la ausencia de información local sobre las necesidades de agua que presenta cada cultivo en el cantón Santa Ana, se utilizó la herramienta CROPWAT 8.0, desarrollada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) que permite calcular los requerimientos de los cultivos, tomando como base datos climáticos, geológicos y referentes a cada cultivo. Cropwat 8.0 presenta cuatro módulos (Clima, precipitación, suelo, cultivo), y está basado en la publicación No. 56 de la serie de Riego y Drenaje de la FAO “Crop Evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements”, realizada por (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998)

#### **3.2.2.2.3.1. Depuración y procesamiento de insumos**

El programa CROPWAT está constituido por 8 módulos, 5 de ellos son módulos de entrada (clima, precipitación, cultivo, suelo y patrón de cultivo), los 3 restantes son módulos de cálculo (Requerimiento de agua del cultivo, programación y esquema de cálculo de abastecimiento del sistema)

#### **MÓDULO CLIMA / ETo**

Los insumos utilizados para la elaboración del módulo fueron obtenidos del INAMHI, medidos en la estación LA TEODOMIRA, ubicada en el cantón Santa Ana. Los parámetros requeridos por el programa en el módulo de clima para el cálculo de la evapotranspiración de referencia (ETo) fueron: temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), humedad (%), viento (km/día), insolación (horas). La fórmula utilizada por el programa fue la desarrollada por Penman-

Monteith, y modificada por FAO para proveer valores más cercanos a la realidad con respecto al uso del agua por parte de los cultivos (Allen et al., 1998).

La fórmula FAO Penman-Monteith es expresada de la siguiente manera:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34u_2)}$$

Donde,

- $ET_o$  = Evapotranspiración de referencia (mm/día)
- $R_n$  = Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/m<sup>2</sup>/día)
- $R_a$  = Radiación extraterrestre (mm/día)
- $G$  = Flujo de calor de suelo (MJ/m<sup>2</sup>/día)
- $T$  = Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
- $u_2$  = Velocidad del viento a 2 m de altura (m/s)
- $e_s$  = Presión de vapor de saturación (kPa)
- $e_a$  = Presión real de vapor (kPa)
- $e_s - e_a$  = Déficit de presión de vapor (kPa)
- $\Delta$  = Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C)
- $\gamma$  = constante psicométrica (kPa/°C)

## MÓDULO PRECIPITACIÓN

Para determinar la precipitación efectiva, se utilizó como insumos, datos obtenidos de la estación meteorológica La TEODOMIRA, proporcionados por el INAMHI. El programa utiliza la fórmula propuesta por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA S.C), cuyas ecuaciones son las siguientes:

$$Pe = \frac{P}{125} (125 - 0.2P) \quad \text{Si la } P \leq 250\text{mm}$$

$$Pe = (125 + 0.1P) \quad \text{Si la } P > 250\text{mm}$$

Donde;

- $Pe$  = Precipitación efectiva (mm)
- $P$  = Precipitación media mensual (mm)

## **MÓDULO CULTIVO**

El módulo de cultivos requiere información pertinente a cada cultivo, entre la información que el programa necesita para el cálculo de la demanda hídrica de cada cultivo, está el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), etapas de desarrollo del cultivo (días), profundidad radicular (m), agotamiento crítico ( $p$ ), rendimiento productivo ( $K_y$ ) y altura (m). Este conjunto de datos fue tomado de las especificaciones técnicas de la FAO. Para el caso de la profundidad radicular, se hizo una modificación con base en el libro “HABLEMOS DE RIEGO” publicado por Vásquez, Vásquez, Vásquez, & Cañamero (2017), en el que indica que la mayor parte agua absorbida por las raíces de una planta corresponde al 40% de la profundidad radicular total.

Los insumos referentes al tipo de cultivo, como la extensión y periodicidad de cada uno de ellos, fue obtenida mediante shapefiles elaborados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) en conjunto con la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA); y sirvió para establecer la relación espacial de los resultados obtenidos para los distintos cultivos, con respecto a la totalidad de la extensión del área de estudio.

## **MÓDULO SUELO**

Los parámetros necesarios para el módulo son: Humedad de suelo disponible total (diferencia entre Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente, medido en mm/metro), tasa máxima de infiltración de la

precipitación (mm/día), Profundidad radicular máxima (cm), Agotamiento inicial de humedad de suelo (expresado como porcentaje de Agua Disponible Total), y Humedad de suelo inicialmente disponible (mm/metro).

Para esta sección del programa, fue necesario realizar visitas al campo con la finalidad de determinar cuántos puntos de muestreo eran necesarios para la obtención de datos relevantes y significativos. La metodología de muestreo consistió en la visita al sitio y la ejecución de tres sondeos exploratorios de dos metros de profundidad, con un equipo de perforación dinámica. La ubicación de los puntos de muestreo se especifica en el anexo 5.

La metodología utilizada para la realización de la investigación fue la normalizada como ASTM D 1586, conocida como Ensayo de Penetración Estándar. El ensayo consiste en contar el número de golpes necesarios para hacer penetrar un elemento normalizado (cuchara partida) a una distancia de 0.3 m. en el suelo. Teniendo la textura del suelo, se determinó la capacidad de campo, punto de marchitez, densidad aparente y tasa de infiltración con tablas elaboradas por Cadena (2016), como se muestra en la tabla 5.

**Tabla 5** Valores promedios de las propiedades físicas de los suelos según la textura

<b>Textura</b>	<b>velocidad de infiltración (Mm/h)</b>	<b>densidad aparente</b>	<b>capacidad de campo (%)</b>	<b>punto de marchitez (%)</b>	<b>humedad peso seco (%)</b>
Arenoso	50 (25 o más)	1.65 (1.55-1.80)	9 (6-14)	4 (2-6)	5 (4-6)
Franco Arenoso	25 (13-40)	1.50 (1.40-1.60)	14 (10-18)	6(4-8)	8 (6-10)
Franco	13 (7-20)	1.40 (1,35-1,50)	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)
Franco Arcilloso	8 (2-15)	1,35 (1,30-1,40)	27 (23-31)	13 (11-15)	14 (12-16)
Arcillo Limoso	2,5 (0,2-5)	1,30 (1,26-1,35)	31 (27-35)	15 (13-17)	16 (14-18)
Arcilloso	0,5 (0,1-1)	1,25 (1,20-1,30)	35 (31-39)	17 (15-19)	18 (16-20)

**Autor:** Cadena, V. (2016)  
**Fuente:** Hablemos de riego

### 3.2.3. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH)

El índice de Vulnerabilidad se refleja en la fragilidad de un sistema hídrico para suplir y abastecer a una población ante eventos climáticos e hidrológicos adversos como períodos prolongados de estiaje; esto implica una relación de dependencia entre el grado de vulnerabilidad y escenarios sociales, culturales, económicos, meteorológicos, físicos y biológicos (IDEAM, 2010).

Para la determinación de la vulnerabilidad de las parroquias del cantón Santa Ana, se aplicó la matriz de relación (IVH) descrita en la tabla 6. Cuanto mayor es la calificación del indicador, mayor es la fragilidad del sistema para mantener la oferta del agua, principalmente ante periodos largos de estiaje

**Tabla 6.** Matriz de relación para el Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico

IUA \ IRH	Alta	Moderado	Baja	Muy baja
Muy bajo	Muy baja	Baja	Media	Media
Bajo	Baja	Baja	Media	Media
Moderado	Media	Media	Alta	Alta
Alto	Media	Alta	Alta	Muy alta
Muy alto	Media	Alta	Alta	Muy alta
Crítico	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta

**Fuente:** IDEAM (2015)

**Fuente:** Estudio Nacional del Agua - 2014

## CAPÍTULO IV

### 4.1. RESULTADOS

#### 4.1.1. Índice de Retención y Regulación Hídrica (IRH)

En conformidad con el planteamiento metodológico expuesto, se obtuvo un registro histórico de 15 años, con un total de 5357 entradas de caudales medios diarios pertenecientes al embalse Poza Honda, representados en la Curva de Duración de Caudales (figura 3), en la cual se identificó como Q50 (caudal al 50% de probabilidad de excedencia) el caudal correspondiente a 8,027 m<sup>3</sup>/s. El volumen total que representa el área bajo la curva de duración de caudales fue de 978,017627 m<sup>3</sup>; mientras que el volumen parcial, representado por el área por debajo del Q50 fue de 236,257 m<sup>3</sup>. La relación entre ambos volúmenes, resultó en un valor de 0,24156749, que con base en la categoría de valoración para los rangos del Índice de Retención y Regulación Hídrica (tabla 1), denota la baja capacidad de retener humedad en el cuerpo hídrico abastecedor del cantón.

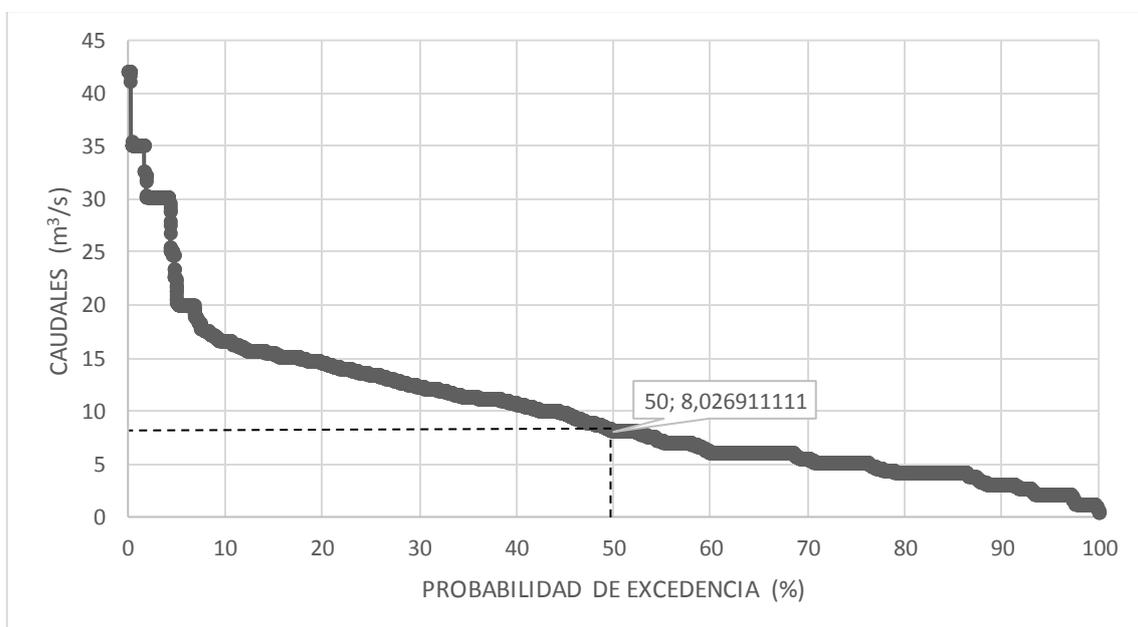


Figura 1 Curva de Duración de Caudales.

## **4.1.2. Índice de Uso de Agua (IUA)**

### **4.1.2.1. Oferta Hídrica**

En la tabla 7 se muestra la serie histórica de caudales mensuales comprendidos entre los años 2004 – 2018, de los cuales se identificó caudales medios anuales con un valor mínimo de 7,28 m<sup>3</sup>/s, y máximo de 13,70 m<sup>3</sup>/s. De estos caudales se obtuvo una media interanual de 9,71 m<sup>3</sup>/s, la misma que sirvió como insumo para el cálculo del caudal ecológico, cuyo resultado fue 0,97 m<sup>3</sup>/s. Con los valores anteriores se obtuvo una oferta hídrica promedio de 8,74 m<sup>3</sup>/s, la cual se expresa en 275,62 millones de metros cúbicos/año

**Tabla 7 Oferta Hídrica Anual Disponible**

<b>SERIE DE CAUDALES MENSUALES MULTIANUALES (m<sup>3</sup>/s)</b>													
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
2004	6,58	5,95	16,55	11,79	5,23	6,59	6,28	6,26	5,57	7,81	10,19	8,09	8,07
2005	8,33	12,75	11,80	17,18	4,50	4,08	4,34	7,36	5,75	9,57	12,50	10,94	9,09
2006	9,54	12,27	4,39	7,23	4,98	7,94	5,81	5,88	9,50	10,22	10,79	13,28	8,49
2007	13,25	4,83	4,59	4,85	8,70	8,42	9,05	11,29	11,46	14,23	13,27	13,53	9,79
2008	9,65	26,12	8,78	7,08	2,87	5,43	5,52	8,05	8,84	11,38	13,40	13,47	10,05
2009	8,91	8,53	10,83	7,40	9,02	10,51	11,89	14,37	14,12	14,11	9,85	8,00	10,63
2010	5,52	16,80	12,64	5,39	13,25	3,01	4,67	10,76	10,98	11,79	11,00	7,06	9,41
2011	4,20	8,23	3,44	3,61	1,71	3,74	4,00	7,71	14,28	13,81	11,95	10,69	7,28
2012	4,77	14,18	20,61	8,74	13,72	2,00	1,30	3,26	6,23	11,12	11,98	10,33	9,02
2013	4,45	3,20	16,91	4,86	2,78	2,70	3,76	8,80	9,22	11,72	11,57	10,70	7,56
2014	10,19	12,90	31,81	28,68	11,64	7,03	7,91	8,76	11,78	12,05	11,22	10,48	13,70
2015	9,11	3,60	2,02	1,16	21,36	8,71	3,66	5,49	7,28	11,12	13,26	8,44	7,94
2016	5,50	12,05	11,94	17,47	4,54	5,00	10,03	11,23	14,99	15,34	16,22	13,64	11,50
2017	5,83	12,10	11,72	17,06	4,49	3,96	9,15	13,46	14,54	15,52	12,74	11,18	10,95
2018	13,61	12,18	15,00	7,76	5,90	8,94	14,68	16,05	14,78	14,83	12,76	9,83	12,19
MINIMO	4,21	3,20	2,02	1,16	1,71	2,00	1,30	3,26	5,57	7,81	9,85	7,06	7,28
MEDIO	7,95	11,05	12,20	10,02	7,65	5,87	6,80	9,25	10,62	12,31	12,18	10,64	9,71
MAXIMO	13,61	26,12	31,81	28,68	21,36	10,51	14,68	16,05	14,99	15,52	16,22	13,64	13,70
CAUDAL ECOLÓGICO	0,97												0,97
<b>OFERTA HÍDRICA</b>	6,97	10,08	11,23	9,05	6,67	4,90	5,83	8,28	9,65	11,34	11,21	9,67	8,74
<b>OFERTA AÑO MEDIO</b>	Oferta Hídrica * 365 días/año * 86400 segundos/día												275619355

#### 4.1.2.2. Demanda Hídrica

El consumo de agua para uso doméstico en la parroquia Santa Ana, mostró el valor de 1871917,1 m<sup>3</sup>/s (tabla 8), debido a que es la única zona urbana dentro del área de estudio, además de presentar una mayor densidad poblacional en comparación con las otras dos parroquias analizadas. Los caudales destinados para uso agrícola y pecuario, también presentaron valores altos para esta parroquia 158216893,1 m<sup>3</sup>/s y 200771,9 m<sup>3</sup>/s, respectivamente (tabla 8), ya que la extensión del terreno para cultivos representa el 55% del área de estudio y existe mayor variedad de cultivos; de igual modo, posee el mayor porcentaje de ganado bovino (56,67%) con respecto a las otras áreas estudiadas.

**Tabla 88** Demanda Hídrica sectorial

Parroquia	Área (Ha)	Número de habitantes	Uso	Caudal calculado (L/s)	Caudal calculado (m <sup>3</sup> /s)	Demanda Total (m <sup>3</sup> /año)
Honorato Vásquez	15415,6	5886	Agrícola	1,930073047	0,001930073	60866,78361
			Doméstico	6,8125	0,0068125	214839
			Pecuario	2,78037037	0,00278037	87681,76
<b>Consumo por parroquia</b>						<b>363387,5436</b>
Ayacucho	10587,1	7423	Agrícola	52,14772047	0,05214772	1644530,513
			Doméstico	8,591435185	0,008591435	270939,5
			Pecuario	1,258194444	0,001258194	39678,42
<b>Consumo por parroquia</b>						<b>1955148,433</b>
Santa Ana	31253,9	22298	Agrícola	5017,024768	5,017024768	158216893,1
			Doméstico	59,35810185	0,059358102	1871917,1
			Pecuario	6,366435185	0,006366435	200771,9
<b>Consumo por parroquia</b>						<b>160289582,1</b>
<b>DEMANDA TOTAL</b>						<b>162608118,1</b>

Empleando como base los resultados de las tablas 7 y 8, se obtuvo que la relación entre el agua ofertada por el embalse Poza honda, y el consumo requerido por los usuarios del cantón para las diversas actividades antes mencionadas, el Índice de Uso de Agua se ubicó en una categoría muy alta (tabla 2), evidenciando una elevada presión por parte de la demanda sobre la oferta hídrica, constituyendo la demanda el 58,99% del caudal disponible dentro del área de estudio.

#### **4.1.3. Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico (IVH)**

La tabla 6 muestra las posibles categorías para el Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico, dependiendo de los resultados obtenidos para el Índice de Uso de Agua y el Índice de Regulación y Retención Hídrica. Para el cantón Santa Ana, el IUA se encontró en una categoría “muy alta”, resaltando la fragilidad del cuerpo de agua para mantener una oferta equilibrada a la población, por otra parte, el IRH presentó una categoría “muy baja”, por ende, la capacidad del suelo para la retención de agua es muy limitada. En consecuencia, el Índice de Vulnerabilidad al Desabastecimiento Hídrico se ubica en la categoría “muy alta”, lo que refleja que el área de estudio es altamente susceptible a presentar cuadros de insuficiencia del recurso hídrico ante eventos prolongados de estiaje.

## 4.2. DISCUSIÓN

Los valores obtenidos de la fórmula del Índice de Retención y Regulación Hídrica demuestran lo que menciona Ocampo (2012), quien indica que la retención de humedad en el sistema hídrico depende de factores físicos del medio como temperatura, vegetación, pendiente y textura del suelo, mismos que influyen significativamente en la retención de humedad el cantón Santa Ana.

Con respecto al uso de agua del cantón, la demanda está sobre el 58% del agua disponible en el área. Los valores mínimos para la demanda hídrica los presentó la parroquia Honorato Vásquez, al ser la parroquia con menor desarrollo socioeconómico, tal como lo especifica González, Aragón, & Moreno (2015), quien demuestra que las poblaciones con mayor nivel de desarrollo, son aquellas que poseen un mayor consumo de agua.

La demanda hídrica por uso agrícola es la más representativa del cantón Santa Ana, con un 98% del consumo de agua en toda la zona. Esto se traduce en un alto índice de uso de agua, tal como indica Suarez (2014) en su estudio, donde determinó que los cultivos representan el 95% de la demanda hídrica, confirmando que, para zonas con grandes extensiones dedicadas al sector agrícola, el consumo de agua será superior en comparación a las demás actividades productivas, ya que esta labor requiere un suministro de riego constante.

El planteamiento metodológico propuesto por Thielen et al. (2015) se realizó con la finalidad de definir la vulnerabilidad de la cuenca del río Portoviejo ante eventos de sequía, utilizando el Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica. Este índice contempla como única variable la serie histórica de precipitaciones, y a pesar de que coincide con el resultado del presente estudio, el número de factores es menor, por lo que la metodología planteada por el IDEAM brinda un diagnóstico con menor grado de incertidumbre.

### **4.3. CONCLUSIONES**

- La Curva de Duración de Caudales medios diarios, reflejó un volumen total de 978,018 m<sup>3</sup>, y un volumen parcial de 236,26 m<sup>3</sup>, resultando en una muy baja retención de agua. Esto es debido a los factores climatológicos, orográficos y textura del suelo, que condicionan el régimen hídrico en la cuenca hidrográfica.
- La parroquia Santa Ana presentó mayor consumo del recurso hídrico, tanto para el uso doméstico (1871917,1 m<sup>3</sup>/año), agrícola (158216893,1 m<sup>3</sup>/año) y pecuario (2007719 m<sup>3</sup>/año), al constituir una zona urbana con extensión superior a las otras parroquias consideradas, mayor número de habitantes e individuos de ganado bovino.
- El Índice de Uso de Agua manifestó valores considerados como muy altos, como consecuencia de la relación existente entre la oferta disponible calculada y el caudal necesario para cubrir las necesidades domésticas y socioeconómicas de los pobladores del cantón.
- La vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico se expresó en la categoría “muy alta”, indicando que el cantón Santa Ana es propenso a verse desprovisto del recurso hídrico por mala gestión, así como por períodos de sequía prolongados.

### **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar más estudios para determinar el índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico en cuencas cercanas al área objeto del presente análisis, con la finalidad de generar una base de datos

que brinde una visión integral de la situación real de la cuenca del río Portoviejo.

- Se sugiere el uso del presente estudio para la elaboración de proyectos de optimización en sistemas de riego para disminuir el consumo de agua en zonas agrícolas.
- Debería considerarse actualizar la información meteorológica e hidrológica del cantón Santa Ana por parte del INAMHI, para facilitar la obtención de datos para futuros estudios.

## REFERENCIAS

- Adger, W. N. (2014). Social and ecological resilience: are they related? *Progress in Human Geography*, 24(3), 347–364.  
<https://doi.org/10.1191/030913200701540465>
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (1998). *FAO Irrigation and Drainage Paper No . 56 Crop Evapotranspiration ( guidelines for computing crop water requirements )* by. (January 1998).
- Arroyo, V. (2017). La paradoja de la escasez de agua en América Latina. Retrieved October 16, 2018, from América Económica website:  
<https://www.americaeconomia.com/analisis-opinion/la-paradoja-de-la-escasez-de-agua-en-america-latina>
- Ávila, P. (2008). Vulnerabilidad socioambiental, seguridad hídrica y escenarios de crisis por el agua en México *Ciencias*, Núm. 90, abril-junio, 2008, pp. 46-57 Universidad Nacional Autónoma de México. *Ciencias*, (90), 46–57.
- Bartram, J., & Howard, G. (2003). Domestic Water Quantity , Service Level and Health. *World Health Organization*, 39.  
<https://doi.org/10.1128/JB.187.23.8156>
- Bernal, F., & Santander, J. (2014). *Hoja metodológica del indicador Índice de retención y regulación hídrica. 1.1*, 16.
- Bernal, F., & Santander, J. (2016a). *Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales Índice de Uso del Agua. 1.01*, 1–16.
- Bernal, F., & Santander, J. (2016b). *Hoja Metodológica de Indicadores Ambientales Variable : Oferta Hídrica Total Superficial. 1*, 1–26.
- Caballero, I., Menéndez, C., Guerra, J., & Guerrero, M. (2016). Análisis de la calidad del agua: represa Poza Honda. *Revista de Investigaciones En Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, 1(2), 5.  
<https://doi.org/10.33936/riemat.v1i2.920>
- Cadena, V. (2016). *Hablemos de riego* (1st ed.). Quito: Congope.
- Cedeño, J., & Donoso, M. (2010). *Atlas pluviométrico del Ecuador* (Vol. 21, p. 76). Vol. 21, p. 76. Guayaquil.

- Dieter, C., Maupin, M., Caldwell, R., Harris, M., Ivahnenko, T., Lovelace, J., ... Lindsey, K. (2015). Estimated Use of Water in the United States in 2015. In *Geological Survey Circular*. <https://doi.org/10.3133/cir1441>
- Donoso, M. C. (2010). WATER INTERACTIONS WITH ENERGY, ENVIRONMENT, FOOD, AND AGRICULTURE. In *Encyclopedia of life supports systems* (Vol. 1, p. 454). Montevideo: United Nations.
- FAO. (2011). The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW) - Managing Systems at Risk. In *The Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan*. <https://doi.org/10.2307/23325659>
- Flachier, A. (2016). *Análisis de metodologías para el estudio de Caudales Ecológicos. Casos de estudio en ríos altoandinos ecuatorianos* (Pontificia Universidad Católica del Ecuador). Retrieved from [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13217/MonografiaCaudalEcologico\\_PUCE\\_ALF%287%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13217/MonografiaCaudalEcologico_PUCE_ALF%287%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Gallego, S., & Carvajal, L. F. (2017). REGIONALIZACIÓN DE CURVAS DE DURACIÓN DE CAUDALES EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA-COLOMBIA. *Universidad EIA*, 14(30 de Agosto de 20117), 21–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.24050/reia.v14i27.1158>
- Gallopín, G. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 16(3), 293–303. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004>
- González, J., Cubillos, Á., Chadid, M., Arias, M., Zúñiga, E., Joubert, F., ... Pérez, I. (2018). ELEMENTOS CONCEPTUALES Y METODOLÓGICOS TEMÁTICOS. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá.
- González, L., Aragón, A., & Moreno, R. (2015). *DETERMINAR LA VULNERABILIDAD AL DESABASTECIMIENTO HÍDRICO DEL PARAMO GUERRERO Y ESTABLECER LAS POSIBLES MEDIDAS DE ADAPTACION*. Universidad Católica de Colombia.
- Helguera, L., & Lanfranco, B. (2008). Alternativas tecnológicas para enfrentar

- situaciones de crisis forrajera. *INIA*, 27, 34. Retrieved from [https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/22224\\_crisis\\_forrajera.pdf](https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/22224_crisis_forrajera.pdf)
- Hernández, F., & Zambrano, E. (2007). INICIO, DURACIÓN Y TÉRMINO DE LA ESTACIÓN LLUVIOSA EN CINCO LOCALIDADES DE LA COSTA ECUATORIANA. *ACTA OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO*, 14(1), 10.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2010). *ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA*. Retrieved from [http://www.andi.com.co/Uploads/ENA\\_2010.compressed.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2010.compressed.pdf)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2013). METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN REGIONAL DEL AGUA (ERA). *Epam s.a. Esp*, (2), 4–30.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2015). *ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA*. Retrieved from [http://www.andi.com.co/Uploads/ENA\\_2014.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2014.pdf)
- Inocencio, A. (2015). *Determination of Basic Household Water Requirements ( Revised ) Determination of Basic Household Water Requirements*. (January 1999).
- Kelman, I. (2007). Understanding Vulnerability to Understand Disasters. *Center for International Climate and Environmental Research - Oslo*, 1–14. Retrieved from <http://host.jibc.ca/crhnet/resources/onlineBook/Kelman.pdf>
- Klein, R., & Nicholls, R. (1999). Assessment of South Sinai Coastal Vulnerability to Climate Change. *Ambio*, 28(2), 128–187. <https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-14-00018.1>
- León, M. (2013). *PLAN DE GESTIÓN DE TURISMO CULTURAL COMO PARTE DEL DESARROLLO SOCIO ECONÓMICO DEL CANTÓN SANTA ANA, PROVINCIA DE MANABÍ* (Vol. 1). Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Ministerio de Agricultura y ganadería. (2018). Cifras Agroproductivas. Retrieved February 20, 2019, from <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras->

agroproductivas

- Meulenert, Á. (2006). *Condiciones de sequía y precipitaciones en América del Sur durante el periodo 2004-2006* (Universidad de Guadalajara). Retrieved from [http://www.sapoi-sa.com/Informe de sequias.pdf](http://www.sapoi-sa.com/Informe_de_sequias.pdf)
- Mishra, A., & Singh, V. (2010). Review paper A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1–2), 202–216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
- Naciones Unidas (2006). *Water – A Shared Responsibility: The United Nations World Water Development Report 2* (Vol. 2). Retrieved from <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/Bios-Eco-Aqua-017-2.pdf>
- Naciones Unidas (2007). *Coping with water scarcity: challenge of the twenty-first century*. 29.
- Naeem, S., Thompson, L., Lawler, S., Lawton, J., & Woodfin, R. (1994). Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *NATURE*, 368, 734–737. <https://doi.org/10.1038/368734a0>
- Neira, D., Alarcón, F., Vicuña, S., Vega, R., García, M., Poma, J., ... Pabón, C. (2009). Estudio de vulnerabilidad actual a los riesgos climáticos en el sector de los recursos hídricos en las cuencas de los Ríos Paute, Jubones, Catamayo, Chone, Portoviejo y Babahoyo. *PACC*, (December), 45–66.
- Obrist, B., Mayumana, I., & Kessy, F. (2010). Livelihood, malaria and resilience: a case study in the Kilombero Valley, Tanzania. *Progress in Development Studies*, 10(4), 325–343. <https://doi.org/10.1177/146499340901000405>
- Ocampo, O. (2012). *Análisis de Vulnerabilidad de la cuenca del río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático*.
- Parker, D. (2003). Water consumption for livestock and poultry production. *West Texas A&N University*, (January 2003). <https://doi.org/10.1081/E-EWS>
- Postel, S. (2000). Entering an era of water scarcity: The challenges ahead. *Ecological Applications*, 10(4), 941–948. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010\[0941:EAEOWS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010[0941:EAEOWS]2.0.CO;2)

- Proag, V. (2014). The Concept of Vulnerability and Resilience. *Procedia Economics and Finance*, 18(December 2014), 369–376.  
[https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(14\)00952-6](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(14)00952-6)
- Ríos, L. (2010). *INCIDENCIA DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LOS CAUDALES MÍNIMOS DEL ECUADOR* (Escuela Politécnica Nacional). Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1538/1/CD-2721.pdf>
- Romero-Ruiz, M., Hernandez, N., Ocampo, O., Pacheco, C., Florián, M., Rodríguez, C., ... Medellín, C. (2016). Sistema Nacional de Indicadores de Adaptación al Cambio Climático ( SIACC ): propuesta de protocolos de indicadores incluidos en el. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, Centro y Red de Tecnología Del Clima, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza*., 57.
- Rossel, F., Mejía, R., Ontaneda, G., Pombosa, R., Roura, J., Le Goulven, P., ... Calvez, R. (1998). Régionalisation de l'influence du El Niño sur les précipitations de l'Equateur. *Bulletin de l'Institut Francais d'Études Andines*, 27(3), 643–654. Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/26431168\\_Regionalisation\\_de\\_l'influence\\_du\\_El\\_Nino\\_sur\\_les\\_precipitations\\_de\\_l'Equateur](https://www.researchgate.net/publication/26431168_Regionalisation_de_l'influence_du_El_Nino_sur_les_precipitations_de_l'Equateur)
- Salazar, M. del P. (2014). *VULNERABILIDAD SOCIAL A LA DISMINUCIÓN DEL SUMINISTRO HÍDRICO EN EL DISTRITO FEDERAL*. El Colegio de la Frontera Norte.
- Secretaría Nacional del Agua (2012). Diagnóstico de las estadísticas del agua. Retrieved May 24, 2019, from [https://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico de las Estadísticas del Agua Producto Illc 2012-2.pdf](https://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20Illa%202012-2.pdf)
- Secretaría Nacional del Agua. (2016). *Normas para estudio de sistemas de abastecimiento de agua potable y disposición de aguas residuales, para poblaciones mayores a 1000 habitantes*. (6), 420. Retrieved from [http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma\\_urbana\\_para\\_estudios\\_y\\_dise](http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_urbana_para_estudios_y_dise)

nos.pdf

Singh, V. (2000). Watershed planning and management. *Yash Publishing House*.

Sistema nacional de Información (2015). *PLAN DE DESARROLLO Y TERRITORIAL DEL CANTÓN SANTA ANA 2015-2019*. Retrieved from [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/1360001440001\\_PD y OT Santa Ana 2015-2019\\_10-04-2015\\_11-47-58.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1360001440001_PD y OT Santa Ana 2015-2019_10-04-2015_11-47-58.pdf)

Stefano, L. De, Martinez-santos, P., & Willaarts, B. (2014). *Water resources assessment in Latin America*. (March).

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & de Haan, C. (2009). *La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones*. Roma: FAO.

Straschnoy, J., Di bella, C., Jaimes, F., Oricchio, P., & Rebella, C. (2007, August). Caracterización espacial del estrés hídrico y de las heladas en la región pampeana a partir de información satelital y complementaria. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 35(2), 117–141.

Suárez, I. (2014). FORMULACIÓN PLAN DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO RÍO CHICHIMENE. In *FORMULACIÓN Y ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO RÍO CHICHIMENE* (Vol. 4, pp. 42–81). Retrieved from <http://www.cormacarena.gov.co/descargarpdf.php?libro=2075>

Tannehill, I. R. (1949). Drought, Its Causes and Effects. *Journal of the South African Forestry Association*, 29(3), 83–84. <https://doi.org/10.2307/1232917>

Thielen, D. E., Cevallos, J., Erazo, T., Zurita, I. S., Figueroa, J., Quintero, J., ... Puche, M. luz. (2015). Dinámica de los eventos climáticos extremos en la cuenca del río Portoviejo, Manabí, Ecuador. *Revista La Técnica*, 14, 80–91.

Trifunovic, N. (2006). Introduction to Urban Water Distribution. *Introduction to Urban Water Distribution*, 21–52. <https://doi.org/10.1201/9780203964699>

- Turner, B., Kasperson, R., Matson, P., McCarthy, J., Corell, R., Christensen, L., ... Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), 8074–8079. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2016). La UNAM te explica: ¿Qué es la vulnerabilidad del agua? Retrieved November 8, 2019, from Noticias UNAM website:  
[http://www.agua.unam.mx/noticias/2016/unam/not\\_unam\\_septiembre19.html](http://www.agua.unam.mx/noticias/2016/unam/not_unam_septiembre19.html)
- Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C., & Cañamero, M. (2017). *Fundamentos de Ingeniería de Riegos* (2nd ed.; U. N. A. La Molina, Ed.). Lima.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Wani, S. P., & Garg, K. K. (2009). Watershed Management Concept and Principles. *Icrisat*, (January), 1–11. <https://doi.org/10.1016/B978-84-8086-474-9.50110-X>
- Wani, S. P., Sreedevi, T. K., Reddy, T. S. V., Venkateshvarlu, B., & Prasad, C. S. (2008). Community watersheds for improved livelihoods through consortium approach in drought prone rain-fed areas. *Journal of Hydrological Research and Development*, 23(January 2008), 55–77.
- Wheeler, S. A., Adam, L., Bark, R. H., & Connor, J. D. (2015). *Agricultural water management*. 1(1), 71–77. <https://doi.org/10.4337/9781782549666.00011>
- White, C. (2018). Understanding water scarcity: Definitions and measurements. *Global Water: Issues and Insights*, 161–166.  
<https://doi.org/10.22459/gw.05.2014.28>
- Winchester, C. F., & Morris, M. J. (1956). Water Intake Rates of Cattle. *Journal of Animal Science*, 15(3), 722–740.  
<https://doi.org/10.2527/jas1956.153722x>

Yáñez, Á., & Villacís, L. (2016). El agua en América Latina. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 4(2), 46–47. Retrieved from [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2308-38592016000200001](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592016000200001)

## ANEXOS

	TEMP MIN	TEMP MAX	HUMEDAD	VIENTO	INSOLACIÓN	RAD	Eto
	°C	°C	%	Km/día	horas	MJ/m2/día	mm/día
<b>Enero</b>	20,7	35,0	81	173	9,5	23,6	5,29
<b>Febrero</b>	20,7	33,6	83	173	8,7	23,0	5,01
<b>Marzo</b>	21,1	34,1	82	173	8,7	23,2	5,13
<b>Abril</b>	20,9	33,9	82	173	8,7	22,4	4,95
<b>Mayo</b>	20,3	33,8	83	173	9,0	21,5	4,69
<b>Junio</b>	19,8	32,9	82	173	8,7	20,3	4,40
<b>Julio</b>	18,0	34,3	80	173	10,4	23,0	4,99
<b>Agosto</b>	17,8	34,1	78	173	10,4	24,3	5,27
<b>Septiembre</b>	18,6	34,5	76	173	10,3	25,2	5,57
<b>Octubre</b>	19,2	34,9	75	173	10,2	25,2	5,72
<b>Noviembre</b>	16,9	34,8	75	173	11,3	26,4	5,78
<b>Diciembre</b>	18,5	36,7	76	173	11,5	26,2	5,96

**Anexo 1** Módulo "CLIMA" para el programa CROPWAT 8.0

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
<b>Enero</b>	138.0	107.5
<b>Febrero</b>	201.7	136.6
<b>Marzo</b>	189.5	132.0
<b>Abril</b>	140.4	108.9
<b>Mayo</b>	44.2	41.1
<b>Junio</b>	15.1	14.7
<b>Julio</b>	13.5	13.2
<b>Agosto</b>	1.8	1.8
<b>Septiembre</b>	2.3	2.3
<b>Octubre</b>	3.1	3.1
<b>Noviembre</b>	1.0	1.0
<b>Diciembre</b>	34.4	32.5
<b>Total</b>	785.0	594.7

**Anexo 2** Módulo "PRECIPITACIÓN" para el programa CROPWAT 8.0

PARROQUIA		Kc			ETAPA (días)				Profundidad radicular (m)		Agotamiento crítico			Altura de cultivo (m)
SANTA ANA		Kc 1	Kc 2	Kc 3	inicial	desarrollo	media	fin temporada	inicial	desarrollo	1	2	3	
SUELO LIMOSO	Cacao	1,00	1,05	1,05	60	90	120	95	0,2	1,0	0,30	0,30	0,30	3,00
	Café	1,05	1,10	1,10	20	70	120	60	0,2	1,5	0,40	0,40	0,40	2,00
	Frejol	0,50	1,05	0,90	20	30	30	20	0,2	0,7	0,45	0,45	0,45	0,40
	Haba	0,50	1,15	1,10	90	45	40	0	0,2	0,7	0,45	0,45	0,45	0,80
	Limon	0,85	0,85	0,85	60	90	120	95	0,2	1,1	0,50	0,50	0,50	2,00
	Maíz	0,70	1,20	0,60	30	40	50	40	0,2	1,7	0,50	0,50	0,50	2,00
	Maní	0,40	1,15	0,60	25	35	45	25	0,2	1,0	0,50	0,50	0,50	0,40
	Pasto	0,40	0,95	0,85	25	25	15	10	0,2	1,5	0,55	0,55	0,55	0,10
	Plátano	1,00	1,20	1,10	120	60	180	5	0,2	0,9	0,35	0,35	0,35	4,00
	Tomate	0,60	1,15	0,80	35	40	50	30	0,2	1,5	0,40	0,40	0,40	1,20
Yuca	0,30	1,10	0,50	150	40	110	60	0,2	1,0	0,40	0,40	0,40	1,00	
AYACUCHO														
SUELO LIMOSO-ARCILLOSO	Cacao	1,00	1,05	1,05	60	90	120	95	0,2	1,0	0,30	0,30	0,30	3,00
	Café	0,90	0,95	0,95	20	70	120	60	0,2	1,5	0,40	0,40	0,40	2,00
	Limon	0,85	0,85	0,85	60	90	120	95	0,2	1,1	0,50	0,50	0,50	2,00
	Maíz	0,70	1,20	0,60	30	40	50	40	0,2	1,7	0,50	0,50	0,50	2,00
	Maní	0,40	1,15	0,60	25	35	45	25	0,2	1,0	0,50	0,50	0,50	0,40
	Naranja	0,70	0,65	0,70	60	90	120	95	0,2	1,1	0,50	0,50	0,50	4,00
	Pasto	0,40	0,95	0,85	25	25	15	10	0,2	1,5	0,55	0,55	0,55	0,30
	Yuca	0,30	1,10	0,50	150	40	110	60	0,2	1,0	0,40	0,40	0,40	1,00
HONORATO VAZQUEZ														
SUELO ARCILLOSO	Cacao	1,00	1,05	1,05	60	90	120	95	0,2	1,0	0,30	0,30	0,30	3,00
	Café	0,90	0,95	0,95	20	70	120	60	0,2	1,5	0,40	0,40	0,40	2,00
	Maíz	0,70	1,20	0,60	30	40	50	40	0,2	1,7	0,50	0,50	0,50	2,00
	Pasto	0,40	0,95	0,85	25	25	15	10	0,2	1,5	0,55	0,55	0,55	0,30

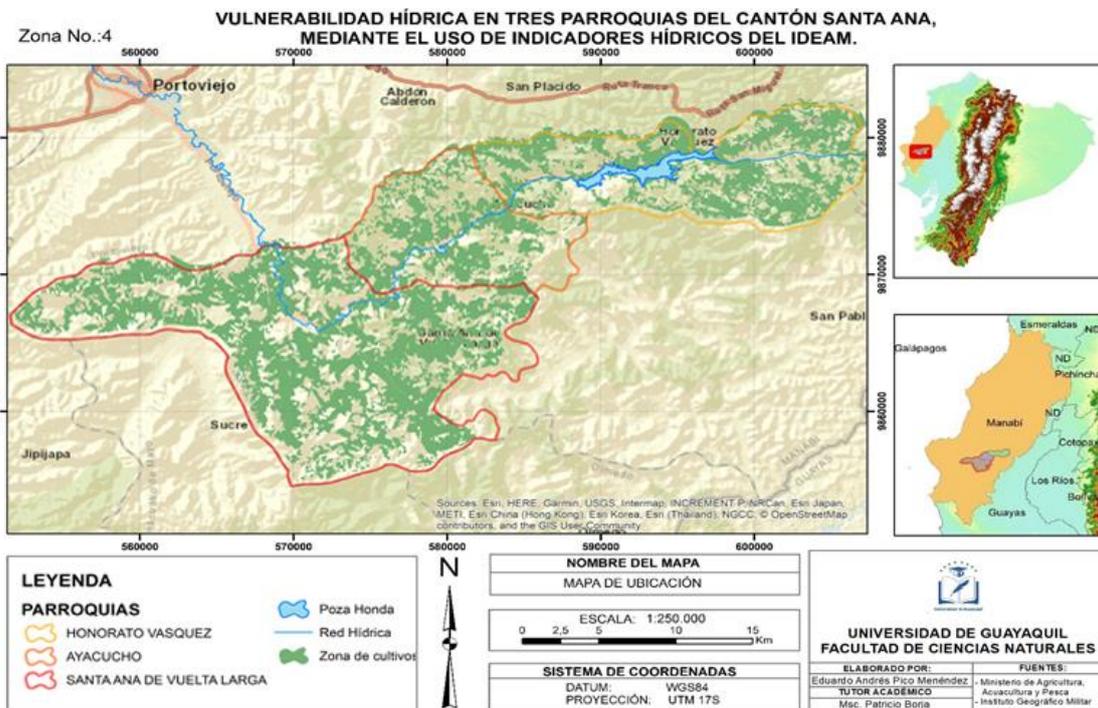
Anexo 3 Módulo "CULTIVO" para el programa CROPWAT 8.0

PARROQUIA		humedad de suelo disponible total (CC-PMP) (mm/metro)	Tasa máxima de infiltración de la precipitación (mm/día)	Profundidad radicular máxima (m)	Agotamiento inicial de humedad de suelo (%de ADT)	Humedad de suelo inicialmente disponible (mm/metro)
SANTA ANA						
A-4 SUELO LIMOSO	Cacao	242,88	285	0,4	90	24,29
	Café			0,6		
	Frejol			0,3		
	Haba			0,3		
	Limon			0,4		
	Maíz			0,7		
	Maní			0,4		
	Pasto			0,6		
	Plátano			0,4		
	Tomate			0,6		
	Yuca			0,4		
<b>AYACUCHO</b>						
SUELO LIMOSO-ARCILLOSO	Cacao	260	60	0,4	90	26
	Café			0,6		
	Limon			0,4		
	Maíz			0,7		
	Maní			0,4		
	Naranja			0,4		
	Pasto			0,6		
	Yuca			0,4		
<b>HONORATO VAZQUEZ</b>						
A-7-5 SUELO ARCILLOSO	Cacao	275	12	0,4	90	27,5
	Café			0,6		
	Maíz			0,7		
	Pasto			0,6		

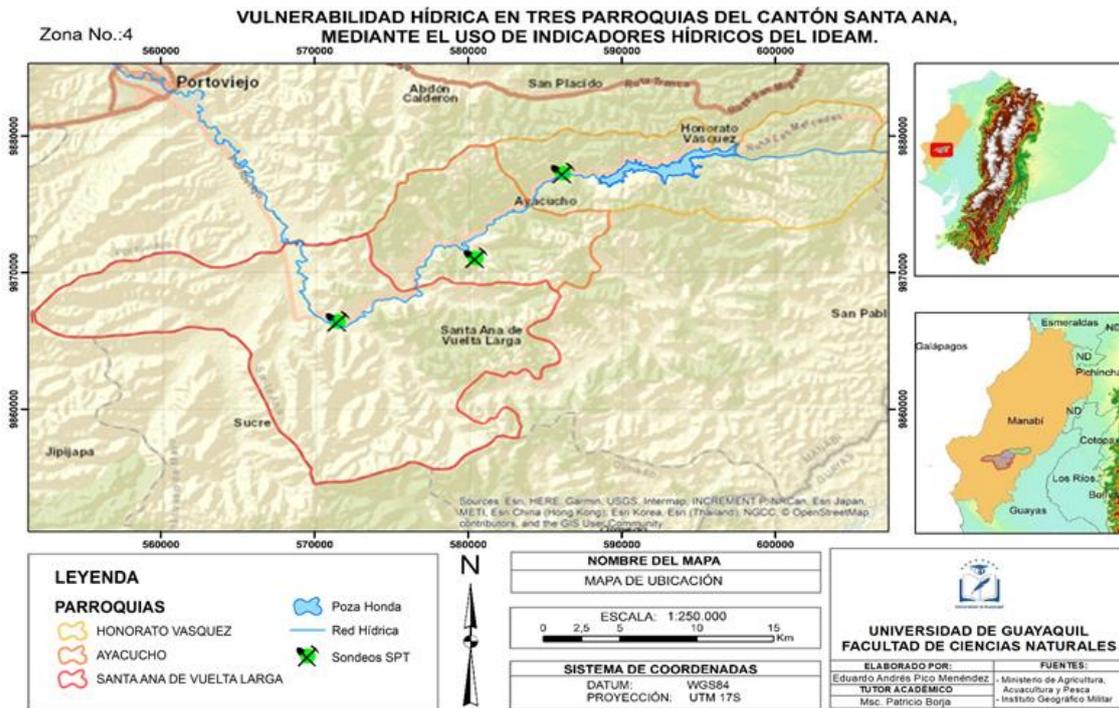
**Anexo 4** Módulo "SUELO" para el programa CROPWAT 8.0



Anexo 5 Sondeo para Estudio de Penetración Estándar



Anexo 6 Mapa de áreas cultivadas



Anexo 7 Mapa de puntos de muestreo