



POSGRADOS

MAESTRÍA EN RECURSOS HÍDRICOS CON MENCIÓN EN GESTIÓN E INGENIERÍA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO

RPC-SE-03-NO.041-2020

OPCIÓN DE TITULACIÓN:
INFORMES DE INVESTIGACIÓN

TEMA:
ANÁLISIS ESPACIAL MULTICRITERIO
SOBRE LA VULNERABILIDAD EN LAS
ÁREAS DE CAPTACIÓN DE LOS
SISTEMAS DE AGUA POTABLE DEL
CANTÓN TISALEO, PROVINCIA DE
TUNGURAHUA.

AUTOR(ES)
WILMER EDISON PILCO PILCO

DIRECTOR:
SOLEDAD VILLARROEL TORAL

QUITO – ECUADOR
2022



Autor(es):



Wilmer Edison Pilco Pilco

Ingeniero Civil

Candidato a Magíster en Recursos Hídricos con Mención en Gestión e Ingeniería de Agua Potable y Saneamiento por la Universidad Politécnica Salesiana – Sede Quito.

ing.wyll@gmail.com.

Dirigido por:



Soledad Villarroel Toral.

Ingeniera Civil.

Master en Ingeniería Sanitaria

ing.svtoral@gmail.com

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2022 © Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO– ECUADOR – SUDAMÉRICA

Wilmer Edison Pilco Pilco

Medios de comunicación tradicionales y alternativos: "no "

DEDICATORIA

El presente proyecto es fruto de un esfuerzo, el mismo que desde siempre estuvo acompañado de una superación a nivel personal, y con ello también dando por terminado una de las etapas más bonitas de la vida; se lo dedico a mis padres, hermanos, y a todos y cada uno de los que conforman mi familia, los mismos que siempre estuvieron brindándome todo su cariño y comprensión.

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios al sentir que siempre ha estado guiándome en mis decisiones, acompañándome en mis actos, por darme la oportunidad de dar un paso más de superación personal, y permitirme ser parte de la familia que tengo a mi lado.

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, por acogerme dentro de sus programas de maestrías e instruirme, la misma que me ha permitido profesionalizarme dentro de una de las áreas importantes en el colectivo social. Agradezco a la Ing. Soledad Villarroel, en calidad de tutor que siempre ha estado a disposición con su gentileza e incondicional colaboración, que son virtudes innatas de una mujer con una personalidad muy propia.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	13
Abstract.....	14
1. Introducción.....	15
2. Determinación del Problema.....	19
2.1 Importancia.....	26
2.2 Alcance.....	27
2.3 Delimitación.....	27
Delimitación geográfica	27
2.4 Explicación del problema.....	28
2.5 Hipótesis	29
2.6 Objetivos.....	29
3. Marco teórico referencial.....	30
3.1 Políticas públicas, recursos hídricos y agua potable	30
3.2 Fundamentación teórica.....	31
3.2.1 Vulnerabilidad.....	31
3.3 Tipos de vulnerabilidades a las que están sometido las ACA.....	32
3.3.1 Vulnerabilidad ambiental	33
3.3.2 Vulnerabilidad social.....	33
3.3.3 Vulnerabilidad al cambio climático	34
3.4 Indicadores	34
3.5 Sistema de información geográfica (SIG)	35

3.5.1	Sistema de información geográfica (SIG) y los recursos hídricos.....	35
3.5.2	Sistemas de información geográfica aplicada a los sistemas de agua potable.....	36
3.6	Enfoque teórico	36
3.6.1	Enfoque del Plan Seguridad del Agua.....	37
3.7	Fundamentación teórica del análisis multicriterio	38
3.7.1	El análisis Multicriterio Jerárquico	38
3.7.2	Estado del arte de estudio del problema	40
4.	Materiales y metodología.....	1
4.1	Área de estudio.....	1
4.2	Identificación, descripción y representación espacial de las áreas de captación de agua (ACA).....	4
4.2.1	Representación espacial de la ACA	8
4.2.2	Descripción, caracterización, y representación de los índices de vulnerabilidad para las ACA.....	9
4.3	Construcción del índice integrado de jerarquización de vulnerabilidad de las ACA	19
4.3.1	Descripción de los sub-índices.....	19
4.3.2	Sub-índices, valores, ponderaciones y calificación	23
4.4	Metodología del análisis multicriterio.....	27
4.5	Formulación del Índice Integrado de Vulnerabilidad de ACA	32
5.	Resultados y discusión.....	33
5.1	Identificación, descripción y representación espacial de las AC.....	33
5.2	Índice integrado para evaluar la vulnerabilidad y jerarquizar las ACA	35
5.3	Análisis de criterio	36
5.3.1	Índice Uso del Suelo.....	36
5.3.2	Índice de tamaño de la ACA.....	40

5.3.3	Índice de densidad de Vivienda.....	42
5.3.4	Índice de Actividades Antropogénicas	44
5.3.5	Índice de Derechos de Agua	46
5.3.6	Índice de Áreas Protegidas	49
5.3.7	Índice Anomalía de Precipitación	51
5.3.8	Índice de Cobertura Vegetal Protectora.....	53
5.4	Síntesis de criterios.....	55
5.5	Medidas que reduzcan la vulnerabilidad y mejoren la gestión sostenible de las ACA.	58
5.5.1	Vulnerabilidad de las ACA y medidas de gestión	62
5.6	Discusión.....	66
6.	Conclusiones.....	69
	Referencias	71
	Anexos	76

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz para definir y confeccionar el estado del arte.....	40
Tabla 2. Índices de Vulnerabilidad.....	9
Tabla 3. Descripción sub-índices cálculo índice vulnerabilidad de ACA.....	20
Tabla 4. Uso del suelo (US).....	23
Tabla 5. Tamaño ACA, factor de ponderación y vulnerabilidad (TA).....	23
Tabla 6. Índice Densidad de Viviendas (DV).....	24
Tabla 7. Índice de Actividades Antrópicas (AA).....	24
Tabla 8. Índice de Derechos de Agua (DA).....	25
Tabla 9. Índice Áreas Protegidas (AP).....	25
Tabla 10. Índice de Anomalía de Precipitación (APr).....	26
Tabla 11. Índice de Cobertura Vegetal Protectora (CV).....	26
Tabla 12. Matriz de Análisis Multicriterio.....	28
Tabla 13. Modelo de llenado de Matriz de Análisis Multicriterio.....	29
Tabla 14. Registro de Matrices emitidas a expertos.....	29
Tabla 15. Matriz de Criterios Asociados.....	30
Tabla 16. Matriz de Criterios normalizados.....	30
Tabla 17. Pesos de los Índices.....	31
Tabla 18. Síntesis características relevantes ACA.....	34
Tabla 19. Índice Vulnerabilidad integrado según rango de prioridad.....	35
Tabla 20. Índice Vulnerabilidad Uso de Suelo según rango de prioridad.....	37
Tabla 21. Superficies (ha) promedios para cada uso de suelo y rango de prioridad del índice.....	38
Tabla 22. Usos de suelo predominantes y rangos de prioridad.....	38
Tabla 23. Índice Vulnerabilidad Tamaño según rango de prioridad.....	40
Tabla 24. Índice Vulnerabilidad vivienda según rango de prioridad.....	42
Tabla 25. Índice Vulnerabilidad actividades antropogénicas según rango de prioridad.....	

.....	44
Tabla 26. Índice Vulnerabilidad Derechos de agua según rango de prioridad	46
Tabla 27. Índice Vulnerabilidad de áreas protegidas según rango de prioridad.....	49
Tabla 28. Anomalía de precipitación - AP año 2020.....	51
Tabla 29. Índice Vulnerabilidad de Anomalía de Precipitación según rango de prioridad	51
Tabla 30. Índice Vulnerabilidad Cobertura Vegetal el rango prioridad.....	53
Tabla 31. Resumen Índice Vulnerabilidad Integrado por rango de prioridad	55
Tabla 32. Índice Vulnerabilidad Integrado según rango de prioridad, y el número de ACA.....	56
Tabla 33. Medidas de gestión que se promueve.....	107

Índice de figuras

Figura 1. Presencia de animales vacunos y caballar en las fuentes de captación de las JAAP de Quinchicoto y San Francisco.....	21
Figura 2. Captación de agua de JAAP de Quinchicoto.....	22
Figura 3. Esponjas naturales eutrofizadas y alteradas en los páramos ante la presencia de animales.....	23
Figura 4. Avance de la frontera agrícola en los páramos sobre los cuerpo de agua en la ACA de Santa Lucia La Libertad.....	23
Figura 5. Avance de la frontera agrícola en los páramos sobre los cuerpos de agua en la ACA de Santa Lucia La Libertad.....	25
Figura 6. Enfoque tradicional y enfoque integral Plan Seguridad de Agua (PSA).....	26
Figura 7. Esquema del Análisis Multicriterio.....	37
Figura 8. Ubicación punto captación de agua potable y ACA	6
Figura 9. Captación superficial de la JAAP el Porvenir de Quinchicoto.....	6
Figura 10. Captación subterránea de la JAAP Santa Lucia – La Libertad.....	7
Figura 11. Delimitación del ACA de la JAAP de Santa Lucia la Libertad.....	8
Figura 12. Uso de suelo en el área de estudio.....	11
Figura 13. Modelo Digital de Terreno y ACA	12
Figura 14. Viviendas rurales y urbanas existentes del cantón Tisaleo	13
Figura 15. Mapa de ubicación de las concesiones de agua.....	14
Figura 16. Mapa de las actividades antrópicas.....	15
Figura 17. Mapa de las áreas protegidas	16
Figura 18. Mapa de Anomalía de precipitación.....	17
Figura 19. Mapa de cobertura vegetal protectora.....	18
Figura 20. Escala de Ponderación de Saaty.....	28
Figura 21. Representación espacial en ambiente S.I.G. de todas las ACA.....	33
Figura 22. Vulnerabilidad de las ACA por uso del suelo y rango de priorización.....	40
Figura 23. Vulnerabilidad de las ACA por tamaño y rango de priorización.....	41
Figura 24. Vulnerabilidad de las ACA por viviendas y rango de priorización.....	43

Figura 25. Vulnerabilidad de las ACA por actividades antropogénicas y rango de priorización45

Figura 26. Vulnerabilidad de las ACA por derechos de agua y rango de priorización48

Figura 27. Vulnerabilidad de las ACA por áreas de protección y rango de priorización50

Figura 28. Vulnerabilidad de las ACA por anomalía de precipitación y rango de priorización.....52

Figura 29. Vulnerabilidad de las ACA por cobertura vegetal y rango de priorización54

Figura 30. Valores promedios según criterio y rango de prioridad.....55

Figura 31. Gráfico de los Índice vulnerabilidad integrado según rango prioridad56

Figura 32. Fuente de Abastecimiento para consumo humano de la JAAP Santa Lucia – La Libertad, y el cuarto de bomba para la impulsión..... 59

Figura 33. Captación para la JAAP El Calvario, y tanque de recolección.....61

**ANÁLISIS ESPACIAL
MULTICRITERIO
SOBRE LA
VULNERABILIDAD EN
LAS ÁREAS DE
CAPTACIÓN DE LOS
SISTEMAS DE AGUA
POTABLE DEL CANTÓN
TISALEO, PROVINCIA
DE TUNGURAHUA.**

AUTOR(ES):

WILMER EDISON PILCO PILCO

RESUMEN

La disponibilidad del recurso hídrico cada día tiene mayor incertidumbre, la demanda de agua es creciente y la oferta del agua es limitada por la sobreexplotación y el cambio climático. Esto nos lleva a plantear varias interrogantes ¿Cómo qué tan vulnerable se encuentra la capacidad medio ambiental en las Áreas de Captación de Agua (ACA) para la generación de agua potable en cantidad y calidad?, una pregunta complicada difícil de responder y que requiere, según el contexto, ambiental, geográfico, técnico, y de infraestructura local un enfoque metodológico integrado para la construcción de indicadores o índices que permitan realizar un análisis de la sostenibilidad de las ACA, de un territorio en particular, como es del cantón Tisaleo.

En este informe de investigación, se realiza una propuesta de indicadores para evaluar la vulnerabilidad de las ACA, para lo cual se aplicó actividades en terreno, Sistema de Información Geográfico, consulta a expertos, y Análisis Multicriterio Jerárquico de Saaty. Lo relevante de esta metodología ayuda a constituir y combinar diferentes criterios, variables y supuestos para formular un solo índice de evaluación de las ACA en estudio.

La selección de los índices de vulnerabilidad se ha basado en la revisión de bibliográfica asociada a esta materia, se proponen ocho índices: Indicador Uso de Suelo; Indicador Tamaño ACA; Indicador de Densidad de Viviendas; Indicador de Actividades Antrópicas; Indicador Derechos de Agua; Indicador Áreas Protegidas; Indicador Anomalía de Precipitación; Indicador Cobertura Vegetal Protectora, que permitieron evaluar, de manera integrada, la sustentabilidad de las ACA frente a diversos factores forzantes naturales y/o físicos asociados. Los resultados indican que el 33,33% de las ACA analizadas poseen vulnerabilidad mediana y alta.

Palabras clave: ACA; índices; multicriterio; vulnerabilidad; sostenibilidad.

ABSTRACT

The availability of water resources is increasingly uncertain, the demand for water is growing and the supply of water is limited by overexploitation and climate change. This leads us to raise several questions: How is the environmental capacity in the Potable Water Catchment Areas (hereinafter ACA) for the generation of drinking water in quantity and quality?, a complicated question that is difficult to answer and that requires, according to the context, environmental, geographical, technical, and local infrastructure, an integrated methodological approach for the construction of indicators or indices that allow an analysis of the sustainability of the ACA, of a particular territory, such as the Tisaleo canton.

In this research report, a proposal of indicators is made to evaluate the vulnerability of the ACA, for which field activities, Geographic Information System, expert consultation, and Saaty Multicriteria Analysis were applied. The relevance of this methodology helps to constitute and combine different criteria, variables and assumptions to formulate a single evaluation index of the ACA under study.

The selection of the indices has been based on the literature review associated with this subject, eight indices are proposed: Land Use Indicator; ACA Size Indicator; Housing Density Indicator; Anthropic Activities Indicator; Water Rights Indicator; Protected Areas Indicator; Precipitation Anomaly Indicator; Protective Vegetal Cover Indicator, which made it possible to evaluate, in an integrated manner, the sustainability of the ACAs in the face of various associated natural and/or physical forcing factors. The results indicate that 33,33% of the analyzed ACAs have medium and high vulnerability.

Keywords: ACA, indices, Multicriteria, vulnerability, sustainability.

1. INTRODUCCIÓN

El acceso al recurso agua, en el Ecuador se reconoce como un derecho irrevocable para el ser humano. En la Constitución de la República del Ecuador el (artículo 314) como en la Ley Orgánica de Salud en el artículo 96 se señala “la obligatoriedad del Estado para la provisión de agua potable de calidad para el consumo humano” (Asamblea Nacional del Ecuador, 2008). Es decir, el Estado debe velar para que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de los ecosistemas de la naturaleza, pues el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación es derecho de todos los ecuatorianos.

La agenda 2030 cuenta con sus 17 objetivos para el desarrollo sostenible, dentro del ODS N°6, señala Agua limpia y Saneamiento. “En la meta 4 del ODS N° 6, plantea aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir de forma significativa el número de personas que sufren falta de acceso al agua” (Sostenibles, 2017).

También en el artículo 57 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, establece “el derecho de todas las personas a disponer de agua limpia, suficiente, salubre”. Todo esto nos conlleva hacer una pregunta ¿En el Ecuador se ha logrado dotar de agua potable a todos? El avance ha sido importante, pero hay disparidades cuando se revisa las condiciones demográficas.

Si bien el Ecuador a través de la Estrategia Nacional de Agua y Saneamiento (ENAS) del año 2015, se ha logrado casi el acceso universal a los servicios de abastecimiento de agua, alrededor del 80,4% de las viviendas del país disponían de abastecimiento de agua, correspondiente a la cobertura urbana, y una cobertura rural de 64,9%. Si bien estos porcentajes es a nivel nacional, sin embargo, en el área rural (en localidades dispersas) la situación es mucho más crítica, adicionalmente en las

variables de cobertura no se consideran los niveles de calidad en la prestación de los servicios. (Hidalgo Bustamante, 2020b)

Según (García et al., 2021) El agua es un recurso natural renovable, pero muy fácil de contaminar y del cual la humanidad es absolutamente dependiente. A pesar de ello, hay graves deficiencias de cómo podemos aprovechar de manera más eficiente el agua sin afectar la sustentabilidad de esta en el largo plazo.

En términos de política pública, la Secretaría Nacional de Agua Potable y Saneamiento, y la Estrategia Nacional de Agua Potable y Saneamiento (ENAS) tiene como objetivo principal alcanzar el acceso universal a “servicios de agua potable y saneamiento de calidad, dignos y sostenibles”.

Ecuador en relación con la disponibilidad del recurso hídrico, posee 9 demarcaciones hidrográficas, estas demarcaciones incluyen a cuencas y microcuencas en un total de 740 unidades hidrográficas, pues la población ecuatoriana se concentra en dos vertientes, la vertiente del Pacífico, en donde habita el 88% de habitantes con una dotación de 5.200 m³/hab/año, y la vertiente amazónica en donde viven el 12% de los ecuatorianos con una dotación promedio de 82.900m³/hab/año (Hidalgo Bustamante, 2020a).

Data desde hace mucho tiempo, que la gestión de los recursos hídricos en Ecuador se ha caracterizado por la débil coordinación entre las instituciones y los actores involucrados en la gestión del agua y por un nivel de participación insuficiente de la ciudadanía en la toma de decisiones.(Córdova, 2017) Las legislaciones relacionadas con respecto al agua y los recursos naturales carecen de un enfoque de gestión integral. A esto se suma la limitada capacidad institucional y de gestión sectorial en los servicios de agua y saneamiento, riego, uso hidroeléctrico, industrial, entre otros.(Moscoso Vintimilla et al., 2021).

Existe evidencia que la calidad del agua ha empeorado significativamente desde 1990, debido a la contaminación orgánica y química ocasionada por, agentes patógenos, fertilizantes, plaguicidas, sedimentos, metales pesados, desechos

plásticos y microplásticos, contaminantes orgánicos persistentes y salinidad (ONU, 2019).

Los desafíos relacionados con el conocimiento formal e informal del agua, sobre cómo lograr la sustentabilidad en el manejo integrado de cuencas, es una pugna de varios años, pero de escasos resultados. Según PDyOT Provincial (Tungurahua, 2018) de acuerdo con el proyecciones al 2030, habrá una creciente presión sobre los recursos hídricos existentes, lo que amenazaré la seguridad del acceso al agua para consumo humano y para el riego en los cantones de la provincia de Tungurahua. Así como también señala que el déficit hídrico en la actualidad es de 200mm.

El aumento de la demanda, junto con el cambio y la vulnerabilidad climática y la perspectiva de la sequía, hacen que el agua periódicamente se convierta en un recurso escaso (Mitchell G., 2015) . El suministro de agua dulce en el mundo se está viendo amenazado por factores climáticos y antrópicos que conllevan a la disminución de los caudales de las fuentes de agua superficial, generando con ello múltiples afectaciones a nivel ambiental, social y económico. Todas las señales parecen indicar que el problema de desabastecimiento de agua superficial empeorará si no se toman acciones preventivas mediante la gestión de la vulnerabilidad (Singh N.P., 2014).

La gestión de las sequías hidrológicas requiere la toma de acciones preventivas mediante la gestión de la vulnerabilidad y el aumento de la resiliencia frente a la misma, (Singh N.P., 2014) en este sentido, pasa por la gestión de los recursos hídricos que permita desarrollar una resiliencia climática considerando diferentes factores o índices como de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación.

Los efectos del cambio climático sobre el agua es básico para su mitigación, proteger este elemento vital para nuestra supervivencia, por ende requiere la toma de acciones preventivas mediante la gestión de la vulnerabilidad y el aumento de la resiliencia frente a la misma (Singh N.P., 2014), para que las JAAP adopten medidas de resiliencia dentro de la gestión del servicio, es por ello la evaluación de la

vulnerabilidad es el punto de partida para determinar las medidas de mitigación de los impactos y las estrategias de respuesta y adaptación (Kelly W.N., 2000).

La popularidad de los SIG, en los gestores está relacionada con las capacidades que ofrecen en todo el ciclo del agua. Las empresas gestoras de agua están apostando por implementar SIG conectados al resto de sistemas corporativos y herramientas que resuelven aspectos clave de la gestión hídrica diaria. Ya no se trata solo de geolocalizar los elementos de la infraestructura y tener información sobre ellos, sino que se están desarrollando casos de uso avanzados, como ir determinando a que tipo de vulnerabilidad se enfrentan las ACA mismas que proveen el abastecimiento de agua a una población; un pionero en nuestra región es Chile, que por medio del SIG ha venido mejorando la gestión hídrica comunitaria de las JAAP, en la región del BíoBío. (Peña, 2020)

Pues la integración o el desarrollo de variables e indicadores para uso en modelación y evaluación, permite llevar a cabo análisis de vulnerabilidad que engloban perspectivas sociales, administrativas y ambientales (Moss et al., 2002). En el presente trabajo se realiza un diagnóstico de las ACA y fuentes actuales de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Tisaleo y se analizan los factores o atributos que influyen en su vulnerabilidad, considerando los factores ambientales, sociales, y técnicos. Este trabajo toma como base el trabajo realizado y presentado por Martínez et al. (2015), en donde se propone una metodología para evaluar la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable y se aplica dicha metodología al caso de la Ciudad de México ante varios escenarios de cambio climático, basándose en el trabajo realizado por Escolero et al. (2009)

En esta investigación se caracterizó y evaluó la vulnerabilidad de las ACA y también se incluyó índices de vulnerabilidad a sequías de fuentes de agua superficial para las Juntas Administradoras de Agua Potable (JAAP) del cantón Tisaleo, mismas que están sometidas a diversas presiones de uso o factores forzantes. Para ello se identificaron, describieron y representaron, especialmente, las ACA y se estableció un índice de vulnerabilidad, a escala cantonal e hidrográfica, que permita orientar medidas y acciones de gestión.

2. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

La crisis hídrica ha obligado a los gobiernos y demás instituciones, en las últimas dos décadas a adoptar una serie de medidas en lo referente a la Gestión Integrada de Recursos Hídricos GIRH de corto y mediano plazo. La vulnerabilidad a sequía de fuentes de agua superficial puede ser evaluada mediante índices ambientales. Varios investigadores indican que el análisis de la vulnerabilidad a menudo se basa en el uso y la agregación de los indicadores en índices, los cuales son eficaces para la planificación y toma de decisiones. (Henao, 2016)

La naturaleza holística de la seguridad del agua en comunidades Rurales, Remotas o Marginadas (RRM) ha hecho que los indicadores y los índices sean una opción frecuente para las evaluaciones de sustentabilidad. El Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente (ONU, 2019), en su informe, Perspectiva del Medio Ambiente Mundial, plantea que el crecimiento demográfico, la urbanización, la contaminación del agua y el desarrollo insostenible están aumentando la presión sobre los recursos hídricos en todo el mundo, y esa presión se ve exacerbada por el cambio climático.

Los problemas de abastecimiento en el Ecuador van más allá de sus fuentes, e incluyen áreas de captación, complejos sistemas de captación y conducción que enfrenta fuertes limitaciones. El envejecimiento de la infraestructura, los costos de operación, la falta de inversión en mantenimiento y rehabilitación, así como el deterioro de las fuentes de agua en cantidad y calidad, ha llevado al sistema de abastecimiento al límite de la operatividad física, económica y ambiental. (Muñoz Murcillo et al., 2020)

La ciudad de Tisaleo, cuyo territorio político concentra en la parte alta de subcuenca del río Ambato y río Pachanlica, posee relevantes características naturales como de la producción hídrica, pues de ahí importancia de identificar y proponer herramientas y medidas que puedan ser aplicadas en estas ACA para garantizar la

sostenibilidad de los recursos naturales, de forma que permitan conocer un grado de vulnerabilidad a través del establecimiento de índices o indicadores; el cual permita un mejor manejo sostenible de los recursos naturales, ya que en la parte media y baja de las dos unidades hidrográficas, se encuentran las ciudades de Mocha, Cevallos y Ambato, que soportan la contaminación producidas en la parte alta (Tisaleo) por las descargas de aguas residuales domésticas, industriales, contaminación difusa; todos estos factores contribuyen a la contaminación de los recursos hídricos que vierten hacia la parte baja de las sub cuencas, aunque en las partes bajas los ríos recuperan su caudal, pero la contaminación sigue siendo alta. (Tungurahua, 2018)

La contaminación de los acuíferos ocurre cuando la carga de contaminantes sobre los perfiles naturales del subsuelo generados por descargas o lixiviados de actividades urbanas, industriales, agrícolas o mineras no es controlada adecuadamente, y en ciertos componentes excede la capacidad natural de atenuación del subsuelo y estratos suprayacentes (Foster et al., 2009), en especial en los cuerpos de agua.

De igual manera las fuentes hídricas presentan una reducción de sus caudales, como por ejemplo las fuentes de (JAAP San Francisco, JAAP Santa Lucia - La Liberta, JAAP El Calvario) que suele experimentar en los cambios estacionales una reducción al caudal de 2 (lts/s) que poseen (Quinchicoto, 2019). Lo que hace evidente la necesidad de proyectos de conservación del agua, tomando en cuenta que el déficit hídrico de abastecimiento de agua potables para consumo humano para el año 2025 será de 100.000 m³.(Tisaleo, 2019)

El agua ha sido un tema crítico para la sustentabilidad en el Ecuador, la creciente demanda de agua ha impactado de manera negativa y creciente en el balance de las cuencas y acuíferos. Las tradicionales prácticas de importación de agua para satisfacer la demanda urbana aunada al déficit regional, ha llevado a crecientes conflictos sociales y políticos en torno a la distribución y gestión del recurso agua (Torres Romero & Proaño Santos, 2018). La población del cantón Tisaleo, cuenta con aproximadamente con el 86% tiene acceso a agua potable, lastimosamente

esto se ve opacado por la calidad del agua, la presencia de las actividades de ganadería contamina las fuentes (cotas 3.600 a 3.900 msnm.) como se lo puede observar en la figura 1.

Figura 1.

Presencia de animales vacunos y caballar en las fuentes de captación de las JAAP de Quinchicoto y San Francisco.



El servicio de agua potable del cantón, ha tenido grandes impactos con la problemática antes mencionada, con efectos como reducción del número de fuentes de abastecimiento debido a que se capta en agua en territorios políticos aledaños como es la (JAAP San Francisco); también se ha visto afectada por la disminución de caudales en las fuentes hasta llegar a racionamientos por periodos de tiempo prolongados en algunas comunidades (JAAP Santa Lucia - La Liberta, JAAP El Calvario, JAAP San Francisco), sumándose a la infraestructura deteriorada del sistema de agua potable, la cual incide en la calidad del agua de consumo.

Por ejemplo, en la figura 2 se puede observar que la captación de agua se lo hace por medio de un tanque recolector el cual se lo revisa en forma continua para eliminar sedimentos, este problema es más recurrente en época de invierno ya que el agua captada es más turbia.

Figura 2.

Captación de agua de JAAP de Quinchicoto



En el cantón Tisaleo existen varias juntas administradoras de agua potable (JAAP), que brindan la prestación del servicio de abastecimiento de agua potable, el servicio suele ser de forma intermitente en el transcurso del día, debido a que la demanda supera el valor de la oferta (caudales) pero este problema se agrava mucho más en época de verano; es por eso la sequía hidrológica es considerada uno de los desastres naturales más dañinos en términos económicos y sociales (Carroll, 2009), por los impactos que genera sobre la producción de agua potable para el abastecimiento humano y el conflictos sociales (García-Herrera, 2010), así mismo genera graves impactos ecológicos sobre los ecosistemas ribereños. (Lewis, 2010). Por otro lado, la falta de un modelo de gestión sobre el recurso agua y acorde a la situación del cantón, deriva en la deficiencia del servicio de abastecimiento de agua de consumo por parte de las juntas de agua.

Las prácticas culturales como la agricultura es otro problema que se presenta muy a menudo en todas las provincias a nivel país, pues el desarrollo de esta actividad sin control, lo que permite el avance indiscriminado sobre las franjas de protección como se puede ver figura 3. La falta de delimitación física del uso de suelo deriva en otro problema como la ganadería en las zonas de producción y almacenamiento natural de agua, provoca una disminución de la cobertura vegetal (esponjas o colchones de agua naturales) como se puede observar en las áreas de aportación que convergen al punto donde se capta el agua (ACA) de las JAAP's.

Figura 3.

Esponjas naturales eutrofizadas y alteradas en los páramos ante la presencia de animales.



Según ex (Senagua, 2016) el poco control en el avance de la frontera agrícola, el sobre pastoreo en las zonas de páramos ocasiona cambios en el uso de suelo, por lo tanto reduce la retención de sedimentos y regulación del ciclo de nutrientes, que termina influyendo en los cambios de las características físico- químicas y microbiológicas de los cuerpos de agua, como se lo puede observar en la figura 4. De ahí que se busca sensibilizar la situación actual y velar por la sostenibilidad de estas zonas que son productoras de agua para distintos usos, ya que ninguna de las JAAP's que abastecen de agua a la mayoría de los caseríos rurales del cantón poseen plantas potabilizadoras de agua, excepto la red de abastecimiento de agua del cantón (Dirección de agua potable y alcantarillado del GADMT).

Figura 4.

Avance de la frontera agrícola en los páramos sobre los cuerpo de agua en la ACA de Santa Lucia La Libertad.



El no contar con proyectos de conservación de los recursos naturales, como por ejemplo que permitan determinar el área de influencia de las ACA, ha llevado que se seleccione de manera equivocada lugares donde se han implantado infraestructuras en especial las de saneamiento (plantas de tratamiento de aguas residuales, industrias, rellenos sanitarios) que en la actualidad son focos de contaminación y degradación ambiental como sucede en la ACA de JAAP de Santa Lucia - La Libertad. (Quinchicoto, 2019)

De ahí que los SIG son una herramienta de análisis espacial que permite realizar un rastreo de la red y analizar las tendencias de desarrollo que afectan la demanda futura del recurso hídrico. Para enfrentar nuestros problemas de agua, tenemos que entender de dónde proviene nuestra agua, cómo se mueve a través del paisaje, y los factores que afectan su abundancia y escasez. Por ejemplo, en las comunidades de La Concepción, San Jorge de la región del Biobío se ha realizado un análisis, donde se puede determinar que los contaminantes por actividades antrópicas se están infiltrando en el agua potable debido a que los estratos geológicos son permeables (rocosos) y que estas comunidades se abastecen de pozos subterráneos. (Peña, la at 2020)

La calidad de las aguas naturales está íntimamente sujetas al saneamiento global del medio ambiente. Los vertidos de las aguas residuales procedentes de las comunidades o las industrias, rellenos sanitarios y prácticas agrícolas que se dan sobre los cuerpos de agua contaminan las fuentes hídricas con residuos agroquímicos, lixiviados, (figura 5) con un escaso control técnico de conservación

ambiental. (Tisaleo, 2019) Todas estas actividades antrópicas cerca de los cuerpos de agua como es en el caso de la quebrada Palahua que a lo largo de su curso afloran muchas vertientes de agua, cuyas actividades y usos que se le da al agua condiciona la calidad de los recursos naturales destinados a la producción de agua de consumo y/o riego aguas abajo, lo que repercute o condiciona la salubridad de la población que habita de la zona media y baja de la subcuenca del río Pachanlica, de los cantones de Quero, Cevallos y Ambato.

En conclusión, las funciones de visualización y mapeo le brindan una vista global áreas de riesgo a contaminantes, detectara problemas antes de que ocurran. Los SIG ayuda a la Gestión del Agua proporciona a las organizaciones que manejan el abastecimiento, saneamiento y drenaje, las herramientas para responder a los patrones comunes de trabajo, desde la gestión de infraestructuras hasta la toma de decisiones. (Storymaps, 2017)

Figura 5.

Avance de la frontera agrícola en los páramos sobre los cuerpos de agua en la ACA de Santa Lucía La Libertad.



De ahí como gobierno seccional el GADMT debe ser el encargado de desarrollar e instaurar políticas de protección hacia las áreas de captaciones o fuente de producción de agua dentro del territorio cantonal, haciendo participes activos también a las JAAP en la elaboración de ordenanzas de conservación hídrica, todo

esto debe ir acompañado de una reflexión global sobre el ciclo hidrológico, usos de suelo y los usos del agua en las zonas de influencia ACA.

También se ha visto en los últimos años que los proyectos de infraestructura para fines privados o públicos sin planificación territorial (Análisis en Ambiente SIG), contribuyen a la vulnerabilidad de las ACA, lo cual significa que no se debe permitir la habilitación de vías carrozables así como también la instalación de redes eléctricas en las zonas de los páramos, contribuyen a generar altos impactos ambientales y propician el desarrollo de actividades agropecuarias y de asentamientos humanos sin control hacia estas áreas. (Alvarado et al., 2016)

Todo esto nos conlleva hacernos la pregunta de cómo se maneja la gobernanza de los recursos naturales a nivel país, provincial y cantonal, ya que estando situado en la demarcación hidrografía de la cuenca alta del Río Pastaza, corresponde generar y promover políticas de conservación territorial, a nivel de micro cuenca del Río Pastaza como un sistema territorial articulador de la provincia y del cantón. De acuerdo con (Tungurahua, 2018) es necesario plantear un conjunto de estrategias orientadas a la conservación y recuperación del ecosistema páramos y de los recursos naturales.

2.1 IMPORTANCIA

La importancia de hacer un análisis de índices de vulnerabilidad de las ACA, es que se requiere explícitamente la incorporación de múltiples factores como el social, técnico, geográfico y ambiental; que permiten hacer un análisis real sobre la sostenibilidad hídrica en el territorio, de forma que las dediciones o alternativas que se generen sean las más acertadas para su aplicación. Con todos los parámetros y factores definidos para un análisis de evaluación se puede trabajar dentro de una interfaz de un Sistemas de Información Geográfico (SIG) el mismo que puede brindar un valor añadido en el proceso, como apoyo para a las decisiones sobre los problemas de vulnerabilidad en las áreas de captación de agua.

También el establecer índices acordes a la situación de la zona, permitirá adoptar medidas de resiliencia, también permite contrarrestar los inesperados efectos del cambio climático que amenaza con la disminución del recurso hídrico, por lo que es necesario involucrar dimensiones de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación dentro de un modelo medidas de gestión sostenibles (Henaó, 2016). De forma que todos los prestadores de este servicio (JAAP, Dirección Municipal) del cantón vayan acogiendo.

2.2 ALCANCE

El alcance del informe de investigación es el diagnóstico de la situación actual del nivel de vulnerabilidad de las ACA, a través del levantamiento de información primaria y secundaria que pueda ser mapeada y analizada en el escenario actual del cantón todo esto dentro de una interfaz SIG, de forma que permita desarrollar una planificación más ajustada y de acuerdo a la realidad del cantón como por ejemplo el escogitamiento de lugares más adecuados para la implantación infraestructuras de saneamiento que siempre producen algún tipo de contaminación ambiental como son rellenos sanitarios que producen lixiviados, plantas de tratamiento de agua residuales mal tratadas.

Así mismo, tomando como base los criterios identificados y determinados en el presente informe, permite determinar medidas a desarrollar según el uso de suelo de forma que no condicionen o atenten a la calidad de los recursos naturales, de forma que las actividades agrícolas, pecuarias, económicas, y antropogénicas vayan de acuerdo a la influencia que tienen sobre las ACA.

2.3 DELIMITACIÓN

Delimitación geográfica

El cantón Tisaleo está ubicado en las faldas del Carihuairazo, limita al norte y occidente con el cantón Ambato, al sur y oriente con Mocha y Cevallos. El cantón

está dividido en dos parroquias la parroquia central con el nombre del cantón y Quinchicoto. (Tungurahua, 2015) como se puede observar en a figura 6.

Delimitación temporal

Los levantamientos de información de campo, se lo realiza desde el mes de Noviembre del 2021 hasta Marzo del 2022.

Delimitación institucional

Dentro de los aspectos de este informe de investigación de la vulnerabilidad de las de las ACA se plantea como paradigma de desarrollo sustentable la jerarquización de ACA por medio de subíndices propuestos conjuntamente con la Dirección Municipal, los mismos que permiten impulsar la sostenibilidad de las ACA apoyándose en el plan de agua segura (PAS) y la conservación de los recursos naturales promoviendo así el campo de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH).

2.4 EXPLICACIÓN DEL PROBLEMA

Las Áreas de Captación de Agua (ACA) del cantón Tisaleo están sometidas a distintos usos y presiones que condicionan su capacidad actual y futura en la gestión hídrica del agua, considerando la cantidad y calidad.

Preguntas de Investigación

- 1.- ¿Cuáles son los factores de vulnerabilidad ponderados jerárquicamente que sirve para determinar una adecuada gestión y la capacidad de producción de agua en las ACA del cantón Tisaleo?
- 2.- ¿Cuál es el grado de vulnerabilidad de las ACA frente a los índices evaluados dentro del cantón?

2.5 HIPÓTESIS

Mediante el establecimiento de índices de vulnerabilidad en los aspectos sociales, ambientales y técnicos, contribuirá a mejorar la gestión integrada de los recursos hídricos en las áreas de captación de agua, del cantón Tisaleo, Provincia de Tungurahua.

2.6 OBJETIVOS

Objetivo general

Caracterizar y evaluar la vulnerabilidad de las Áreas de Captación de agua ACA, mediante un análisis multicriterio para determinar el grado de vulnerabilidad de las mismas frente a diversas presiones de uso dentro del cantón Tisaleo.

Objetivos específicos

1. Identificar, describir y representar espacialmente las ACA del cantón Tisaleo.
2. Construir un índice integrado de jerarquización de la vulnerabilidad de las ACA del cantón Tisaleo, de forma que permita su jerarquía en términos de propuestas de gestión.
3. Proponer medidas que reduzcan la vulnerabilidad de las ACA y mejoren su gestión sostenible en el cantón.

3. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 POLÍTICAS PÚBLICAS, RECURSOS HÍDRICOS Y AGUA POTABLE

A escala nacional las estrategias de protección del agua tienen que ser promovidas por los entes rectores o reguladores del agua o del ambiente (u oficinas de gobierno nacionales, regionales o locales, encargados de realizar esta función). No obstante, es importante que el cuidado se focalice a nivel de detalle de evaluación y protección de fuentes de abastecimiento de agua específicas.

El artículo 313 de la Constitución de la República del Ecuador, promueve los principios de sostenibilidad ambiental, así mismo el ARCA a través del artículo 11 del REG-DIR-ARCA-003-2016, regula y controla a través de los indicadores para la evaluación del desempeño y diagnóstico de la prestación de los servicios públicos de agua potable; de igual forma señala que los GADs Municipales deberán asistir a los prestadores comunitarios en: la elaboración de la autoevaluación; y, en la formulación, presentación, y ejecución del Plan de Mejora para lo cual los GADs brindarán el apoyo técnico y financiero.

Si bien hay muchos marcos para la seguridad del agua, la mayoría incorpora los elementos básicos de los recursos hídricos, el medio ambiente, la economía, los desastres relacionados con el agua y las necesidades humanas. Por ejemplo, (Cook, 2012) identificaron cuatro temas complementarios en los marcos de seguridad del agua: disponibilidad; peligros relacionados con el agua y vulnerabilidad a esos peligros; necesidades humanas; y, sostenibilidad ambiental. En dicho artículo, se compilan y evalúan una lista de indicadores para evaluar la seguridad del agua a escala comunitaria, particularmente en contextos de países de ingresos bajos y medios.

Bajo este contexto existe en el Ecuador varios artículos que garantizan el acceso al agua en calidad y en cantidad, por medio de los prestadores de este servicio midiendo a su vez los niveles de desempeño a través de indicadores establecidos, cuyos indicadores de evaluación no permiten mantener una amplia visión a escala territorial de los recursos hídricos, de forma que resulta fundamental incorporar o desarrollar índices de vulnerabilidad para toma de decisiones y el desarrollo de políticas públicas eficientes, en materia de recursos hídricos, que deben sustentarse en un sistema adecuado de indicadores; por tanto, el establecimiento de índices e indicadores es básico para evaluar la situación de las aguas subterráneas y superficiales, orientar las acciones para proteger su calidad, resultando conveniente considerar también aspectos sociales, económicos y ambientales (Vrba et al., 2017).

Para tomar las mejores decisiones, basadas en un sustento científico, resulta trascendental la tarea de identificar y definir los indicadores idóneos. La selección de indicadores está en función de los objetivos perseguidos, por lo tanto, es esencial definirlos en el contexto de la protección de los recursos hídricos y evaluarlos en la escala espacial adecuada. En el proceso de selección de indicadores se recomienda incorporar ideas e intereses de los sectores académicos, gubernamentales y de la sociedad civil (Luis & Moncayo, 2015).

3.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.2.1 VULNERABILIDAD

La United Nations Environment Programme - UNEP (2003), define en términos generales, vulnerabilidad es la manifestación social, económica y política de las estructuras y entorno ambiental. La vulnerabilidad puede ser visto como compuesto de dos elementos: la exposición al peligro y la capacidad de afrontamiento. Las personas que tienen más capacidad para hacer frente a eventos son naturalmente también menos vulnerables al riesgo.

Para Klein and Nicholls, (1999), el concepto de vulnerabilidad comprende: la susceptibilidad de un sistema a cambios físicos y ecológicos, los impactos potenciales de los cambios de los sistemas naturales sobre los sistemas

socioeconómicos y la capacidad para resistir los impactos incluyendo la capacidad de prevenir y reducir los impactos (capacidad adaptativa). (Nicholls, 2005).

3.3 TIPOS DE VULNERABILIDADES A LAS QUE ESTÁN SOMETIDO LAS ACA

Alvarado (2016); señala que las fuentes de agua potable constituyen la fuente de suministro más segura e importante para las necesidades humanas. Sin embargo, los acuíferos son vulnerables a la contaminación y los principales son: tierras de cultivo, usos industriales y urbanos. Lo que conlleva a delimitar “áreas de protección de fuentes”, y definiendo que actividades antrópicas son posibles de desarrollar, con un riesgo aceptable para el acuífero. Además, señala que una planificación previa para establecer qué áreas tienen prioridad cuando deben ser protegidos y se enfrentan a posibles procesos de contaminación. Esta planificación previa, según el autor, justifica la necesidad de fijar algunos criterios para definir este orden de prioridad.

Díaz y otros (2021), en su estudio de Análisis de Riesgo en las Fuentes de agua de la Población de Tablachaca (Yaco) con la herramienta “ARI”, realizado en la Población de Tablachaca en La Paz, de los riesgos de contaminación a las fuentes de agua por agentes biológicos, y su influencia en la infraestructura del Sistema de Agua Potable. Para este estudio se emplea la metodología del Programa de Reducción del Riesgo de Desastres. Donde ha permitido identificar zonas hídricas expuestas a sobrepastoreos, permitiendo así la reubicación de las zonas de pastoreo mismas que deben ir acompañado con Reglamentación comunal sobre el uso del suelo, para garantizar la preservación de la calidad y cantidad del agua, del sistema de agua potable. (Díaz et al., 2021)

Escolero y otros (2016), publicó un trabajo basado en el Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México; realiza un diagnóstico de las fuentes de abastecimiento de agua potable que abastecen a la ciudad de México y analizar los

factores que inciden en su vulnerabilidad; para ello se analizan tanto factores que están directamente relacionados con la infraestructura hidráulica, los aspectos ambientales y sociales, donde determina que los factores que más influyen son los relacionados con la disponibilidad presente y futura del agua, y el deterioro ambiental de las áreas de captación de agua superficial y de recarga de los acuíferos. Donde considera tema prioritario para la protección ambiental y civil, el cuidado de las zonas de recarga y la conservación del clima local. (Escolero et al., 2016)

3.3.1 VULNERABILIDAD AMBIENTAL

La vulnerabilidad ambiental, “Es un concepto que se relaciona con la susceptibilidad o predisposición intrínseca del medio y los recursos naturales a sufrir un daño o una pérdida. Estos elementos, pueden ser físicos o biológicos” (PNUD, PNUMA, CEPAL, & Banco Mundial, 2013). La comprensión de la vulnerabilidad ambiental de una determinada

región implica entender con precisión la susceptibilidad o resistencia de dicha área respecto al impacto de eventos naturales, esta capacidad que posee una región está en proporción directa con el conjunto de servicios ambientales que conserva (bosques, cuencas bien conservadas, etc.). (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 2012)

3.3.2 VULNERABILIDAD SOCIAL

La vulnerabilidad social se refiere al nivel de cohesión interna que posee una comunidad, donde la misma es socialmente vulnerable en la medida en que las relaciones que vinculan a sus miembros entre sí y con el conjunto social, no pasen de ser meras relaciones de vecindad física. (Maskrey, 1993)

Kuroiwa (2002), la define como una serie de factores económicos, sociales y culturales que determinan el grado en el que un grupo humano, está capacitado para la prevención y atención de eventos que amenazan su vida y sus bienes, incluye el conocimiento de los riesgos locales, condiciones y capacidad de la población para recuperarse después del evento.

3.3.3 VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO

En este marco; los sistemas de agua potable son altamente vulnerables serían uno de los más sensible a pequeños cambios en el clima, en donde la sensibilidad incluye el potencial para los efectos nocivos sustanciales, y para la cual se restringe severamente la capacidad de adaptación. (IPCC, 2014)

Las respuestas a las sequías suelen ser reactivas y consisten solo en gestionar las crisis (Zarafshani et al., 2012; Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación - UNCCD, 2013; Mitchell y McDonald, 2015), por lo que se hace necesario la toma de acciones más preventivas mediante la gestión de la vulnerabilidad y el aumento de la resiliencia frente a la sequía (Singh N.P., 2014). La evaluación de la vulnerabilidad se cataloga como un punto de partida para determinar las medidas de mitigación de los impactos y las estrategias de respuesta y adaptación ante sequías (Kelly W.N., 2000).

La vulnerabilidad a sequía de fuentes de agua superficial puede ser evaluada mediante índices ambientales. Varios investigadores indican que el análisis de la vulnerabilidad a menudo se basa en el uso y la agregación de los indicadores en índices, los cuales son eficaces para la planificación y toma de decisiones (Cutter et al., 2000; Moss et al., 2001; Yohe y Tol, 2002; Vicente, 2007; Abuodha y Woodroffe, 2010 y Giri et al., 2012). Los índices pueden ayudar a identificar y priorizar regiones vulnerables, sectores o grupos de la población, aumentar la conciencia, y pueden ser parte de una estrategia de seguimiento (Thang et al., 2016).

3.4 INDICADORES

Los indicadores sirven para ordenar y sistematizar información para la planificación, evaluación y toma de decisiones, y permiten constituir sistemas de información que dan cuenta de las características cuantitativas de un ámbito institucional, económico, geográfico, cultural, educativo, etcétera. Se construyen a partir de datos de censos de contextos regionales, nacionales o supranacionales. Los indicadores son por ello, datos cuantitativos producto de los procedimientos

establecidos por el investigador, quien genera los que todos pueden observar de la misma manera, (Maguaña et al., 2013, p. 26).

Maguaña (2013), describe que para el caso de vulnerabilidad ante cambio climático, es conveniente que el indicador describa aspectos del sistema modificables para que de esta manera, se abra la posibilidad a propuestas de adaptación, además de ser sensible a cambios en el procedimiento.

3.5 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Son herramientas informáticas capaces de sintetizar el espacio, lo que las convierte en un conjunto de instrumentos de gran utilidad para la gestión de los Recursos Naturales y del Territorio. Estos sistemas intentan dar una respuesta adecuada a los problemas que genera el espacio, a través de una serie de mecanismos de análisis, que ofrecen además la posibilidad de dotar a los estudios de una cartografía útil, para llevar a cabo políticas de ordenación y gestión del espacio. (Basildo, 1993)

3.5.1 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) Y LOS RECURSOS HÍDRICOS

La introducción de un SIG, como herramienta de apoyo para la necesaria protección y aprovechamiento racional de los Recursos Naturales a través de la definición, el mantenimiento y modelización de la información, ha permitido la creación y puesta en marcha de sistemas de información ambiental. (Basildo, 1993)

Por otra parte, esta herramienta tecnológica permite obtener datos de satélites para ingresarlos a modelos calibrados y validados que simulan diversos procesos y/o escenarios relacionados al manejo de los recursos hídricos (Sáenz, Schultz, & Hyman, 1997). Sáenz y otros (1997), argumentan que el uso de SIG es útil en la planificación del uso del suelo y, además, ayuda a utilizar de mejor forma los recursos financieros al ser capaz de identificar áreas críticas de manejo en los recursos naturales.

3.5.2 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA APLICADA A LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Constituye en una herramienta útil para la vigilancia y el control de la calidad del agua en los Sistemas de Agua Potable y por consiguiente, para la protección de la salud pública. Así mismo, los resultados de un programa de monitoreo permiten a los administradores del servicio de abastecimiento de agua orientar la toma de decisiones, tanto en la operación y mantenimiento del sistema, como en la planeación, diseño y gestión del mismo. (Montoya, 2009)

3.6 ENFOQUE TEÓRICO

El presente trabajo de campo tiene un enfoque CUALITATIVO - CUANTITATIVO porque primero se trata de buscar y comprender los problemas que se originan en no tener una evaluación integral en dimensiones ambientales, sociales, de adaptación (en las ACA) para garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos del uso y aprovechamiento para diferentes servicios de los habitantes del sector, así también entre los problemas relacionados tenemos la insuficiente disponibilidad de datos SIG en diversas fuentes.

En este trabajo el problema del agua es abordado desde el campo territorial y socio-ambiental, desde un enfoque GIRH, unido deliberadamente al Plan de Desarrollo Nacional, el cual hace mención que todo el potencial relacionado a la gestión hídrica contribuya al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles de la ONU. Mediante la evaluación multicriterio y la identificación de las ACA se podría identificar condiciones desfavorables que podrían afectar a la calidad del agua y el modo de acceder a la misma. Abordar el tema desde áreas prioritarias para la gestión conlleva un paso más, en cuanto incorpora variables relacionadas a la actuación institucional. Por otra parte, implica un cambio de visión estratégica (de lo puntual a lo sistémico) implica gestar nuevas formas de concebir las relaciones problemas/soluciones y de diseñar dinámicas socio-ambientales significativas (García, 2021).

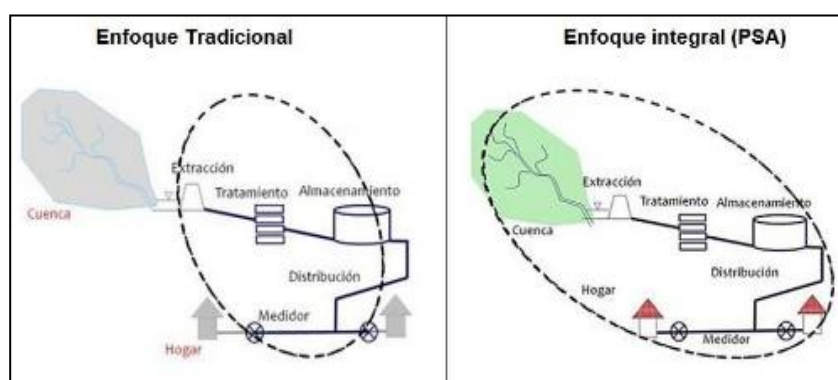
Finalmente, un elemento clave basados en un enfoque de GIRH, es asegurar que todos aquellos interesados en el uso del agua jueguen un papel en su gestión. De forma que el manejo adaptativo hace parte de este enfoque, que desempeña como una herramienta para la gestión integrada de cuencas o ACA, generalmente involucrando múltiples actores y relacionándolos con el contexto, donde se avanza en comprender que ninguna tecnología podrá ser adecuada si no considera la complejidad del territorio y las percepciones de los actores locales, con el objetivo marco de contribuir a la mejora ambiental, social y productiva de los hábitats rurales (Albarracín et al., 2018).

3.6.1 ENFOQUE DEL PLAN SEGURIDAD DEL AGUA

El Plan Seguridad del Agua que promueve la Organización Mundial de la Salud (OMS), trata la forma más eficaz de garantizar el abastecimiento de agua potable, aplicando un planteamiento integral de evaluación y gestión de riesgos que considere todos los componentes del sistema de abastecimiento de agua. Dentro de una evaluación integral la inclusión de la cuenca en el análisis supondría un paso gigantesco en la gestión del agua a nivel del Ecuador. En la Figura 7 se aprecia la diferencia entre el enfoque tradicional e integral (PSA).

Figura 6.

Enfoque tradicional y enfoque integral Plan Seguridad de Agua (PSA).



Nota: Grafico de evaluación recomendado por la OMS identifica. Fuente: <https://www.paho.org/en>

3.7 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO

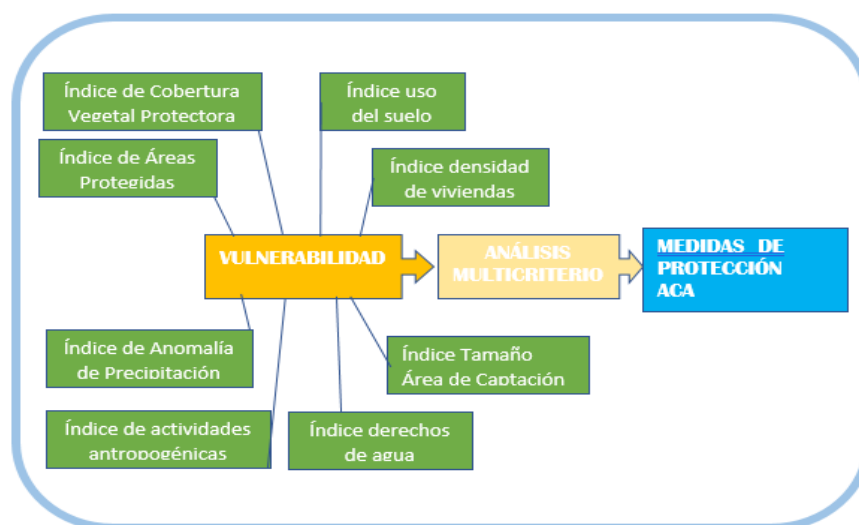
El Análisis multicriterio AMC (Triantaphyllou, 2019) es una herramienta para analizar fenómenos complejos y no repetibles, que no pueden ser verificables objetivamente en laboratorio. Es un método que permite resolver problemas de decisión y planificación que involucran múltiples criterios y orientar la toma de decisiones tomando como basamento varios criterios comunes.

3.7.1 EL ANÁLISIS MULTICRITERIO JERÁRQUICO

El Análisis Multicriterio Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP) es un método de descomposición de estructuras complejas en sus componentes, ordenando estos componentes o variables en una estructura jerárquica, donde se obtienen valores numéricos para los juicios de preferencia, considerando la importancia relativa de cada variable y, finalmente los sintetiza para determinar qué variable tiene la más alta prioridad. (Leguizamon Sierra & Yepes Gonzalez, 2014) Este método fue desarrollado por Saaty en 1980.

Figura 6.

Esquema del análisis multicriterio.



Según (Paredes-Rodríguez et al., 2019) la jerarquización representa la descomposición del problema en las partes que lo componen. En esta línea un problema está constituido en: un foco, en criterios generales (dimensiones), criterios específicos.

- Foco, es el objetivo amplio y global. Es lo que se espera resolver.
- Criterios generales, son los elementos o dimensiones que definen el objetivo principal.
- Criterios específicos o subcriterios, son los elementos que definen el criterio debajo del cual ellos se encuentran. Deben ser cuantificables, esto significa que pueden ser variables cuantitativas y cualitativas (pero que puedan ser cuantificables, por ejemplo, ordinalmente).

Para la valoración de los criterios se utiliza la escala de Saaty, la cual se utiliza en el proceso analítico jerárquico (AHP) para la comparación de criterios. Esta escala otorga un peso del 1 al 9. Cuando el factor fila es más importante que el factor columna (1, 3, 5, 7, 9) y al contrario, cuando el factor columna es más importante que el factor fila el valor de la tasa es el equivalente recíproco (1/9, 1/7, 1/5, 1/3). Y la diagonal tiene valores de 1 ya que un factor que se compara consigo mismo tiene la misma importancia. (Alvarado et al., 2016)

En este informe de investigación se aplicó el (AMC) como una herramienta para jerarquizar la prioridad de protección de las ACA, para ello se seleccionaron los elementos más representativos que pueden ser cuantificados con la información disponible, y que corresponden a los 8 índices descritos en apartados anteriores y calculados para 6 Puntos de Captación de Agua: Índice Uso de Suelo (IUS); Índice Tamaño ACA (ITA); Índice de Densidad de Viviendas (IDV); Índice de Actividades Antrópicas (IAA); Índice Concesión de Agua (IDA); Índice Áreas Protegidas (IAP); Índice de Capacidad de Adaptación (ICA), e Índice Cobertura Vegetal Protectora (ICV).

3.7.2 ESTADO DEL ARTE DE ESTUDIO DEL PROBLEMA

Tabla 1.

Matriz para definir y confeccionar el estado del arte.

Autor	Año	Idea principal
Rodrigo Peña Sebalde,	2020	En esta investigación se caracterizó y evaluó la vulnerabilidad de las ACA de la Región del Biobío, frente a diversas presiones de uso o factores forzantes . Para ello se identificaron, describieron y representaron, espacialmente, las ACA y se estableció un índice de vulnerabilidad, a escala regional y de subcuenca hidrográfica, que permita orientar medidas y acciones de gestión.
Gerardo Azócar García, Carolina Baeza Freer	2021	En este estudio se aplicó el Análisis Multi-criterio como una herramienta para jerarquizar la prioridad de protección de las ACA , para ello se seleccionaron los elementos más representativos, y que corresponden a los 9 indicadores y calculados para 177 ACA: Indicador Uso de Suelo; Indicador Tamaño ACA; Índice de Desarrollo Socio-Económico; Indicador de Densidad de Viviendas; Indicador de Actividades Antrópicas; Indicador de Densidad Vial; Indicador Derechos de Agua; Indicador Áreas Protegidas, e Indicador de Vulnerabilidad del Acuífero.
Peña Sebalde et al	2020	El estudio realizado en la región de Biobío en Chile sobre las Áreas de Captación de Agua Potable (ACA), hace un análisis territorial y espacial de vulnerabilidades asociadas a las ACA y representadas a través de un conjunto de indicadores, permite orientar, estratégicamente, la focalización de la inversión pública y la adopción de medidas regulatorias orientadas a reducir la presión de determinadas actividades económicas y presiones de uso sobre importantes cuencas productoras de agua potable . En este estudio establece indicadores de evaluación con enfoque metodológico multicriterio e integrado en un contexto territorial, geográfico, ecológico y económico.
Escolero et al.,	2016	En este informe de evaluación multicriterio los participantes fueron profesionales en el diseño, construcción, operación y gestión de las fuentes de abastecimiento a la CDMX, donde se definió una lista de indicadores representativos. Agrupando factores y problemas en “infraestructura”, “área de captación, y socio-administrativos , y posteriormente se determinaron aquellos indicadores que inciden en la vulnerabilidad a fin de identificar áreas de oportunidad para reducir o mitigar dicha vulnerabilidad.
Alvarado J.	2016	En México, publicó un trabajo basado en el análisis de decisión de criterios múltiples como una herramienta de decisión para facilitar el proceso de priorización de fuentes de agua potable que necesitarían más protección ante el riesgo de contaminación. En ese estudio, se tomaron en cuenta tres aspectos y criterios básicos para la protección de la calidad del agua: natural, antrópico y técnico .
FAO	2015	La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2015) en su publicación los Bosques del Mundo manifiesta; que las áreas de protección, requiere un nuevo enfoque en la planificación y ordenamiento de las zonas rurales, un ‘nuevo modelo forestal’ que

		considere el cambio climático y ‘ordene el territorio para aminorar externalidades negativas, producir bienes de manera sostenible y crear un ambiente de bienestar’.
Iribarnegaray	2010	Los indicadores de sustentabilidad para el estudio de la gestión del agua y el saneamiento en la ciudad de Salta (Seghezze et al, 2010) han demostrado la importancia de zonificar en el área de estudio sitios de diferentes criticidades según criterios definidos , como paso previo al cálculo de indicadores de sustentabilidad específicos. El proceso de selección de un lugar crítico debe ser simple y claro, pudiendo ser suficiente en muchas ocasiones la opinión de expertos locales.
Smith & Thwainess	1998	El Modelo de Identificación de Amenazas (TIM) es una herramienta que ayuda a la evaluación ex ante de la Sostenibilidad del ordenamiento de tierras agrícolas a escala de unidad . Este modelo enlaza las amenazas en la productividad de la tierra y la integridad ambiental con información de los recursos disponibles y opciones para el ordenamiento de la tierra con sus posibles efectos. El TIM puede usarse como apoyo para la toma de decisiones en la planificación del ordenamiento de las tierras.
Sena et al.	2012	Evaluaron la vulnerabilidad de ríos en la Cuenca del Amazonas ante eventos climáticos extremos, considerando aspectos geo-ecológicos y socio-ambientales , donde arrojaron valores de vulnerabilidad alta.
Wilhelmi y Morss	2013	Evaluaron la vulnerabilidad ante precipitaciones extraordinarias en Fort Collins, Colorado, considerando los aspectos sociales, donde determinaron que se encuentra en el rango de vulnerabilidad media entre los factores evaluados.
Pandey et al.	2010	Analizaron la vulnerabilidad a sequías en la cuenca Sonar en India, considerando aspectos como la topografía, uso del suelo, demanda de agua, disponibilidad de agua y registros de precipitación , donde se encontró que la vulnerabilidad a la demanda de agua es la que más índice en la problemática.
Hamouda et al	2009	Analizaron la vulnerabilidad en la cuenca del Río Nilo con base en 31 indicadores que consideran aspectos hidro-físicos y socio-económicos que permitieron tener una idea mas clara de la problemática socio-ambiental, cuyos resultados muestran que ambos aspectos se tienen una vulnerabilidad media alta.
Mc Kinney and Cai	2002	La utilización de Sistemas de Información Geográfica (GIS) puede ser una herramienta adecuada para espacializar datos relacionados al sistema de agua y el saneamiento, posibilitando obtener una visión integral del sistema. Los SIG también son herramientas cada vez más utilizadas en los procesos de planificación económica, territorial y ambiental.
Kim et al,	2013	Han desarrollado índices de la vulnerabilidad ante sequías como son: el índice de riesgo de sequía –y el índice de vulnerabilidad hídrica por desabastecimiento (IDEAM, 2010), dichos índices, tienen la característica común que se basan solo en información hidrológica y climática o consideran sólo algunos factores relevantes del concepto de vulnerabilidad, dejando de lado otros elementos que deben considerarse en el ámbito social, institucional y ambiental, para efectos de hacer una evaluación más integrada.

Sabina Talero	2004	Realiza una revisión biografía donde concluye que las cualidades de las evaluaciones de impacto ambiental convenientes para los países en desarrollo deberían ser: “simplicidad, bajo costo, rapidez, flexibilidad, incorruptibilidad y promoción de la voluntad política para involucrar la evaluación de impacto en la planeación y toma de decisiones”
---------------	------	--

Como se muestra en la presente tabla resumen, el AMC se ha utilizado en los últimos años como método de apoyo para la toma de decisiones en el marco de la gestión de recursos naturales; las investigaciones o trabajos citados utilizaron la técnica para resolver problemas vinculados directamente con la gestión del recurso escaso agua. Además, se detallan los pasos para llevar a cabo el AMC y se presentan los principales resultados obtenidos en su aplicación.

4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

4.1 ÁREA DE ESTUDIO

El Cantón Tisaleo se encuentra ubicado en el sector Sur Occidental de la provincia de Tungurahua, a 15 km al sur de la ciudad de Ambato con una altitud promedio de 3.247 m.s.n.m. en el centro de la ciudad (pileta parque central); con una altitud de 3.425 m.s.n.m. en la zona alta, (Santa Lucía Arriba- Cancha de uso múltiple); y con una altitud de 3.015 m.s.n.m. en la zona baja, (Alobamba-cancha de uso múltiple); todo el territorio cuenta con un área aproximada de 59.90 km² o equivalente a 5.990.00 Ha (Tisaleo, 2019)

Tisaleo cuenta con el relieve montañoso más alto como es el Carihuairazo (5.106m de altura) y el Puñalica (3.996m de altura). Estos relieves montañosos poseen pendientes que van desde el 12% hasta el 70%. También la temperatura oscila entre los 3° y los 20°C, siendo la parte suroriental la que presenta mayores temperaturas (con temperaturas superiores a los 16°C) y el suroccidente de la provincia la que menores valores posee (con temperaturas inferiores a los 6°C). (Senagua, 2016)

El cantón Tisaleo ha tenido un crecimiento progresivo a lo largo de las décadas, de acuerdo a los datos del último censo poblacionales del INEC obtiene un dato general estadístico de 15.317 habitantes para el año 2022, lo que refiere a nivel de Tungurahua el cantón con la más alta tasa de crecimiento poblacional.

La información obtenida del Ministerio de Agricultura, Ganadería (MAG), determina que en el cantón Tisaleo la utilización del suelo se centra en diferentes actividades como: Agrícola y pecuario con el 60,25%, pastizal con el 15,25%, forestal y arbustiva 12.50%, natural, conservación y protección 9%, infraestructura antrópica y habitacional con el 3%.

Siendo uno de los principales problemas la presencia de cultivos comerciales en zonas de páramo, avance de la frontera agrícola, sobrepastoreo de ganado bovino

(con alrededor de 1.500 cabezas de ganado) y las extensas plantaciones de pino (con presencia excesiva de hongos), el cual podría provocar una desecación general del área. (Tisaleo, 2019)

Por otro lado, es de conocimiento que los principales suministradores de agua son los ecosistemas de páramo que se ubican en la zona alta de las subcuencas del río Ambato, y río Pachanlica. Estos ecosistemas brindan servicios ambientales esenciales como el abastecimiento y regulación del agua. (Senagua, 2016). Los páramos del cantón Tisaleo se encuentran fraccionados por predios menores a 1 ha, y el páramo de Pampas de Salasaca se encuentra en propiedad de tres comunas: Chilco La Esperanza, El Calvario, Santa Lucia Bellavista. (Tungurahua, 2018)

El páramo Pampas de Salasaca, posee una superficie de 601 ha, en la Reserva de producción Faunística de Chimborazo, el mismo que es considerado como un ecosistema frágil, debido a que es uno de los páramos más degradados del frente sur occidental, pese a estar dentro la Reserva de Producción Faunística de Chimborazo (RPFCH), forma parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador, de acuerdo a la información del MAATE. La RPFCH, a nivel cantonal, representa el 18,49% del total de la superficie, con aproximadamente 1.103 has.

La red hídrica de Tisaleo forma parte de la cuenca alta del río Pastaza perteneciente a la provincia de Tungurahua, la misma que está conformada por las microcuencas del río Ambato, parte de los ríos Cutuchi, Patate, parte del Chambo y el llamado Pastaza medio. La microcuenca del río Ambato, ubicada en la cordillera occidental de los Andes, por el lado noroccidental, cuenta con diferentes afluentes como son los ríos Blanco, Colorado, Calamaca y Alajua, mientras que por el lado suroccidental está conformado por las unidades hidrográficas como es el río Ambato y río Pachanlica, estas dos últimas unidades localizadas en la superficie del cantón Tisaleo (Tungurahua, 2018). Los ríos Ambato y Pachanlica nacen de las estribaciones de los volcanes Chimborazo y Carihuairazo del cerro Casahuala y del nudo del Igualata.

En la microcuenca del río Pachanlica se encuentran asentadas cuatro cabeceras cantonales: Cevallos, Mocha, Tisaleo y Quero, los dos últimos con

aproximadamente 80% de su territorio localizados en la microcuenca. Su superficie es de 37.562 ha aproximadamente, está cubierta en un 27% por ecosistemas naturales, 73% de área agrícola y áreas en procesos de erosión, en último lugar el 1% de la superficie es de asentamientos humanos. Su unidad hídrica es el río con el mismo nombre, con 52km de longitud. Según datos de la exSENAGUA aporta con 2.833 l/s de agua para riego. Los suelos de la microcuenca son de tipo franco y franco arenosos, estos suelos son regados por gravedad a cultivos de ciclo corto y pastos (Tungurahua, 2018)

La microcuenca cuenta con un 27% de ecosistemas naturales, de los cuales el 85% son ecosistemas de páramo. Los afluentes del río Pachanlica que se encuentran dentro del cantón Tisaleo provienen de las quebradas: Morejón, Palahua, Culluchaqui y Chusalongo (H. Gobierno Provincial de Tungurahua, 2014).

Según información de la exSENAGUA, las fuentes oficiales de agua que el cantón Tisaleo utiliza para el abastecimiento, tanto para riego como para consumo humano, provienen de las siguientes quebradas y vertientes: -Quebradas: Chushalongo, Olalla, Catequilla y Palahua (Pertenecientes a la unidad hidrográfica del Río Pachanlica) -Vertientes: Ventanilla Lalama y Cienega, Laguna Ciega, Sombrería, Vertiente de la Quebrada Totoral, Minas de Molina (Quinchicoto, 2019). En el territorio cantonal existe uno de los tres acuíferos que tiene la provincia de Tungurahua, en la subcuenca del río Pachanlica, ubicada en el sector de las quebradas Palahua y Totoras (Tungurahua, 2018)

El servicio de agua potable para el cantón Tisaleo esta abastecido por dos subcuenca río Pachanlica y río Ambato; y está dado por dos instancias: La Dirección de Agua Potable y Alcantarillado del GAD Municipal y las Juntas Administradoras de Agua Potable (JAAP) comunitarias. Las JAAP que brindan actualmente el servicio de agua potable son: Quinchicoto El Porvenir, El Calvario, Chilco La Esperanza, Santa Lucía La Libertad y San Francisco Tisaleo; Mientras que Municipio de Tisaleo por medio de la Dirección de agua Potable y Alcantarillado también brinda el servicio de abastecimiento de agua potable.

Para poder abastecer del líquido vital a la población Tisaleña se lo hace por medio de las Juntas Administradoras de Agua Potable y de la municipalidad las mismas que captan el agua subterránea, en su mayoría en la parte alta (estribaciones del Carihuarazo) de las 2 subcuencas, mientras que la JAAP de Santa Lucía La Libertad, el área de captación de agua (ACA) se encuentra en la parte media del cantón.

Para la ejecución del presente informe de investigación, fue necesaria la utilización de distintos tipos de materiales distribuidos de la siguiente forma:

a) Recursos Humanos

- Miembros de las JAAPs y representante de Dirección de agua potable del GAMDT
- Analistas de Sistemas de Información Geográfica (Tisaleo)

b) Recursos materiales

- Equipo GPS
- Cámara fotográfica

c) Insumos

- Software Informático: ArcGis 10.4.1
- Orto fotos escala 1:25000
- Material bibliográfico
- Ficha de campo
- Computador

4.2 IDENTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y REPRESENTACIÓN ESPACIAL DE LAS ÁREAS DE CAPTACIÓN DE AGUA (ACA)

El primer objetivo del presente informe de investigación es la definición de las ACA, para lograr este objetivo, se estableció la siguiente metodología de trabajo.

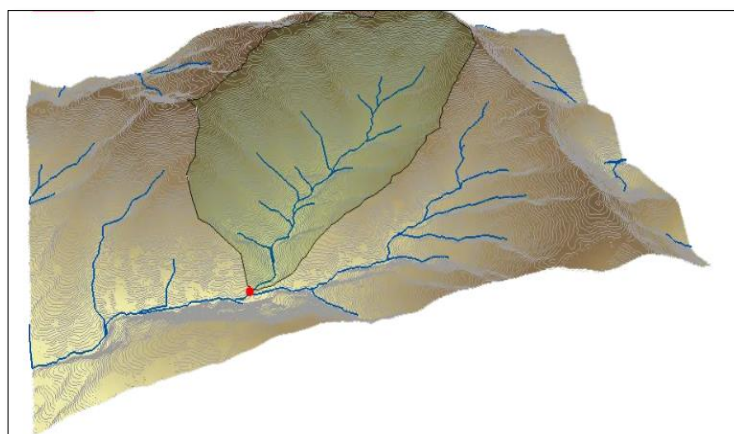
1. Reunión de arranque, en la que participaron, en representación GAMD de Tisaleo el Director de Dirección de Agua Potable y Saneamiento y los Presidentes de las 5 JAAP's, donde establecido un cronograma de trabajo antes de realizar un recorrido por cada una de las fuentes de abastecimiento de agua existentes en el cantón.
2. Recorrido y observación en el campo, durante el recorrido se evidenció la situación actual de las fuentes de agua. Así mismo, se identificó y delimitó la zona de estudio.
3. Recopilación de información secundaria que incluyó la cartografía del cantón Tisaleo cuya base de datos fue proporcionada por el GADM
4. Socialización con la totalidad de los prestadores del servicio que existe dentro del cantón, Directivas de la Juntas Administradoras de Agua Potable y el Director de la Dirección de Agua Potable del GADMT, se explicó el alcance y la metodología para la elaboración de la evaluación de vulnerabilidad de las áreas de influencia de todas las fuentes de agua utilizadas por los prestadores existentes.

De acuerdo con la (Dirección, 2021) una cuenca se define como un “Área geográfica cuyas aguas superficiales y subterráneas drenan o vierten a una red hidrográfica común y finalmente hacia un curso mayor o principal que desemboca en el mar o lago”. Por lo que, para el presente caso las ACA se identificaron considerando el área de aportación principal al punto de captación de agua subterránea o superficial, donde inicia el sistema de captación para la potabilización del agua y que forma parte de una cuenca, micro-cuenca o sub cuenca.

En la figura 8, se presenta el proceso de definición del área de aportación de cada ACA, en donde se identifican los puntos de captación existentes. Para definir el área, se usó la herramienta GIS y se levantaron puntos GPS de cada captación, para lo que, posteriormente se los ubicó en el mapa de modelo digital de terreno (MDT) del cantón.

Figura 7.

Ubicación punto captación de agua potable y ACA



Nota: Este procedimiento se aplicó para todas las ACA en estudio. Fuente: (Cofrep, 2022)

En el recorrido realizado por cada una de las ACA y fuentes de agua las JAAPs, se procedió a identificar y a tomar los puntos con el GPS, para posteriormente los puntos capturados fueron subidos al SIG (ArcGIS) para generar los tamaño de cada una de las ACA que corresponderán a un área de drenaje o de aporte como se lo observa en la figura 9, también fue necesario para la delimitación de las ACA información digital como el Modelo Digital de Elevación (MDE) proporcionado por el Departamento de Avalúos y Catastros del GADM de Tisaleo.

Por ejemplo, en la figura 9, se presenta el tipo de captación superficial de la JAAP de Quinchicoto la cual se capta de un riachuelo que ingresa a un cajón recolector.

Figura 8.

Captación superficial de la JAAP el Porvenir de Quinchicoto.



Para este caso de estudio, se ha considerado de manera general, el identificar y clasificar las captaciones como superficial y subterráneo, para cada Sistema de Agua potable. Es importante indicar que, las captaciones subterráneas, en muchos casos, al momento de procesar la información en ArcGIS, no generan un área o ACA, debido a que la captación se encuentra alejada de un curso de agua.

Asimismo, las captaciones de aguas subterráneas que se encuentran cerca de un curso de agua superficial, pueden generar un área o ACA. Por ejemplo, la captación 'subterráneas' de Santa Lucia - La Libertad, que se muestra en la figura 10.

Figura 9.

Captación subterránea de la JAAP Santa Lucia – La Libertad.

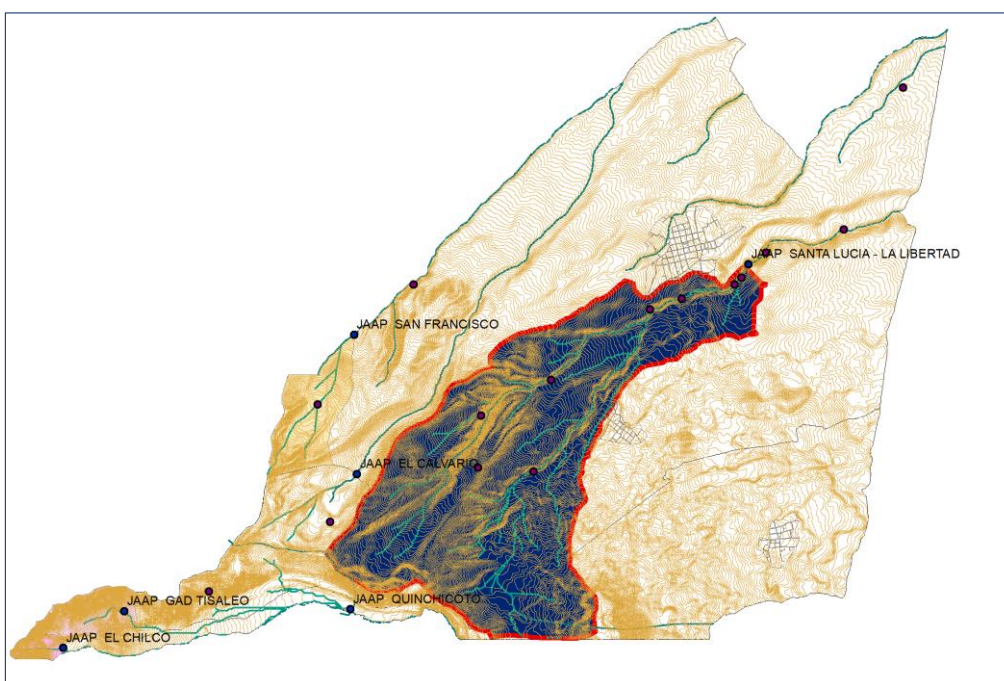


4.2.1 REPRESENTACIÓN ESPACIAL DE LA ACA

Por medio del uso de SIG (ArcGIS 10.4.1) se elaboró el mapa de delimitación de la ACA del área de estudio como se indica en la figura 11, de igual forma, se utilizó el mismo software para elaborar todos los mapas de la investigación. Para la elaboración de los mapas, se utilizó información digital proporcionada por la municipalidad de Tisaleo como cartografía base y se creó una base de datos alfanumérica y gráfica. Toda la información permitió la construcción de los subíndices y el cálculo de la vulnerabilidad de las ACA.

Figura 10.

Delimitación del ACA de la JAAP de Santa Lucia la Libertad.



Nota: Elaborado sobre el archivo shapefile del MDT. Fuente: Plano base del GADMT

En la figura N°11, se presenta la ACA N°1 que corresponde a JAAP de Santa Lucia la Libertad, se muestra la ACA delimitada, haciendo uso de SIG. Este proceso se replicó para todas las ACA.

4.2.2 DESCRIPCIÓN, CARACTERIZACIÓN, Y REPRESENTACIÓN DE LOS ÍNDICES DE VULNERABILIDAD PARA LAS ACA.

La caracterización de las ACA y la selección de los índices, se basó en la revisión de documentos y publicaciones científicas tanto de organismos nacionales e internacionales, así como de informes y reportes de carácter público. De igual forma para la estructuración y establecimiento de los índices se consideró los criterios emitidos por los profesionales convocados.

De manera que para el establecimiento de los índices se ha considerado la dinámica social, ambiental y técnica en función de la realidad territorial del cantón los mismos que han permitido elegir varios elementos representativos que pueden ser ponderados con la información disponible y recabada para la investigación. De modo que se definieron los siguientes índices, que serán la base del cálculo para el análisis de la vulnerabilidad de las ACA:

1. Índice de Uso del suelo (US)
2. Índice de Tamaño del área captación de agua potable (TA)
3. Índice de Densidad de Viviendas (DV)
4. Índice de Actividades Antropogénicas (AA)
5. Índice de Derechos de Agua (DA)
6. Índice de Área Protegidas (AP)
7. Índice de Anomalía de Precipitación (APr)
8. Índice de Cobertura Vegetal Protectora (CV)

La construcción del Índice de Vulnerabilidad de las ACA se basó en la combinación de una serie de sub-índices que reflejan la dinámica productiva, ambiental, y socio-demográfica que actúan, de manera conjunta, sobre un territorio definido o una ACA. En la Tabla 2, se presenta una síntesis de los 8 índices seleccionados.

Tabla 2.

Índices de Vulnerabilidad

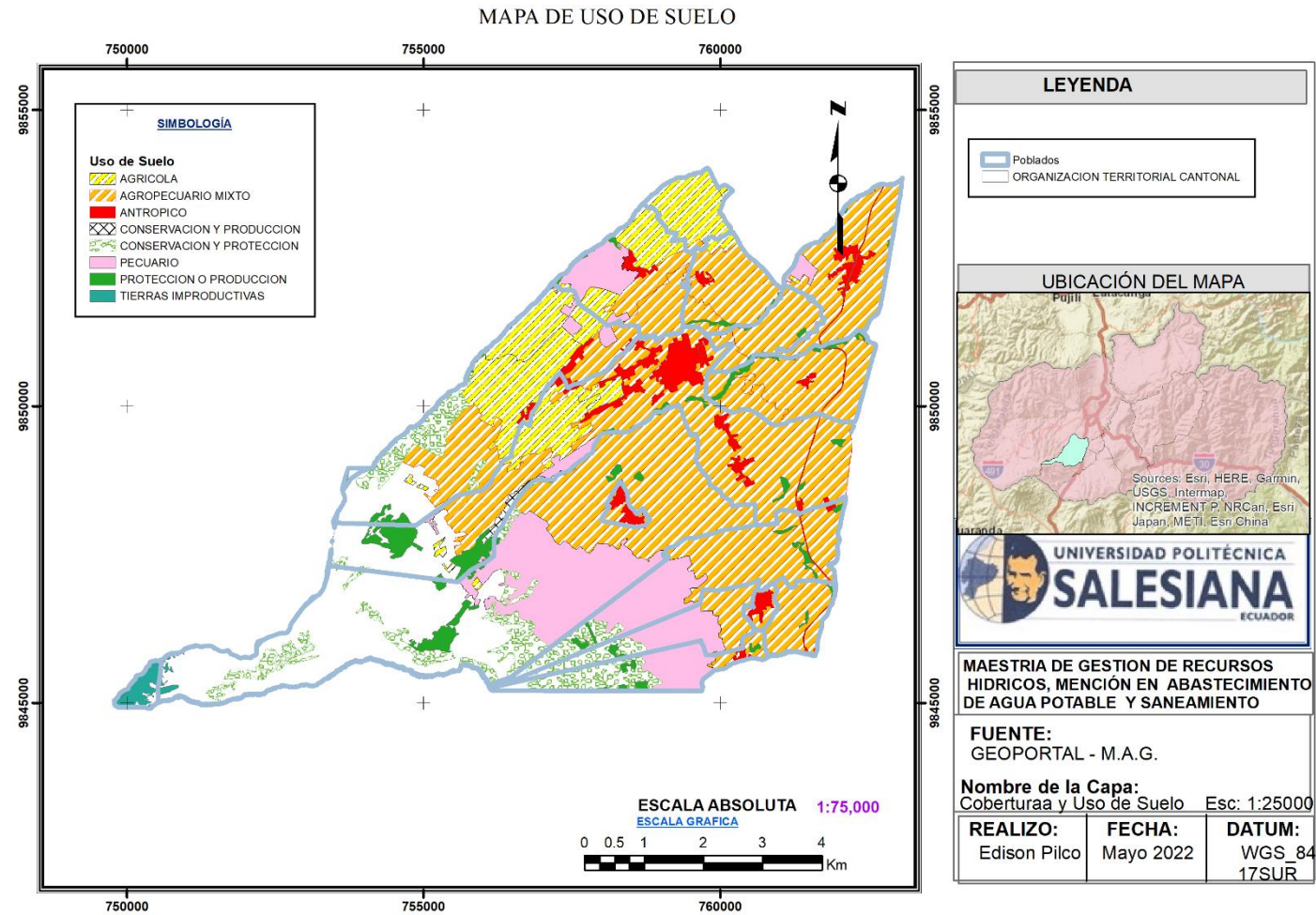
ÍNDICE	SIGLA	FUENTE	INFORMACIÓN
Uso de Suelo	US	Ministerio de Agricultura y Ganadería. Nombre Capa: Capa de Cobertura y Uso de Suelo. Esc: 1:25000 Año 2016	Catastro y Evaluación de Recursos Vegetacionales Nativos del cantón Tisaleo. El uso de suelo se refiere a la categoría de utilización del suelo rural del país. Ver figura 12.
Tamaño Área de Captación de Agua Potable	TA	Departamento de Avalúos y Catastros Gadm Tisaleo. Nombre Capa: Capa de Carta Topográfica Ambato Esc: 1:50000 Año 2013	Planilla de coordenadas de las captaciones de agua potable de los sistemas concesionadas, tanto de las JAAP y de la Municipalidad de Tisaleo. Luego a partir del MDT proporcionado por Gadm de Tisaleo se calcula la ACA de cada captación, conforme lo explicado en el ítem 5.3.1 Ver figura 13.
Densidad de Viviendas	DV	Departamento de Avalúos y Catastros Gadm Tisaleo. Nombre Capa: Capa de Viviendas urbanas y rurales. Esc: 1:25000 Año 2022	Registro de viviendas rurales y urbanas. Ver figura 14. Antrópicas
Actividades Antrópicas	AA	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, y el Gadm Tisaleo. Nombre Capa: Capa de Actividades Antrópicas Esc: 1:25000 Año 2022	Catastro, de plantas de tratamiento de aguas servidas rurales, cementerios, rellenos sanitarios, industrias, acuícola. Ver figura 15.
Derechos de Agua	DA	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. Nombre Capa: Capa de Uso y Aprovechamiento de Agua Esc: 1:50000 Año 2015	Derechos de aprovechamiento de aguas para consumo y para riego registrados en MAATE. Ver figura 16.
Áreas Protegidas	AP	Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica y el Gadm Tisaleo. Nombre Capa: Capa de Área Protegidas Esc: 1:50000 Año 2015	Registro Nacional de Áreas Protegidas del MAATE, Reserva de la Biosfera, Sitios prioritarios del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado, Áreas de protección privada. Ver figura 17.
Índice de Anomalía de Precipitación	APr	Anuario Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Nombre Capa: Capa de Limite cantonal Esc: 1:25000 Año 2014	Registro de datos almacenados de estación meteorológica, ubicada en la subcuenca del río Pachanlica. Ver figura 18.
Índice de Cobertura Vegetal Protectora	CV	Inspección Técnica Campo. Nombre Capa: Capa de Limite cantonal Esc: 1:25000 Año 2014	Evaluación de información recolectada en recorrido de cada uno de las ACA. Ver figura 19.

La descripción de cada índice se detalla en el ítem 5.3.1

En las siguientes figuras 12 a 19, se muestra los mapas levantados para cada uno de los índices considerados para el desarrollo de informe de investigación.

Figura 11.

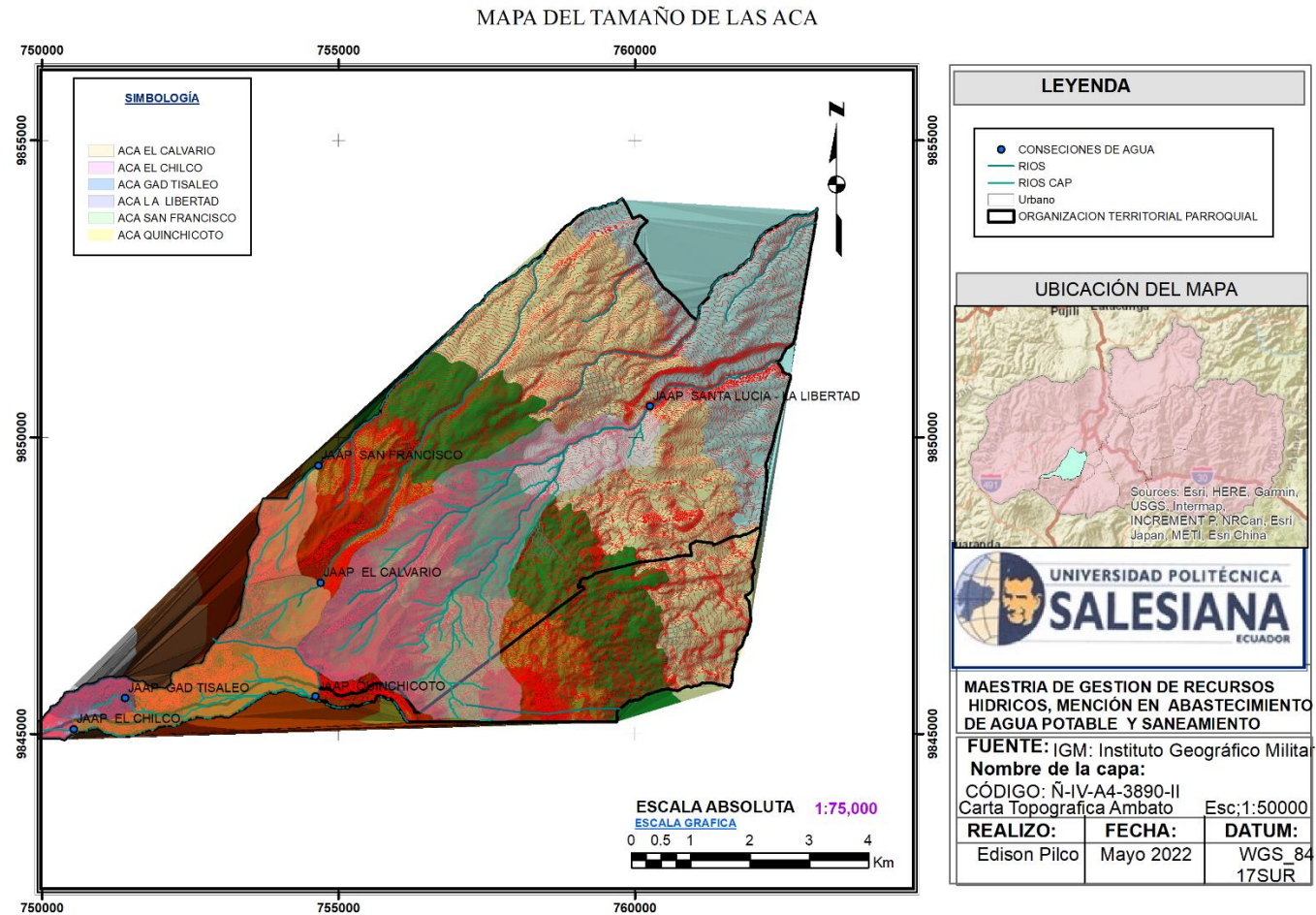
Uso de suelo en el área de estudio.



Nota: Se han considerado todos los usos de suelo para el cantón. Fuente: <http://geoportal.agricultura.gob.ec/index.php/visor-geo>

Figura 12.

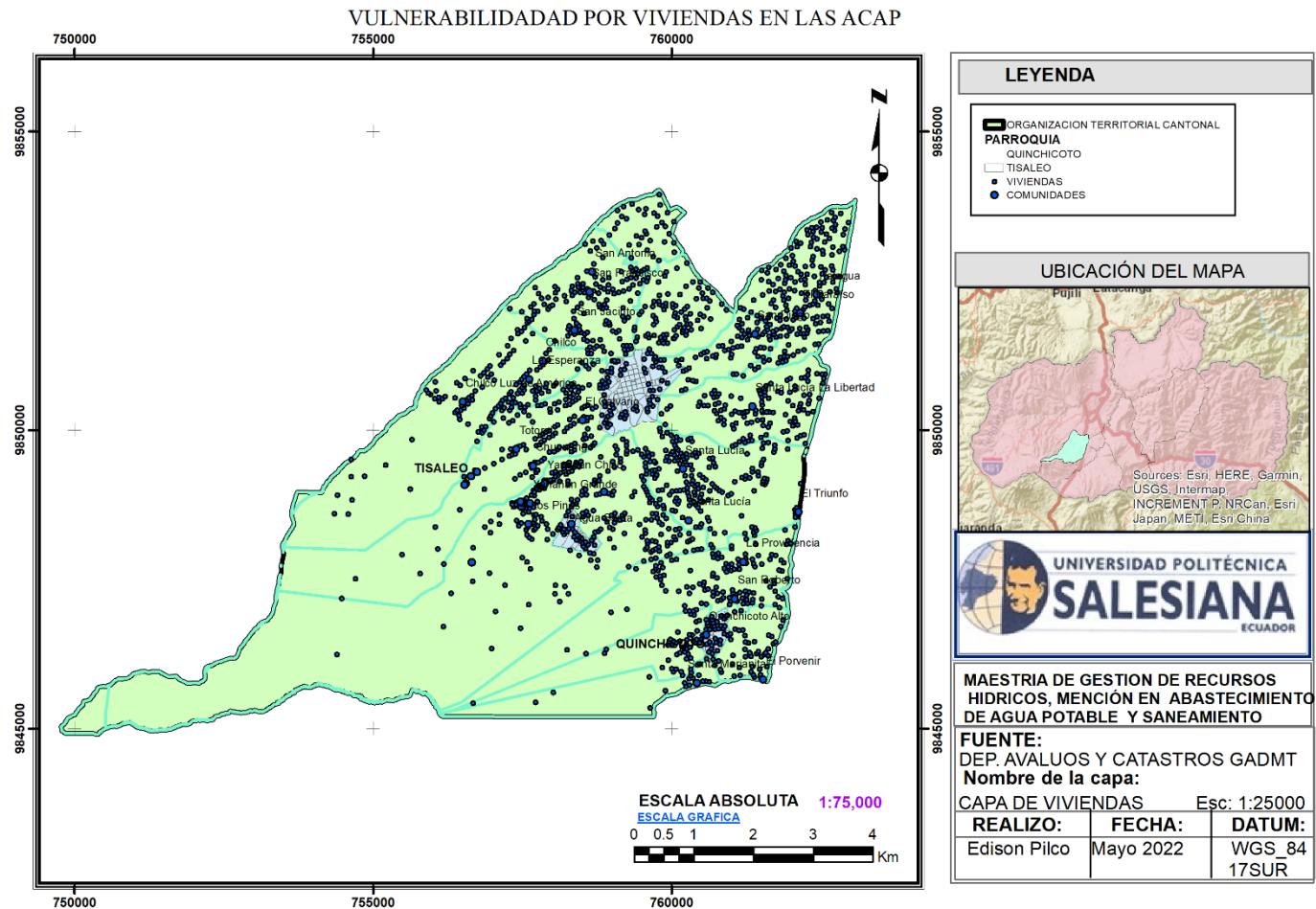
Modelo Digital de Terreno y ACA.



Nota: A partir de los MDT se han elaborado todas las ACA de la zona de estudio. Fuente: (Dep. de Avalúos y Catastros del GADMT., 2021)

Figura 13.

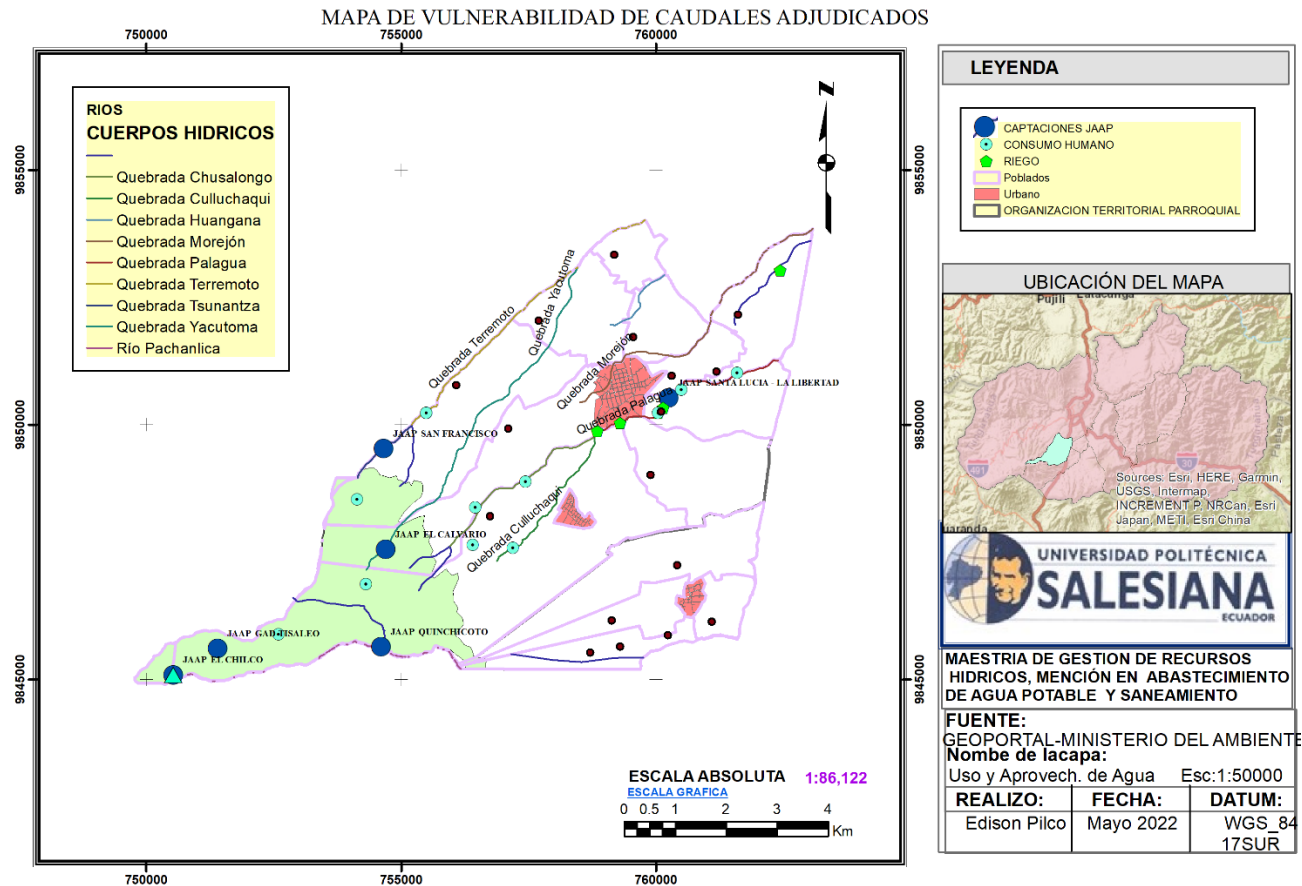
Viviendas rurales y urbanas existentes del cantón Tisaleo.



Nota: Se muestra el número de viviendas totales del cantón. Fuente: (Dep. de Avalúos y Catastros del GADMT., 2021)

Figura 14.

Mapa de ubicación de las concesiones de agua.

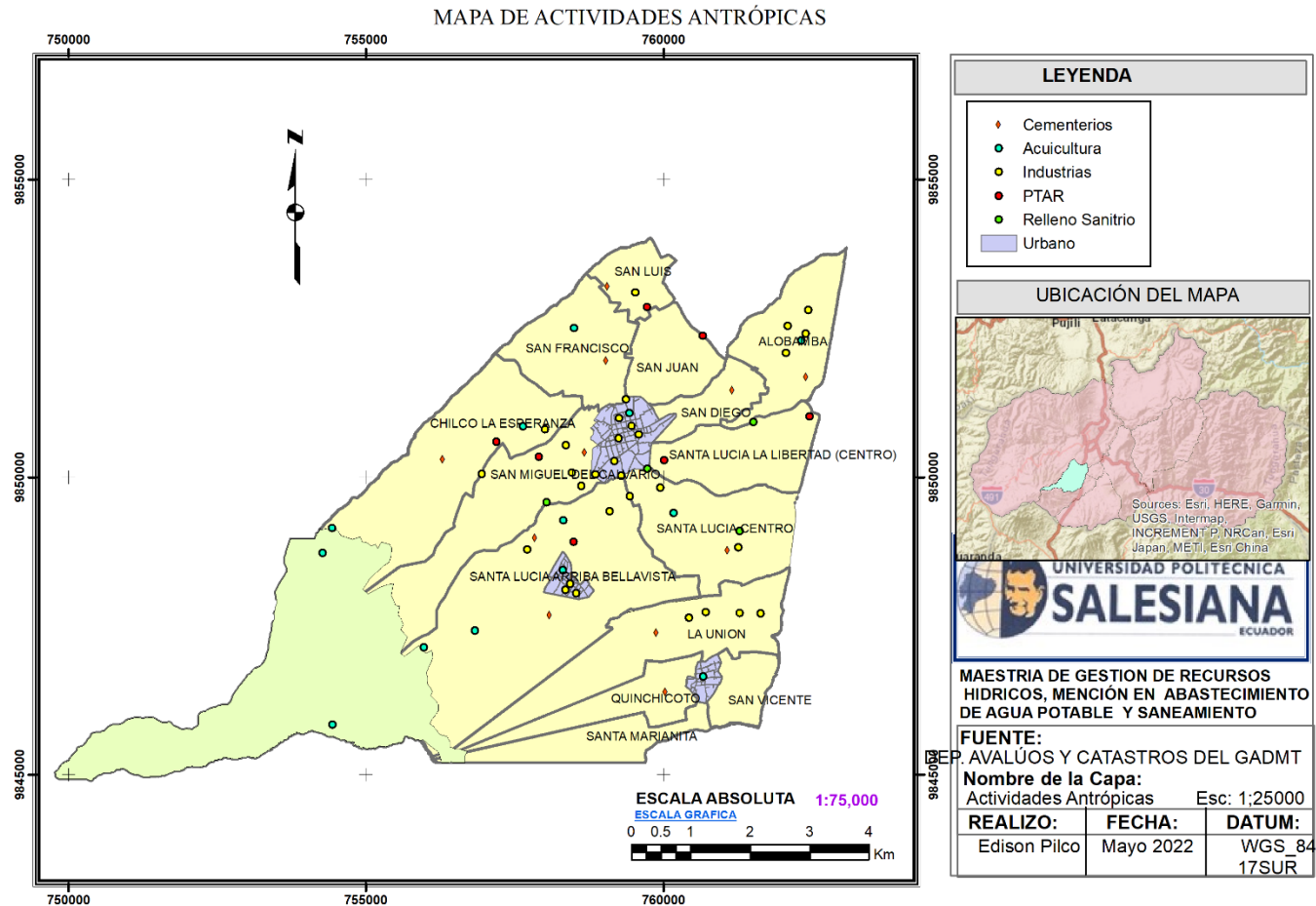


Nota: Se muestra la ubicación del total de registros de fuentes concesionadas del cantón. Fuente:

<http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>

Figura 15.

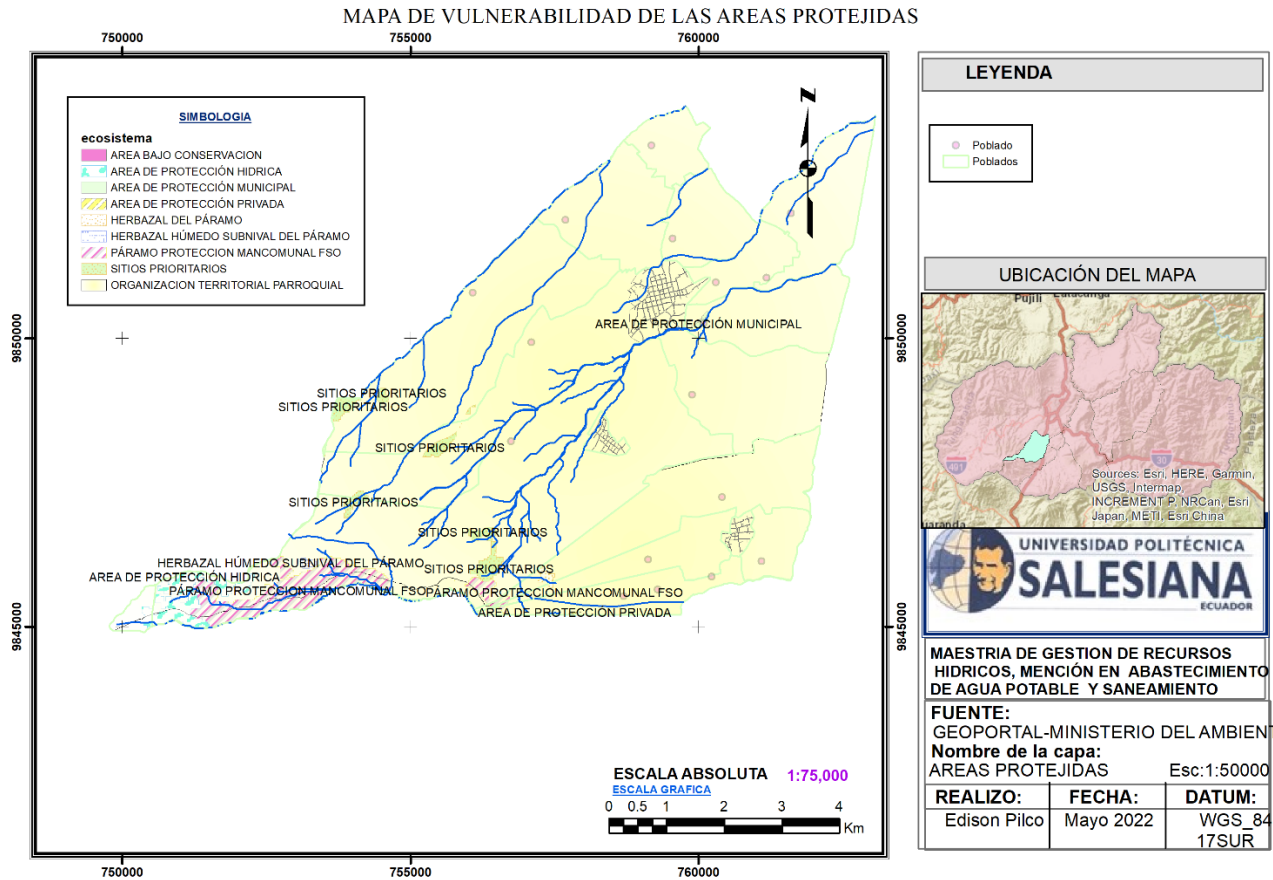
Mapa de las actividades antrópicas.



Nota: Ubicación de las diferentes actividades en el territorio cantonal. Fuente: (Dep. de Avalúos y Catastros del GADMT., 2021)

Figura 16.

Mapa de las áreas protegidas.

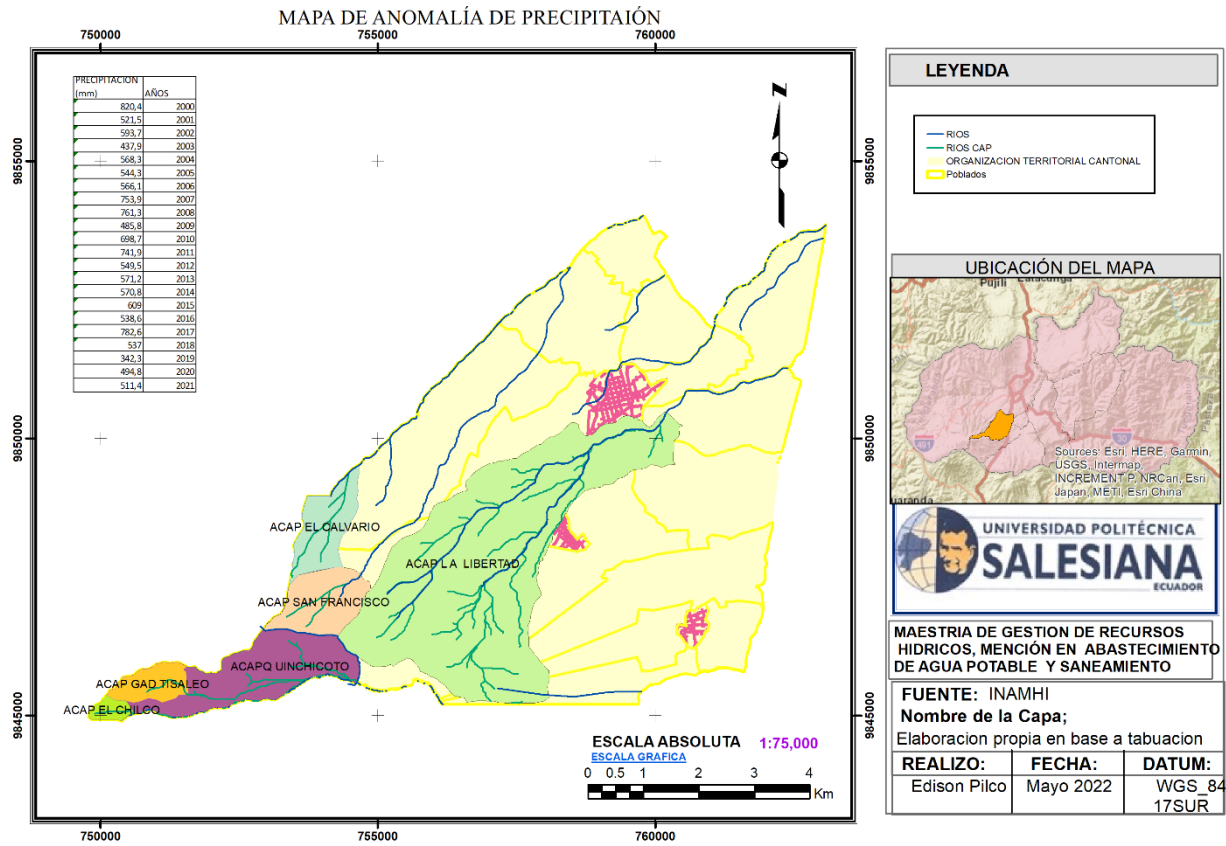


Nota: Se han incluido las áreas protegidas que se encuentran dentro del territorio cantonal. Fuente:

<http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>

Figura 17.

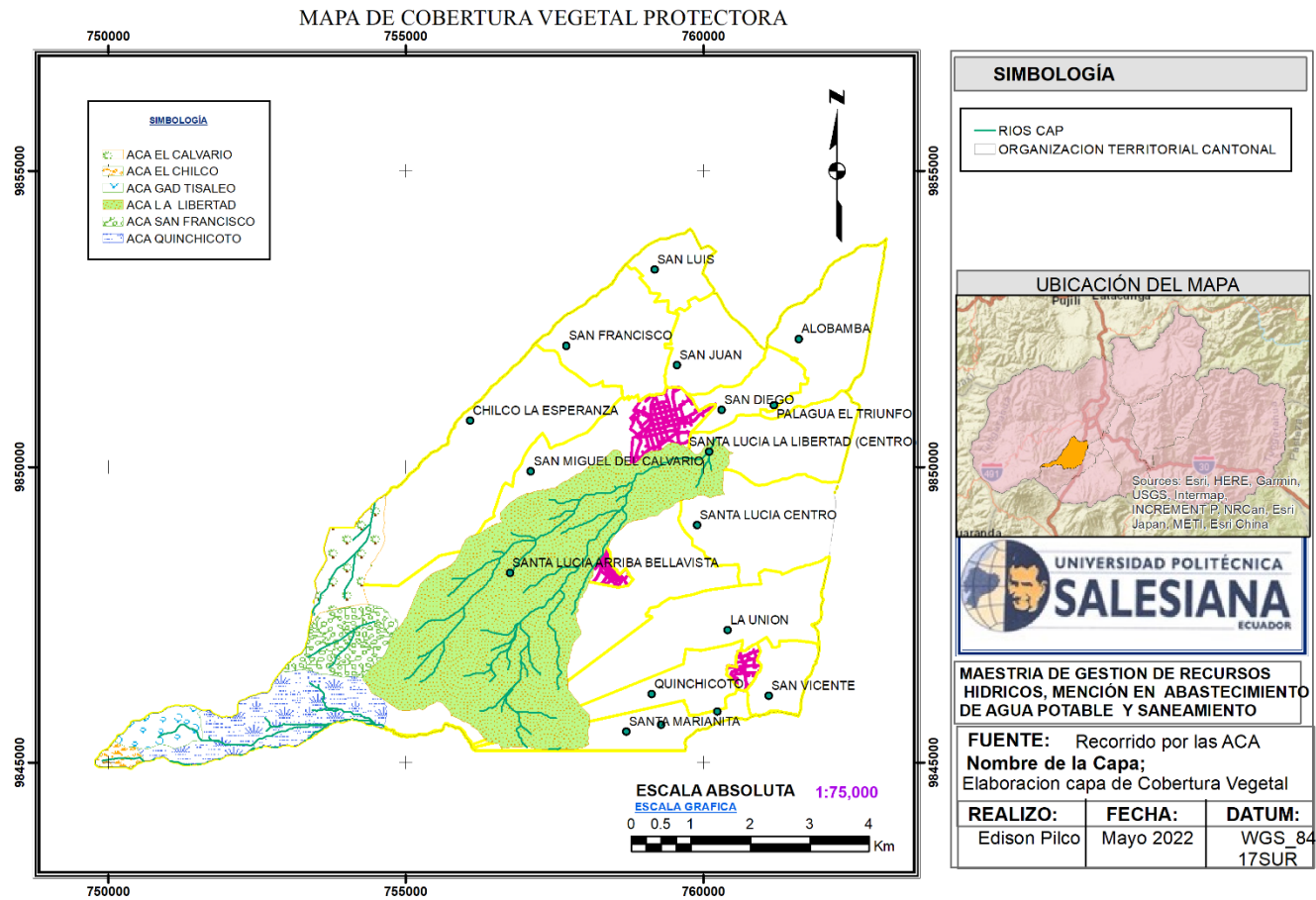
Mapa de Anomalía de precipitación.



Nota: Con los datos de la estación meteorológica se construye una sola capa de precipitación. Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2022)

Figura 18.

Mapa de cobertura vegetal protectora.



Nota: Para construcción del mapa se evaluado en campo el estado actual de la cobertura vegetal. Fuente: (Henao, 2016 p 56)

4.3 CONSTRUCCIÓN DEL ÍNDICE INTEGRADO DE JERARQUIZACIÓN DE VULNERABILIDAD DE LAS ACA

El segundo objetivo de la investigación es la construcción de un índice integrado de forma que permitió jerarquizar los índices en términos de propuestas, para lograr la consecución de este objetivo se estableció la siguiente metodología de trabajo.

1. Se construye una tabla general de todos los índices donde se identifica los objetivos por cada índice, la metodología del cálculo, y los datos requeridos.
2. Se realiza la construcción de tablas para cada índice establecido los mismos que están compuestos por sub-índices. La asignación de valores, ponderación y calificación de priorización se basó en antecedentes bibliográficos.
3. Para realizar el análisis multicriterio se elaboró una matriz cuadrada donde se hace constar los índices de vulnerabilidad establecidos. Y se compartió y convoco a un grupo de expertos en área para que sean llenadas según sus conocimientos y experiencias.
4. Una vez recolectada la información emitida por los expertos, esta se consolido en una matriz de criterios agrupados. Para luego formular el índice integrado de vulnerabilidad.

4.3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS SUB-ÍNDICES

Para cada uno de los sub-índices, se detalla la categorización de cada tipo, comuna, superficie, densidad y volumen con su respectivo valor, factor de ponderación y calificación de priorización. Se especifican para cada uno de los índices en las tablas 3 a 10.

Tabla 3.

Descripción sub-índices cálculo índice vulnerabilidad de ACA

Nombre	Objeto	Descripción	Modo de Cálculo	Información Requerida
1.- Índice de Usodel Suelo (US)	Identificar y clasificar la potencialidad contaminante de las diversas actividades de uso de suelo que se desarrollan en el área de captación de agua (ACA).	El uso del suelo se representa mediante polígonos de acuerdo a la información aportada por el MAG en su Catastro de Uso del Suelo para el cantón Tisaleo.	Para cada ACA y subíndice representado por un polígono de uso de suelo se calcula la superficie (ArcGIS); posteriormente se calcula el factor de ponderación asociado al tipo de uso de suelo, asignando un valor a cada tipo de suelo y de acuerdo a la superficie. Luego, de acuerdo al rango de prioridad del uso de suelo se suman todos los subíndices y se promedian, y se obtiene un coeficiente de uso de suelo por cada ACA. La clasificación de la vulnerabilidad de las ACA, se obtiene a partir de los resultados, y se clasifican en tres categorías: menor, media y mayor. De acuerdo a la Calificación de Priorización (Ver Tabla 4).	Catastro de Uso
2.- Índice de Tamaño de Captación de agua potable (TA)	Identificar y clasificar la potencialidad de vulnerabilidad de acuerdo con el tamaño de cada ACA.	El tamaño se representa mediante polígonos aportado por el archivo del ACA. Este archivo es de elaboración propia con los datos tomados con gps.	Se calcula en ArcGIS la superficie en hectáreas y/o km ² de cada ACA. Luego, a cada ACA se le asigna un coeficiente de acuerdo con el área obtenida (Ver Tabla 5).	Se lo hace con el archivo del MDT, archivo ACA tipo shapefile que contiene la superficie de cada ACA. Este archivo es de elaboración propia.

3.- Índice de Densidad de Viviendas (DV)	Conocer la densidad de viviendas que se encuentran en cada ACA.	Se contabilizaron la cantidad de viviendas rurales y/o urbanas que se emplazan al interior de cada ACA y son representados por puntos.	Mediante el ArcGIS se contabilizaron las viviendas (rurales y/o urbanas) de cada ACA, luego en la planilla se calculó la densidad y se obtuvo un coeficiente para cada ACA. (Ver Tabla 6).	Archivo digital ACA y archivo Del INEC proyección poblacional al 2020.
4.- Índice de Actividades Antrópicas (AA)	Conocer la densidad de actividades antrópicas que se encuentran en cada ACA, y que pueden tener una afectación de contaminación	Cuantificar el número de actividades antrópicas que se ubican al interior de cada ACA y son representados por puntos.	En ambiente ArcGIS se contabilizaron las AA por ACA, luego en planilla se calculó la densidad y se obtuvo un coeficiente para cada ACA dividiendo por el número de AA presentes. (Ver Tabla 7).	Archivos digitales de diversas fuentes, como son: geoportal del IGM, geoportal del MAATE, GAD de Tisaleo, INEC
5.- Índice de Derechos de Agua (DA)	Identificar mediante el registro de derechos de aguas, el uso consuntivo (litros/segundo) de cada ACA.	Base de datos que posee las coordenadas del punto de aprovechamiento del recurso.	Una vez que se tiene en ambiente SIG los derechos de aprovechamiento y empleando el archivo digital ACA, se procede a determinar el volumen de derechos consuntivos (l/s/km ²) en cada ACA, para luego obtener un coeficiente para cada ACA (Ver Tabla 8).	El archivo digital en formato shapefile de uso y aprovechamiento de derechos de agua, (MAATE, 2020).
6.- Índice de Áreas Protegidas (AP)	Identificar las áreas que cuentan con protección oficial y voluntaria en las ACA.	Las áreas SNAP y otras áreas similares constituyen una porción dentro de las ACA, esta información se encuentra disponible como formato digital	En cada ACA se calculó la superficie con algún grado de protección, luego la superficie se traspasó a una planilla en la cual se calculó el peso del indicador que posee cada tipo de protección. Posteriormente, se sumó y promedio los sub-	Archivo digital que se encuentra disponible en el geoportal del MAATE, sitios prioritarios y área de protección privada del GAD

		shp de polígonos.	índices, obteniendo un coeficiente ponderado para cada ACA. (VerTabla 9).	de Tisaleo y archivo ACA.
7.- Índice de Anomalía de Precipitación	Determinar la anomalía de precipitación sobre las ACA, el cual permita responder ante posibles emergencias asociados a sequías en las fuentes de agua superficial o subterráneas. (Salinas, 2015).	El indicador permite medir el nivel de la sequía meteorológica es conceptualizada como la carencia de precipitación sobre un área y lapso de tiempo determinado (Keyantash y Dracup, 2002), puede ser provocada o acentuada por bajas lluvias, y altas temperaturas y evapotranspiración (Spinoni et al., 2015).	Se procede a identificar la estación meteorológica más cercana, con los anuarios de precipitación (mm) obtenidos se realiza la suma promedio de los años considerados y se divide para suma promedio del año en estudio, mediante el cual se determina el nivel de anomalía de precipitación en la zona de estudio, misma que servirá para todas las ACA. Para su representación espacial se lo hará mediante el ArcGIS identificado las respectivas ACA. (VerTabla 10).	Mapa territorio político del cantón Tisaleo en archivo shapefile, identificado las ACA de las JAAP. Anuarios de precipitación.
8.- Índice de Cobertura Vegetal Protectora	Determinar el nivel de la pérdida de cobertura vegetal como condición que agrava la capacidad de los páramos de almacenar y producir agua.	Los autores (Hahn et al., 2003), y (BID, 2015) consideran la degradación ambiental y la pérdida de cobertura vegetal como condición que agrava los efectos directos causados por fenómenos peligrosos como la sequía. Evaluación dentro de las zonas de influencia de las ACA.	Con el archivo digital de las ACA de cada una de las JAAP, y mediante el recorrido de campo realizado se procedió a determinar el estado de la cobertura vegetal para su valoración y calificación de priorización, en términos de: menor, media y mayor.(VerTabla 11).	Mapa territorio político del cantón Tisaleo en archivo shapefile, identificado las ACA de las JAAP. Este archivo es de elaboración propia.

4.3.2 SUB-ÍNDICES, VALORES, PONDERACIONES Y CALIFICACIÓN

En las Tablas 4 a 10 se presentan valores, valores de ponderación asignados, y la calificación de prioridad con que fueron calificados según los diferentes elementos que componen los sub-índices de acuerdo a la bibliografía citada en cada tabla. La calificación “menor”, indica que la ACA es menos vulnerable frente a ese factor y la calificación “mayor” indica que es más vulnerable.

Tabla 4.

Calificación de priorización para uso del suelo (US)

Tipo de Uso	Valor	Factor de Ponderación	Calificación de Priorización
Tierras improductivas	1	0,125	Menor
Conservación y producción	3	0,375	
Conservación y protección	3	0,375	
Agropecuario mixto	4	0,5	Medio
Pecuario	5	0,625	Mayor
Protección y producción	6	0,75	
Ciudades y pueblos	7	0,875	
Agrícola	8	1	

Nota: identificación del Catastro de uso de suelo dentro del cantón. Fuente: (Peña Sebald et al., 2020 p 55)

Tabla 5.

Calificación de priorización para Tamaño ACA, (TA)

Superficie ACAP (ha)	Superficie ACAP Km2	Valor	Factor de Ponderación	Calificación de Priorización
10	0,1	1	1	Mayor
100	1	2	0,86	
1.000	10	3	0,71	
10.000	100	4	0,57	Medio
100.000	1.000	5	0,43	Menor
1.000.000	10.000	6	0,29	

1.000.000 o más	10.000 y más	7	0,14	
-----------------	--------------	---	------	--

Nota: Tabla utilizada para la ponderación de áreas. Fuente: (García et al., 2021 p 55)

Tabla 6.

Calificación de priorización para Índice Densidad de Viviendas (DV)

Densidad (Viv/km ²)	Valor	Factor de Ponderación	Calificación de Priorización
0	0	0	Menor
<2	1	0,125	
<5	2	0,25	
<10	3	0,375	
<25	4	0,5	Medio
<50	5	0,625	Mayor
<100	6	0,75	
<250	7	0,875	
<500	8	1	

Nota: Tabla utilizada para la ponderación de densidad de viviendas. Fuente: (García et al., 2021 p 56)

Tabla 7.

Calificación de priorización para Índice de Actividades Antrópicas (AA)

Densidad (actividades/km ²)	Valor	Factor de Ponderación	Calificación de Priorización
0	0	0	Menor
<2	1	0,143	
<5	2	0,286	
<10	3	0,429	Medio
<20	4	0,571	
<50	5	0,714	Mayor
<100	6	0,857	
<200	7	1	

Nota: Tabla utilizada para la ponderación de actividades antrópicas. Fuente: (García et al., 2021 p 57)

Tabla 8.

Calificación de priorización para Índice de Derechos de Agua (DA)

Volumen (l/s/km ²)	Valor	Factor de Ponderación	Calificación de Priorización
0	0	0	Menor
<1	1	0,125	
<2	2	0,25	
<5	3	0,375	
<10	4	0,5	Medio
<15	5	0,625	Mayor
<20	6	0,75	
<50	7	0,875	
<100	8	1	

Nota: Tabla utilizada de ponderación de derechos de agua. Fuente: (García et al., 2021 p 58)

Tabla 9.

Calificación de priorización para Índice Áreas Protegidas (AP)

Tipo Área Protegida	Valor	Factor de Ponderación	Calificación de Priorización
Sistema Nacional de Áreas Protegidas SNAP	1	0,143	Menor
Área de Protección Hídrica	2	0,286	
Área Bajo Conservación	3	0,429	
Área de Protección Municipal	4	0,571	Medio
Sitios Prioritarios	4	0,571	
Área de Protección Privada	4	0,571	
Páramo Protección Mancomunal FSO	5	0,714	Mayor
Herbazal Húmedo Subnival del Páramo	7	1	

Nota: Tabla utilizada de ponderación de áreas protegidas. Fuente: (García et al., 2021 p 58)

Tabla 10.

Calificación de priorización para Índice de Anomalía de Precipitación (APr)

Anomalía de precipitación (%)	Valor	Factor de Ponderación	Calificación de Priorización
> 170	0	0,00	Menor
140 - 169	1	0,14	
110 - 139	2	0,29	
90 - 109	4	0,57	Medio
60- 89	5	0,71	
30 - 59	6	0,86	Mayor
0 - 29	7	1,00	

Nota: Tabla utilizada de ponderación de anomalía de precipitación. Fuente: (Instituto de Hidrología & IDEAM, 2010 p 4)

Tabla 11.

Calificación de priorización para Índice de Cobertura Vegetal Protectora (CV)

Gestión de JAAP	Valor	Factor de Ponderación	Calificación de Priorización
Presencia de cobertura vegetal intacta en la franja protectora de la fuente de agua superficial del área de evaluación.	0	0,000	Menor Media Alta
Presencia de cobertura vegetal moderadamente conservada en la franja protectora de la fuente de agua superficial del área de evaluación.	3	0,375	
Presencia de cobertura vegetal moderadamente alterada en la franja protectora de la fuente de agua superficial del área de evaluación.	5	0,625	
Presencia de cobertura vegetal muy alterada en la franja protectora de la fuente de agua superficial del área de evaluación.	8	1,000	

Nota: Tabla de ponderación de cobertura vegetal protectora. Fuente:(Henao, 2016 p 56)

Una vez definidos los valores corresponde calcular para cada ACA, los factores de ponderación de cada índice. Para los índices de área protegidas, y uso de suelo,

debido a la variedad de usos de suelo, se debe dividir el área de cada uso de suelo para el área de la ACA y multiplicar por el factor de ponderación según el grado de calificación de priorización que posean, esto se realiza según el número de usos de suelo que exista en la ACA.

Luego los índices densidad de viviendas, actividades antrópicas, derechos de agua, anomalía de precipitación, y cobertura vegetal se debe sumar el número de datos de acuerdo a cada índice y dividir por la superficie de cada ACA.

Finalmente, para el índice del tamaño de las ACA, únicamente se requirió calcular la superficie de cada una.

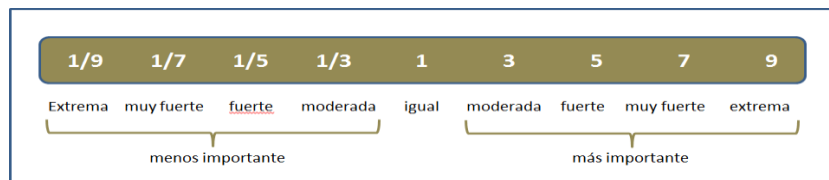
4.4 METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO

El propósito de esta investigación es apoyar a la Municipalidad de Tisaleo y a la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado que los tomadores de decisiones y que en la actualidad enfrentan problemas de vulnerabilidad en la cantidad y calidad de agua de la que se abastecen las JAAP. Típicamente, no existe una única solución para tales problemas y es necesario usar las preferencias de un grupo o panel de expertos para diferenciar entre varios y distintos criterios.

A continuación, se procedió a construir una matriz de ponderación de opiniones de un grupo seleccionado de expertos en el área. La ponderación alcanzada depende del valor que cada convocado, según sus conocimientos y experiencias, le atribuyó a la importancia relativa de cada criterio en la problemática planteada; es decir, la prioridad de conservación o protección de las ACA frente a cada componente que dio origen a un sub- índice específico de evaluación. La importancia de un factor o componente, colocado en la columna de la matriz, sobre otro ubicado en la fila, se calificó con una escala continua de 9 puntos.

Figura 19.

Escala de Ponderación de Saaty.



Nota: Se presenta la escala según el nivel de importancia. Fuente:(Alvarado et al., 2016 Pag 12)

La construcción de una matriz cuadrada de ponderación se inició con la comparación de índices, que contiene índices al ponderar tanto en columnas como en filas. En matriz creada los valores de la diagonal son “1” porque es la comparación de cada índice en la fila con él mismo en la columna, por lo que se interpreta que tienen la misma importancia, como se observa en la tabla 12. La diagonal divide en dos partes la matriz, por lo que sólo se hace la comparación de los pares en la matriz amarilla triangular inferior, pues en la matriz superior, tendría los valores recíprocos de la parte inferior resuelta.

Tabla 12.

Matriz de Análisis Multicriterio.

ÍNDICE	CRITERIO	US	TA	DV	AA	DA	AP	CA	CV
Uso de Suelo	US	1							
Tamaño Área de Captación de Agua Potable	TA		1						
Densidad de Viviendas	DV			1					
Actividades Antrópicas	AA				1				
Derechos de Agua	DA					1			
Áreas Protegidas	AP						1		
Capacidad de Adapción	CA							1	
Índice de Cobertura Vegetal Protectora	CV								1

Cuando el índice de la fila es menor importancia para la consecución del objetivo (priorizar la protección de las ACA) que el criterio de la columna, el experto coloca una fracción y, caso contrario se colocara un entero, como se observa en la tabla 13.

Tabla 13.

Modelo de llenado de Matriz de Análisis Multicriterio.

ÍNDICE	CRITERIO	US	TA	DV	AA	DA	AP	CA	CV
Uso de Suelo	US	1							
Tamaño Área de Captación de Agua Potable	TA	1/5	1						
Densidad de Viviendas	DV	2		1					
Actividades Antrópicas	AA				1				
Derechos de Agua	DA					1			
Áreas Protegidas	AP						1		
Capacidad de Adapción	CA							1	
Índice de Cobertura Vegetal Protectora	CV								1

Así, de acuerdo al ejemplo de matriz presentado en la Figura 13, en la primera cuadrícula se asignó “1/5”, valor que indica que el peso del criterio Uso del Suelo (US) es 5 veces mayor que el criterio o componente Tamaño ACA (TA). A su vez, en la segunda cuadrícula del ejemplo se asignó “2”, valor que indicaría que el componente Índice de Acceso al Saneamiento (AS) es 2 veces mayor que el criterio Uso del Suelo (US).

Establecido el modelo de matriz, el proceso se llevó a cabo entre los meses de Febrero y Abril de 2022. Se invitó a 12 expertos para completar la matriz, estos se clasificaron en 4 tipos de expertos que corresponden a las áreas dónde se desempeñan laboralmente. Se recibieron 9 matrices debidamente completas.

Tabla 14.

Registro de Matrices emitidas a expertos.

TIPO	Total	Ingenieros	Magister
Academico	3	1	2
Municipal	3	3	

Consejo Provincial	4	1	3
ONG	2	2	
TOTAL	12	7	5

Una vez recolectada las respuestas emitidas por los expertos, esta se consolido una matriz de criterios agrupados, en la cual sé genera para cada cuadrícula el valor correspondiente a la suma de la misma cuadrícula dividida para el número de respuestas. Una vez calculado para cada cuadrícula su valor, se genera una fila adicional de la 'SUMA', que corresponde a la suma de las 8 columnas, como se puede apreciar en la tabla15.

Tabla 15.

Matriz de Criterios Asociados.

CRITERIO	US	TA	VIV	AA	DA	AP	Apr	CV
US	1,00	4,56	0,56	0,59	0,83	0,62	0,98	1,00
TA	0,23	1,00	0,38	0,38	0,46	0,34	0,29	0,40
VIV	1,89	2,89	1,00	1,22	0,78	0,50	0,50	0,50
AA	2,50	2,78	0,93	1,00	1,44	0,50	0,33	0,52
DA	1,33	2,44	1,81	0,81	1,00	0,93	0,56	0,70
AP	2,00	3,22	2,00	2,00	1,56	1,00	1,34	1,28
Apr	1,44	3,89	2,00	3,00	1,89	1,43	1,00	1,00
CV	1,33	2,67	2,00	2,11	1,67	1,15	1,17	1,00
SUMA	11,73	23,45	10,68	11,12	9,63	6,46	6,17	6,40

A continuación, en la siguiente tabla, se elaboró la 'matriz de criterios normalizados', que sirve para obtener una frecuencia relativa por cada índice en la matriz. Se lo hace dividiendo el valor de cada cuadrícula por la suma de la columna, obteniéndose un valor nuevo, para cada casillero de la matriz. Luego, se promediaron los valores de cada fila en una columna nueva creada como 'PROMEDIO', la suma de esta columna debe ser igual a la unidad "1,0", lo cual indica que el cálculo de toda la matriz está bien realizado, como se lo ve en la tabla 16.

Tabla 16.

Matriz de Criterios normalizados.

CRITERIO	US	TA	VIV	AA	DA	AP	Apr	CV	PROMEDIO
US	0,09	0,19	0,05	0,05	0,09	0,10	0,16	0,16	0,110
TA	0,02	0,04	0,04	0,03	0,05	0,05	0,05	0,06	0,043
VIV	0,16	0,12	0,09	0,11	0,08	0,08	0,08	0,08	0,101
AA	0,21	0,12	0,09	0,09	0,15	0,08	0,05	0,08	0,109
DA	0,11	0,10	0,17	0,07	0,10	0,14	0,09	0,11	0,114
AP	0,17	0,14	0,19	0,18	0,16	0,15	0,22	0,20	0,176
Apr	0,12	0,17	0,19	0,27	0,20	0,22	0,16	0,16	0,185
CV	0,11	0,11	0,19	0,19	0,17	0,18	0,19	0,16	0,163
SUMA	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Finalmente, tabla 17 se muestra se muestra cómo se construyó la tabla con los valores obtenidos, para cada uno de los índices establecidos del método de cálculo de la vulnerabilidad de las ACA, fueron los siguientes.

Tabla 17.

Pesos de los Índices.

CRITERIO	DESCRIPCIÓN	PROMEDIO	%
US	Uso de Suelo	0,110	11,0%
TA	Tamaño Área de Captación de Agua Potable	0,043	4,3%
VIV	Densidad de Viviendas	0,101	10,1%
AA	Actividades Antrópicas	0,109	10,9%
DA	Derechos de Agua	0,114	11,4%
AP	Áreas Protegidas	0,176	17,6%
Apr	Anomalía de Precipitación	0,185	18,5%
CV	Índice de Cobertura Vegetal Protectora	0,163	16,3%

El Índice de Consistencia (IC) es un estimador estadístico es consistente si, a medida que aumenta la información, es decir, el número de la muestra, su distribución de probabilidad se concentra en el valor del parámetro a estimar. El IC se obtiene dividiendo el $(\text{land max-n})/(n-1)$ para el índice de consistencia aleatorio (ver anexo B).

El Índice de Consistencia que se obtuvo fue de $IC=0,0633$ lo que hace muy aceptables los valores de la ponderación obtenida. El índice de mayor peso relativo fue el “Índice de Anomalía de Precipitación”, resaltando así la importancia del aspecto técnico, para asignar prioridad de protección y de los aspectos técnicos que lo reflejan. Por lo tanto, y según el método propuesto, la Anomalía de Precipitación es el factor que más influencia tiene y determina principalmente la prioridad.

El índice de Áreas Protegidas aparece en segundo lugar, seguido muy cerca por la Cobertura Vegetal, la suma de los tres primeros índices en mención es prácticamente equivalente a más del 50% de la prioridad total. Luego, hay 4 índices con un peso relativo en torno a 10 y 11% el peso combinado de ellas alcanza a 43,7. Finalmente, el criterio del Tamaño del Área de Captación, resulto con el menor peso relativo, ver tabla 17.

4.5 FORMULACIÓN DEL ÍNDICE INTEGRADO DE VULNERABILIDAD DE ACA

La agregación de los índices se efectuó mediante una combinación lineal ponderada. Se consideraron los pesos relativos de los índices ya obtenidos, para asignar los puntajes de priorización, y los resultados del AMC que entregan los pesos asignados a cada índice. El valor final, entonces, es el resultado de la multiplicación del valor del índice por el factor de ponderación obtenido del AMC.

La expresión matemática es la siguiente:

$$\text{IV-ACA} = 0,11 \text{ US} + 0,043 \text{ TA} + 0,101 \text{ DV} + 0,109 \text{ AA} + 0,114 \text{ DA} + 176 \text{ AP} + 0,185 \text{ APr} + 0,163 \text{ CV}$$

Dónde IV-ACA = Índice Vulnerabilidad Área de Captación de Agua Potable

US = Índice uso del suelo

TA = Índice tamaño área de captación de agua potable

DV = Índice densidad de viviendas

AA = Índice actividades antropogénicas

DA = Índice derechos de agua

AP = Índice de áreas protegidas

APr = Índice de anomalía de precipitación

CV = Índice de Cobertura Vegetal Protectora

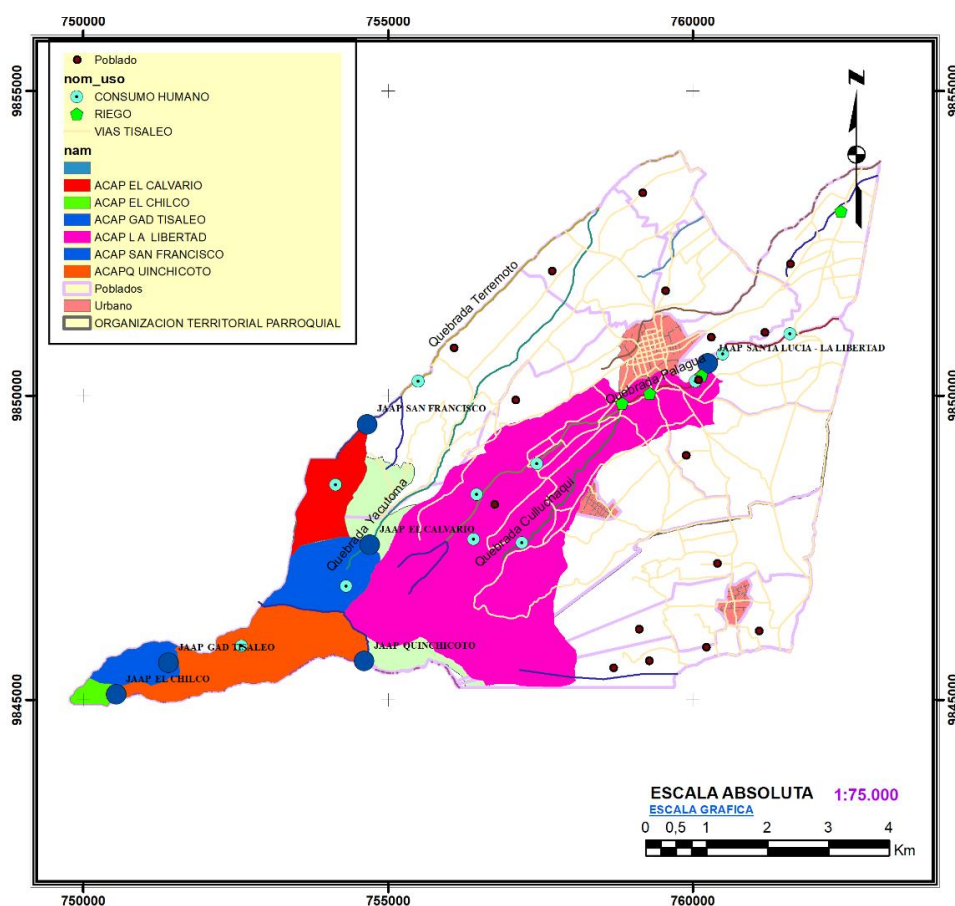
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 IDENTIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN Y REPRESENTACIÓN ESPACIAL DE LAS ACA

Cada una de las ACA se puede identificar mediante el criterio de Tamaño de la ACA, en la figura 21 se pueden apreciar las 6 ACA reconocidas en el estudio. Las ACA presentan diferentes superficies, con una extensión máxima de 1351,25 km² que pertenece a la JAAP de Santa Lucía -la Libertad y la mínima de 0,02 km² que pertenece a la ACA del Chilco.

Figura 20.

Representación espacial en ambiente S.I.G. de todas las ACA.



Nota: Distribución de las ACA según rango de tamaño.

Tabla 18 se presenta una síntesis de las principales características de las ACA del área de estudio de cada uno de los indicadores o índices evaluados.

Tabla 18.

Síntesis características relevantes ACA.

CRITERIO	DESCRIPCIÓN
Índice Uso de Suelo	En el área de estudio se han identificado 8 usos de suelo. Los cinco usos de suelo más abundantes son Agropecuario mixto con 3,99 km ² (26,24%), Agrícola 2,90 km ² (19,08%), Pecuario con 2,87 km ² (18,84%), Conservación y protección con 2,36 km ² (15,58%) y Protección y Producción con 1.39 km ² (9,11%). La predominancia del 26,24% corresponden a las ACA de Santa Lucia - La Libertad.
Índice Tamaño Área de Captación de Agua Potable	La superficie total de las ACA es de 20,34 km ² , asimismo la ACA del Chilco es la de menor extensión sólo tiene 0,23 km ² (23,95 hectáreas), y la de mayor extensión es la ACA de Santa Lucia -La Libertad es de 13,51 km ² .
Índice de Densidad de Viviendas	El total de viviendas en las ACA es de 295 viviendas, de las cuales 194 son rurales y 101 son urbanas. Las densidades en las ACA, fluctúan entre 0y 13,77 viviendas/km ² . Siendo la ACA de Santa Lucia - La Libertad la de mayor densidad, y la ACA del Gadm de Tisaleo la de menor.
Índice de Actividades Antrópicas	Se ha recopilado información disponible sobre, plantas de tratamiento de aguas servidas rurales, cementerios,rellenos sanitarios, acuícolas y registro de contaminantes. Siendo la ACA de Santa Lucia - La Libertad que presenta mayor número de registros de este tipo de contaminación con: 4 Rellenos Sanitarios, 3 cementerios, 4 plantas de tratamiento de aguas residuales y 15 actividades industriales.
Índice Derechos de Agua	Son 32 los expedientes considerados en el estudio o autorizaciones, por un volumen total de 166,40 l/s y un volumen de 3,33 l/km ² . El 83% de este volumen es para uso agropecuario, 11% industrial, y sólo el 6% para agua potable (Tisaleo, 2019).
Índice Áreas Protegidas	Existen en el área de estudio varias categorías que permiten otorgan diversos grados de protección, en SNAP son 8,72 km ² , Paramo de Protección Mancomunal 185,64km ² , Sitios Prioritarios 0,58 km ² , y Área Protección Hídrica 0,544 km ² . De las 6 ACA, la ACA de Quinchicoto, El Chilco, del Gadm de Tisaleo y la del Calvario se encuentran en área protegida en su totalidad y la ACA de Santa Lucia - La Libertad parcialmente.

Índice de Anomalía de Precipitación	En el 100% de las ACA de estudio, la ocurrencia de anomalías de precipitación está ligeramente por debajo de lo normal, lo que puede ocasionar un alto grado de vulnerabilidad a las sequías. La precipitación promedio máxima es de 678mm. De acuerdo a lo establecido en el PDOT de (Tungurahua, 2018) a la fecha ya existe un déficit de precipitación de 200mm.
Índice de Cobertura Vegetal Protectora	Para este índice se realizó un recorrido en campo, en donde se identificó el tipo de cobertura en cada una de las ACA. Durante la inspección visual en campo se identificó y evaluó el grado de alteración de la cobertura vegetal y se obtuvo que el 33,33% de las ACA están el rango de muy baja, 50% de ACA están en el rango de media y el 16,67% de las ACA está en el rango de alta.

5.2 ÍNDICE INTEGRADO PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD Y JERARQUIZAR LAS ACA

El índice de vulnerabilidad nos permite evaluar y jerarquizar por rangos de prioridad, de acuerdo a los resultados obtenidos de los cálculos. De este modo, los rangos obtenidos fluctúan entre un mínimo de 0,23 para la ACA del Chilco y un máximo de 0,60 para la ACA de Santa Lucía – La Libertad (ver anexo A). Asimismo, se han agrupado en 5 de rangos prioridad que permiten jerarquizar las ACA de acuerdo al valor obtenido en ‘Muy Alta’ que identifica las ACA más vulnerables, asimismo, el rango de prioridad ‘Muy Baja’ identifica las ACA menos vulnerables.

A continuación, en la tabla 19 se presenta un resumen con el rango de vulnerabilidad global para todos los subíndices y el número de ACA que se jerarquizaron.

Tabla 19.

Índice Vulnerabilidad integrado según rango de prioridad.

RANGO DE PRIORIDAD	RANGO	NÚMERO ACA	PORCENTAJE
Muy Baja	0,20 – 0,25	1	16,67
Baja	0,25 – 0,44	2	33,33

Media	0,45 – 0,55	2	33,33
Alta	0,55 – 0,65	1	16,67
Muy Alta	0,65 – 0,80	0	0,00
TOTAL		6	100

El 16,67% de las ACA, posee un rango de prioridad Alto evidenciando su mayor vulnerabilidad global, el 33,33% posee un rango de prioridad Media, y el 33,33% posee rango de prioridad Baja. Finalmente, en el rango de prioridad Muy Baja, está el 16,67%, no se encuentra ninguna ACA en el rango prioridad Muy Baja.

5.3 ANÁLISIS DE CRITERIO

5.3.1 ÍNDICE USO DEL SUELO

El uso de suelo predominante en el territorio analizado, en términos de superficie, corresponde a las ‘Agropecuaria Mixto’, y este uso predomina en los rangos de prioridad de vulnerabilidad Media, es decir, cuanto mayor superficie de Agropecuario Mixto mayor vulnerabilidad del uso de suelo en la ACA. El uso Agrícola, es el segundo uso en predominancia y está en el rango de prioridad Muy Alta, de tal modo que la vulnerabilidad de las ACA dentro de este tipo de suelo es mayor. El tercer uso en importancia es el Pecuaria, y está en el rango de prioridad Alta.

Respecto de la distribución de las ACA dentro de los rangos de prioridad asociado al uso de suelo (Tabla 20), es posible destacar lo siguiente:

- El rango de Muy Baja se encuentran 3 ACA, mismas que se ubican principalmente junto a las estribaciones del nevado Carihuayrazo en la cordillera occidental, sector Pampas de Salasaca, donde están las JAAP`s de El Chilco, GADM Tisaleo, y Quinchicoto, que convergen a la subsubcuenca del río Pachanlica.
- El rango de Media se encuentra 2 ACA, donde están las ACA de JAAP El Calvario y la de San Francisco que se encuentra ubicadas en la parte superior de la subsubcuenca del río Ambato.

- En rango de Alta se tiene 1 ACA perteneciente a la JAAP de Santa Lucía - La Libertad, que nace en la Quebrada Palahua y se halla asociada a la subsubcuenca del río Pachanlica, y se encuentra ubicado en la parte Sur Occidental del cantón Tisaleo.

Tabla 20.

Índice Vulnerabilidad Uso de Suelo según rango de prioridad.

RANGO DE PRIORIDAD	RANGO	NÚMERO ACA	PORCENTAJE
Muy Baja	0,012-0,044	3	50%
Baja	0,045-0,055	0	0%
Media	0,056-0,068	2	33%
Alta	0,069-0,077	1	17%
Muy Alta	0,078-0,087	0	0%
TOTAL		6	100%

En la Tabla 21 se muestran los 8 usos de suelo, identificados para el estudio como, así mismo, la superficie de cada uso, para los 5 rangos de prioridad.

La Tabla 22 presenta una síntesis de las relaciones entre los rangos de prioridad y los usos del suelo predominantes, en términos de superficie o áreas, en las ACA. Estos resultados indican, claramente, la importancia o peso que tienen en la calificación de vulnerabilidad “Muy Alta” y “Alta” algunas coberturas de uso del suelo, principalmente los usos agrícolas, centros urbanos, pueblos y zonas industriales. A su vez, las vulnerabilidades “Baja” y “Muy Baja” están asociadas a una mayor cobertura de vegetación nativa.

También se presenta a continuación, en la figura 22 un mapa en donde se puede identificar las ACA de acuerdo al rango de vulnerabilidad antes mencionado.

Tabla 21.

Vulnerabilidad de las ACA por tamaño y rango de priorización

RANGO DE PRIORIDAD	Tierras improductivas	Conservación y producción	Conservación y protección	Agropecuario mixto	Pecuario	Protección y producción	Ciudades y pueblos	Agrícola	SUPERFICIE TOTAL (Ha)
MUY ALTA	0,00	16,82	0,00	0,00	0,00	0,00	111,96	289,87	418,65
ALTA	0,00	0,00	0,00	0,00	286,26	0,00	0,00	0,00	286,26
MEDIA	0,00	0,00	0,00	398,79	0,00	29,05	0,00	0,00	427,84
BAJA	0,00	0,00	236,72	0,00	0,00	88,46	0,00	0,00	325,18
MUY BAJA	40,67	0,00	0,00	0,00	0,00	21,00	0,00	0,00	61,67
TOTAL	40,67	16,82	236,72	398,79	286,26	138,51	111,96	289,87	1519,60
%	2,68%	1,11%	15,58%	26,24%	18,84%	9,11%	7,37%	19,08%	100,00%

Tabla 21.

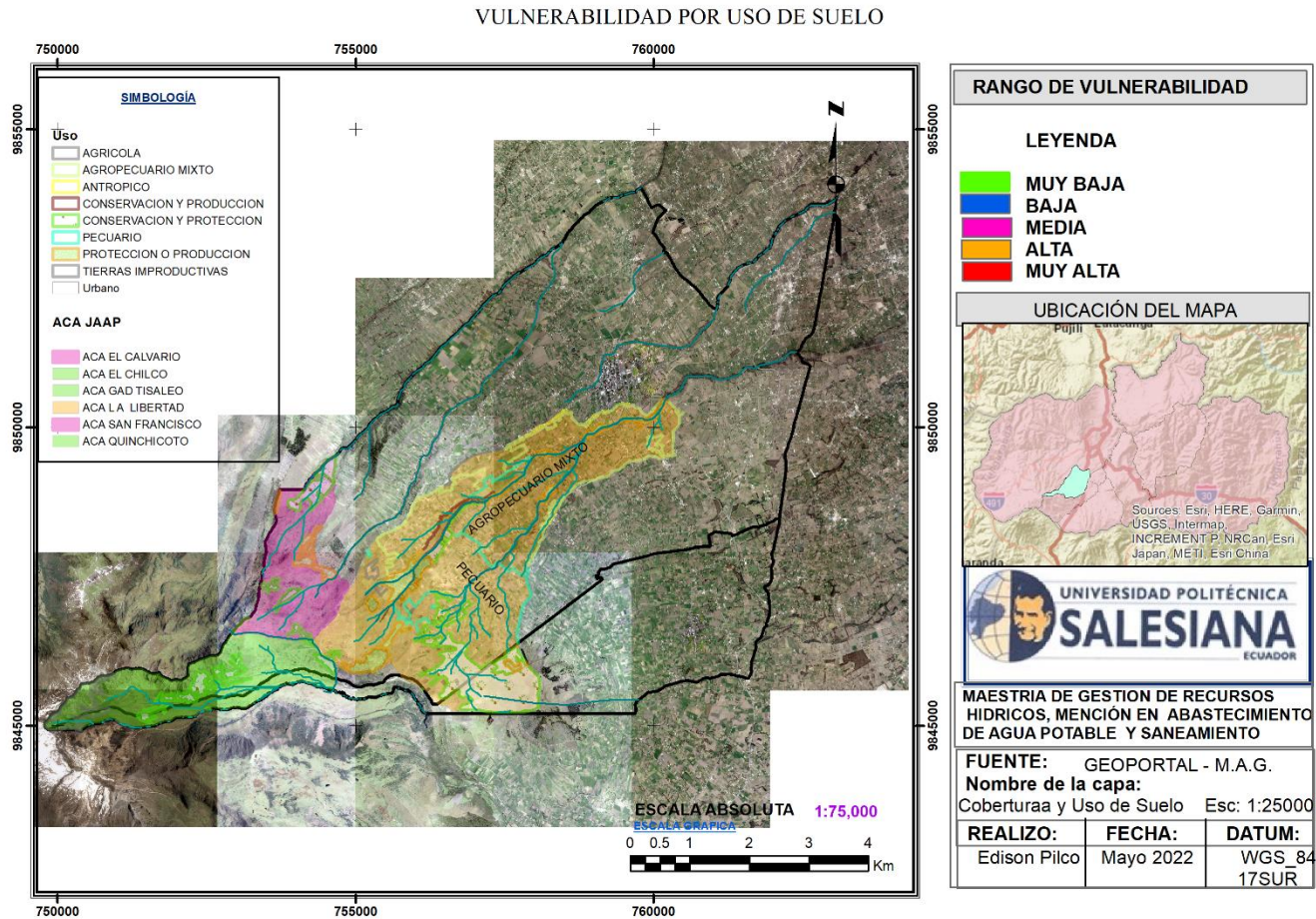
Usos de suelo predominantes y rangos de prioridad.

RANGO DE PRIORIDAD	USO DE SUELO PREDOMINANTE	
	PRIMERO	SEGUNDO
MUY ALTA	Ciudades y pueblos	Terrenos Uso Agrícola
ALTA	Pecuario	
MEDIA	Agropecuario mixto	
BAJA	Protección y producción	Conservación y protección
MUY BAJA	Conservación y protección	Tierras improductivas

Nota: Los rangos de prioridad se establecen según el uso de suelo encontrado. Fuente (García et al., 2021 p 81)

Figura 22.

Vulnerabilidad de las ACA por uso de suelo y rango de priorización



5.3.2 ÍNDICE DE TAMAÑO DE LA ACA

Este es un índice que se relaciona con la extensión de la ACA, se aprecia en el mapa predomina el (rango de prioridad Baja), con 5 ACA de las JAAP de El Chilco, GADM Tisaleo, Quinchicoto, Calvario, y San Francisco, pues dentro de este rango se encuentran las ACA de los 5 polígonos los mismos poseen que superficies entre 20 y 300 hectáreas.

Tabla 22.

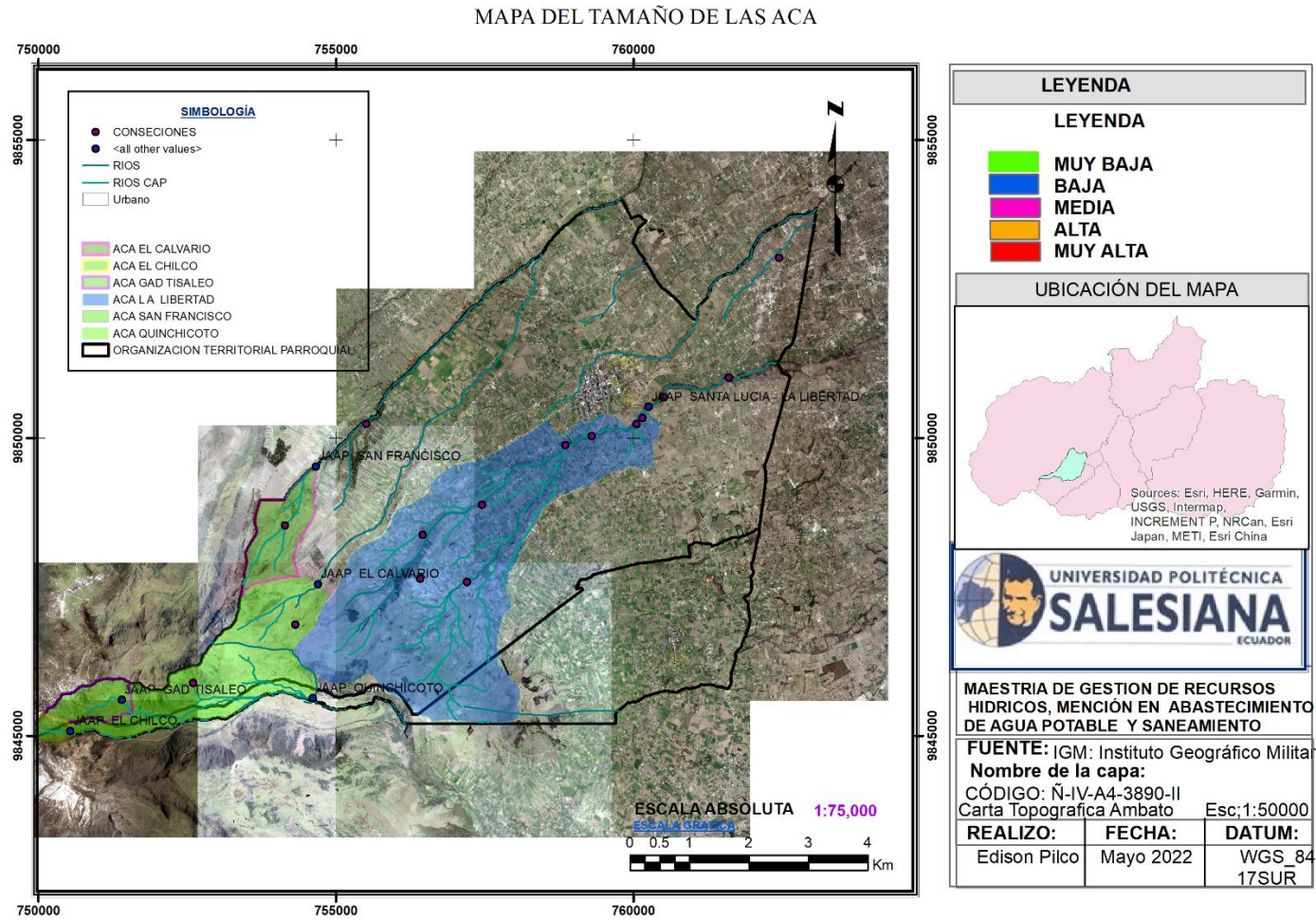
Índice Vulnerabilidad Tamaño según rango de prioridad

RANGO DE PRIORIDAD	RANGO	NÚMERO ACA	PORCENTAJE
Muy Baja	0,012-0,030	1	16,67%
Baja	0,031-0,042	5	83,33%
Media	0,043-0,057	0	0%
Alta	0,058-0,072	0	0%
Muy Alta	0,073-0,086	0	0%
TOTAL		6	100%

En rango de Baja, se encuentra la ACA de la JAAP de Santa Lucía – La Libertad con una extensión de 1351,25 Ha. Dentro de esta ACA Existen alrededor de 6 pueblos, y está sola ACA, supera ligeramente a la suma de la extensión de las otras 5 ACA sumadas.

Figura 23.

Vulnerabilidad de las ACA por tamaño y rango de priorización



5.3.3 ÍNDICE DE DENSIDAD DE VIVIENDA

En el rango Muy Baja hay 3 ACA, extensión que van desde las Pampas de Salasaca hasta las faldas del nevado Carihuayrazo, donde en las ACA de las JAAP's de Gadm. Tisaleo y El Chilco no se registran viviendas debido a las dichas ACA terminan en las estribaciones del nevado en mención, mientras que en la ACA de la JAAP de Quinchicoto se registra una densidad de viviendas alrededor del 0,5 viv/km².

En rango Baja son 2 ACA, principalmente en la ACA del Calvario, y San Francisco, y se registra una densidad de viviendas de 2 viv/km², y 4 viv/km² respectivamente.

En Rango Media esta la ACA, de Santa Lucia – La Libertad se registra una densidad de viviendas de 26 viv/km². Esta área de captación tiene la mayor población de vivienda de todas las ACA, ya que se extiende desde la parte la densidad Sur del Cantón hasta el sector las Pampas de Salasaca donde se encuentran 6 poblados importantes dentro de esta.

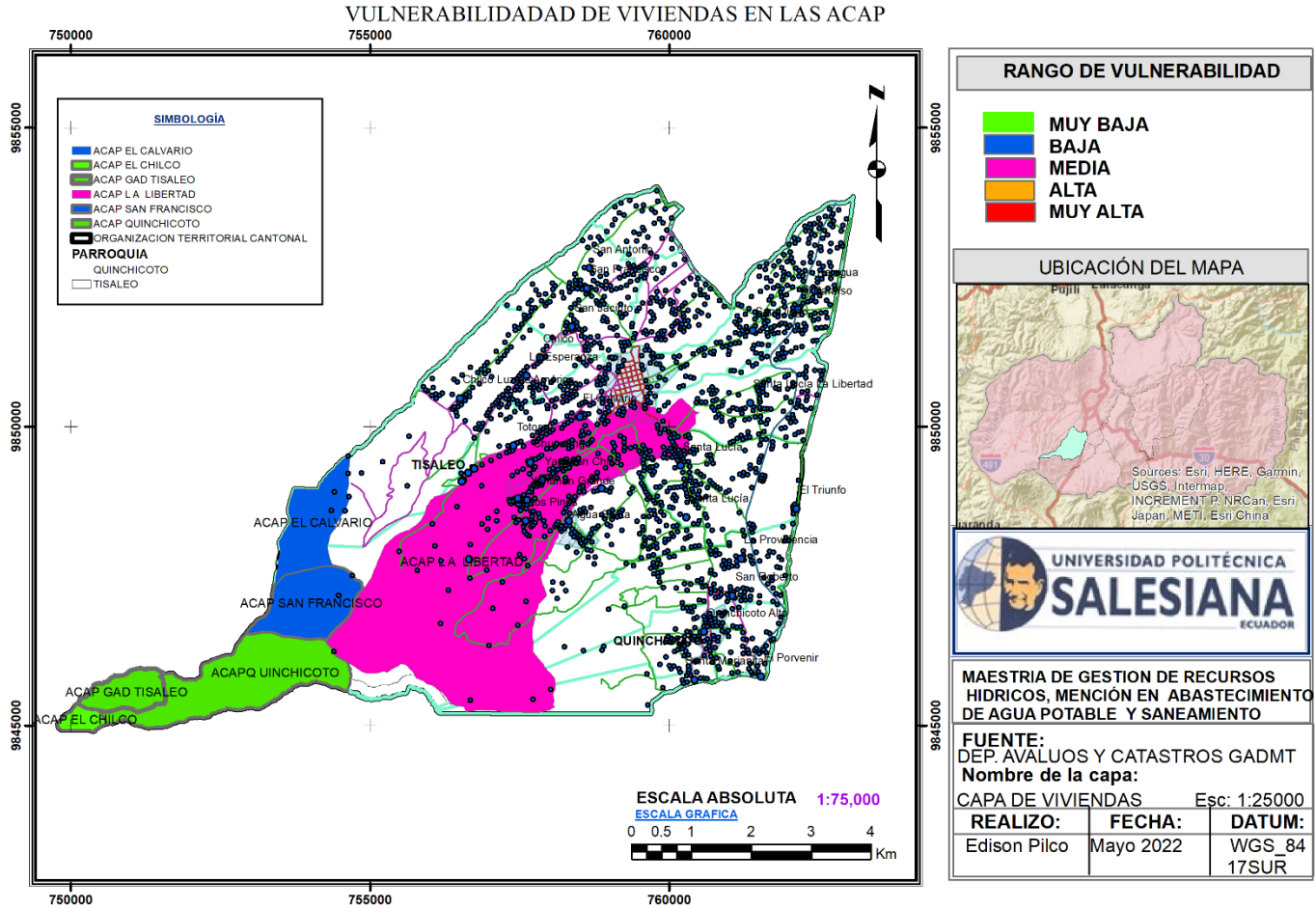
Tabla 23.

Índice Vulnerabilidad vivienda según rango de prioridad

RANGO DE PRIORIDAD	RANGO	NÚMERO ACA	PORCENTAJE
Muy Baja	0,0-0,017	3	50%
Baja	0,018-0,034	2	33%
Media	0,035-0,051	1	17%
Alta	0,052-0,068	0	0%
Muy Alta	0,069-0,089	0	0%
TOTAL		6	100%

Figura 214.

Vulnerabilidad de las ACA por viviendas y rango de priorización.



5.3.4 ÍNDICE DE ACTIVIDADES ANTROPOGÉNICAS

- En rango Muy Baja hay 1 ACA, de Quinchicoto donde la densidad esta alrededor de las 0,015 actividades/km². Y en las otras 2 ACA de la Dirección del de Gadm. Tisaleo y El Chilco no hay ningún registro de actividades antropogénicas.
- En rango Baja son 2 ACA, Las densidades son 0,031 actividades/km².
- En rango Media hay 1 ACA, de la JAAPs Santa Lucia – La Libertad, la densidad es de 0,046 actividades/km².

Tabla 24.

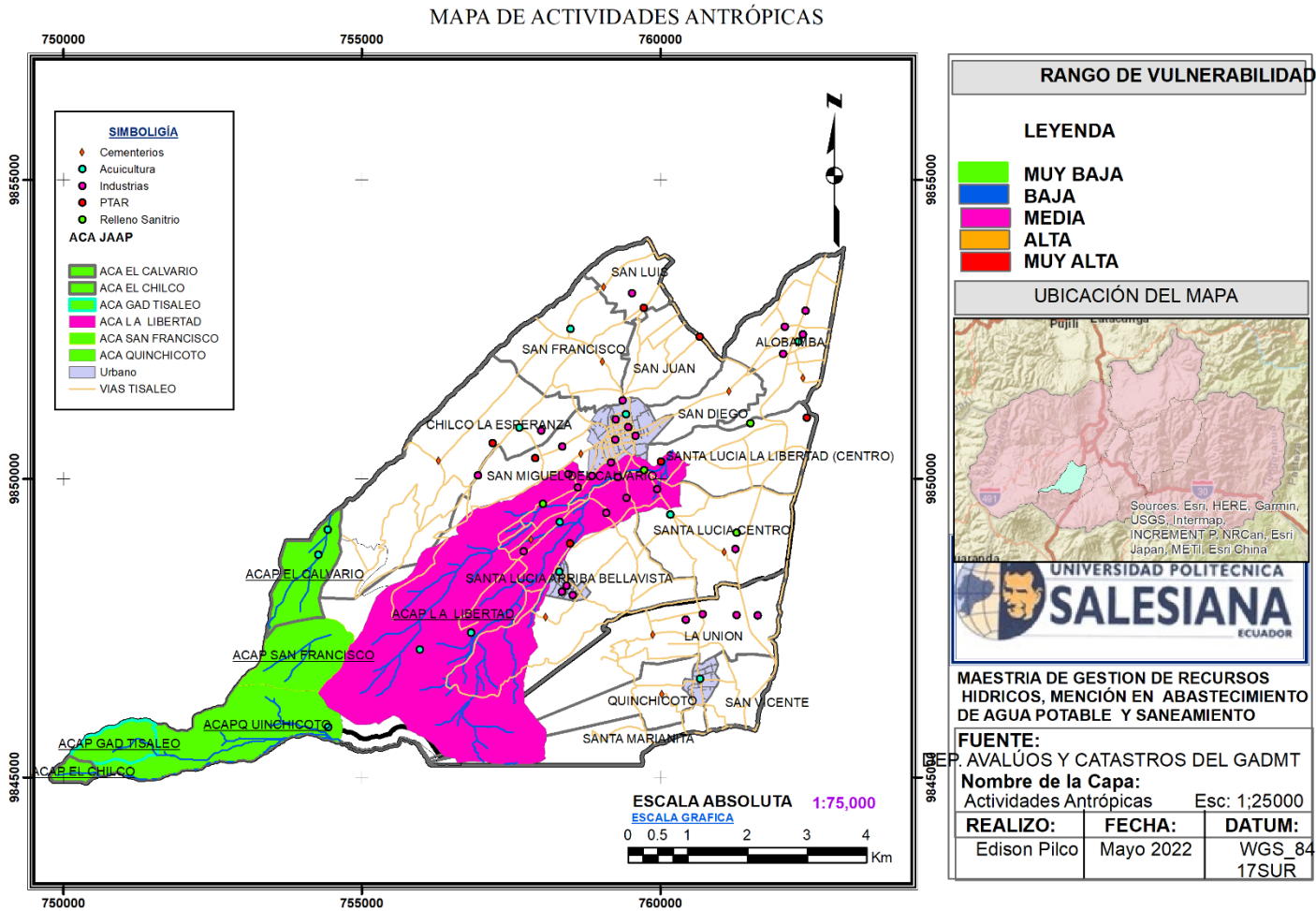
Índice Vulnerabilidad actividades antropogénicas según rango de prioridad.

RANGO DE PRIORIDAD	RANGO	NÚMERO ACA	PORCENTAJE
Muy Baja	0,0-0,017	5	83,33%
Baja	0,018-0,034	0	0,00%
Media	0,035-0,051	1	16,67%
Alta	0,052-0,068	0	0,00%
Muy Alta	0,069-0,089	0	0,00%
TOTAL		6	100%

Por otro lado, se aprecia que hay una subestimación significativa de las actividades antropogénicas con potencial contaminante, el sector industrial no posee ningún registro relacionado con emisión a cuerpos de agua. Igualmente, se aprecia que los datos recopilados entregan indicios importantes, pero una base de datos más amplia y completa debiera arrojar resultados más sólidos y concretos.

Figura 25.

Vulnerabilidad de las ACA por actividades antrópicas y rango de priorización.



5.3.5 ÍNDICE DE DERECHOS DE AGUA

- En rango Muy Baja hay 2 ACA, predomina en la porción se encuentra en la parte inferior de las ACA de la JAAP del Calvario, y la JAAP Chilco. El caudal inscrito es menor a 2,57 litro/segundo/km².
- En rango Baja son 3 ACA, las ACA de JAAP's se encuentra, o conforma la ACA mayormente por el valle de las Pampas que da hacia la Subcuenca del río Pachanlica. El caudal inscrito fluctúa entre 2,06 – 8,70 litro/segundo /km².
- En rango Media existe 1 ACA, que vierten a 2 Subcuenca; río Pachanlica, y río Ambato de la JAAP Santa Lucia – La Libertad, el caudal inscrito fluctúa entre 3,62- 20,01litro/segundo/km².

Tabla 25.

Índice Vulnerabilidad Derechos de agua según rango de prioridad.

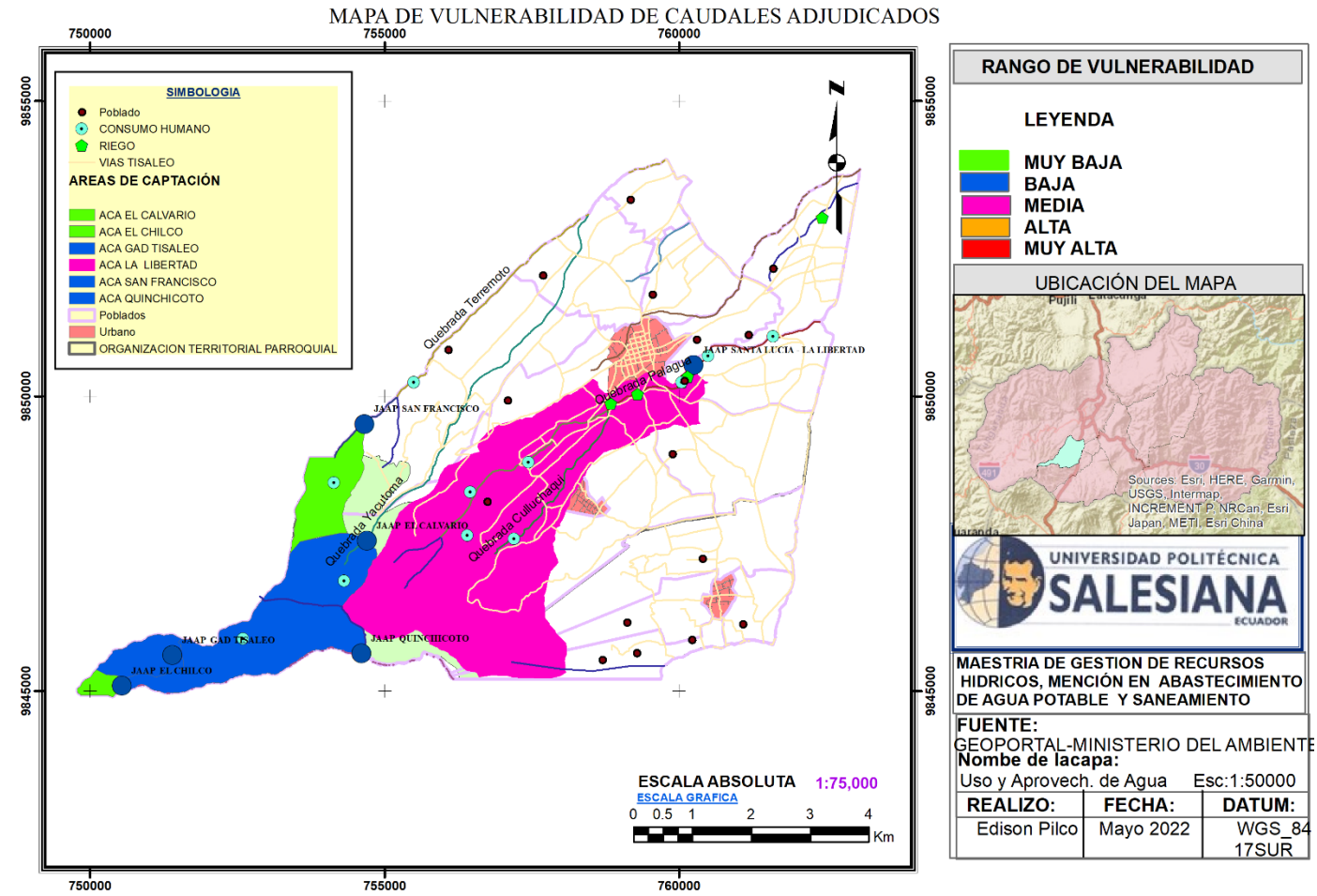
RANGO DE PRIORIDAD	RANGO	NÚMERO ACA	PORCENTAJE
Muy Baja	0,0-0,017	2	33,33%
Baja	0,018-0,035	3	50,00%
Media	0,036-0,067	1	16,67%
Alta	0,068-0,101	0	0,00%
Muy Alta	0,101-0,134	0	0,00%
TOTAL		6	100

Asimismo, en la ACA de la JAAP Santa Lucia – La Libertad se concentran las mayores extracciones de agua mediante bocatomas en los cauces que alimentan una extensa red de canales de riego que se extiende por toda la ACA. Este índice se construyó mediante los registros recopilados y que se encuentran disponibles en el Geo portal del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición. Sin embargo, un número significativo de los registros o bien no tiene coordenadas o estas están mal consignadas. La mayor parte de los expedientes más antiguos no poseen coordenadas y no se pudieron especializar. A pesar, de esta subestimación, en la medida que la información se corrija, permitirá representar con mayor acuciosidad la presión sobre el recurso hídrico.

En todo el 6% del volumen extraído se consume como agua potable, el 83% para uso agropecuario, y 11% industrial.

Figura 26.

Vulnerabilidad de las ACA por derechos de agua y rango de priorización.



5.3.6 ÍNDICE DE ÁREAS PROTEGIDAS

- En rango Baja están 4 ACA, se encuentran junto a las estribaciones del nevado Carihuayrazo, perteneciente a la JAAP del El Chilco, Dirección Gadm Tisaleo, el Calvario y San Francisco todas estas contenidas completamente en áreas del SNAP y en sitios prioritarios.
- En rango Media hay 2 ACA, la mayor es de Santa Lucia – La Libertad, la misma que es la más grande de todas, y su área va desde el sur del cantón hasta la altura de las Pampa de Salasaca atravesando por una parte todo el cantón. En todos estos casos la fracción de alguna categoría de áreas protegidas es muy menor. Pero la más predominante es del SNAP en un 21% de su superficie. Y la ACA de Quinchicoto que se extiende predominantemente por toda el área de las Pampas de Salasaca, así mismo que dicha área conforma parte del Páramo de Protección Mancomunal Frente Occidental Sur (FSO) que involucra a la preservación de dicha área a los cantones de Mocha y Tisaleo

Tabla 26.

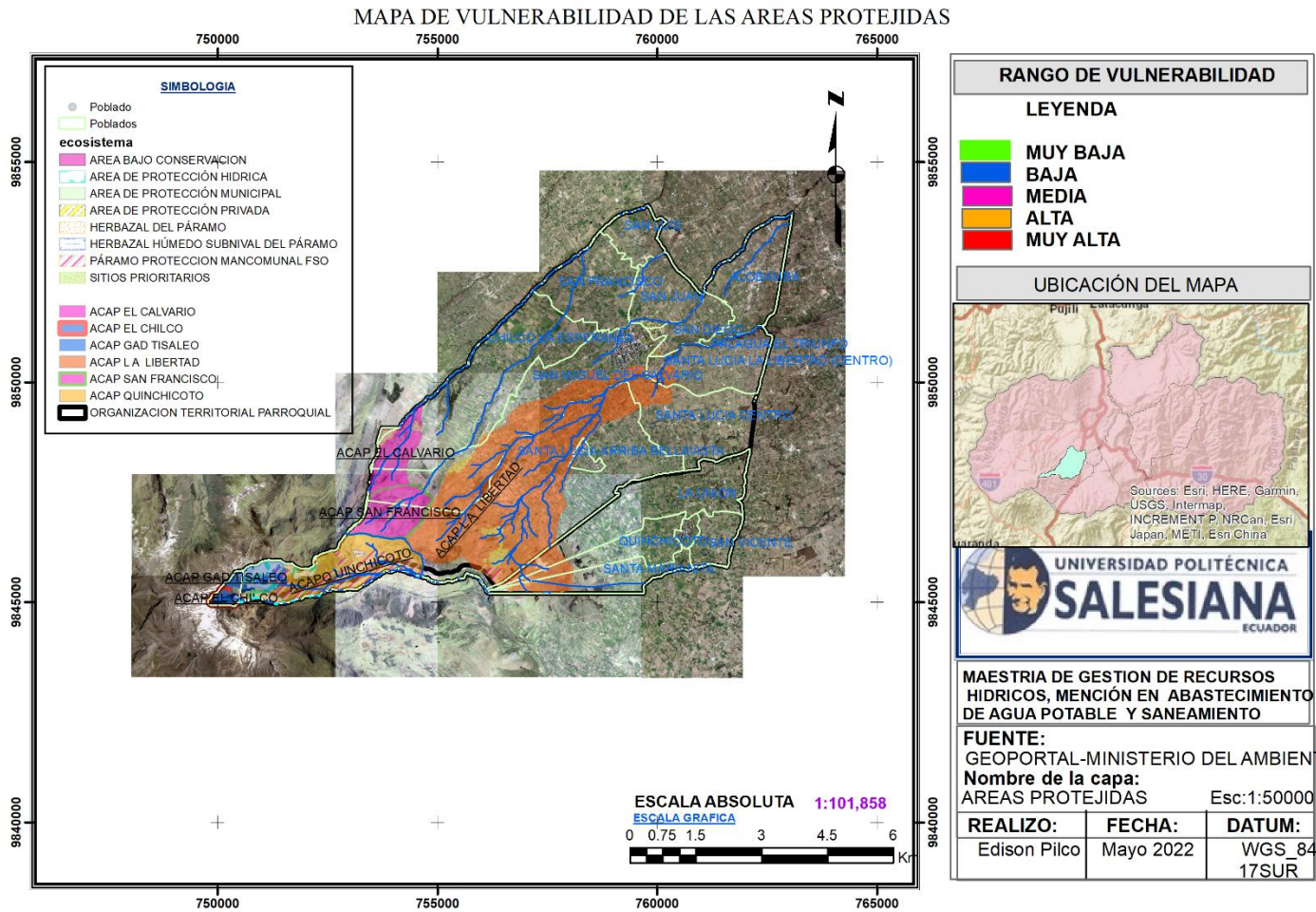
Índice Vulnerabilidad de áreas protegidas según rango de prioridad.

RANGO DE PRIORIDAD	RANGO	NÚMERO ACA	PORCENTAJE
Muy Baja	0,0-0,025	0	0,00%
Baja	0,026-0,050	4	66,66%
Media	0,052-0,077	2	33,34%
Alta	0,078-0,103	0	0,00%
Muy Alta	0,104-0,128	0	0,00%
TOTAL		6	100,00%

Hoy en día entre muchos otros organismos promueven la sostenibilidad de los bosques ‘naturales’ como una manera de regular y asegurar la dotación del recurso hídrico en el largo plazo (Senagua, 2016). Las pampas de Salasaca conforman parte de FSO de la Mancomunidad de Tisaleo y Mocha; y además conforman parte del SNAP, misma que por su capacidad de producir y almacenar agua, provee de agua potable desde hace más de 100 años a los dos cantones mencionados (Tisaleo, 2019).

Figura 27.

Vulnerabilidad de las ACA por áreas de protección y rango de priorización.



5.3.7 ÍNDICE ANOMALÍA DE PRECIPITACIÓN

El indicador de anomalía de precipitación, se calcula a partir de datos de precipitación del año 2000, de la estación meteorológica M5151 sector Pampas de Salasaca (coordenadas UTM Este: 757194 Norte: 9844510, elevación 3760m), ubicada en la subcuenca zona alta del río Pachanlica, el resultado obtenido se aplica para todas las ACA, ya que se encuentran en la misma área de influencia de la estación meteorológica.

Tabla 27.

Anomalía de precipitación - APr año 2021

PRECIPITACIÓN TOTAL AÑO 2021 (mm)	607
PROMEDIO HISTÓRICO PRECIPITACIÓN ANUAL	678
ANOMALÍA DE PRECIPITACIÓN-APr (%)	85,6

Nota: El método de cálculo utilizado para determinar la APr es el recomendado por la IDEAM. Fuente: (Instituto de Hidrología & IDEAM, 2010, p 4)

A nivel territorial del cantón y por ende el 100% de las ACA están expuestas a la ocurrencia de anomalías ligeramente por debajo de lo normal, lo que puede ocasionar altos niveles de vulnerabilidad a sequías, por ejemplo, zonas muy pobres en donde las personas no pueden adoptar medidas para mitigar los efectos de la deficiencia en precipitación. puede implicar el uso de riego anormal en áreas no vulnerables, así mismo involucra campañas de ahorro de agua para evitar impactos negativos en otros sectores económicos y en el consumo doméstico de agua.

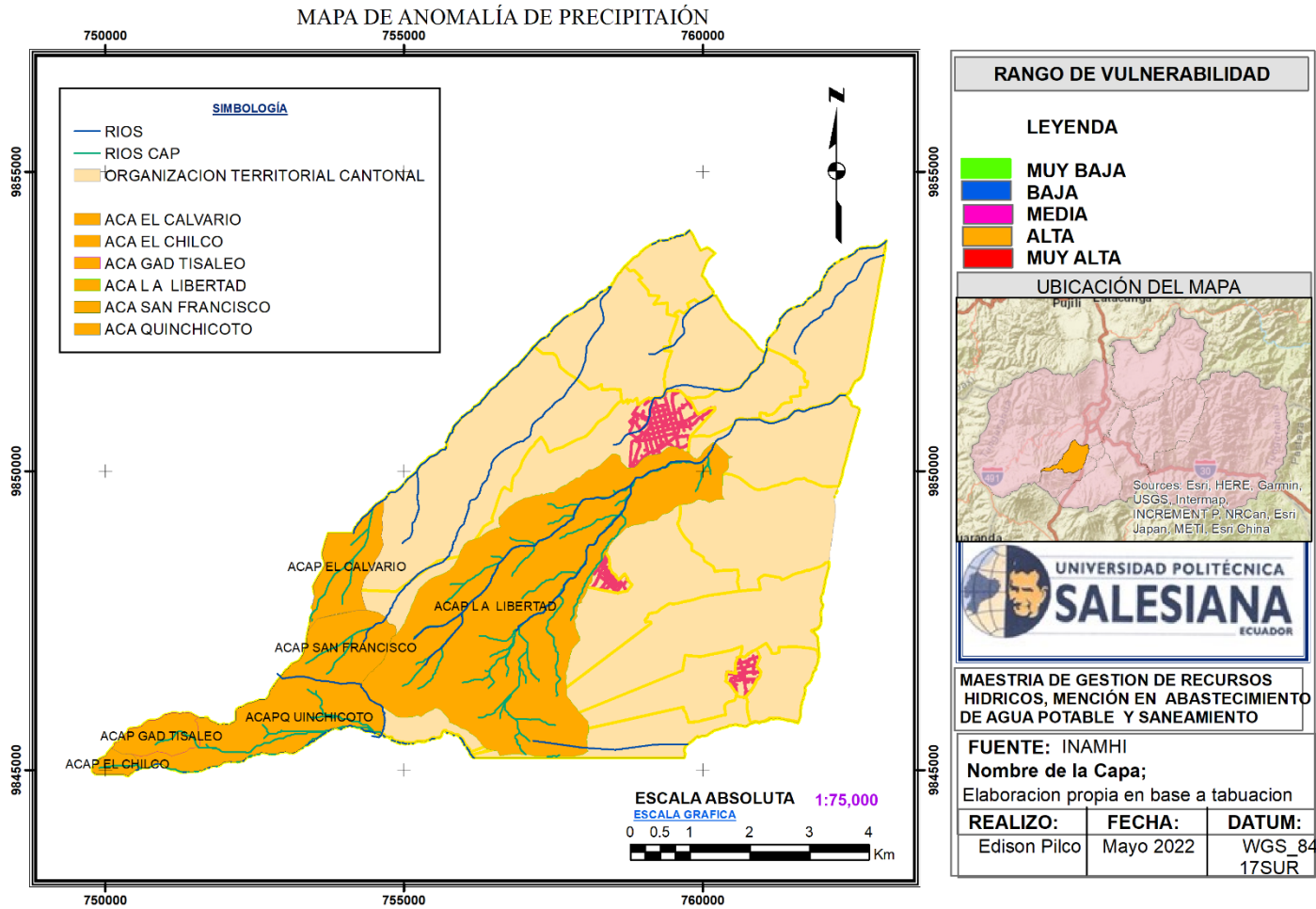
Tabla 28.

Índice Vulnerabilidad de Anomalía de Precipitación según rango de prioridad.

RANGO DE PRIORIDAD	RANGO	NÚMERO ACA	PORCENTAJE
Muy Baja	0,0-0,04	0	0,00%
Baja	0,041-0,059	0	0,00%
Media	0,060-0,108	0	0,00%
Alta	0,109-0,139	6	100,00%
Muy Alta	0,14-0,15	0	0,00%
TOTAL		6	100,00%

Figura 28.

Vulnerabilidad de las ACA por anomalía de precipitación y rango de priorización.



5.3.8 ÍNDICE DE COBERTURA VEGETAL PROTECTORA

En rango Muy Baja hay 2 ACA, se encuentran en las faltas del nevado Carihuayrazo, El Chilco y de la Dirección Gadm Tisaleo, al ubicarse esta área en un territorio por encima de los 4100m.s.n.m, además el acceso es muy difícil lo que ha conllevado que la cobertura vegetal protectora se mantenga intacta, ambas contenidas completamente dentro del SNAP.

En rango Media son 3 ACA, las áreas de JAAP's del Calvario, y San Francisco, se encuentran por los 3800m.s.n.m, mismas que se encuentran moderadamente alterada debido al avance de la frontera agrícola, y el sobre pastoreo. Y la ACA de la JAAP de Quinchicoto, se encuentra en las Pampas de Salasaca y en su mayoría son de propiedad privada, donde se afronta al problema de pastoreo de animales bovinos.

En rango Alta hay una ACA de la JAAP Santa Lucia – La Libertad, la cobertura vegetal se encuentra muy alterada ya que afronta problemas especialmente en la zona alta que pertenece al SNAP, que se enfrenta al sobre pastoreo de animales, y el avance de la frontera agrícola sobre fuentes, zonas de recarga hídrica natural, riachuelos y la vegetación nativa que existe en los causes de ríos y quebradas.

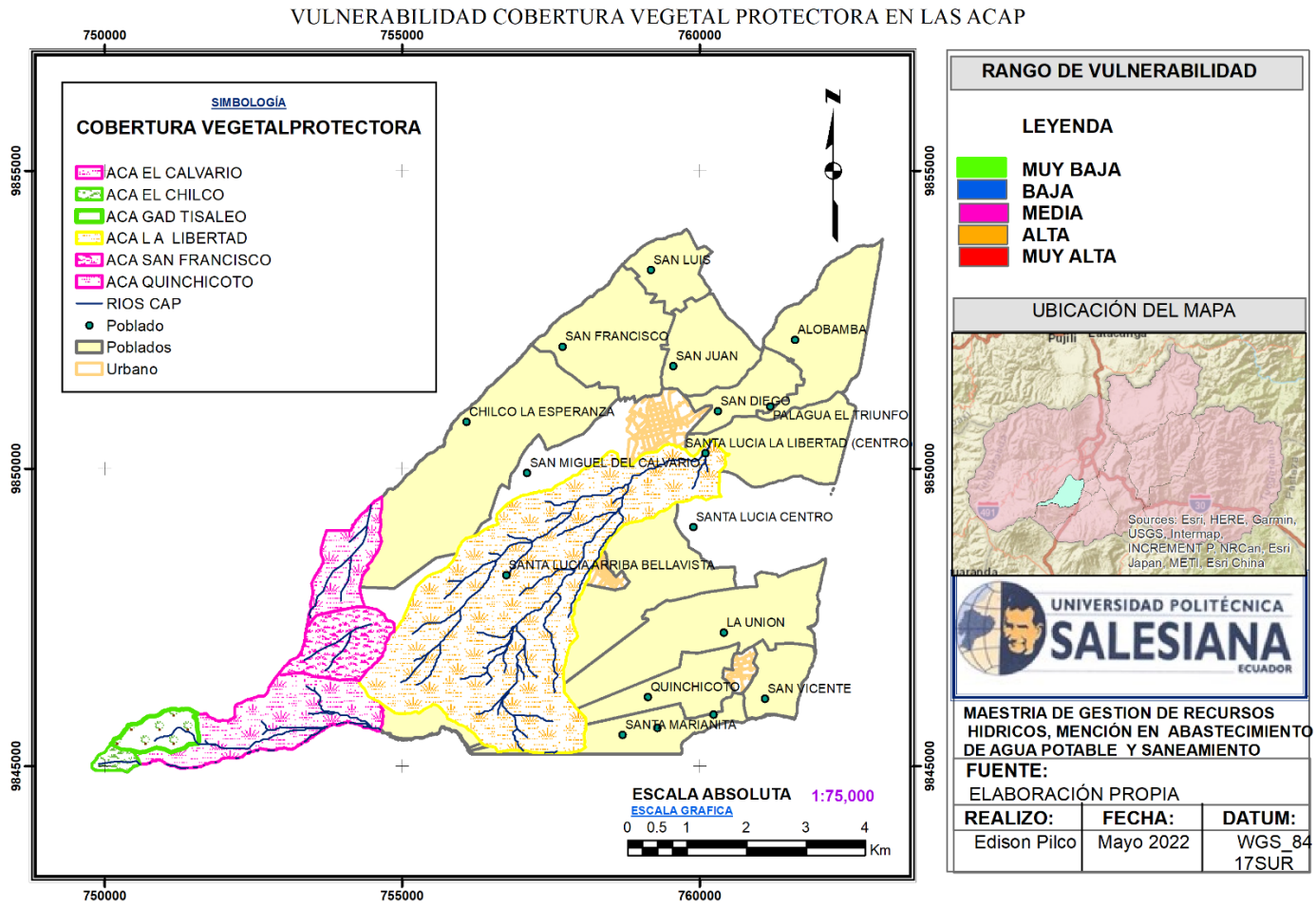
Tabla 29.

Índice Vulnerabilidad Cobertura Vegetal el rango prioridad.

RANGO DE PRIORIDAD	RANGO	NÚMERO ACA	PORCENTAJE
Muy Baja	0,0-0,025	2	33,33%
Baja	0,026-0,051	0	0,00%
Media	0,052-0,096	3	50,00%
Alta	0,104-0,128	1	16,67%
Muy Alta	0,129-0,15	0	0,00%
TOTAL		6	100,00%

Figura 29.

Vulnerabilidad de las ACA por cobertura vegetal y rango de priorización.



5.4 SÍNTESIS DE CRITERIOS

En la Tabla 31. se presenta una comparación de los valores de prioridad media, obtenidos para cada índice y el valor de prioridad promedio.

Tabla 30.

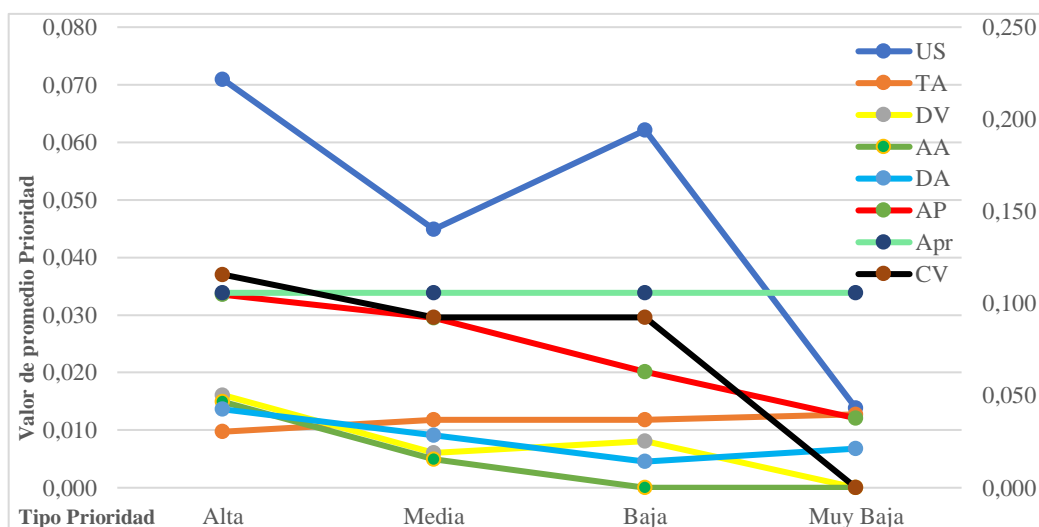
Resumen Índice Vulnerabilidad Integrado por rango de prioridad.

TIPO DE PRIORIDAD	US	TA	DV	AA	DA	AP	Apr	CV	VALOR DE PRIORIDAD
Muy Alta	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
Alta	0,071	0,030	0,050	0,047	0,043	0,105	0,106	0,116	0,57
Media	0,045	0,037	0,019	0,016	0,028	0,092	0,106	0,093	0,44
Baja	0,062	0,037	0,025	0,000	0,014	0,063	0,106	0,093	0,40
Muy Baja	0,014	0,040	0,000	0,000	0,021	0,038	0,106	0,000	0,22

Los resultados muestran que la mayoría de los índices planteados tienen una relación lineal con la vulnerabilidad como se puede observar en la figura 30; es decir, a mayor presencia de elementos o actividades en las ACA mayor es su vulnerabilidad, lo que involucra de forma proporcional una mayor implementación de medidas o políticas de gestión.

Figura 30.

Valores promedios según criterio y rango de prioridad.



Es decir, en términos de sostenibilidad, a mayor vulnerabilidad involucra una mayor prioridad de conservación sobre la calidad y cantidad del recurso hídrico para el uso del consumo humano. También, por el contrario, las ACA con menores valores de prioridad, indican una menor vulnerabilidad.

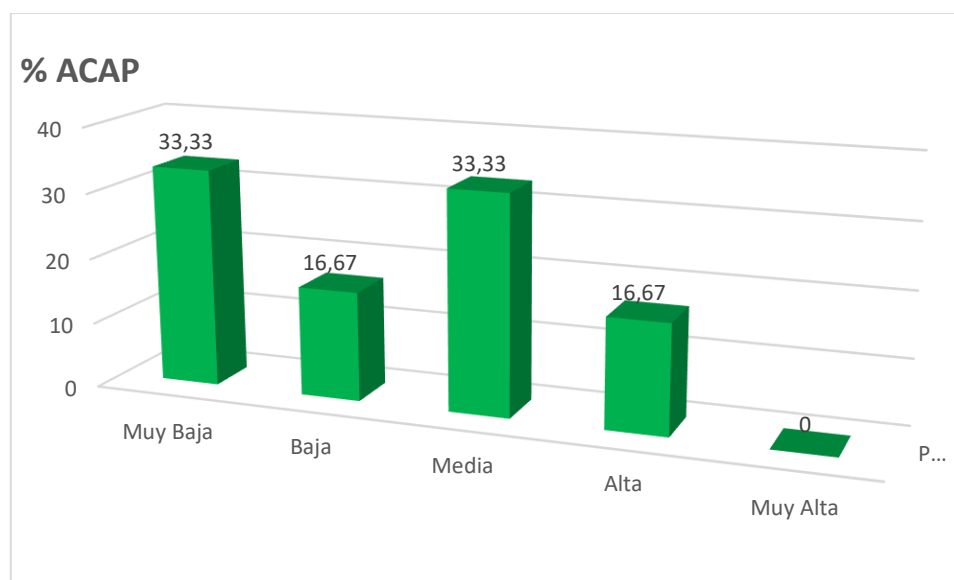
Tabla 31.

Índice Vulnerabilidad Integrado según rango de prioridad, y el número de ACA.

RANGO DE PRIORIDAD	VALOR DE PRIORIDAD INTEGRADO	NÚMERO ACA	PORCENTAJE
Muy Baja	0,22	2	33,33
Baja	0,40	1	16,67
Media	0,44	2	33,33
Alta	0,57	1	16,67
Muy Alta	0	0	0
TOTAL		6	100

Figura 31.

Gráfico de los Índice vulnerabilidad integrado según rango prioridad.



Se presenta los resultados del cálculo del Índice de Vulnerabilidad para las 6 ACA del área de estudio en la tabla 32 y figura 31, presentados en 5 rangos de prioridad,

como indicativos de la prioridad de gestión en estos territorios. A partir del análisis de resultados es posible destacar los siguientes aspectos:

En el rango Muy Baja, hay 2 ACA, la JAAP El Chilco y la Gadm de Tisaleo, estas se ubican exclusivamente en la cabecera de la sub cuenca el río Pachanlica, dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, posee los valores de prioridad más bajos: en los índices de DV, US, CV, y DA, ya que se ha determinado que no hay viviendas, no hay caminos, no hay redes eléctricas no hay extracción de agua (al interior del ACA), ya que se encuentra en las estribaciones del nevado Carihuayrazo, la flora y la fauna ha sido inalterada, y conservada, por lo tanto posee usos de suelo que favorecen la sostenibilidad del recurso, no hay actividades antrópicas y el sustrato geológico favorece para la recarga de los acuíferos. El índice de anomalía en precipitación es el índice que está en el rango de prioridad muy alta.

En el rango Baja, hay una ACA en la que se encuentra la JAAP El Calvario, esta se extiende simultáneamente desde donde empieza el SNAP hasta la demarcación con la ACA de Quinchicoto. Gran parte del territorio posee algún grado de protección, hay presencia de viviendas, hay red vial, actividad acuícola, y actividad agrícola dentro de la ACA, por lo que es menos favorables para la conservación de la cantidad y calidad del agua, ya que se encuentra esta ACA vulnerable a los índices de US,AP,CV, y APr cuyos valores son mayores y se presenta en la tabla 31.

En el rango de Media, hay 2 ACA, se emplaza en la cabecera de la sub cuenca el río Pachanlica donde está la ACA Quinchicoto, y la otra ACA de la JAAP de San Francisco da hacia la sub cuenca del río Ambato. Estos territorios se encuentran bajo algún grado de protección (SNAP), hay casi nula presencia de viviendas, hay una red vial mayor, hay extracción de agua, los usos de suelo son aún menos favorables para garantizar el agua en cantidad y calidad, debido a que con las aperturas y mejoramiento de vías y la falta de control el avance de la frontera agrícola, pastoreo en zonas de paramos (cambio de uso de suelo) a modificado de forma gradual la cobertura vegetal protectora natural. Y se encuentra vulnerable a los índices de (US,AP,CV,APr) los valores son mayores, ver tabla 31.

En el rango Alta, está la ACA de la JAAP de Santa Lucía – La Libertad esta tiene mayor vulnerabilidad. Una fracción mínima del territorio posee algún grado de protección, hay una gran presencia de viviendas, hay una extensa red vial, hay una gran extracción de agua, los usos de suelo son muy variados y atentan contra la calidad y cantidad del agua, el sustrato geológico es vulnerable a la contaminación en especial en las quebradas (Tisaleo, 2019). En todos los índices (salvo US, CV, AP, y APr), los valores son los menores.

Cabe resaltar que en esta ACA existe a lo largo de la quebrada Palahua una serie de afloramientos de agua subterránea, uno de esos afloramientos sirve para el abastecimiento de agua para las comunidades de Santa Lucía - La Libertad, Palahua, y Santa Lucía Centro, pero si bien es cierto los índices de (US, AA, DV) están en un valor de media, esto no quita que se debe ir regularizando ciertas actividades o factores forzantes que atenten contra la calidad y cantidad del recurso hídrico.

En el rango Muy Alta, No se han registrado ninguna ACA.

5.5 MEDIDAS QUE REDUZCAN LA VULNERABILIDAD Y MEJOREN LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LAS ACA.

Sobre los resultados bases obtenidos se proponen una serie de propuestas para reducir la vulnerabilidad de las ACA perteneciente a las JAAP's evaluadas, así como también para mejorar su gestión en la actualidad. En la formulación de medidas también se han considerado experiencias nacionales e internacionales relacionadas con la vulnerabilidad, así como también se han considerado antecedentes e información disponible. De este modo, la evaluación espacial y territorial de vulnerabilidades asociadas a las ACA y representadas por medio de un conjunto de sub-índices, puede orientar de manera acertada la inversión pública y la adopción de medidas regulatorias encaminadas a reducir la presión de determinadas actividades económicas y presiones de uso sobre las ACA, para preservar el recurso

agua tanto en cantidad como en calidad, considerando que las ACA son proveedoras de agua para consumo humano.

En la figura 32, se muestra un ejemplo de una fuente de agua que es utilizada para abastecimiento para consumo humano en la JAAP Santa Lucia – La Libertad

Figura 32.

Fuente de Abastecimiento para consumo humano de la JAAP Santa Lucia – La Libertad, y el cuarto de bomba para la impulsión.



Dentro de la agenda provincial 2019 – 2021 Tungurahua, existe varios objetivos a perseguir, a través de los Parlamentos: Agua, Gente, y Trabajo. El Parlamento Agua de acuerdo con los objetivos de la agenda provincial expresa Convenios entre empresas, organismos públicos, privados, competentes y otras organizaciones involucradas, para fomentar la producción limpia y el desarrollo sustentable en la cuenca del río Pastaza con actividades productivas, a través de sucesivos acuerdos y compromisos de acciones orientados a cumplir objetivos y metas comunes. Uno de estos acuerdos se logró en la comuna de Pilahuin del cantón Ambato, su alcance es muy amplio y está orientado a la gestión del recurso hídrico y conservación de paramos.

La articulación en territorio se va evidenciando a través de diferentes interacciones, mediante creaciones y acuerdos firmados en el 2003, como es el caso de la Mancomunidad Frente Sur Occidental de Tungurahua (FSO), que articula a las municipalidades de Cevallos, Mocha, Quero, Tisaleo y Gobierno Provincial de

Tungurahua. Tomando en consideración las condiciones y capacidades de cada cantón, fueron asignados el liderazgo específico para cada frente, en el que Mocha posee el eje de páramos; Tisaleo el agua; Cevallos la reactivación productiva y Quero la descontaminación, refiriéndose al servicio colectivo de manejo de desechos sólidos.

En el territorio de la mancomunidad FSO, el avance de frontera agrícola se presenta hasta los 4100 msnm, debido a la topografía y condiciones climáticas, lo que permite la existencia de cultivos que sobrepasan los 4020 msnm, provocando que se destruyan grandes extensiones de vegetación natural sin un control (Garcés et al., 2017). Es por eso que es necesario actuar y fomentar en pro de la producción limpia y el desarrollo sustentable en las ACA con actividades productivas, a través de sucesivos acuerdos y compromisos voluntarios de acciones orientados a cumplir objetivos y metas comunes.

Todas estas municipalidades que conforman la mancomunidad FSO, a pesar de tener sus respectivas responsabilidades y liderazgos, hasta el año actual no han logrado cumplir con los propósitos y/o responsabilidades asignadas debido a la falta de asignación de recursos para la ejecución de ciertas actividades, o para el desarrollo de estudios o proyectos. Todas estas responsabilidades adquiridas no son posible materializo, por lo que dificulta generar nuevas o ampliar áreas de protección para la generación de agua potable, por lo que la conformación de distritos de conservación de áreas y fuentes agua ha quedado solo en documentos.

En la figura 33, se presenta un ejemplo de la captación de agua de la JAAP El Calvario la cual está expuesta a todo tipo de contaminación ya que junta caudales que vierten hacia este punto.

Figura 33.

Captación para la JAAP El Calvario, y tanque de recolección.



La declaratoria de áreas protegidas municipales, dependen del interés que los Gobiernos Seccionales tengan para proteger los recursos naturales de su cantón.

Con el fin de que las instituciones involucradas y las propias JAAP's abastecedoras de agua que operan dentro del cantón puedan adoptar medidas de tipo preventivo para evitar riesgos que puedan amenazar la calidad de las fuentes de agua destinados al consumo de la población, se ha desarrollado la presente investigación como apoyo a la gestión Gadm de Tisaleo, que tiene como responsabilidad a través de la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado trabajar de forma articulada con las JAAP's y brindar todo el apoyo necesario.

Mediante el apoyo mutuo con la Dirección de Agua Potable y Alcantarillado se ha logrado determinar índices los cuales reflejan cierto tipo de vulnerabilidad, por lo tanto, realizar estudios que identifiquen fuentes y la naturaleza de la vulnerabilidad a las que están sometidos son fundamentales para la gestión de la producción, distribución y consumo de agua potable.

5.5.1 VULNERABILIDAD DE LAS ACA Y MEDIDAS DE GESTIÓN

La actual crisis hídrica, es una de aristas que se encuentra en el marco del cambio climático global, la prolongada sequía que afecta en ciertas épocas al país, y las múltiples presiones de uso sobre los recursos hídricos, sugieren la necesidad de asegurar, tanto en calidad como en cantidad las fuentes de agua en las cuencas con mayor prioridad de conservación. De acuerdo a los resultados, las ACA con prioridad “Media” y “Alta” son 2, representan el 33,33% de las ACA del área de estudio y se concentran mayoritariamente en 5 sectores:

Se encuentra en el rango de “Alta” la ACA de la JAAP de Santa Lucia - La Libertad que es la más grande en área de todas las ACA, ya que inicia la parte más baja del cantón específicamente en la quebrada Palahua y llega hasta la altura de las Pampas de Salasaca, donde en interior de esta ACA se encuentra los poblados de: Santa Lucia Bellavista, La Unión, Palahua, y una parte urbana del cantón.

En esta ACA hay un número de viviendas importantes, actividades antropogénicas, agrícolas, pecuarias, silvícolas y un intensivo uso del agua con fines agropecuarios, así mismo en la parte superior de esta área se evidencia un importante avance de la frontera agrícola misma que se encuentra por encima de los cuerpos de agua existentes (lagunas naturales).

Se considera que los cambios de uso del suelo y, específicamente, la sustitución de vegetación nativa específicamente en la parte alta de ACA por otras coberturas, representa una seria “amenaza” para la disponibilidad futura de los recursos hídricos y el abasto de diversos servicios ecosistémicos, como la producción de agua potable.

De igual forma, en el rango de vulnerabilidad “Media”, y como criterio general de gestión para el resto de ACA, es de suma importancia mantener el valor del bosque, cobertura vegetal y matorral nativos en las ACA. Así lo determina la ley en el art. 7 que no se debe afectar a los ecosistemas frágiles, tales como páramos, manglares, humedales, bosques nublados, bosques tropicales, secos y húmedos, zonas de

patrimonio natural, cultural y arqueológico; y en general, en áreas naturales protegidas y particularmente en los territorios con alta biodiversidad o que genere servicios ambientales. (Asamblea Nacional del Ecuador, 2018)

Teniendo en cuenta los antecedentes anteriormente expuestos, y desde esta perspectiva, es necesario que, a través de los movimientos comunitarios, se generen distritos de agua, suelo; la Dirección de Ambiente, así como Dirección de Agua Potable del cantón y las organizaciones no gubernamentales que trabajan en la zona, se establezcan procesos con el objeto de llegar a acuerdos comunitarios para la conservación del ecosistema páramos y el acceso al agua potable en cantidad y calidad.

En el marco de la presente investigación se proponen las siguientes medidas a ser promovidas por los diferentes niveles de gestión:

Tabla 32.

Propuestas de medidas de gestión que se promueven.

ASPECTO	ÍNDICES	MEDIDAS DE GESTIÓN	INSTITUCIÓN
Social	Uso de Suelo	Socialización y concientización de la importancia del uso de suelo sostenible, con los agricultores, propietarios de las tierras comunales, y áreas de conservación que se encuentren dentro de las ACA.	Jaap Santa Lucia - La Libertad; Jaap Quinchicoto; Jaap San Francisco; Jaap el Chilco; Jaap el Calvario.
Ambiental		La recuperación del páramo debido al cambio de uso de suelo (pino, eucalipto) dentro de la ACA San Francisco de forma que permita mejorar la sostenibilidad del recurso hídrico.	Jaap San Francisco
Social		Generación de mecanismos de incentivos económicos destinados hacia los propietarios de tierras que se encuentran en zonas de protección hídrica, de forma que permita asegurar el agua en cantidad y calidad.	Dirección Gadmt.
Ambiental	Anomalía de Precipitación	Identificación, restauración y preservación de fuentes de agua existentes a lo largo de la quebrada Palahua, y demás fuentes que se encuentra SNAP, de forma que se pueda asegurar en la parte baja del cantón el agua en cantidad el agua.	Jaap Santa Lucia - La Libertad; Jaap Quinchicoto; Jaap San Francisco; Jaap el Chilco; Jaap el Calvario.
Social		Fortalecimiento de la capacidad técnica para la gestión integral del agua en las JAAP para reducir el consumo y temas sobre el uso adecuado del agua.	Dirección Gadmt.
Social		Implementación medidas dirigidas a reducir la demanda de agua y ante a sequía hidrológica de agua superficial, tales como almacenamiento, fuentes alternas de abastecimiento, turnos de riego, sensibilización en uso eficiente y ahorro de agua, otras.	Jaap Santa Lucia - La Libertad; Jaap Quinchicoto; Jaap San Francisco; Jaap el Chilco; Jaap el Calvario; Dirección Gadmt

Técnico	Actividades Antrópicas	Gestionar articuladamente con las diferentes instituciones competentes para la implementación de plantas de tratamiento de agua potable para todas la JAAP's rurales del cantón, asegurando en calidad de agua para el consumo humano.	Jaap Santa Lucia - La Libertad; Jaap Quinchicoto; Jaap San Francisco; Jaap el Chilco; Jaap el Calvario.
Técnico		En base a la delimitación de las ACA, los futuros proyectos como rellenos sanitarios deben implantarse fuera de las áreas de aporte de las ACA. Las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas e industriales así como las que se implemente a futuro, pueden estar dentro de las ACA, pero lo que se debe exigir es que cumplan la normativa ambiental sobre la descarga a cuerpos de agua dulce.	Jaap Santa Lucia - La Libertad
Social	Áreas Protegidas	Conformación de un solo organismo con las Juntas de Agua Potable y Riego que se encuentran en la mismas ACA, como actores fundamentales para la conservación de aguas y suelos, para asegurar la sostenibilidad del recurso hídrico, de forma que permita impulsar las alianzas comunitarias en coordinación con los departamentos competentes de la municipalidad de Tisaleo.	Jaap Santa Lucia - La Libertad; Jaap Quinchicoto; Jaap San Francisco; Jaap el Chilco; Jaap el Calvario; Dirección Gadmt
Ambiental		Reconocer a las ACA como áreas sostenibilidad hídrica, de forma que permita desarrollar actividades reguladas, que no atenten a la sostenibilidad ambiental, que sea ligeramente de contaminación suave.	Dirección Gadmt.
Ambiental	Índice de Cobertura Vegetal Protectora	Restauración de la cobertura vegetal nativa en áreas degradadas en zonas de páramos mediante, la siembra y monitoreo de plantas nativas, esto en el sector de Pampas de Salasaca, asegurando el almacenamiento de agua en cantidad.	Jaap Santa Lucia - La Libertad; Jaap Quinchicoto; Jaap San Francisco; Jaap el Calvario.
Ambiental		Monitoreo y seguimiento de las actividades de pastoreo de animales doméstico, sobre las áreas que converge hacia las ACA.	

De acuerdo al rango de prioridad y al índice de mayor incidencia en la vulnerabilidad, se han propuesto medidas en la tabla. 33 que ayudan a reducir la vulnerabilidad en las ACA y a la vez también de forma específica se ha identificado en que ACA se debe aplicar.

5.6 DISCUSIÓN

El presente trabajo, logró proponer los IV-ACA considera aspectos ambientales, sociales, técnico que sirve para el control y seguimiento del nivel de vulnerabilidad ante diferentes presiones que sufren las ACA; lo que constituye una herramienta para la toma de decisiones, que puede ser utilizada por parte de los entes encargados de implementar acciones preventivas, de mitigación y adaptación ante las vulnerabilidades que existe en el territorio evaluado.

En Colombia la aplicación del índice IVUSAS en la sub cuenca del río Tuluá, Valle del Cauca, Colombia considera aspectos ambientales referentes a la comparación entre la oferta y la demanda del agua, pero además contempla otros aspectos como los sociales e institucionales, donde los índices desarrollados sirve para el monitoreo y seguimiento del nivel de vulnerabilidad a sequía hidrológica de fuente de agua superficial, en subcuencas andinas; incluyendo el índice como anomalía de precipitación, donde se obtuvo como resultados una calificación de vulnerabilidad alta para la zona baja de la subcuenca, y una calificación de vulnerabilidad media para las zonas media y alta de la subcuenca en estudio. También el autor recalca que todo esto constituye una herramienta para la toma de decisiones, que puede ser utilizada por parte de los entes encargados de implementar acciones preventivas, de mitigación y adaptación a la sequía dentro del territorio evaluado.(Henaó, 2016)

En un estudio realizado en Chile en la región del Biobío, por (Peña Sebald et al., 2020) realiza una propuesta de indicadores para evaluar la sustentabilidad de las ACA, para lo cual se aplicó Análisis Multicriterio, Sistema de Información Geográfico. El punto medular de esta metodología es la forma de combinar varios criterios, variables y supuestos para formular un solo índice de evaluación de las ACA. Teniendo en cuenta estos elementos, donde se proponen nueve indicadores o índices que permitieron evaluar, de manera integrada, la sustentabilidad de las ACA frente a diversos factores forzantes asociados, cada uno de ellos, al sistema

económico, productivo, social y de infraestructura regional. Los resultados indican que el 30% de las ACA analizadas poseen vulnerabilidad alta y muy alta.

El agua para consumo se ve limitada por graves problemas de calidad y acceso. Según el estudio hecho por (Belmonte et al., 2021) en Argentina en la región del Chaco salteño, mediante el desarrollo de indicadores socio-ambientales apoyado en la metodología de Evaluación Multi-Criterio espacial identifica que el suministro de agua captada directamente desde un arroyo o cual otro tipo de captación superficial coloca en una condición de mayor vulnerabilidad, debido a la baja calidad de las propiedades físico – químicas del agua que generalmente es recurrente en especial en las comunidades rurales, la falta de tratamiento previo del agua, situación que es similar a la del cantón Tisaleo.

También este autor recalca que a pesar de los diversos proyectos que se están implementando en la región, la situación sigue resultando crítico en numerosos poblados rurales. Donde el abordaje requiere de nuevas herramientas de gestión que posibiliten definir prioridades y estrategias de actuación más eficientes, integrales y sostenibles. En este sentido, cobra importancia la necesidad de articular acciones conjuntas interinstitucionales, generar espacios de diálogo promoviendo miradas más integrales y optimizar esfuerzos para poder, entre todos, garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico.

La gestión de proyectos de agua potable tiene implicaciones importantes. El análisis de alternativas para guiar los esfuerzos en este tema requiere explícitamente la consideración de múltiples criterios como social, técnico y geográfico. Esta investigación realizada en Mexico en el estado de Tabasco por (Vaca Ruiz, 2018). presenta el uso del análisis de decisión multicriterio como herramienta para facilitar el proceso de priorización de pozos de agua potable que necesitarían más protección ante el riesgo de contaminación. En este estudio trabajan sobre tres aspectos de la protección de las aguas subterráneas: ambientales, antrópicos y técnicos. El resultado obtenido es muestra que el 30% de pozos se encuentra en un rango de prioridad alta y son susceptibles a contaminación antrópica debido a que

los mantos geológicos de los pozos son permeables y favorecen a la infiltración de contaminantes hacia el nivel de las aguas subterráneas.

Esta investigación realizada por (Chávez, 2016) hace un análisis de vulnerabilidad de los sistemas de agua potable de las juntas administradoras de agua potable (JAAP) escogidas dentro del Proyecto Pesillo – Imbabura dentro de los ámbitos ambiental, económico, social, físico y operativo, se han desarrollado índices con el fin de conocer el nivel de vulnerabilidad de la zona de estudio, por medio de un análisis multi criterio y la representación espacial de los índices. Donde de los aspectos considerados los que más influyen son los de vulnerabilidad social con un 89% que es considerado en un nivel medio, seguida de la vulnerabilidad ambiental con un 78% que también está en un rango de media. Con dichos resultados recomienda qué aspectos de la gestión hídrica dentro de cada junta administradoras de agua potable se tienen que tomar en cuenta para generar una adaptación y resiliencia en todas las zonas de estudio.

6. CONCLUSIONES

Respecto de la Vulnerabilidad de las ACA, la gestión de los recursos hídricos plantea nuevas y mayores exigencias a la humanidad. En este informe de investigación, se ha logrado delimitar todas las ACA a nivel cantonal de todos los prestadores de servicio de agua potable, lo que ha permitido identificar 6, describirlas y representarlas espacialmente

Mediante la revisión bibliográfica se ha logrado determinar índices de vulnerabilidad de acuerdo a realidad del cantón, los mismos que han permitido construir un índice integral que permite jerarquizar a cada una de las ACA de acuerdo a su rango de vulnerabilidad, en función de los subíndices establecidos, de forma que se puede plantear mejorar la gestión del recurso hídrico, con el fin de responder al reto de la creciente demanda de agua; y considerando que en muchas ciudades y regiones del país, el crecimiento urbano implica el uso intensivo y la contaminación de los recursos hídricos en las zonas urbanas, periferias y rurales.

Los subíndices que tienen mayor grado de vulnerabilidad sobre la ACA; son los de áreas protegidas, anomalía de precipitación, actividades antrópicas y cobertura vegetal protectora, mismos que están directamente relacionados con la vulnerabilidad en los aspectos sociales, ambientales y técnicos.

También, se proponen algunas medidas de gestión que permitirían reducir la 'vulnerabilidad' de las ACA, misma que permitan ir desarrollando en la población un grado más resiliente frente a los escasos de agua y sequías hidrológicas; a la vez también garantizando la sostenibilidad hídrica y ambiental, contrarrestando así la creciente necesidad de desarrollar o buscar nuevas fuentes de abastecimiento.

En nuestro país, la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión de Suelo en la sección III en los Art. 15 -Art 17, establece lineamientos para la clasificación de usos de suelo, como es la presencia de áreas protegidas, sistemas hidrológicos, áreas de conservación entre otros, por lo tanto, no se reconoce el

papel que juegan las ACA en la dotación de agua potable hacia las comunidades, zonas urbanas y rurales. Por lo tanto, una línea de acción prioritaria será la inclusión de las ACA en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDyOT) del cantón.

Con relación a la metodología, al utilizar en un contexto de planificación en la gestión del agua, permite establecer metas o medidas a mediano y largo plazo de tal manera que se puede utilizar para mejorar la gestión hídrica del cantón, con el fin de prevenir o reducir la vulnerabilidad en las ACA y por ende también permite trabajar con múltiples aspectos con el fin de mejorar la planificación desde varios puntos de vista social, ambiental y técnico.

La implementación de esta metodología para medir la vulnerabilidad de las ACA, no implica mayores recursos económicos, por lo que, puede ser adoptado por las entidades competentes del estado, ya que la facilidad de transferencia de información entre entidades públicas suele ser más oportuna, de forma que posibilite el manejo de volúmenes de datos a escala local y regional como de las cuencas hidrográficas del país.

Por tanto, es fundamental desarrollar acuerdos, proyectos comunitarios de conservación ambiental, hídrica, integrales y comunitarios, encaminados a reducir los impactos sobre los recursos naturales; mediante el establecimiento de acuerdos comunitarios firmados por los copropietarios de las tierras, municipalidad, JAAP, y de más actores con el objetivo de impulsar economías locales en armonía con la sostenibilidad ambiental.

Finalmente para realizar este informe de investigación se tubo dificultad en el acceso a la información, porque las distintas instituciones del estado no tienen registros o datos actualizados, mucho menos de las áreas rurales, ya que este informe se basa mayormente en archivos y registros oficiales de las entidades públicas, de manera que ha demandado inicialmente un importante esfuerzo de sistematización, ordenación y análisis crítico de un conjunto de datos, en algunos casos de dificultoso acceso y con omisiones.

REFERENCIAS

- Albarracín, M., Gaona, J., Chicharo, L., Zalewski, M., Corporación_Naturaleza_y_Cultura_Internacional, GAD_Municipal_de_Paltas, Universidad_Técnica_Particular_de_Loja, & INGERALEZA_S.A. (2018). *Ecohidrología y su Implementación en Ecuador* (: EDILOJA Cía. Ltda (ed.); 1a. Edició).
- Alvarado, A., Esteller, M. V., Quentin, E., & Expósito, J. L. (2016). Multi-Criteria Decision Analysis and GIS Approach for Prioritization of Drinking Water Utilities Protection Based on their Vulnerability to Contamination. *Water Resources Management*, 30(4), 1549–1566. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1239-4>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2008). *Constitucion Política Del Ecuador 2008* [Political Constitution of Ecuador 2008]. Quito-Ecuador, 119. <https://n9.cl/gr4e>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2018). *Ley Organica de Tierras y Territorios Ancestrales*. Registro Oficial Suplemento 711 de 14-Mar.-2016. Ultima Modificación: 21-Ago.-2018, 19. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/Ley-Organica-de-Tierras-Rurales-y-Territorios-Ancestrales.pdf>
- Basildo, R. &. (1993). Aproximación bibliográfica a los Sistemas de Información Geográfica aplicados a la Ordenación del Territorio y los Recursos Naturales. *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, 319– 335.
- Belmonte, S., López, E. de las M., & García, M. de los Á. (2021). Identificación de áreas prioritarias para la gestión del agua en el Chaco salteño, Argentina. *Agua y Territorio / Water and Landscape*, 17, 7–32. <https://doi.org/10.17561/at.17.4868>
- Carroll, N. F. (2009). Quantifying the costs of drought: new evidence from life satisfaction data. *J. Population Economic*.
- Chávez Caiza, J. P. (2016). *Generación y análisis de información sobre vulnerabilidades del sistema de agua potable desde los ámbitos ambientales económicas y sociales en el área del proyecto de agua potable Pesillo – Imbabura*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13722>
- Cofrep, F. P. (10 de 2 de 2022). <https://acolita.com/>. Obtenido de <https://acolita.com/:https://acolita.com/delimitar-automaticamente-micro-cuenca-hidrografica-especifica-en-arctgis/>

- Córdova, L. Y. P. F. W. B. V. (2017). Resumen del plan nacional de gestión integrada e integral de los recursos hídricos y de las cuencas y microcuencas hidrográficas de Ecuador summary. *Aqua-LAC*, 4, 9–15. <https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2017-v9-2-10>
- Díaz, F., Lourdes, S., & Antequera, N. (2021). Análisis de Riesgo en las Fuentes de agua de la Población de Tablachaca (Yaco) con la herramienta “ ARI .”
- Dirección, G. d. (2021). Ministerio de Obras Públicas. Obtenido de <https://dga.mop.gob.cl/estudiospublicaciones/Paginas/seriesInformesTecnicos.aspx>
- Escolero, O., Kralisch, S., Martínez, S. E., & Perevochtchikova, M. (2016). Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad del abastecimiento.... *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 409–427. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-33222016000300409&lng=es&nrm=iso
- Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., D’Elia, M., & Paris, M. (2009). Protección de la Calidad del Agua Subterránea. In Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento/ Banco Mundial. www.worldbank.org
- García, G. A., Co-Guía, P., Carolina, A., & Freer, B. (2021). Propuesta de Indicadores para Identificar y Jerarquizar las Áreas de Captación de Agua Potable en la región del Biobío. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000149754>
- García, J. R. (2021). La Gestión del Agua En España. México Y Argentina. España: UJA. doi:<https://orcid.org/0000-0003-3250-8768>
- García-Herrera, R. D. (2010). A review of the European summer heat wave of 2003. *Crit.*
- Giri S., N. A. (2012). Evaluating of targeting methods for implementation of best management practices in the Saginaw River Watershed. *J Environ Manage*, 103, págs. 24-40.
- Henaó, J. (2016). Propuesta de un índice de vulnerabilidad a sequía de fuentes de agua superficial en subcuencas andinas. Universidad Nacional de Colombia.
- Hidalgo Bustamante Ximena. (2020a). Diagnóstico de las estadísticas del agua en Ecuador.
- Hidalgo Bustamante Ximena. (2020b). Fuentes de agua para sistemas de Abastecimiento.
- Instituto de Hidrología, M. y E., & IDEAM, A.-. (2010). Anomalía de precipitación (AP).
- Leguizamón Sierra, G. I., & Yepes González, N. V. (2014). Estudio Descriptivo Mediante Análisis Multicriterio de la Cadena Agroalimentaria de La Panela. *Publicaciones e Investigación*, 8(1), 161. <https://doi.org/10.22490/25394088.1298>
- Luis, F., & Moncayo, G. (2015). Indicadores básicos de desempeño ambiental.

- Moscoso Vintimilla, G. M., Paucar Camacho, J. A., & Solano Peláez, J. L. (2021). Vulnerabilidad física y exposición ante la amenaza de movimientos en masa del Sistema de Agua Potable Culebrillas de la Ciudad de Cuenca. *Ciencia Digital*, 5(2), 46–66. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v5i2.1573>
- Muñoz Murcillo, J. L., Gentili, J., & Bustos Cara, R. (2020). Uso agrícola del suelo y demanda de agua para riego en la cuenca del río Vinces (Ecuador) durante el período 1990 – 2014. *Investigaciones Geográficas*, 59, 91. <https://doi.org/10.5354/0719-5370.2020.56958>
- Paredes-Rodríguez, A. M., Chud-Pantoja, V. L., & Osorio E, J. C. (2019). Fuzzy Multi-criteria Inventory Control System for Spare Parts. *Scientia et Technica Año XXIV*, 24(02), 595–603.
- Peña Sebal, R., Azócar García, G., & Baeza Freer, C. (2020). Evaluando la sostenibilidad de las áreas de captación de agua potable en la región del biobío a través de un índice de vulnerabilidad. *Revista Geográfica Del Sur*, 9(2), 84–104. <https://doi.org/10.29393/g9-11esac50011>
- Quinchicoto, G. P. (2019). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquial de Quinchicoto.
- Senagua. (2016). Estrategia Nacional de Calidad del Agua. Ministerio de Ambiente, Ecuador, 97. <https://n9.cl/1klc>
- Tisaleo, G. A. D. M. del C. (2019). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Tisaleo. 2019, 1(1), 357.
- Torres Romero, S. F., & Proaño Santos, C. O. (2018). Componentes del balance hídrico en los páramos de Jatunsacha, Ecuador. *La Granja*, 28(2), 52–66. <https://doi.org/10.17163/lgr.n28.2018.04>
- Triantaphyllou, E. (2019). Using the analytic hierarchy process for decision making in engineering applications : Some challenges Using the analytic hierarchy process for decision making in engineering applications : some challenges. August. https://www.researchgate.net/profile/Evangelos-Triantaphyllou/publication/241416054_Using_the_analytic_hierarchy_process_for_decision_making_in_engineering_applications_Some_challenges/links/5d4f0456299bf1995b759577/Using-the-analytic-hierarchy-process-fo
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, I. (30 de 08 de 2022). Datos meteorológicos.

- IPCC, I. P. (2014). The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Kelly W.N., A. P. (2000). Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. Climate Change.
- Kuroiwa, J. (2002). Reducción de desastres. Viviendo en armonía con la naturaleza. (Vols. Primera, Vol.). Lima: CENAPRED, Ed.
- Lewis, S. B. (2010). The Amazon drought. Science.
- Maskrey, A. (1993). Los desastres no son naturales. Red de Estudios Sociales En La Prevencion de Desastres En América Latina. <http://www.desenredando.org>, 1-137.
- Mitchell G., M. (2015). Developing resilience to England's future droughts. Developing resilience to England's future droughts: Time for cap and trade?, 149, 97- 107.
- Mitchell G., M. A. (2015). Developing resilience to England's future droughts: Time for cap and trade? Journal of Environmental Management, 149, 202-216.
- Montoya, C. L. (2009). Propuesta metodológica para localización de estaciones de monitoreo de calidad de agua en redes de distribución utilizando sistemas de información geográfica. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia , 129-140.
- Mundial, B. (28 de 04 de 2013). Las dimensiones sociales del cambio climático en México. Obtenido de Documento Del Banco Mundial: <http://www.bancomundial.org/content/dam/Worldbank/document/web spa mexico.pdf>
- Nicholls, R. J. (2005). Global Vulnerability Analysis. Encyclopedia of Coastal Science. doi:[http://doi.org/10.2112/1551-5036\(2005\)21\[866:BR\]2.0.CO;2](http://doi.org/10.2112/1551-5036(2005)21[866:BR]2.0.CO;2)
- OMS. (s.f.). Obtenido de <https://www.paho.org/en>
- PNUD, M. V. (2013). Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante Cambio Climático. 1-62.
- Sáenz, F., Schultz, S., & Hyman, G. (1997). Uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en la identificación de degradación de tierras y recursos hídricos. Revista Forestal Centroamericana. , 16-22.
- Singh N.P., B. C. (2014). Vulnerability and policy relevance to drought in the semi-arid tropics of Asia – A retrospective analysis, Weather and Climate Extremes.
- Sostenibles, O. d. (25 de 09 de 2017). Naciones Unidas. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

- Thang T.X. Nguyen, J. B. (2016). Woodroffe, Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: A review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices *Ocean & Coastal Management.*, 123, págs. 18-43.
- Tungurahua, H. G. (31 de 7 de 2015). Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua. Obtenido de <https://www.tungurahua.gob.ec/>
- UNEP, U. N. (2003). Concepts, Issues, Methods and Case Studies. Assessing Human Vulnerability to Environmental Change, p. 3. Obtenido de United Nations Environment Programme - UNEP. (2003). Assessing Human Vulnerability to Environmental Change: Concepts, Issues, Methods and Case Studies. Retrieved from http://www.unep.org/publications/search/pub_details_s.asp?ID=3726
- Tungurahua, G. (2018). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Tungurahua. 26,27,28,29,30.
- Vaca Ruiz, M. P. (Universidad T. del N. (2018). "Aplicación Del Modelo De Análisis Multicriterio Para La Selección De Técnicas De Conservación De Suelo Y Agua En La Cuenca Del Río Chota, Al Norte De Ecuador." [Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8600>
- Vrba, J., Hirata, R., Girman, J., Haie, N., Lipponen, A., Neupane, B., Shah, T., & Wallin, B. (2006). Groundwater resources sustainability indicators. IAHS-AISH Publication, 302, 3–9.

ANEXOS

Anexo A

Ponderados finales de cada uno de los índices frente al rango de vulnerabilidad

N°	ACAP	US	TA	DV	AA	DA	AP	Apr	CV	ÍNDICE VULNERABILIDAD	RANGO PRIORIDAD
1	JAAP SANTA LUCIA - LA LIBERTAD	0,0709	0,0304	0,0503	0,0466	0,0426	0,1048	0,1058	0,1157	0,57	ALTA
2	JAAP QUINCHICOTO	0,0276	0,0368	0,0126	0,0155	0,0284	0,1174	0,1058	0,0926	0,44	MEDIA
3	JAAP SAN FRANCISCO	0,0621	0,0368	0,0252	0,0155	0,0284	0,0671	0,1058	0,0926	0,43	MEDIA
4	JAAP EL CHILCO	0,0138	0,0428	0,0000	0,0000	0,0142	0,0377	0,1058	0,0000	0,21	MUY BAJA
5	JAAP EL CALVARIO	0,0621	0,0368	0,0252	0,0000	0,0142	0,0629	0,1058	0,0926	0,40	BAJA
6	DIRECCION GADM	0,0138	0,0368	0,0000	0,0000	0,0284	0,0377	0,1058	0,0000	0,22	MUY BAJA

Anexos B

Ponderados finales de cada uno de los índices frente al rango de vulnerabilidad

INDICE DE CONSISTENCIA LANDA MAX 8,996956789
 IC (LAND MAX-n)/(n-1) 0,172422398
INDICE DE CONSISTENCIA ALEATORIO ICA TABLA 1,42
RELACION CONSISTENCIA IC/ICA RIC IC/ICA 0.0633
INDICE DE CONSISTENCIA ACEPTABLE RIC<0,10 0.0633 ok

MATRIZ PARA N° DE INDICES

n	3	4	5	6	7	8	9	10
ICA	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,42	1,45	1,49

Anexos C

Cuadro de cálculo de áreas de uso de suelo por JAAP

AREA Ha	Tierras improductivas	Conservación y producción	Conservación y protección	Agropecuario mixto	Pecuario	Protección y producción	Ciudades y pueblos	Agrícola
1349,78	0,00	16,82	157,62	398,79	286,26	88,46	111,96	289,87
42,23	0,77	0,00	41,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
55,28	0,00	0,00	26,23	0,00	0,00	29,05	0,00	0,00
37,40	37,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
32,41	0,00	0,00	11,41	0,00	0,00	21,00	0,00	0,00
2,50	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Anexos D

Cuadro de cálculo de áreas Protegidas por JAAP

AREA Ha	Sistema Nacional de Áreas	Área de Protección Hídrica	Área Bajo Conservacion	Área de Protección Municipal	Sitios Prioritarios	Área de Protección Privada	Páramo Protección Mancomun	Herbazal Húmedo Subnival
351,66	296	0	0	3,36	36,17	0,41	10,14	5,58
480,9	301,8	0	0	0	0	0	175,5	3,6
154,18	140,01	0	0,14	0	14,03	0	0	0
23,95	8,55	15,4	0	0	0	0	0	0
102,32	93,59	0	0	0	8,73	0	0	0
71,12	32,11	39,01	0	0	0	0	0	0

