



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA GEÓGRAFA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

TEMA:

**ZONAS PRIORITARIAS DE CONSERVACIÓN EN LOS AFLUENTES
ABASTECEDORES DE LA CIUDAD DE TULCÁN, APLICANDO
MÉTODO DE VALORACIÓN ECONÓMICA Y LÓGICA DIFUSA**

AUTORA: MEJÍA AGUILAR, MÓNICA SOFÍA

DIRECTOR: DR.RODRÍGUEZ ESPINOZA, FABIÁN FRANCISCO

SANGOLQUÍ

2019



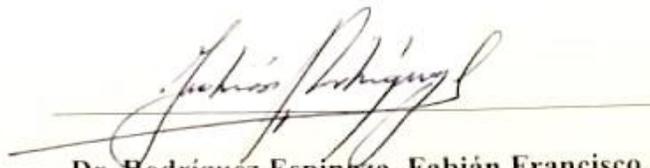
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“ZONAS PRIORITARIAS DE CONSERVACIÓN EN LOS AFLUENTES ABASTECEDORES DE LA CIUDAD DE TULCÁN, APLICANDO MÉTODO DE VALORACIÓN ECONÓMICA Y LÓGICA DIFUSA”** fue realizado por la señorita *Mejía Aguilar, Mónica Sofía* el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolqui, 28 de Octubre del 2019

Firma:



Dr. Rodríguez Espinoza, Fabián Francisco.

C.C.: 1706853759



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Mejía Aguilar, Mónica Sofía*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: "ZONAS PRIORITARIAS DE CONSERVACIÓN EN LOS AFLUENTES ABASTECEDORES DE LA CIUDAD DE TULCÁN, APLICANDO MÉTODO DE VALORACIÓN ECONÓMICA Y LÓGICA DIFUSA" es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 28 de Octubre del 2019

Firma:

Mejía Aguilar, Mónica Sofía

C.C.: 0401603006



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORIZACIÓN

Yo, *Mejía Aguilar, Mónica Sofía*, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“ZONAS PRIORITARIAS DE CONSERVACIÓN EN LOS AFLUENTES ABASTECEDORES DE LA CIUDAD DE TULCÁN, APLICANDO MÉTODO DE VALORACIÓN ECONÓMICA Y LÓGICA DIFUSA”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 28 de Octubre del 2019

Firma:

Mejía Aguilar, Mónica Sofía

C.C.: 0401603006

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres por su amor total, su paciencia y su esfuerzo diario, a mi hermano por ser mi amigo y mi compañero de vida.

Dedico esto a mis abuelitos por su infinito amor.

Todo es posible con ustedes a mi lado.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios como pilar principal en mi vida, por todas las bondades y bendiciones.

De manera especial agradezco a mi Papi por su cariño y preocupación, a mi Mami por su paciencia, entrega y amor, a mi hermano por ser mi amigo incondicional.

A mis abuelos por su infinito cariño, a María Aleja por su amistad siempre y a Lucia por toda la felicidad.

Son lo mejor que tengo en mi vida.

Agradezco al Dr. Fabián Rodríguez por la confianza desde el inicio en este proyecto, a la Ingeniera Miriam Fernández por sus consejos y apoyo, al Ing. Alexander Robayo por su ayuda siempre.

INDICE

CAPITULO 1	1
INTRODUCCION	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Descripción resumida del proyecto	3
1.4 Justificación e importancia	4
1.5 Descripción del área de estudio	5
1.6 OBJETIVOS.....	6
1.6.1. Objetivo general.....	6
1.6.2. Objetivos específicos	7
1.7 Metas	7
CAPITULO II	8
MARCO TEORICO	8
2.1.1 Conservación de los ecosistemas	8
2.1.2 Páramo.....	9
2.1.3 Importancia.....	10
2.1.4 Bienes y servicios ambientales del paramo	12
2.1.5 Bienestar Económico.....	14
2.1.6 Externalidades	15
2.1.7 Bienes públicos	16
2.1.8 Agua	17
2.1.9 Tarifa del agua.....	18
2.1.10 Valoración económica.....	20
2.1.11 Función de la producción	22
2.1.12 Sistema de información geográfica (SIG).....	24
2.1.13 Evaluación multicriterio	24
2.1.14 Lógica Difusa	25
2.1.15 Fundamento de Lógica Difusa	25
2.1 BASE LEGAL.....	35

CAPITULO III	38
METODOLOGIA	38
3.1 FASE 1	38
3.1.1 Recopilación de datos.....	38
3.1.2 Determinación de caudales en cuencas con poca información hidrológica	39
3.1.3 Fórmula de Nadal	41
3.1.4 Función de la producción	42
3.1.5 Beneficio	42
3.2 FASE 2	43
3.2.1 Delimitación de zonas de conservación	43
3.2.2 Recopilación de información	44
3.2.3 Importancia y Análisis de las variables.....	50
3.2.4 Desarrollo de la metodología de Lógica Difusa.....	51
3.2.5 Análisis Estadístico	53
CAPITULO IV	54
RESULTADOS	54
4.1 Valoración económica del Recurso Hídrico	54
4.1.1 Recolección de datos	54
4.1.2 Precio.....	55
4.1.3 Cantidad	58
4.1.4 Coeficiente de escorrentía	58
4.1.5 Cálculo del caudal de la cuenca	59
4.1.6 Valoración Económica- Agua potable para consumo	59
4.1.7 Valoración económica- Agua para riego.....	60
4.1.8 Beneficios del Páramo.....	62
4.2 Zonificación de áreas de conservación	62
4.2.1 Recolección de información.....	62
4.2.2 Análisis de las Variables	62
4.2.3 Textura de Suelo.....	65
4.2.4 Uso de Suelo.....	67
4.2.5 Modelos Generados.....	69

4.2.6	Gestión de la cuenca del río Carchi.....	74
CAPITULO V		79
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		79
5.1	Conclusiones.....	79
5.2	Recomendaciones	80

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1</i> Cuencas del Cantón Tulcán.....	54
<i>Tabla 2</i> Precipitaciones medias anuales de las estaciones pluviométricas.....	55
<i>Tabla 3</i> Detalle de gasto de mano de obra	55
<i>Tabla 4</i> Detalle Costo de Químicos	56
<i>Tabla 5</i> Detalle de servicios básicos.....	56
<i>Tabla 6</i> Detalle de Costo de papa chola por hectárea	57
<i>Tabla 7</i> Detalle de Costo de maíz por hectárea.....	57
<i>Tabla 8</i> Promedio del caudal que ingresa a la planta de tratamiento	58
<i>Tabla 9</i> Cálculo de coeficiente de escorrentía.....	59
<i>Tabla 10</i> Caudal de la cuenca	59
<i>Tabla 11</i> Precio real del agua	60
<i>Tabla 12</i> Precio de riego para producción de papa.....	61
<i>Tabla 13</i> Precio de Riego por maíz	62
<i>Tabla 14</i> Beneficios del Páramo.....	62
<i>Tabla 15</i> Procedimiento para cada variable	63
<i>Tabla 16</i> Ponderación Orden de Suelo.....	66
<i>Tabla 17</i> Ponderación orden de suelo por Saaty.....	66
<i>Tabla 18</i> Ponderación Uso de Suelo.....	67
<i>Tabla 19</i> Ponderación Uso de Suelo por Saaty	68
<i>Tabla 20</i> Ponderación a cada variable.....	70
<i>Tabla 21</i> Ponderación según el método Saaty.....	71
<i>Tabla 22</i> Resultados de Modelo 1	74
<i>Tabla 23</i> Resultados de Modelo 2.....	74

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Localización del área de estudio</i>	<i>6</i>
<i>Figura 2. Caso 1 de lógica difusa.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3. Puntos de interés de Caso 1.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4. Caso 2 de lógica difusa.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 5. Puntos de interés Caso 2</i>	<i>32</i>
<i>Figura 6. Caso 3 de lógica difusa.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 7. Puntos de interés de Caso 3.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 8. Metodología de Valoración Económica</i>	<i>38</i>
<i>Figura 9. Puntos de captación.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 10. Zonas Poblados</i>	<i>45</i>
<i>Figura 11. Vías de Tulcán</i>	<i>45</i>
<i>Figura 12. Ríos de la parroquia de Tufiño.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 13. Curvas de nivel</i>	<i>47</i>
<i>Figura 14. Cuerpos De Agua.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 15. Orden de Suelos.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 16. Cobertura Vegetal</i>	<i>49</i>
<i>Figura 17. Páramo</i>	<i>49</i>
<i>Figura 18. Orden de Suelo en la cuenca del Rio Carchi.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 19. Ponderación Uso de Suelo.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 20. Modelo 1 en la cuenca del Rio Carchi</i>	<i>69</i>
<i>Figura 21. Modelo 2 en la cuenca del rio Carchi.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 22. Modelos de la cuenca del rio Carchi.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 23. Áreas protegidas en la cuenca del rio Carchi.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 24. Cobertura vegetal en la cuenca del rio Carchi</i>	<i>76</i>
<i>Figura 25. Uso de suelo en la cuenca del rio Carchi.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 26. Poblaciones en la cuenca del rio Carchi.....</i>	<i>78</i>

RESUMEN

Ante la exigente demanda de los servicios que provienen de los recursos naturales, debido al aumento poblacional, el crecimiento económico y la necesidad de mejorar la calidad de vida, ha causado el deterioro de los servicios ambientales. El cuidado de los mismos representa un trabajo demandante en tiempo y dinero, por lo que existen herramientas como la valoración económica cuyo objetivo es asignar valores cuantitativos a los bienes y servicios ecosistémicos y así apoyar de alguna manera a la conservación de los ecosistemas con el fin de lograr el manejo eficiente de los recursos. En el presente estudio se realizó la valoración económica del servicio hídrico en la ciudad de Tulcán-Provincia del Carchi donde se obtuvo el valor real del agua potable para el consumo humano y el valor para riego de los principales productos agrícolas de la provincia, partiendo de estos resultados se generó un modelo con la metodología de lógica difusa, que permitió proponer zonas de conservación y cuidado del recurso hídrico. Se determinó que el beneficio de purificación y almacenamiento es de 988715,78(\$/año) y existen 6100 Ha con alta probabilidad de ser conservadas. Finalmente por la situación actual que Tulcán presenta con respecto al servicio del agua, se recomienda el incremento de pago por agua tanto en consumo como riego y estudios a profundidad de las zonas propuestas.

PALABRAS CLAVE:

- **VALORACIÓN ECONÓMICA**
- **SERVICIO AMBIENTAL**
- **LÓGICA DIFUSA**
- **PÁRAMO**

ABSTRACT

Population growth is the driving force of a raise on natural resources demand, economic growth and life quality increase. Yet, it is also the main cause of environmental services damage and worsening. Conservation of environmental services is a demanding work in time and money especially with those which do not have a price or market value. However, there are economic tools that help to assign quantitative economic values of ecosystems goods and services throughout of the economic valuation. The economic valuation objective is to assign monetary values to those goods and services to improve its conservation and an efficient use. The present study concentrates in assigning monetary values ecosystem water services. This study was carried out in the City of Tulcan, Carchi province. The real value of water for human consumption and crops irrigation was assessed in order to estimate the economic benefits of “paramo” conservation. Throughout a Fuzzy logic model, critical areas of paramo conservation for water conservation were established. The economic benefits of paramo’s environmental services of water purification and storage were estimated and results shows a value of 988715,78 US\$/year. In addition, an area of 6,100 ha of Andean highlands (paramo) should be protected or declare for some kind of conservation to guarantee water provision. Finally, the city of Tulcan should review its policy for water fees in improve water management efficiency.

KEYWORDS:

- **ECONOMIC VALUATION**
- **ENVIRONMENTAL SERVICE**
- **DIFFUSE LOGIC**
- **PARAMO**

CAPITULO 1

INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

La exigente demanda de los servicios ambientales que provienen de los ecosistemas está en aumento, debido principalmente al crecimiento exponencial de la población mundial, el desarrollo económico y la necesidad de mejorar la calidad de vida. Esta mayor demanda ha causado el deterioro y la explotación de los ecosistemas, especialmente a los ecosistemas frágiles como los páramos, por su alta sensibilidad ante cualquier alteración o daño ambiental, son difícilmente recuperables, además necesitan especial atención dada la presión social sobre el ambiente y el impacto de las actividades antrópicas, en los páramos las condiciones ambientales son drásticas a su vez son extremadamente vulnerables a los efectos antrópicos y necesitan especial cuidado dada la presión social sobre el ambiente y el impacto de las actividades humanas que hacen incrementar su fragilidad (Rivera & Vargas, 1991) .

Ante la necesidad de proteger este ecosistema, se ha desarrollado el proyecto páramo andino cuyo objetivo es conservar la biodiversidad, tomando en cuenta principalmente la restauración de los ecosistemas para su conservación y asegurar el suministro de los servicios ambientales para mantener y mejorar las condiciones de vida de los habitantes de los páramos de Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú (WWF, 2018).

En el Ecuador se desarrolló la creación de una mancomunidad para la protección del páramo, 11 provincias forman parte de esta iniciativa y la provincia que lidera el proyecto es Cotopaxi. El

objetivo principal es el cuidado de estos ecosistemas, tener una distribución equitativa del agua y evitar el avance de la frontera agrícola (Modesto, et al., 2018).

Isch (2012), manifiesta que hay millones de ecuatorianos que dependen directa o indirectamente de la conservación y protección de estos ecosistemas. En un estudio realizado por el Gobierno Provincial del Carchi en el 2015, se pudo comprobar que la demanda de agua está superando a la oferta del recurso, la gente se encuentra preocupada por la disminución de agua en los últimos años, los campesinos manifiestan que no existe la misma cantidad de agua que hace veinte años, ni para consumo humano, ni para el riego en los campos, situación que afecta seriamente al sector agrícola y genera problemas sociales (Condensan, 2016).

1.2 Planteamiento del problema

El cuidado de los ecosistemas requiere un trabajo demandante en tiempo y dinero por lo que surge la necesidad a nivel mundial de proteger el ambiente, mediante el uso de herramientas como la valoración económica del capital natural cuyo objetivo es alcanzar el desarrollo sustentable y apoyar de alguna manera a la conservación de los ecosistemas, y así poder manejar eficientemente los recursos; ya que indudablemente la supervivencia humana depende de las funciones que tienen los ecosistemas.

Es aquí donde la valoración económica pretende visibilizar el aporte de los bienes y servicios ambientales de ecosistemas críticos y frágiles como el páramo y los beneficios a largo plazo de su conservación. Los beneficios de los recursos deberían incluirse en las cuentas de empresas y gobiernos para así mostrar y concientizar a la población la equivalencia económica que los servicios ambientales tienen.

Para realizar el proyecto se ha planteado algunas preguntas, las cuales buscan ser resueltas.

Pregunta General

¿Cuáles son las zonas prioritarias para cuidado del ecosistema páramo en la zona de los afluentes abastecedores de agua de la ciudad de Tulcán?

Preguntas Específicas

¿Cuál es la situación actual del recurso hídrico en la ciudad de Tulcán?

¿Cuál es el caudal de la cuenca de la que provienen los afluentes abastecedores de agua?

¿Cuál es el valor real del agua para consumo y para riego?

¿Qué áreas son las más críticas para la conservación del ecosistema páramo?

1.3 Descripción resumida del proyecto

El proyecto de investigación propone realizar la valoración del servicio ambiental hídrico en la ciudad de Tulcán; establecer la cantidad de agua de la cuenca hidrográfica a la que pertenecen los afluentes, luego basándose en la función de la producción del agua potable, y la función agrícola determinar el precio real de los servicios ambientales relacionados con el agua a través del método de precios de mercado y determinar el aporte del ecosistema páramo a la ciudad.

Además se va a proponer zonas prioritarias de cuidado del recurso hídrico mediante el uso de herramientas geo-informática con la metodología de Lógica Difusa.

1.4 Justificación e importancia

Condensan en el 2016 menciona que en la provincia del Carchi, el recurso hídrico ha disminuido notablemente en las dos últimas décadas, llegando a desencadenar problemas sociales por el abastecimiento en cantidad y calidad de agua. Sin embargo, el problema radica en que la demanda del recurso ha aumentado y no se han realizado mejoras en la infraestructura para lograr cubrir esta nueva demanda; el escenario descrito requiere una respuesta ágil y oportuna de parte de todas las autoridades para asegurar el suministro de agua a la población.

La ciudad de Tulcán ha sido dependiente durante muchos años del páramo de la parroquia de Tufiño para la obtención de agua potable, pues sus captaciones pertenecen a la Comuna La Esperanza y estos son considerados terrenos ancestrales. Actualmente en la ciudad de Tulcán ya existe el problema de la falta de abastecimiento de agua para la población y como medida cautelar se suspende el servicio del agua en la noche para lograr abastecer a la población durante el día (Burbano, 2019).

El páramo es un ecosistema en donde los elementos de la vegetación y del suelo que conforman la matriz del paisaje, han desarrollado gran potencialidad para interceptar, purificar y almacenar agua. Por otro lado, los páramos influyen en la economía, puesto que desempeña diferentes usos como la función hídrica para la población, su consumo, el uso industrial y agrícola, por lo que se asume la responsabilidad y necesidad de conservar estos ecosistemas y así garantizar la prestación de los servicios ambientales que suministran, actualmente este ecosistema se enfrenta a numerosos y graves riesgos, uno de estos es el cambio climático, además las acciones antrópicas como la deforestación, la ganadería y el pastoreo que afecta grandes extensiones de páramo. La importancia

hidrológica de los páramos radica en el potencial de captación, almacenamiento y regulación hídrica por lo cual han sido considerados ecosistemas estratégicos (Guhl, 1982).

La utilización de los páramos andinos, como sistema productor y almacenador de agua ha sido llevado con diferentes políticas, intensidades y magnitudes pero hasta el momento sin ninguna racionalidad como lo menciona Vargas et al. (2004); además rompen el equilibrio de los procesos ecológicos, incidiendo en la producción hídrica del ecosistema, ciclos de los elementos, y calidad del hábitat.

1.5 Descripción del área de estudio

El área de influencia del proyecto se encuentra localizada en las parroquias Tufiño (fuentes de abastecimiento de agua) y en la cabecera cantonal de Tulcán (la población a servir), en la provincia de Carchi.

El cantón Tulcán se encuentra ubicado al Norte de la provincia del Carchi, su cabecera cantonal es la ciudad de Tulcán, la misma donde se agrupan gran parte de su población. El cantón lindera al Norte con Colombia, Departamento de Nariño, al Sur con los cantones Huaca, Montufar, Espejo y Mira, al Este con Colombia y la provincia de Sucumbíos y al Oeste con Colombia y la provincia de Esmeraldas (GAD Tulcán, 2015).

Según el Gobierno Provincial del Carchi (Prefectura) “la progresiva ciudad de San Miguel de Tulcán es la capital de la Provincia del Carchi, a pesar de que su área urbana es pequeña posee el 47% de su población. Por ello Tulcán, con una población según el censo del INEC 2010 de 60403 habitantes que representa el 69% de la población de todo el territorio del cantón Tulcán, se divide

en dos parroquias urbana: Gonzáles Suárez y Tulcán, teniendo una extensión total de 1670,03 Km², con una altura de 2 957 m.s.n.m (Figura 1).

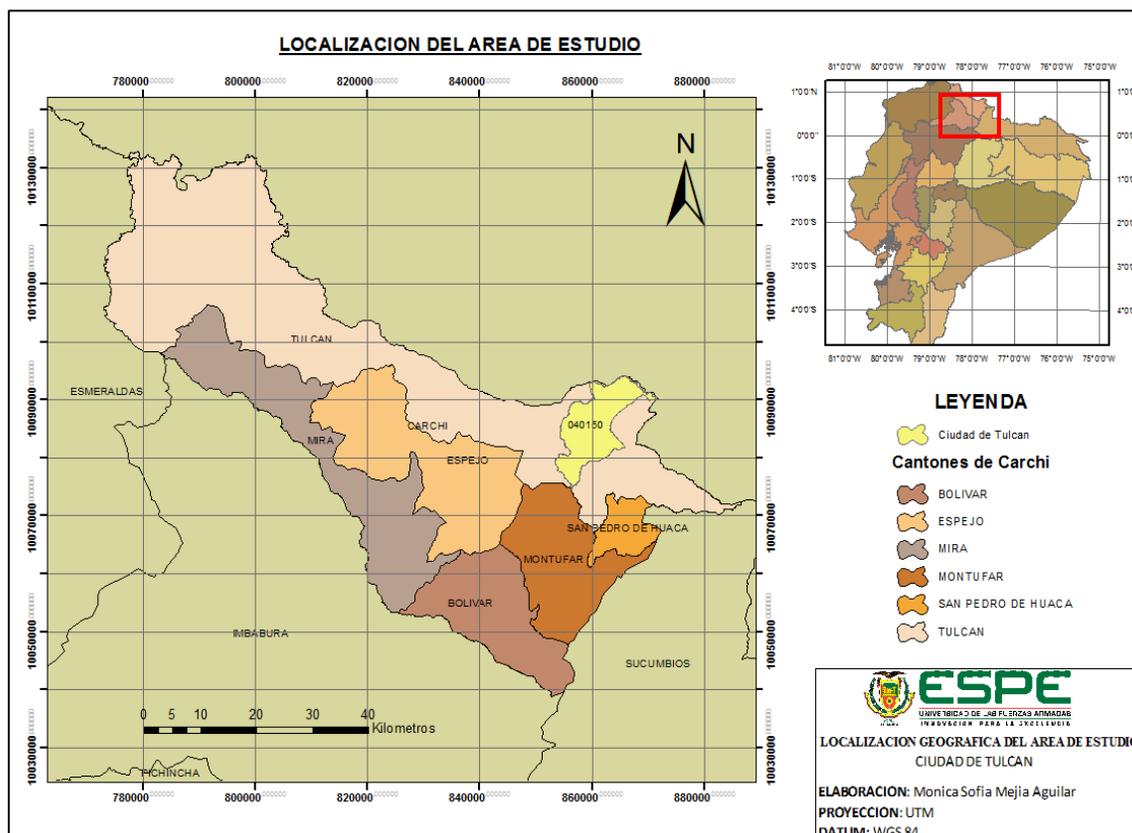


Figura 1. Localización del área de estudio

1.6 OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo general

Delimitación de zonas prioritarias de conservación en los principales afluentes abastecedores de la ciudad de Tulcán provenientes del páramo, aplicando método de valoración económica y lógica difusa.

1.6.2. Objetivos específicos

- Determinar la situación actual del recurso hídrico en la ciudad de Tulcán.
- Calcular el volumen de los caudales principales de afluentes de agua de la ciudad de Tulcán a través de la aplicación del modelo desarrollado por Sandoval-Aguilera para caudales con limitada información.
- Determinar el valor real del agua a través del método precios de mercado a través de la función de la producción agrícola y consumo humano.
- Delimitación de zonas prioritarias de conservación y cuidado del recurso hídrico en la cuenca del Rio Carchi a través de Lógica Difusa.

1.7 Metas

- Informe sobre la situación actual del recurso hídrico en la ciudad de Tulcán.
- Reporte de volumen de afluentes principales de agua en la ciudad de Tulcán.
- Reporte de valor del agua en la ciudad de Tulcán.
- Mapa de zonas prioritarias que sean de interés para el cuidado del ecosistema páramo.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

Este capítulo está enfocado en dar a conocer la importancia de conservación de los ecosistemas y los servicios ambientales. A su vez la sustentación teórica de la metodología aplicada de valoración económica del recurso hídrico y la zonificación para áreas de conservación, además se presenta la legislación existente en el país para el cuidado de ecosistemas y protección del agua.

2.1.1 Conservación de los ecosistemas

El término conservar en los últimos tiempos ha tenido bastante difusión y popularidad, sin embargo el término no es nuevo, la preocupación por conservar el medio ambiente es tan antigua como el hombre mismo, y es así como a través de los años se le ha dado diferentes interpretaciones. La definición presentada en 1980 por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), define la conservación como la utilización humana de la biósfera para que alcance el máximo beneficio sostenible, a la vez que mantiene el potencial necesario para las aspiraciones de futuras generaciones (Cisneros, 2011) .

La definición de conservación está encaminada a proteger, respetar y cuidar toda forma de vida presente y futura, haciendo buen uso de los recursos naturales y viviendo de una manera sostenible, es decir se debe buscar la armonía con las demás personas y con la naturaleza (Cisneros, 2011).

La creación de áreas protegidas, reservas y parques nacionales es una forma de conservación, uno de los primeros parques nacionales en el mundo se remonta al año de 1870, con la designación del Parque Yellowstone en los Estados Unidos y el Parque Nacional Royal en Australia, designados

en primer lugar para propósitos recreativos, luego con el fin de preservar y proteger la vida silvestre (Garcés, 2008).

En Ecuador, el Parque Nacional Galápagos es el área protegida más antigua del país y, sin duda, la más representativa del Ecuador a nivel internacional. Fue creada en 1936, con el propósito de conservar uno de los archipiélagos oceánicos más complejos, diversos y únicos en el mundo, que aún mantiene sus ecosistemas y biodiversidad sin alteraciones significativas. Además, es un referente mundial y, en la actualidad, es una de las áreas protegidas mejor conservadas de América Latina (Suia, 2016).

Las áreas protegidas son utilizadas para una gran variedad de objetivos, entre los que se encuentran: investigación científica, protección de la vida silvestre, preservación de especies, mantenimiento de servicios ambientales, uso sostenible de los recursos de los ecosistemas naturales, y provisión de bienestar para la población (Garcés, 2008). En el Ecuador existen un total de 54 áreas protegidas, de las cuales 17 de ellas cubren parte de los páramos del Ecuador (Rodríguez et al., 2018); cuyo objetivo principal es la conservación de flora y fauna endémica del ecosistema y el cuidado de las fuentes de agua. (MAE, 2018).

2.1.2 Páramo

El páramo es un ecosistema, un paisaje, un área geográfica, una zona de vida, un espacio de producción e inclusive un estado del clima. Para un campesino que vive en la alta montaña, el páramo no es un ecosistema definido por características ecológicas o geográficas, sino un territorio de vida en el cual ejerce todas sus actividades (Hofstede, 2011).

Este ecosistema en su totalidad constituye verdaderas esponjas de agua, gracias a la gran capacidad de retención de sus suelos, que supera el 200% de su propio peso seco (Cañadas, 1983).

Los páramos se encuentran distribuidos a lo largo de los Andes húmedos entre Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela, con extensiones hasta Costa Rica y Panamá. El mapa de ecosistemas de páramo en Ecuador determinó una extensión aproximada de 1'337.119 hectáreas existentes, que representa el 5% del territorio nacional (Beltran et al 2009).

En Ecuador, los páramos se ubican a lo largo de las cordilleras Oriental y Occidental de los Andes y se extienden desde el límite con Colombia al norte hasta el límite con Perú al Sur. El páramo en el país se ubica entre las cotas de los 3.100 y los 4.700 msnm, sobre ellos caen entre 500 y 2.000 mm de precipitación anual (Camacho, 2013), los suelos de los páramos se desarrollaron a partir de cenizas volcánicas debido a los procesos de erupción de los volcanes presentes en los andes del Ecuador (Malagon et al, 2000).

2.1.3 Importancia

El ecosistema páramo alberga gran biodiversidad, es fuente de recursos naturales y desempeña importantes funciones en el ambiente, a su vez comprende relaciones de la naturaleza con los pueblos asentados en esos territorios o cerca de ellos. Esta doble dimensión ha determinado que se lo catalogue como un ecosistema y un paisaje cultural (Camacho, 2013).

Su principal, aunque no única función relacionada con las sociedades humanas es la capacidad de sus suelos, desde captar, almacenar y distribuir agua a las tierras bajas, donde es consumida y usada por millones de personas, para riego, agua potable, generación hidroeléctrica, etc. Los páramos son fundamentales para la regulación de la hidrología regional y constituyen la fuente de

agua potable para consumo humano, desempeñando de esta manera una función hidrológica, como fábricas de agua y esponjas de almacenamiento, los páramos tienen un importante valor científico y ecológico por su flora, avifauna endémica y su paisaje único, es decir tiene una función ecológica, también cumplen un importante rol en la producción agrícola, pecuaria y forestal, lo cual representa una función económica (Camacho, 2013).

El páramo es el mayor proveedor de agua de los Andes de Venezuela, Colombia y Ecuador y de partes extensas de las zonas interandinas, de las costas del Caribe y el Pacífico de Costa Rica y Panamá, hasta el desierto del norte de Perú. No es exagerado señalar que prácticamente todos los sistemas fluviales de los países andinos septentrionales nacen en el páramo y que los sistemas de riego, agua potable e hidroelectricidad dependen, en gran medida de este ecosistema (Dimas & Pulido, 2000).

Las principales cuencas del Ecuador, incluyendo las de la vertiente del pacífico (Esmeraldas, Guayas, Jubones) y de la vertiente amazónica (Napo, Pastaza, Santiago) nacen en el páramo; ciudades como Quito, Riobamba, Ambato y Cuenca dependen el 100% del agua potable que tiene su origen en el páramo e inclusive las ciudades de la costa (Guayaquil, Manta, Esmeraldas) reciben parte importante de su agua del páramo. Gran parte de la generación hidroeléctrica en Ecuador ocurre en plantas a alturas medias en ríos que se originan en páramo (UICN, 2014).

Los páramos tienen una importancia fundamental para millones de personas y representan una multiplicidad de significados y valores: hábitats en los que se encuentran especies endémicas, ecosistemas capaces de brindar servicios ambientales fundamentales, espacios de importancia cultural, entre otros. (Maldonado & De Brieve, 2011).

2.1.4 Bienes y servicios ambientales del paramo

Los bienes y servicios ambientales constituyen un recurso crítico para el bienestar y el desarrollo de cualquier nación. Dentro de las principales funciones de los recursos ambientales y naturales, Freeman (1993), destaca la capacidad única de soporte para la vida humana; condiciones ambientales, recursos de alta calidad, fuentes de materias primas para la producción de bienes, todo encaminado a satisfacer las necesidades de los individuos y contribuir a mejorar el nivel de vida (Perez, 2015).

Los bienes ambientales se clasifican en renovables y no renovables, mientras que los primeros hacen parte las poblaciones de seres vivos, los no renovables están conformados por materia inerte como minerales, energía solar, etcétera. Algunos tipos específicos como el aire y el agua se les consideran como bienes no renovables debido a que tienen tasas de recuperación bajas, contrario a lo ocurrido con los bienes renovables.

El suelo en el páramo representa un apoyo a la agricultura ya que tiene una fertilidad potencialmente alta, pero su manejo es muy difícil y requiere de muchos años de labrar después de cada cosecha para no destruir su frágil estructura, la producción primaria natural del ecosistema páramo no es alta debido a las bajas temperaturas y fijación de nutrientes pero en su conjunto se produce mucha materia vegetal que está aprovechada parcialmente por la ganadería, que provee la población de parte de su demanda de carne y leche (Hofstede, 2011).

El más conocido y estudiado servicio de aprovisionamiento del páramo es la provisión de agua dulce, pues provee de hasta 80% del agua dulce de los grandes ciudades como Quito y Bogotá (Buytaert et al, 2006).

Sin embargo, el páramo también provee otros productos, aunque de un volumen limitado, pero de mucha importancia para la gente que se beneficia de ello; el aprovisionamiento de alimento, madera y fibra. La paja es usada en la construcción tradicional pero también en algunas construcciones, el uso de leña y madera (construcción, herramientas, cercas) de los bosques dentro del páramo también es frecuente (Vega & Martinez, 2000).

A nivel macro, la conservación del páramo en su estado natural ayuda de alguna forma a mitigar el efecto del calentamiento global, ya que por la cantidad de materia orgánica almacenada que se puede emitir a la atmósfera en caso de degradación del ecosistema, puede ser considerado un sumidero de carbono (Medina & Mena, 2000). A su vez, la regulación a nivel micro ya que un páramo con una vegetación alta y diversa, de buena estructura, crea microclimas que protegen a plantas y animales en su medio, esto es una función determinante para mantener su propia biodiversidad (Hofstede, 2011).

Los servicios culturales del ecosistema páramo son muy evidentes y por lo general están altamente valorados, uno de estos es la relación del páramo con la identidad de la población, sobre todo para pueblos indígenas de los Andes que reconocen al páramo como un espacio de respeto, culto e importancia para el balance ecológico y el buen vivir (Ortiz & Viteri, 2002).

Todos los servicios del páramo mencionados anteriormente proveen bienestar para las comunidades locales, regionales y nacionales.

2.1.5 Bienestar Económico

Decía John Stuart Mill que “los seres humanos tienen facultades más elevadas que los apetitos animales y, una vez se han hecho conscientes de ellas, no consideran como felicidad nada que no incluya su satisfacción” (Miquel, 2015).

Desde su aparición sobre la tierra, el hombre se ve expuesto a la búsqueda de bienes para satisfacer sus necesidades; el hambre, la sed, el frío, la seguridad son algunas de las privaciones básicas que todo ser humano requiere solventar primariamente. Sin embargo, desde el momento en que surge la propiedad, la cuantía de bienes poseídos parece identificarse con una mayor satisfacción, por lo que permite el acceso a una cantidad de aglomeraciones y una posibilidad superior para cubrir dichas necesidades (Miquel, 2015).

Las necesidades surgen de nuestros instintos y éstos se enraízan en nuestra naturaleza. Preocuparse por la satisfacción de nuestras necesidades equivale, por consiguiente, a preocuparse por nuestra vida y nuestro bienestar (Menger, 2017).

El bienestar económico al solventar las necesidades humanas tiene como consecuencia el daño a los ecosistemas, sobre todo a los que presentan alta vulnerabilidad como son los páramos, en donde cualquier actividad implica un cierto grado de afectación, inclusive con bajos niveles de ganadería, quemadas aisladas y agricultura localizada.

La agricultura en tierras de páramo causa la alteración del ambiente, en especial de la flora y la fauna y el recurso suelo. Las prácticas agropecuarias son culpables de la eliminación indiscriminada de los bosques nativos, el pastoreo persistente, la quema, el cultivo excesivo e incorrecto (Camacho, 2013).

Existen ciertos causantes directos como el cambio en la cobertura del suelo, el cambio climático, la contaminación del aire y del agua, el riego, el uso de fertilizantes, las cosechas y la introducción de especies invasoras; y factores indirectos, que operan de manera más difusa y son fundamentalmente de carácter demográfico, económico, sociopolítico provocando cambios en los servicios que prestan los ecosistemas conocido como externalidades (Hofstede, 2011).

La buena gestión de estos servicios es un tema de gran importancia puesto que representa un manejo que permita conservar su biodiversidad y sus funciones ecológicas de tal forma que apoyen al desarrollo sustentable de sus habitantes con el objeto de conservar el ecosistema sin causar alteraciones.

2.1.6 Externalidades

Se conoce como externalidades de la producción a los efectos colaterales que causan las actividades industriales, que de manera directa o indirecta afectan positiva o negativamente al medio ambiente (Oyarzun, 2011).

Como resultado de las acciones humanas, la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas del mundo cambiaron rápidamente durante la segunda mitad del siglo XX, que en cualquier otro momento de la historia de la humanidad. La magnitud de dichos cambios está creciendo a medida que aumenta el tamaño de la población y la intensidad de la actividad económica, una consecuencia de ello es que la diversidad de la vida en la Tierra se está agotando de manera acelerada. La pérdida de especies de plantas y animales es irreversible, también lo es la descomposición o eliminación de ecosistemas enteros. Muchos de los cambios más significativos inducidos por el ser humano en los ecosistemas han sido esenciales para satisfacer las necesidades crecientes de agua y

alimentación. Sin embargo, estos beneficios se han alcanzado con costos cada vez mayores, la intensificación de los métodos de producción de alimento, la tala de bosques y la explotación intensiva de las pesquerías de captura, han ocasionado pérdidas en los recursos naturales y cambios en las funciones de los ecosistemas; contaminación del agua, contaminación de aire o suelo, además, estos cambios en los ecosistemas han ocurrido de forma irregular, a menudo agravando las desigualdades en el acceso a los bienes y servicios que ofrecen los ecosistemas y contribuyendo aún más a la pobreza (OMS, 2005).

Dada la íntima relación entre bienestar social y los bienes ambientales, y debido a que estos no se pueden enajenar en el mercado, estos recursos no tienen precio por lo que las personas tienden a darles un uso inadecuado, impidiendo que cumplan con sus vitales funciones sociales. Por esas razones, se registra un creciente interés en las metodologías que posibilitan establecer el valor económico de los cambios en la calidad y la cantidad de los recursos naturales y ambientales ya que actualmente son considerados como bienes públicos (Perez, 2015).

2.1.7 Bienes públicos

Desde el punto de vista jurídico, bien o servicio público es todo aquel destinado a la satisfacción de las necesidades comunes e indispensables de los asociados (Samuelson, 1950).

Los bienes públicos se caracterizan por la no exclusividad y la no rivalidad en el consumo (Montesino, 2013). La no exclusión hace referencia a que no es posible excluir del consumo o los costos de hacerlo son muy grandes a cualquiera que desee hacer uso de ellos (consumirlos) una vez que han sido producidos. Esta es una característica esencial y diferencial de los bienes públicos,

pues los bienes privados excluyen del consumo a través de mecanismos de precios (Montesino, 2013).

La no rivalidad implica que consumir el bien no implica reducir la oferta del bien para los demás ni generar costos adicionales en la producción (Montesino, 2013).

Las características de no-exclusión y no-rivalidad hacen que para dichos bienes no exista un mercado convencional; en consecuencia no se pueden expresar en términos de las usuales curvas de oferta y demanda de los mercados y acarrea una serie de dificultades para la valuación económica (Perez, 2015).

El Estado asume un papel de asignación en un contexto en el que el mercado no puede proveer determinados bienes eficientemente. Debe proveer, pues, aquellos bienes que por su naturaleza de públicos no son generados por el mercado, pero que resultan siendo indispensables para el desarrollo de la sociedad en su conjunto. O, alternativamente, subsidiar a las empresas privadas para que los produzcan (Montesino, 2013).

Con el pasar del tiempo y el gran aumento de población, el abuso de los recursos naturales, el uso irracional de los recursos naturales y la contaminación ambiental, operan en contra de las especies y los ecosistemas del planeta, el agua es considerado como un bien público y es uno de los servicios ambientales más complejos para su gestión y valor.

2.1.8 Agua

El agua es uno de los recursos más complejos de gestionar, sus fuentes naturales, están generalmente lejos del alcance de la población y es preciso captarla trasladarla, tratarla, distribuirla y dejarla discurrir, con costos significativos. Operar y mantener sistemas de almacenamiento,

tratamiento y distribución es costoso, y más aún es construir nueva infraestructura con fuentes que se van agotando o son inciertas. Pese a la importancia vital que el agua tiene, o su alto valor de uso, generalmente, pagamos muy poco por ella y es un enorme reto establecer esquemas de pagos en los que los usuarios financien efectivamente los costos de sistemas que los benefician. Pero el acceso al agua también es un derecho básico de la población, al ser esencial para la vida y la salud. Un conjunto impresionante de actividades económicas dependen del agua, empezando por la agricultura, que hace el uso más extensivo del recurso, también se utiliza el agua para la acuicultura, la energía, la minería, las diversas industrias urbanas, a su vez valiosos servicios ambientales como la importante tarea de regulación y depuración que pueden cumplir los humedales; las labores de defensa contra la erosión, fijación de nutrientes y filtro verde que pueden hacer los bosques. El valor que tiene el agua posibilita la vida en el planeta, y del que dependen directa o indirectamente nuestra salud, bienestar (Zegarra, 2014)

Ampliaciones y mejoras en los sistemas de agua y saneamiento tienen efectos muy importantes en la calidad de vida de las personas, con externalidades positivas cuya valoración puede superar ampliamente los costos. Por eso, la demanda de obras de agua y saneamiento está y debe estar en la parte principal de las agendas de las autoridades (Zegarra, 2014).

2.1.9 Tarifa del agua

El costo de la producción y distribución del agua varía mucho dependiendo de las condiciones locales. Cada comunidad o municipalidad debe evaluar específicamente el costo del sistema de abastecimiento de agua que pretende desarrollar, este varía de un país a otro y, a menudo, también de una región a otra o de un municipio a otro. Esta variación depende del carácter público, privado, mixto o comunitario del servicio y de las condiciones de explotación del recurso: captación,

calidad del agua, alejamiento, coste y de la complejidad del modo de tratamiento y de distribución (Villar, 2010).

Es evidente que el agua es la base para la generación de una gran cantidad de riqueza económica en la sociedad y, como tal, adquiere un valor económico tanto para agentes económicos individuales como para la colectividad en general (Zegarra, 2014).

Una pregunta común es si las tarifas son el equivalente a un precio por el agua. En algunas situaciones, la tarifa podría hacer las veces de un precio, especialmente cuando el uso del agua se acerca a una situación de bien privado, pero es importante mantener el concepto de precio asociado al funcionamiento de mercados donde ocurren transacciones entre compradores y vendedores. Las tarifas de agua generalmente no se fijan en mercados, y pueden ser mejor entendidas como un precio administrado, en el sentido de que no surge de la interacción entre compradores y vendedores, sino de la interacción entre el generalmente único proveedor del servicio y una autoridad reguladora que actúa en nombre de los usuarios en un territorio (Zegarra, 2014).

Los sistemas de tarifas de agua deben tener un componente fijo, que es muy importante en la medida en que se trata de operar y mantener sistemas que cuentan con una gran infraestructura, cuya operación y mantenimiento tiene un alto costo fijo que es necesario cubrir. El pago fijo de la tarifa busca cubrir estos costos fijos, mientras que la parte variable cargo por volumen se orienta a cubrir los costos variables con el nivel de consumo (Zegarra, 2014).

Tradicionalmente el agua ha sido considerada como un recurso natural, ilimitado y renovable. Sin embargo, el rápido crecimiento de la población y del desarrollo económico en el último siglo está provocando su escasez relativa en muchas zonas, en efecto las previsiones de la ONU hablan

que para el año 2025 más de una tercera de la población mundial padecerá insuficiencia de recursos hídricos (Olmeda, 2006).

Entidades del Estado han actuado directamente para la protección de los páramos en el Ecuador, a través de la conformación de reservas ecológicas estatales en zonas con importantes superficies de páramo: parques nacionales: Cotopaxi, Sangay, Llanganates, Cayambe-Coca; las reservas ecológicas: Antisana, El Ángel y Cotacachi Cayapas; la Reserva de Producción Faunística Chimborazo; y las áreas nacionales de recreación: Boliche y Cajas (Camacho, 2013).

A su vez en la actuación de políticas enfocadas al tema de los páramos, a través de la generación de incentivos económicos para la conservación y la adopción formal de políticas públicas específicas (Camacho, 2013).

2.1.10 Valoración económica

El medio ambiente provee numerosos servicios directos e indirectos a la sociedad. Sin embargo, muchos de estos servicios no tienen precio en el mercado, en parte por su naturaleza de bienes públicos. Al no tener un precio de referencia que pueda guiar la asignación de recursos para su conservación, se generó la necesidad de poder valorar los servicios y bienes ambientales provistos por los ecosistemas e impulsó a los economistas a desarrollar modelos y métodos para este fin (García, 2013).

La valoración económica se la puede definir como un intento de asignar valores monetarios a los bienes y servicios ambientales, independientemente si existen o no precios de mercado (Tobar & Paspuel, 2017). Por lo que la valoración económica es un instrumento para la gestión de los

recursos naturales que permite priorizar las actividades de la sociedad, dando bases para corregir acciones y sistemas existentes que amenazan estos recursos. (Delgado, 2015).

Como resultado de la asignación de valores monetarios, se incorpora la variable ambiental en el análisis económico para proyectos y políticas ambientales, culturales y sociales que aboguen por la conservación del medio ambiente(Aguiar & Alvarez , 2015).

Dichos métodos van desde los más simples cuya característica fundamental está en no pretender evaluar numéricamente el patrimonio ambiental, sino simplemente la descripción del mismo de forma cualitativa, hasta aquellos más complejos con los cuales, a través de diferentes procesos de ponderación, se intenta presentar una visión global de la magnitud del impacto, teniendo presente una característica que se perfila hacia lo cuantitativo (Aguiar & Alvarez , 2015).

Para realizar una valoración Económica Total (VET), se toma en cuenta, tanto el Valor de Uso como el Valor de No Uso.

Valores de uso

El valor de uso se asocia a la usanza que el hombre le da con el fin de obtener mayor bienestar. Este valor se refiere al uso real del medio ambiente, es decir como los usuarios valoran el aprovechamiento del bien natural (Riera, 2005). En si los valores de uso se refieren a bienes que pueden ser extraídos o consumidos (Dixon & Pagiola,1998). Para realizar la valoración económica de valores de uso se utiliza métodos como: precios de mercado, precios hedónicos, método de costo de viaje y valoración contingente.

Valor de no uso

Este valor corresponde a la no utilización directa del medio ambiente. Existe un bien ambiental pero no se lo piensa utilizar en el presente para ser solidarios con las necesidades de generaciones futuras. Este bien ambiental posee un valor de existencia o intrínseco. Es decir que el bien tiene un valor por sí mismo, su sola presencia ya significa que tiene un valor a pesar de que no se lo vaya a utilizar directamente (Riera, 2005). Los valores de no uso se deriva de los servicios que el ambiente provee (Dixon & Pagiola , 1998). Para realizar la valoración económica de valores de no uso se utiliza métodos como: valoración contingente, costos de oportunidad.

Método Precios del Mercado

Muchos de los bienes y servicios proveídos por ambiente son comercializados ya sea en mercados locales o internacionales; así los precios de mercado pueden ser los utilizados para construir cuentas financieras y comparar los costos y beneficios de las alternativas del uso de la tierra. Los precios son obtenidos en el mercado a través de la interacción entre los consumidores y productores sobre la demanda y oferta de bienes y servicios, como también para determinar los costos de insumos en la producción de bienes y servicios.

2.1.11 Función de la producción

La Economía Clásica, desde sus inicios, ha considerado los recursos naturales como proveedores de materias primas para los procesos de producción y ha relacionado el medio ambiente con un posible límite al crecimiento económico; es decir, ha considerado los recursos naturales como factores de producción o medios para producir bienes o servicios que pueden satisfacer directa o indirectamente necesidades humanas (Barbier, 1994).

$$Q = f(R_1, \dots, R_k, S) \quad (1)$$

Permite observar el valor del recurso ambiental (S) dada la contribución como factor o insumo de producción del producto (Q) en determinada actividad económica, y la expresión R_1, \dots, R_k , son los insumos privados.

En la función de producción $Q = f(R, S)$, R corresponde a los insumos privados y S a los recursos ambientales, es posible estimar cuál es la utilidad de la actividad de producción observando la variación de R en el proceso productivo. De acuerdo con Hanley y Barbier (2009), el costo marginal de la producción de un bien se puede definir como:

$$\partial C^*(Q, w, S_0) / \partial Q = p(Q) \quad (2)$$

Donde, Q es la producción del bien a un precio p , y el nivel inicial de calidad del recurso ambiental $S = S_0$ determinado por un mercado competitivo, y w corresponde a los precios en un mercado competitivo de los insumos de la producción de Q . La expresión de (2) puede ser reacomodada para lograr el nivel de equilibrio de Q en el mercado (Hanley y Barbier, 2009):

$$Q_0 = Q(w, p, S_0), \partial Q_0 / \partial S_0 > 0 \quad (3)$$

Una aplicación común del método lo constituye el caso de la calidad del agua y la producción agrícola. Si la calidad del agua disminuye debido a una contaminación, existirá una disminución en los rendimientos, lo que se traduciría en mayores costos de producción y, por ende, en un mayor precio del producto. Esto finalmente afecta a las personas que deberán pagar un mayor precio por el producto, disminuyendo con ello su utilidad.

2.1.12 Sistema de información geográfica (SIG)

El término Sistema de Información Geográfica (SIG) suele aplicarse a sistemas informáticos orientados a la gestión de datos espaciales que constituyen la herramienta informática más adecuadas y extendidas para la investigación y el trabajo profesional en Ciencias de la Tierra y Ambientales (Sarría, 2007).

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una herramienta de análisis que permite almacenar, recuperar, manipular, analizar e identificar relaciones espaciales a partir de la información espacial y de todos los atributos relacionados con ella, todo ello se puede expresar en forma de mapa (De Lazaro & Gonzales, 2005).

2.1.13 Evaluación multicriterio

El objetivo general de la evaluación multicriterio es auxiliar al decisor a escoger la mejor alternativa entre un rango de alternativas en un entorno de criterios en competencia y conflicto; y los objetivos pueden ser económicos, ambientales, sociales, institucionales, técnicos y estéticos (Pietersen, 2006).

De acuerdo con Tkach y Simonovic (1997), las técnicas multicriterio se caracterizan por una gran diversidad metodológica y pueden agruparse en tres principales grupos de técnicas: a) de ordenamiento o jerarquías; b) de utilidad multiatributo o multicriterio, y c) técnicas de programación matemática. Las primeras requieren de comparaciones pareadas o globales entre alternativas, y no son prácticas cuando el número de alternativas es grande; las segundas se basan en modelos multiplicativos simples o aditivos para agregar o agrupar criterios simples; las terceras se utilizan en un contexto continuo para identificar soluciones muy cercanas a la solución ideal

introduciendo la medida de la distancia en unidades métricas (Bocco et al, 2002); éstas técnicas se desarrollaron en el enfoque de la programación lineal.

2.1.14 Lógica Difusa

La lógica difusa se puede utilizar como una técnica de análisis de superposición para resolver aplicaciones de análisis como la selección de sitios y los modelos de adecuación. La premisa básica de la lógica difusa es que existen imprecisiones en los atributos y en la geometría de los datos espaciales. La definición de las clases en una clasificación y la imprecisión al asignar fenómenos a las clases pueden afectar la toma de decisiones. La lógica difusa se enfoca en modelar las imprecisiones de los límites de clases (ESRI, 2016).

La teoría matemática de la lógica difusa fue propuesta por Zadeh en 1965, y se basa en la existencia de diferentes grados de pertenencia entre lo falso y lo verdadero (deseado, no deseado; apto, no apto); es decir, valores como “moderado”, “bajo”, “alto”, entre otros (variables lingüísticas), en lugar de expresarse como “sí” o “no” similar al concepto del álgebra booleana. Mediante la lógica difusa, un problema se puede representar en términos de conjuntos difusos, los cuales pueden derivarse de procedimientos cuantitativos o cualitativos (Prakash, 2003).

La lógica difusa es una técnica cartográfica que ayuda a la representación más exacta de la información imprecisa, incompleta o incierta, implícita en la opinión de los expertos en la toma de decisiones (Prakash, 2003).

2.1.15 Fundamento de Lógica Difusa

Para modelar o representar las variables se hará uso de las funciones sinusoidales y cosinusoidales ya que estas se ajustan a las representaciones que tiene la lógica difusa, en donde al

ángulo a ser analizado será la variable a ser representado, por lo que la probabilidad de que suceda un evento se puede definir como:

$$P = f(\text{sen}(\alpha)) \quad (4). \text{Fuente. Padilla (2007)}$$

Donde:

P = probabilidad de ocurrencia de un evento o fenómeno

α = variable en función del evento o fenómeno

Mínima $P = 0$ o 0%

Máxima $P = 1$ o 100%

En el artículo Fundamento teórico para modelización de variables ambientales mediante operadores difusos, realizado por Padilla, 2007. Determina que existen 3 casos

Caso 1

Este caso contempla a la curva del seno cuadrado, que se encuentra en un rango de 0 a π radianes. Los eventos al cual corresponderían este caso, serian aquellos que la probabilidad de presencia va desde 0 y crece hasta un punto máximo, posteriormente esta probabilidad vuelve a decrecer.

$$P = f(\text{sen}^2(\alpha)) \quad (5). \text{Fuente. Padilla (2007)}$$

Rango = $[0 < \alpha < \pi]$

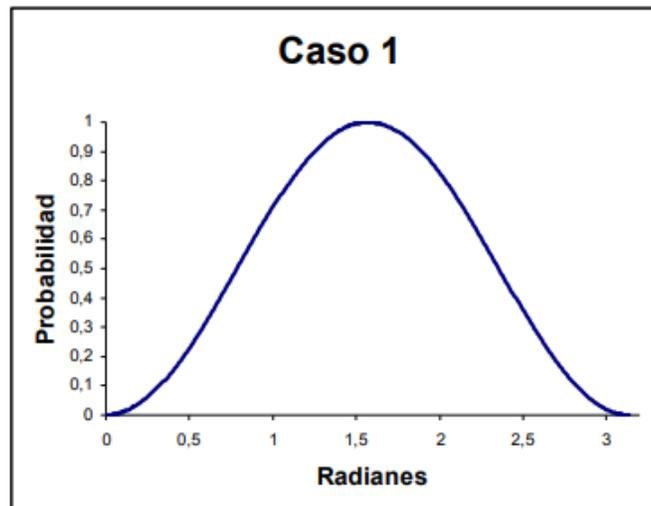


Figura 2. Caso 1 de lógica difusa
Fuente. (Padilla, 2007)

Los puntos de interés del caso 1 permiten el análisis del área bajo la curva. Los puntos de inflexión se calculan con la segunda derivada de la función

$$P = (\text{sen}^2 \alpha)$$

$$P' = (2\text{sen}(\alpha) \cos(\alpha))$$

$$P'' = 2\text{sen}(\alpha) - \text{sen}(\alpha) + (2\text{sen}(\alpha) \cos(\alpha))$$

$$P'' = 2(\cos^2 \alpha - \text{sen}^2 \alpha)$$

$$\cos^2 \alpha - \text{sen}^2 \alpha = 0$$

$$1 - \text{sen}^2 \alpha - \text{sen}^2 \alpha = 0$$

$$1 - 2\text{sen}^2 \alpha = 0$$

$$\text{sen}^2 \alpha = 1/2$$

$$\alpha_1 = \frac{\pi}{4}$$

$$\alpha_2 = \frac{3\pi}{4}$$

A raíz de esto se determinan los puntos necesarios para ser analizados, los cuales son:

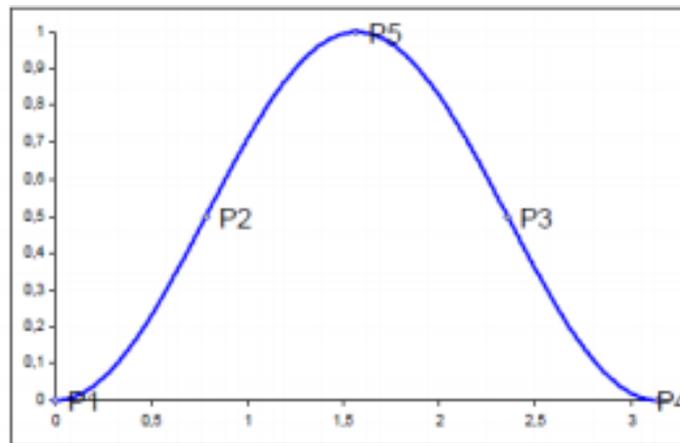


Figura 3. Puntos de interés de Caso 1
Fuente. (Padilla, 2007)

P1 (A; 0): este es el valor mínimo que obtendrá la variable a ser modelada

P2 (B; $\frac{\pi}{4}$): punto de inflexión donde empieza el área en la que se encuentra ubicado el mayor número de datos

P3 (C; $\frac{3\pi}{4}$): punto de inflexión donde termina el área en la que se encuentra ubicado el mayor número de datos.

P4 (D; π): punto en el que la variable a modelar tendrá el valor mínimo

P5 (E; $\frac{\pi}{2}$): punto en el que la variable toma su valor máximo, donde $E = \frac{B+C}{2}$

Sección P1P2. Es la sección al inicio de la función en la que existe menor cantidad de datos. Se utilizara la ecuación de la curva donde x representa los valores de la variable en estudio que será llamada V, y son los valores de la función seno cuadrado para la sección α .

P1 (A; 0) y P2 (B; $\frac{\pi}{4}$)

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) \quad (6). \text{ Fuente. Padilla (2007)}$$

Remplazando los puntos se tiene:

$$\alpha - 0 = \frac{\frac{\pi}{4} - 0}{B - A} (V - A)$$

$$\alpha = \frac{V - A}{B - A} * \frac{\pi}{4} \quad (7). \text{ Fuente. Padilla (2007)}$$

Sección P2P5. Es la sección al inicio de la función en la que existe mayor cantidad de datos. Se utilizara la ecuación de la curva donde x representa los valores de la variable en estudio que será llamada V, y son los valores de la función seno cuadrado para la sección α .

P2 (B; $\frac{\pi}{4}$) y P5 (E; $\frac{\pi}{2}$)

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

Remplazando los puntos se tiene:

$$\alpha - \frac{\pi}{4} = \frac{\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4}}{\frac{B + C}{2} - B} (V - B)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{4} + \frac{\frac{\pi}{2}(V - B)}{C - B} \quad (8). \text{ Fuente. Padilla (2007)}$$

Sección P5P3. Es la sección al final de la función en la que existe mayor cantidad de datos. Se utilizara la ecuación de la curva donde x representa los valores de la variable en estudio que será llamada V, y son los valores de la función seno cuadrado para la sección α .

P5 ($E; \frac{\pi}{2}$) y P3 ($C; \frac{3\pi}{4}$)

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1)$$

Remplazando los puntos se tiene:

$$\alpha - \frac{\pi}{2} = \frac{\frac{3\pi}{4} - \frac{\pi}{2}}{C - \frac{B+C}{2} - B} \left(V - \frac{B+C}{2} \right)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} + \frac{\frac{\pi}{4}(2V-B+C)}{C-B} \quad (9). \text{ Fuente. Padilla (2007)}$$

SeccionP3P4. Es la sección al final de la función en la que existe menor cantidad de datos. Se utilizara la ecuación de la curva donde x representa los valores de la variable en estudio que será llamada V, y son los valores de la función seno cuadrado para la sección α .

P3 ($C; \frac{3\pi}{4}$) y P4 ($D; \pi$)

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1)$$

Remplazando los puntos se tiene

$$\alpha - \frac{3\pi}{4} = \frac{\pi - \frac{3\pi}{4}}{D - C} (V - C)$$

$$\alpha = \frac{3\pi}{4} + \frac{\pi(V-C)}{D-C} \quad (10). \text{ Fuente. Padilla (2007)}$$

Caso 2

Este caso contempla a la parte de la curva seno cuadrado, que se encuentra en un rango de 0 a $\pi/2$ radianes. Los eventos al cual corresponderían este caso, serian aquellos que la probabilidad de presencia crece desde 0 hasta un punto máximo, a medida de que se alejen de determinada condición habrá más probabilidad de ocurrencia

$$P = f(\text{sen}^2(\alpha))$$

$$\text{Rango} = [0 < \alpha < \pi/2]$$

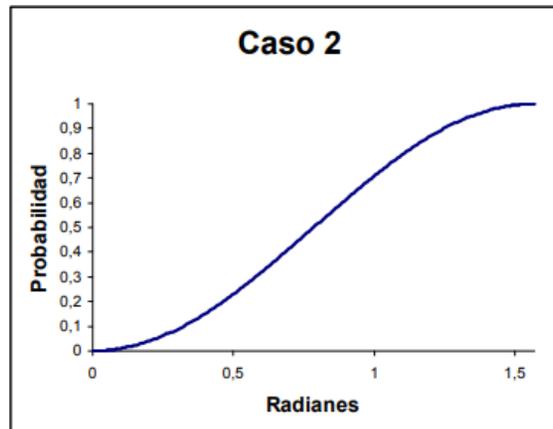


Figura 4. Caso 2 de lógica difusa
Fuente. (Padilla, 2007)

En este caso existen 3 puntos de inflexión de la curva los mismos que serán tomados del caso 1,

$$P1(A,0); P2(B; \frac{\pi}{4}); P3(C; \frac{\pi}{2}) .$$

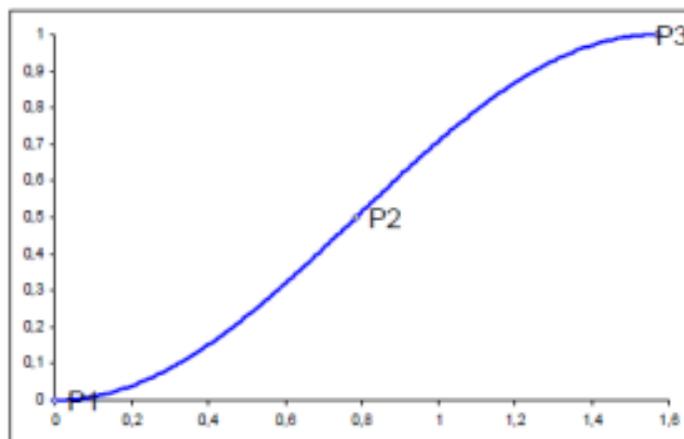


Figura 5. Puntos de interés Caso 2

Fuente. (Padilla, 2007)

Sección P1P2. Es la sección en la que existe menor cantidad de datos. Se utilizará la ecuación de la curva donde x representa los valores de la variable en estudio que será llamada V , y son los valores de la función seno cuadrado para la sección α .

P1(A, 0) y P2 (B; $\frac{\pi}{4}$)

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

Remplazado los puntos se tiene

$$\alpha - 0 = \frac{\frac{\pi}{4} - 0}{B - A} (V - A)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{4} * \frac{V-A}{B-A} \quad (11). \text{ Fuente. Padilla (2007)}$$

Sección P2P3. Es la sección en la que existe mayor cantidad de datos. Se utilizara la ecuación de la curva donde x representa los valores de la variable en estudio que será llamada V, y son los valores de la función seno cuadrado para la sección α .

P2 ($B; \frac{\pi}{4}$) y P3 ($C; \frac{\pi}{2}$)

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

Remplazando los puntos se tiene

$$\alpha - \frac{\pi}{4} = \frac{\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{4}}{C - B} (V - B)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{4} + \frac{\frac{\pi}{4}(V-B)}{C-B} \quad (12). \text{ Fuente. Padilla (2007)}$$

Caso 3. Es la curva de la función seno cuadrado que comprende el rango de $\frac{\pi}{2}$ a π . Se puede entender por su grafica que a medida que se las variables que se alejen de una condición específica, su probabilidad de ocurrencia disminuye

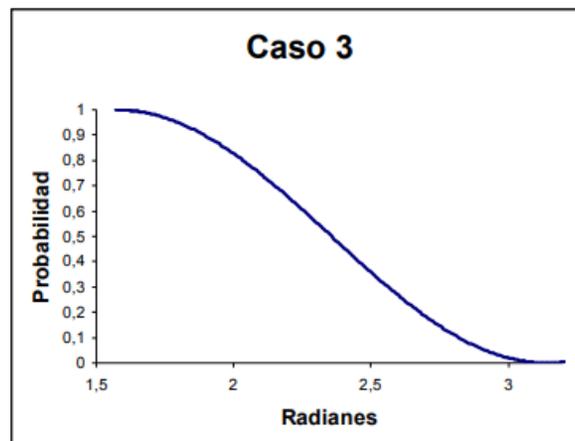


Figura 6. Caso 3 de lógica difusa
Fuente. (Padilla, 2007)

Existen 3 puntos de inflexión de la curva los mismos que serán tomados del caso 1, estos puntos con coordenadas: P1 ($A; \frac{\pi}{2}$); P2 ($B; \frac{3\pi}{4}$), P3 ($C, 0$).

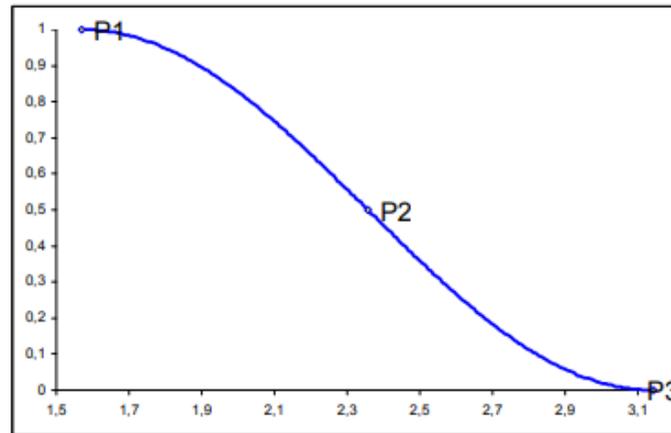


Figura 7. Puntos de interés de Caso 3
Fuente. (Padilla, 2007)

Sección P1P2. Es la sección en la que existe mayor cantidad de datos. Se utilizará la ecuación de la curva donde x representa los valores de la variable en estudio que será llamada V , y son los valores de la función seno cuadrado para la sección α .

P1 ($A; \frac{\pi}{2}$) y P2 ($B; \frac{3\pi}{4}$).

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1)$$

Remplazando los puntos se tiene

$$\alpha - \frac{\pi}{2} = \frac{\frac{3\pi}{4} - \frac{\pi}{2}}{B - A}(V - A)$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} + \frac{\frac{\pi}{4}(V-A)}{B-A} \quad (13). \text{ Fuente. Padilla (2007)}$$

Sección P2P3. Es la sección en la que existe menor cantidad de datos. Se utilizara la ecuación de la curva donde x representa los valores de la variable en estudio que será llamada V, y son los valores de la función seno cuadrado para la sección α .

P2 (B; $\frac{3\pi}{4}$) y P3 (C, 0).

$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_1)$$

Remplazando los puntos se tiene

$$\alpha - \frac{3\pi}{4} = \frac{\pi - \frac{3\pi}{4}}{C - B}(V - B)$$

$$\alpha = \frac{3\pi}{4} + \frac{\frac{\pi}{4}(V-B)}{C-B} \quad (14). \text{ Fuente. Padilla (2007)}$$

2.1 BASE LEGAL

Los derechos de la naturaleza están sustentados en el capítulo séptimo, el respeto integral a la naturaleza, el mantenimiento, la regeneración de sus ciclos vitales y procesos evolutivos. Se explica en el Artículo 71 de la Constitución que toda persona, comunidad, pueblos y nacionalidades podrán exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza, a su vez el Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos proteger la naturaleza, y promover el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

Además se manifiesta en el Artículo 74 que las Personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir. Los servicios ambientales no serán aptos de apropiación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado.

Según lo dispuesto en el Artículo 12 de la Constitución de la República del Ecuador, el derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable, pues el agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, exclusivo y esencial para la vida. Además, el artículo 411 del mismo cuerpo constitucional dispone que el Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

Por mandato constitucional, existe la posibilidad de que espacios naturales identificados como ecosistemas frágiles y amenazados, reciban protección prioritaria de las instituciones del Estado y que la iniciativa la impulsen los distintos niveles de Gobiernos Autónomos Descentralizados, incluyendo al provincial. Para iniciar este proceso la Autoridad Ambiental Nacional verificará que el área complemente los esfuerzos del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, que sea relevante en la protección del patrimonio natural del país, que aporte al cumplimiento de los objetivos nacionales de conservación y que no se contraponga con las correspondientes disposiciones del ordenamiento jurídico vigente, con base a criterios como: contar con espacios naturales que solventen los vacíos de conservación, contener ecosistemas frágiles y amenazados como paramos, humedales, manglares, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos, ecosistemas

marinos y marinos costeros, tener presencia de poblaciones con algún tipo de amenaza, generar servicios ecosistémicos en especial los que benefician la vida humana.

Según el texto unificado de gestión ambiental junto a las políticas básicas ambientales del Ecuador, el Estado Ecuatoriano, sin perjuicio de atender todo el territorio nacional contribuyendo a solucionar problemas ambientales y procurando alcanzar la gestión adecuada que el país requiere, dará prioridad al tratamiento y solución de los problemas ambientales que afectan o amenazan a las regiones geográficas.

CAPITULO III

METODOLOGIA

En el presente capítulo, se presenta una descripción de la metodología desarrollada para cumplir con los objetivos de este proyecto, para este capítulo se ha dividido la metodología en 2 fases, la primera fase corresponde a la valoración económica del agua tanto de consumo humano y uso agrícola y la segunda fase de la zonificación de áreas para su conservación.

3.1 FASE 1

Para la primera etapa del presente estudio se trabajó acorde a la siguiente metodología.

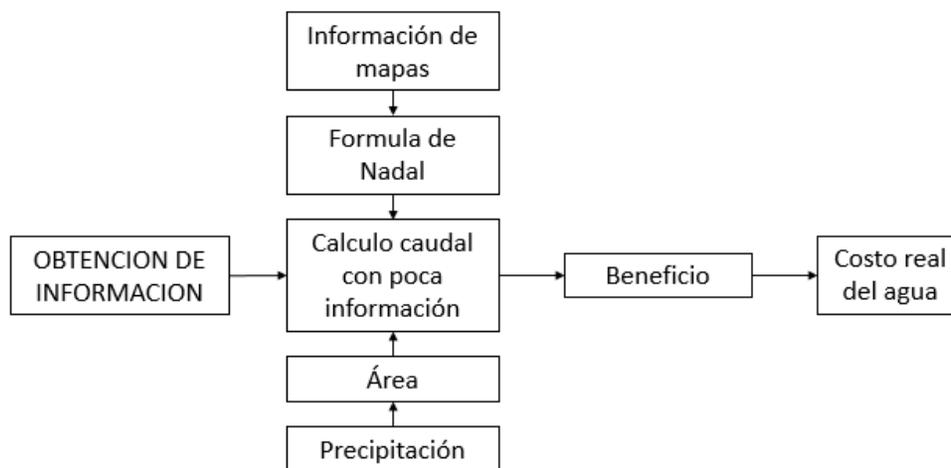


Figura 8. Metodología de Valoración Económica

3.1.1 Recopilación de datos

Se requirió información de la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado EPMAPA en la ciudad de Tulcán, acorde al costo de producción de agua potable para el consumo: gastos de mano de obra, químicos y electricidad durante el año 2018.

Además información de la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA), sobre las autorizaciones de agua existentes para consumo humano y uso agrícola en la provincia del Carchi siendo más específico en la ciudad de Tulcán y parroquia de Tufiño, la información obtenida de mapas fue de SENAGUA, MAGAP e IGM.

También se requirió información acerca del gasto de agua en riego por lo que se solicitó al Ministerio de Agricultura y Ganadería MAGAP los costos de producción por hectárea del cultivo propio de la zona en este caso la papa.

3.1.2 Determinación de caudales en cuencas con poca información hidrológica

Con el fin de calcular el caudal de cuencas hidrográficas con poca información, se recurre a modelos empíricos y semi-empíricos desarrollados en otros países, de acuerdo con sus propias condiciones climáticas, que no son necesariamente aplicables al territorio ecuatoriano. En el Ecuador se dispone únicamente de datos de precipitaciones y, muy escasamente, de caudales registrados, en vista de lo cual se dificulta determinar la esorrentía y evaluar la producción hídrica de las cuencas. Para conocer la cantidad de caudal de la cuenca del río Carchi, se utilizó un estudio acerca de la determinación de caudales en cuencas con poca información hidrológica realizado por Sandoval y Aguilera en el cual los datos necesarios son área en km² de la cuenca hidrográfica, precipitación anual en mm y coeficiente de esorrentía asumido. El modelo asume que la precipitación media es el principal parámetro a considerarse para evaluar la esorrentía de una cuenca (Sandoval, W & Aguilera, E., 2013).

El volumen promedio de precipitaciones anuales en cualquier cuenca (V), expresado en m³/s, es igual a:

$$V = 1000 * \bar{P} * A \quad (15)$$

Donde

P: es el promedio de precipitaciones anuales de la cuenca (mm)

A: es el área de la cuenca en km².

El volumen escurrido (V_E) para el mismo período es igual a:

$$V_E = 31,535 * Q_o * 10^6 \quad (16)$$

Donde

Q_o es el caudal medio de la cuenca

Estas dos ecuaciones se igualan:

$$1000 * \bar{P} * A * C = 31,535 * Q_o * 10^6 \quad (17)$$

Así resulta que:

$$Q_o = \frac{31,71 * C * P * A}{10^6} \quad (18)$$

Para calcular el coeficiente de escorrentía (C) asumido se aplicó la fórmula de Nadal.

3.1.3 Fórmula de Nadal

El coeficiente de escorrentía (c) representa la fracción de agua del total de lluvia precipitada que realmente genera escorrentía superficial una vez se ha saturado el suelo por completo. Su valor depende de las características concretas del terreno que determinan la infiltración del agua en el suelo.

La determinación del coeficiente de escorrentía se realiza con ayuda de tablas o ecuaciones empíricas, siendo las más utilizadas, en cuanto a tablas.

Nadal facilita la siguiente fórmula para el cálculo del coeficiente de escorrentía haciendo uso de la extensión de la cuenca, precipitación y pendiente.

$$C = 0.25 * K1 * K2 * K3 \quad (19)$$

Donde

C Representa el coeficiente de escorrentía

$K1$ Corresponde al factor de la extensión de la cuenca el cual fue obtenido de información en el PDOT de la provincia del Carchi.

$K2$ Corresponde al factor de la lluvia media anual el cual fue obtenido de datos del INHAMI

$K3$ Es el factor de la pendiente y de la permeabilidad del suelo el cual fue obtenido por información en mapas.

3.1.4 Función de la producción

Según Hanley y Barbier (2009) el método de función de producción trata de modelar el comportamiento de los productores y su respuesta cuando hay cambios en la calidad y cantidad del ambiente, y cómo influyen estos cambios en la producción. En forma general presenta la función de producción:

$$Y_{Rp,Rm,Ca} = f(K, L, \dots, W) \quad (20)$$

Dónde:

Y_{Rp} : Producción de papa por el riego

Y_{Rm} : Producción de maíz por el riego

Y_{CM} : Provisión de agua para consumo

K: cantidad de capital

L: cantidad de trabajo

W: insumos

3.1.5 Beneficio

Los beneficios de la empresa se calculan como el producto del precio por la cantidad, pues el precio está dado por la oferta y la demanda de mercado.

El beneficio se calcula con la siguiente formula:

$$B = P * Q \quad (21). \text{ Fuente (Rodríguez et al, 2018)}$$

Donde

B: Representa el beneficio

P: Representa el precio

Q: Representa la cantidad

Para el presente estudio el precio (*P*) corresponde a la suma total de los insumos requeridos para la purificación del agua en el año 2018 y la suma de los insumos, capital y trabajo del gasto para riego para producción de maíz y papa.

La variable *Q* corresponde a la cantidad de caudal total de la cuenca hidrográfica vinculada al estudio en este caso la cuenca del rio Carchi.

3.2 FASE 2

3.2.1 Delimitación de zonas de conservación

Para determinar las zonas prioritarias de conservación en las afluentes abastecedoras de agua para la ciudad de Tulcán, primero se obtuvo los archivos cartográficos bases para su análisis y aplicación en un software SIG que en este caso fue ArcGis 10.3. Para lo cual se requirió información cartográfica al área de técnicos de la empresa municipal de agua potable y alcantarillado en la ciudad de Tulcán, se obtuvo información en archivos shapefile de insumos bases como: Puntos de captación de agua, cuencas y microcuencas, curvas de nivel y áreas

protegidas. Además se obtuvo información temática del MAGAP en archivos shapefile: Sistemas productivos y Geopedológico

3.2.2 Recopilación de información

Puntos de captación. Este shape (Figura 9) fue entregado por la EPMAPA, indicando la ubicación y el caudal de cada punto.

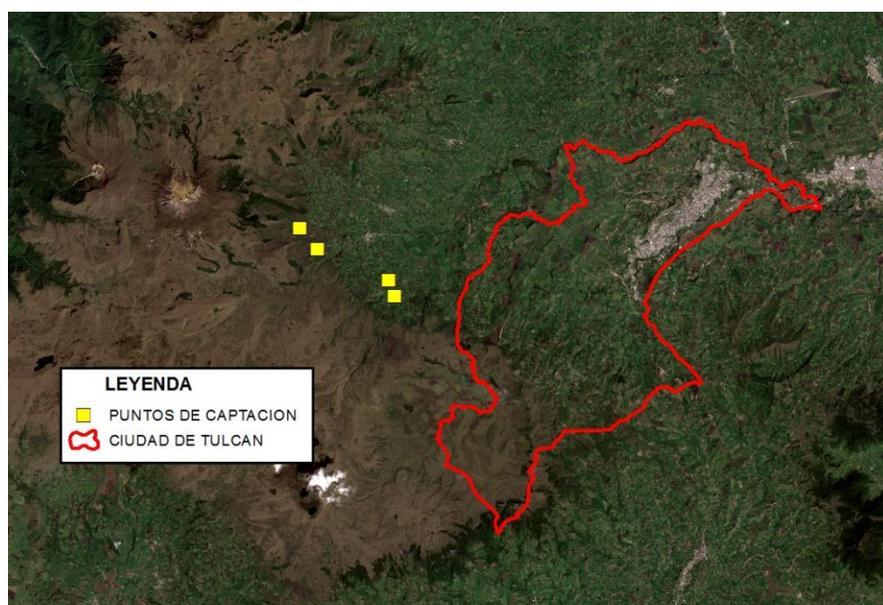


Figura 9. Puntos de captación

Zonas Pobladas. Información obtenida de la base de datos del Instituto Geográfico Militar a escala 1:50000. Se tomó en cuenta la parte urbana de Tulcán, Tufiño y Chiles (Figura 10).

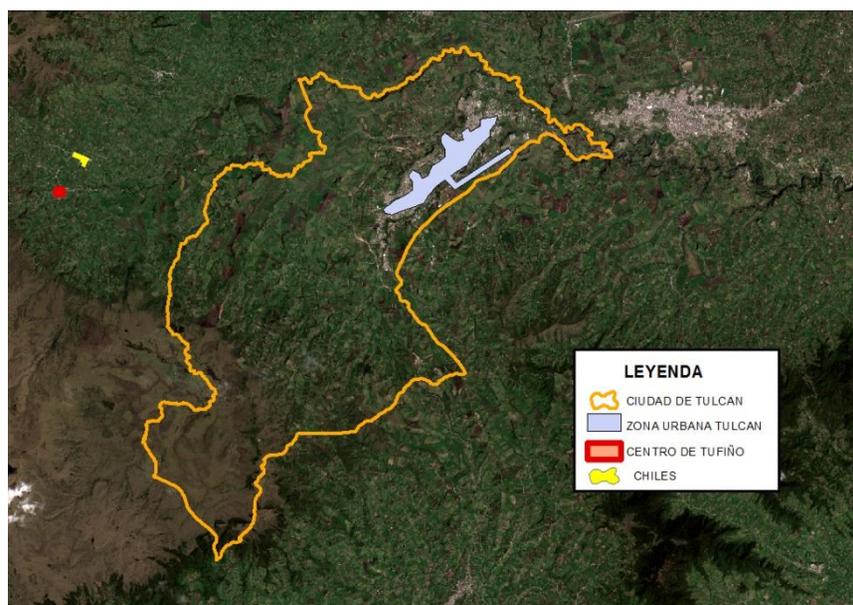


Figura 10. Zonas Poblados

Sistema Vial. Información de la base de datos del Instituto Geográfico Militar (Figura 11).

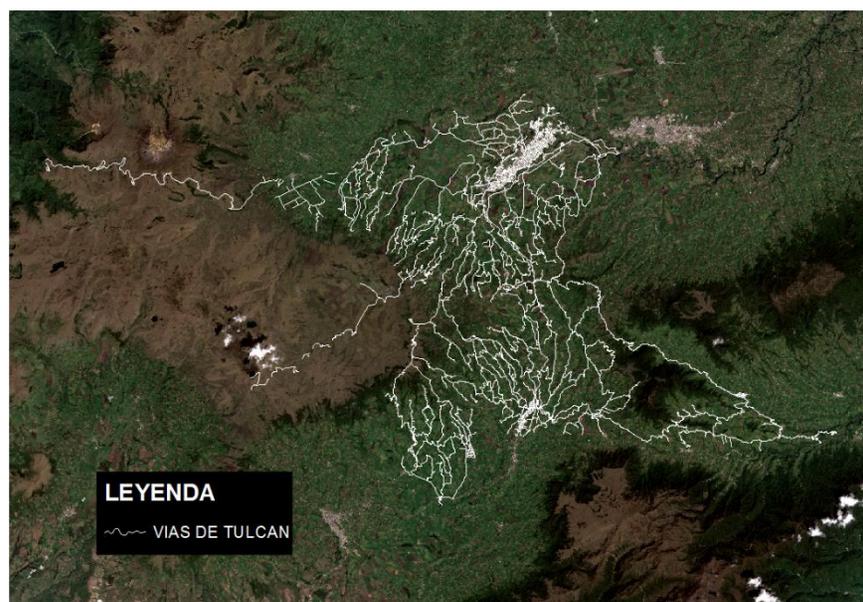


Figura 11. Vías de Tulcán

Sistema Hídrico. Información obtenida de la base de datos del Instituto Geográfico Militar a escala 1:50000. (Figura 12).

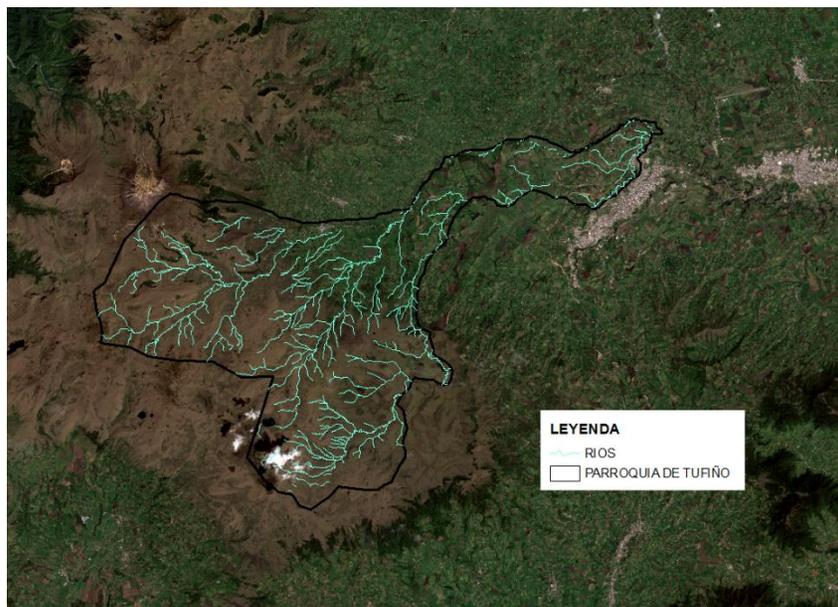


Figura 12. Ríos de la parroquia de Tufiño

Curvas de nivel. Este shape tiene las curvas de nivel cada 40m en una escala 1:50000 (Figura 13), el campo que se va a utilizar es la altura en metros.

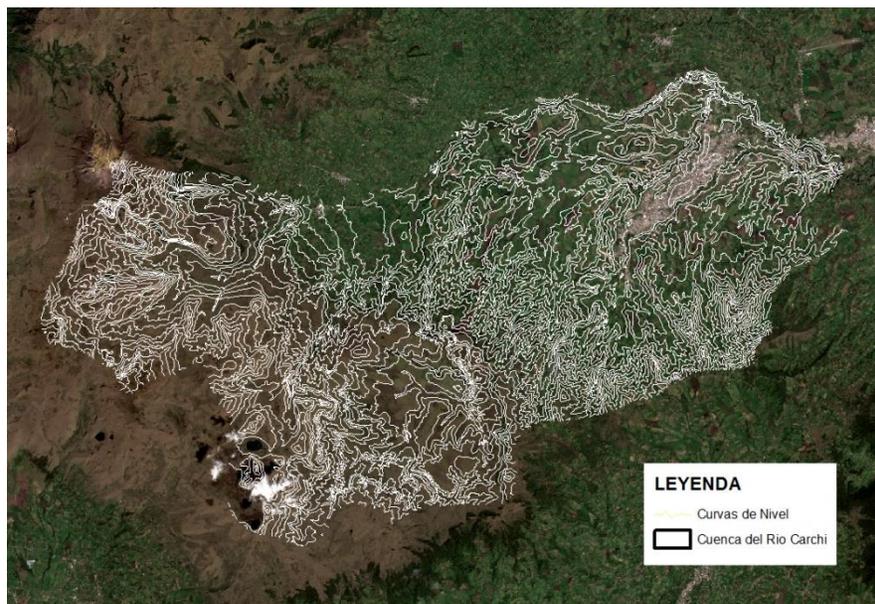


Figura 13. Curvas de nivel

Cuerpos de Agua. Este shape fue obtenido del repositorio del Instituto Geográfico Militar a escala 1:50000 (Figura 14).

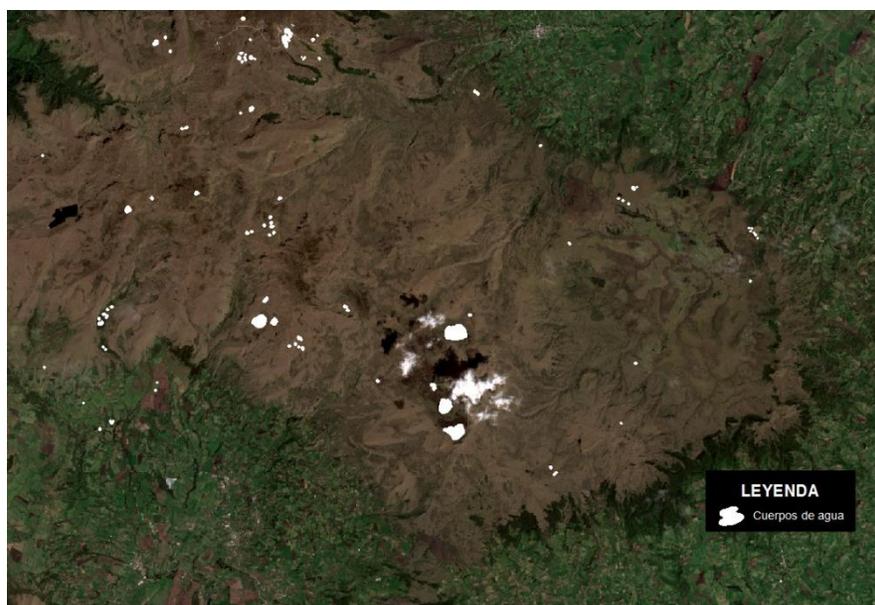


Figura 14. Cuerpos De Agua

Orden de Suelo. Esta variable fue obtenida del shape Geopedologico del MAGAP a escala 1: 25000 del año 2013 (Figura 15)

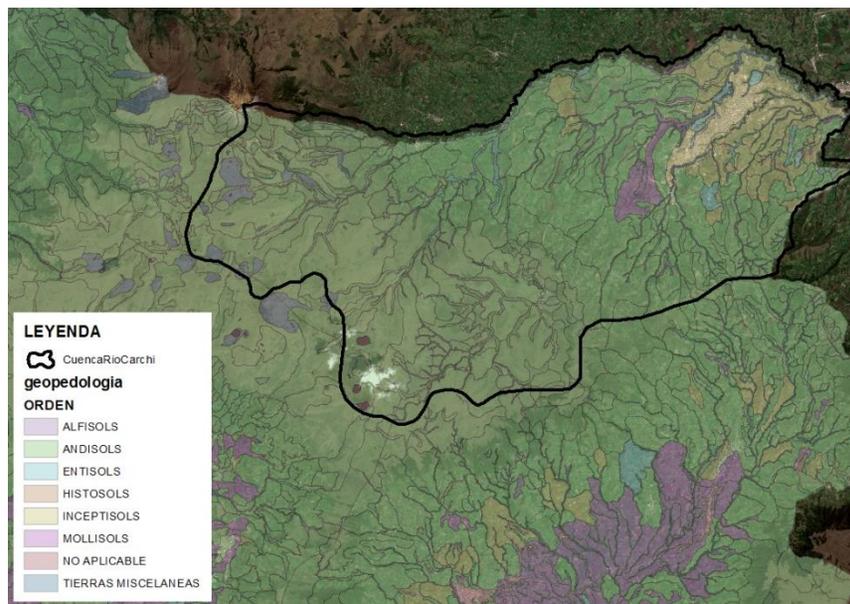


Figura 15. Orden de Suelos

Uso de suelo. Esta variable fue obtenida del shape Sistemas Productivos del MAGAP a escala 1:25000 del año 2013 (Figura 16)

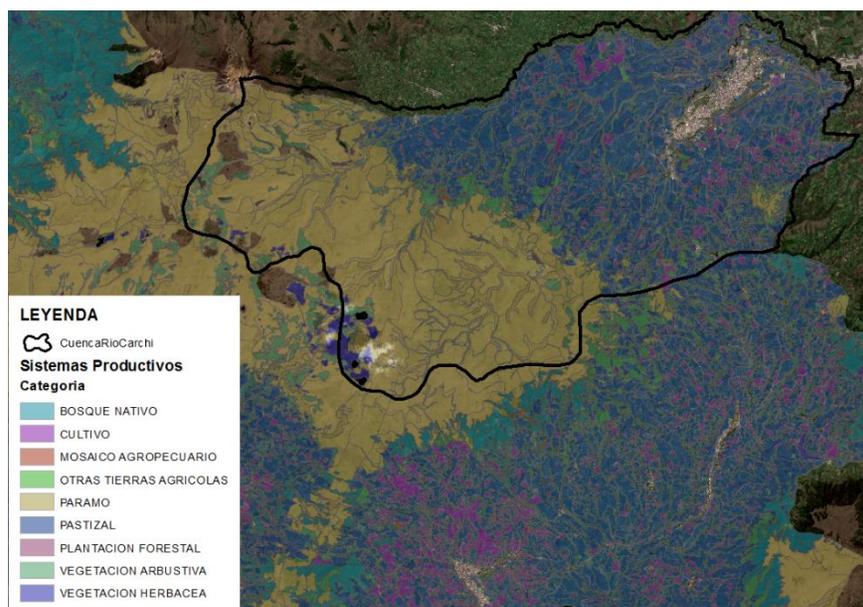


Figura 16. Cobertura Vegetal

Páramo. Esta variable fue obtenida del shape Cobertura Vegetal obtenida del MAGAP del año 2013 en escala 1:25000 (Figura 17)

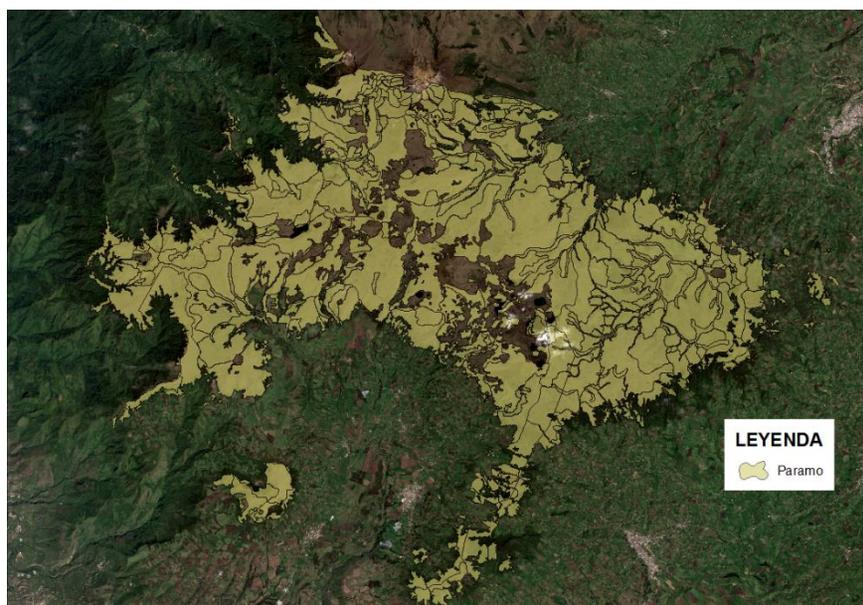


Figura 17. Páramo

3.2.3 Importancia y Análisis de las variables

Altura. La altura es un factor que determina la existencia de los ecosistemas, el páramo en el país se ubica entre las cotas de los 3200 a 4700m en el país (Camacho, 2013). Para realizar la zonificación se tomara en cuenta la altura desde los 3200m. Mientras más cerca se encuentre una zona a la altura establecida tendrá mayor probabilidad de ser conservada, se aplica el caso 3 de lógica difusa.

Puntos de captación de agua. Los puntos de captación representan el lugar inicial del sistema de abastecimiento de agua potable, para su posterior tratamiento y suministro del recurso a la población (Basan et al, 2017). Los puntos donde se capta el agua tienen una gran importancia, mientras más cerca se encuentre de la zona tendrá mayor probabilidad de ser conservada, se aplica el caso 3 de lógica difusa

Sistema Hídrico. El agua es un recurso crucial para la humanidad y para el resto de los seres vivos. Los ríos y lagos, aguas costeras, marítimas y subterráneas, constituyen recursos valiosos que es preciso proteger (Campoblanco & Gomero, 2000). Para la zonificación se tomó en cuenta los ríos ubicados en la parroquia de Tufiño. Mientras más cerca este una zona de las fuentes de agua tendrá mayor probabilidad a ser conservada, se aplica el caso 3 de lógica difusa

Zonas pobladas. El impacto que tienen las actividades humanas en su desarrollo, constituye la fuente de presiones en el medio ambiente y tiene como consecuencia un desequilibrio en los ecosistemas (CSIC, 2016). Para la zonificación se tomó en cuenta la ciudad de Tulcán, tufiño y chiles. Mientras más lejos se encuentre una zona de esta variable tiene mayor posibilidad a ser conservada, se aplica el caso 2 de lógica difusa.

Cuerpos de Agua. Los lagos y lagunas permiten mantener y aumentar la biodiversidad del ecosistema (Conaf, 2013). Mientras más cerca este la zona de esta variable, tiene mayor probabilidad para ser conservada. Se aplica el caso 3 de lógica difusa.

Sistema Vial. Los proyectos viales constituyen un elemento importante en el desarrollo de las regiones, pues ayudan al beneficio social y económico, a su vez mejoran la calidad de vida de los habitantes. Sin embargo, la apertura de carreteras, al igual que todas las obras de infraestructura y actividades antropogénicas, causa efectos negativos sobre el ambiente (Arroyabe M et al, 2006). Mientras más lejos estén las vías se podrá mantener una zona en estado de conservación, se aplica el caso 2 de lógica difusa.

Concesiones de agua. Existe un orden de prioridad para las concesiones de agua, lo que quiere decir que algunos usos tienen prioridad sobre otros usos, el uso doméstico tendrá siempre prioridad sobre los demás, los usos colectivos sobre los individuales y los de los habitantes de una región sobre los de fuera de ella (Corrales, 2015). Para el estudio se tomaron en cuenta las autorizaciones de agua para consumo humano. La cercanía a esta variable tendrá la posibilidad de mantener una zona en estado de conservación, se aplica el caso 3 de lógica difusa.

Páramo. Los páramos tienen características que los hacen vitales, pues prestan servicios ecosistémicos muy relevantes y son el hogar de especies de flora y fauna únicas, además este ecosistema proporciona agua limpia y pura de forma constante (Rivera & Vargas, 1991). Mientras más cerca este la zona a ser conservada de este ecosistema frágil, tiene mayor probabilidad de ser conservada, se aplica el caso 3 de lógica difusa.

3.2.4 Desarrollo de la metodología de Lógica Difusa

Las variables a ser utilizadas fueron rasterizadas, para esto se aplicó la herramienta de Euclidean Distance del Spatial Analyst. Se consideró la escala de las capas 1:50000 y se estableció el tamaño de celda de 16 metros.

Con el fin de reducir los cálculos matemáticos de la lógica difusa, Oswaldo Padilla propone que para el análisis las variables estén en un rango de [0,1], por lo que fueron normalizadas a través de la herramienta Raster Calculator del Spatial Analyst y se aplicó la siguiente fórmula:

$$N = \frac{V_O - v_m}{V_M - v_m} \quad (22)$$

Donde

V_o . Es el raster original

v_m . Es el valor mínimo del raster

V_m . Es el valor máximo del raster

Una vez realizada la normalización, se transformó en radianes, considerando que en el caso 2 y el caso 3 el rango de las funciones va de 0 a $\frac{\pi}{2}$, para esta operación se utilizó la siguiente fórmula:

$$R = N * 1.5707963268 \quad (23)$$

Donde R representa los radianes y N es el raster normalizado.

Finalmente se procedió a aplicar las probabilidades a cada raster según los casos estudiados.

Si la variable corresponde al caso 2 se aplicó:

$$P = \text{sen}(R) \quad (24)$$

Si la variable corresponde al caso 3 se aplicó:

$$P = \cos(R) \quad (25)$$

3.2.5 Análisis Estadístico

Con el fin de realizar el análisis estadístico se tomó puntos de comprobación en campo, los puntos en la zona de prioridad crítica de conservación se dio el valor de 1. Y los puntos que se tomó en la zona de prioridad baja se dio el valor de 0.

Para los cálculos estadísticos se aplicó:

$$V = [Vmed - Vcalc]^2 \quad (26)$$

Donde:

V: Valor de ajuste

Vmed: Es el punto tomado en campo

Vcalc: Es el valor en el modelo

CAPITULO IV

RESULTADOS

En el presente capítulo se expone los resultados obtenidos en el trabajo de titulación “Zonas prioritarias de conservación en los afluentes abastecedores de la ciudad de Tulcán, aplicando las metodologías de valoración económica y lógica difusa”, los cuales reflejan el cumplimiento de los objetivos propuestos.

4.1 Valoración económica del Recurso Hídrico

4.1.1 Recolección de datos

En la siguiente tabla se indica las cuencas del cantón Tulcán, con su respectiva área en hectáreas y el porcentaje que representa, para el estudio se utilizó la Cuenca del río Carchi.

Tabla 1

Cuencas del Cantón Tulcán

CUENCAS	ÁREA (ha)	% en el cantón
Río Mira	141.551,9	77,50
Río Napo	5431,2	2,97
Río Carchi	35664,6	19,53

Fuente: (GAD Tulcán, 2015)

En la siguiente tabla se muestra las estaciones pluviométricas del Cantón Tulcán con datos de precipitación media anual desde el año 2000 hasta el año 2015, para el estudio se utilizó los datos de la estación más cercana a la cuenca, correspondiente a la estación Tufiño.

Tabla 2*Precipitaciones medias anuales de las estaciones pluviométricas*

ESTACIÓN	X	Y	PRECIPITACIÓN (MM)	ALTURA (M.S.N.M)
CHALPATÁN	854689	10081704	1243,3	3300
SAN GABRIEL	853844	10066515	982	2860
JULIO ANDRADE	864521	10072242	1160,5	2890
TUFIÑO	849867	10088284	1230,3	3418
AEROPUERTO- EL ROSAL	866632	10090047	884,5	2950

Fuente: (INHAMI, 2003)

4.1.2 Precio

En los gastos de mano de obra se tomó en cuenta el personal desde la captación hasta el respectivo tratamiento del agua en planta. En la siguiente tabla se constata el registro mensual y anual de pagos de 14 personas: 11 operadores, 1 inspector, 1 conserje de planta y un técnico de planta.

Tabla 3*Detalle de gasto de mano de obra*

NUMERO	PERSONAL	MENSUAL (\$)	TOTAL año(\$/Año)
11	Operadores	580	76560
1	Inspector	773	9276
1	Conserje	520	6240
1	Técnico de planta	1116	13392
	TOTAL		105468

Fuente: (EPMAPA, 2018)

En la siguiente tabla se detalla el costo de los químicos utilizados en planta: policloruro de aluminio, sulfato de aluminio, hidróxido de calcio o más conocida como cal, hipoclorito de calcio y cloro gas.

Tabla 4*Detalle Costo de Químicos*

COSTOS QUÍMICOS	MONTO (\$/año)
Policloruro de aluminio	40000
Sulfato de aluminio	13000
Hidróxido de calcio	7000
Hipoclorito de calcio	4000
Cloro gas	17500
Total	81500

Fuente: (EPMAPA, 2018)

Como servicio básico se toma en cuenta el gasto de energía eléctrica que se consume para el funcionamiento de la planta de tratamiento. En la tabla siguiente se muestra el detalle del monto anual de los servicios básicos de la planta.

Tabla 5*Detalle de servicios básicos*

SERVICIOS BÁSICOS	MONTO (\$/año)
Agua potable	1 000,00
Energía eléctrica	20 000,00
Telecomunicaciones	1 000,00

Fuente: (EPMAPA, 2018)

En la suma de los insumos: mano de obra, químicos y electricidad para producción de agua potable para consumo se obtuvo un valor de **206968 (\$/año)**.

Para la valoración económica en cuanto a riego, se solicitó datos al MAGAP. En la tabla 6 se detalla los costos de la producción de papa variedad súper chola obtenidos de un estudio semi-tecnificado.

Tabla 6*Detalle de Costo de papa chola por hectárea*

RUBRO	ACTIVIDADES	VALOR TOTAL (usd/ha)
Mano de obra	Preparación del terreno	39,00
	Siembra	130,00
	Aplicación de insumos	360,00
	Aplicación de fertilizantes edáficos	39,00
	Labores Culturales	416,00
	Cosecha	675,00
Insumos	Semilla	594,00
	Insecticidas	438,00
	Fungicidas	315,00
	Fertilizantes Foliare	90,00
	Fertilizantes Edáficos	842,00
	Otros	153,00
Maquinaria y Equipos Alquilados	Preparación del terreno	320,00
	Cosecha	140,00
Transporte de cosecha	Transporte a centro de Acopio	420,00
TOTAL COSTOS VARIABLES		4971,00
Gastos Administrativos	Análisis de suelo/foliare	0,00
	Costo Administrativo	248,55
	Arrendamiento de Terreno	250,00
Gastos Financieros	Costo Financiero	146,43
	TOTAL COSTOS FIJOS	644,98
COSTO TOTAL POR HECTÁREA (USD)		5615,98

Fuente: (MAGAP, 2019)

En la siguiente tabla se detalla los costos de la producción de maíz de un estudio semi-tecnificado.

Tabla 7*Detalle de Costo de maíz por hectárea*

RUBRO	ACTIVIDADES	VALOR TOTAL (usd/ha)
Insumos	Siembra	75,00
	Aplicación de herbicidas	15,00
	Aplicación de fertilizantes edáficos	15,00
	Labores Culturales	105,00
	Cosecha	180,00
	Semilla	60,03
	Herbicidas	24,60


 CONTINÚA

	Insecticidas	5,00
	Fungicidas	8,60
	Fertilizantes Foliare	3,80
	Fertilizantes Edáficos	84,00
	Otros	31,50
Maquinaria y Equipos Alquilados	Preparación del terreno	60,00
Transporte de cosecha	Transporte a centro de Acopio	15,00
	TOTAL COSTOS VARIABLES	682,53
	COSTO TOTAL POR HECTÁREA (USD)	682,53

Fuente: (MAGAP, 2019)

4.1.3 Cantidad

Para el cálculo de la cantidad de agua que sale de la planta se hizo un promedio de los datos obtenidos del caudal en el año 2018 en unidades de (m³/año) perteneciente al año 2018 como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 8

Promedio del caudal que ingresa a la planta de tratamiento

CAUDAL QUE INGRESA A PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA EPMAPA-T												
AÑO 2018												
24 H	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PROM	0,205	0,205	0,216	0,218	0,217	0,218	0,219	0,215	0,217	0,218	0,220	0,217

Fuente: (EPMAPA, 2018)

Para realizar la valoración económica se trabajó con 0,210 m³/s.

4.1.4 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía fue calculado con la fórmula de Nadal a partir de información de la cuenca del Río Carchi. El valor del coeficiente de escorrentía es de 0.391 (Ver tabla 9), valor asociado a una tasa media de retención de agua, además el coeficiente de escorrentía obtenido relaciona que el suelo existente en la zona de estudio es semi- permeable.

Tabla 9*Cálculo de coeficiente de escorrentía*

Extensión		Lluvia media anual		Características de la cuenca	
km2	k1	Mm	k2		
1000	1.30	800	1.25	Llana y permeable	0.5- 0.7
5000	1.00	900	1.32	Ondulada	0.7-1.2
10000	0.90	1000	1.4	Montañosa y semipermeable	1.2-1.5
>20000	0.87	1200	1.5		
K1	0.87	K2	1.50		K3 1.2

4.1.5 Cálculo del caudal de la cuenca

El valor obtenido del modelo de Sandoval y Aguilera para caudales de cuencas con poca información es de 0.544 m³/s ver tabla 10, valor que corresponde al caudal medio anual de la cuenca del Rio Carchi, este valor es directamente proporcional al área y la precipitación de la Cuenca.

Tabla 10*Caudal de la cuenca*

AREA (km2)	36,66
PRECIPITACION (mm)	1230,2
COEF.ESCORRENTIA	0,391
CAUDAL (m3/s)	0,544

El valor del caudal en el año es de 17'155.584m³/año.

4.1.6 Valoración Económica- Agua potable para consumo

Se toma en cuenta un valor promedio de 210 litros/segundo que es la cantidad que ingresa y es tratada en planta (Tabla 8).

Partiendo de los datos de mano de obra, químicos y servicio básico de electricidad como insumos dentro de una función de la producción se realizó la valoración económica del servicio ambiental hídrico para consumo de los habitantes en la ciudad de Tulcán, como se puede observar en la tabla 11, el precio por cada m³ es de 0,031\$, con el fin de conocer el beneficio se multiplica este valor por el volumen de agua anual de la cuenca hidrográfica (Tabla 10) valor que corresponde a 536145,67(\$/año).

Tabla 11

Precio real del agua

PRECIO(\$/año)	PRECIO (\$/m ³)	BENEFICIO (\$/año)
206968	0,031	536145,67

4.1.7 Valoración económica- Agua para riego

Producción de papa

Una vez conocido el costo por hectárea para la producción de papa variedad súper chola 5615.98 \$/Ha, se obtiene el costo de riego, según un estudio realizado por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo local del Departamento de Antioquia en Colombia (USAID-RED, 2008); acerca de los costos agrícolas se indica que el 5% del costo total de la producción de una hectárea de cultivo de papa pertenece al costo de riego de agua en sistemas semi-tecnificados, valor que corresponde a 224,63 \$/Ha.

Para conocer el costo total de gasto de agua en riego se múltiplo este valor por el número de hectáreas de cosecha en el lugar de interés. Obteniendo un valor de 134783,52\$ de 600 Ha en el año 2018. Según un estudio acerca de los m³ de riego en producción de papa se estima que

anualmente se gasta 6000m³/Ha (Núñez, 2018), por lo que el valor de riego correspondiente de 600Ha es de 3600000m³. Se obtuvo finalmente el valor de 0,04\$/m³. Para calcular el beneficio se multiplico este valor por el valor concesionado para riego anual valor de 11668320m³/año y se obtuvo: 436860,35(\$/año).

En la siguiente tabla se detalla los resultados obtenidos.

Tabla 12

Precio de riego para producción de papa

GASTO(\$/Ha)	PRECIO (\$/m³)	BENEFICIO (\$/año)
134783,52	0,04	436860,35

Producción de maíz

Una vez conocido el costo por hectárea para la producción de maíz 682.53\$/Ha, se obtiene el costo de riego, según un estudio realizado por la Secretaría de Agricultura y Desarrollo local del Departamento de Antioquia en Colombia (USAID-RED, 2008); acerca de los costos agrícolas se indica que el 4% del costo total de la producción de una hectárea de cultivo de maíz pertenece al costo de riego de agua, valor que corresponde al costo de riego 27,30\$/Ha.

Para conocer el costo total de gasto de agua en riego se múltiplo este valor por el número de hectáreas de cosecha en el lugar de interés, obteniendo un valor de 2730,12\$ de 100 Ha en el del año 2018. Este valor se dividió para 500000 que son los m³ que se gasta de agua para riego en el año y se obtuvo el precio 0,005\$/m³. Para calcular el beneficio se multiplico este valor por el valor concesionado para riego anual valor de 11'668,320 m³/año y se obtuvo: 15709,76(\$/año).

En la siguiente tabla se detalla los resultados obtenidos.

Tabla 13*Precio de Riego por maíz*

GASTO (\$/Ha)	PRECIO (\$/m3)	BENEFICIO (\$/año)
2730,12	0,005	15709,76

4.1.8 Beneficios del Páramo

En la siguiente tabla se muestra los beneficios obtenidos de los servicios ambientales hídricos correspondiente a purificación (Tabla 11) y almacenamiento (Tabla 12 y Tabla 13).

Tabla 14*Beneficios del Páramo*

BENEFICIOS	(\$/año)
BENEFICIO DE PURIFICACION	536145,67
BENEFICIO DE ALMACENAMIENTO	452570,11
TOTAL	988715,78

4.2 Zonificación de áreas de conservación

4.2.1 Recolección de información

La información geográfica recolectada corresponde a datos en formato shapefile con escala 1:50000 y 1:25000, con sistema de referencia WGS84, coordenadas UTM 17S. Los modelos se realizaron en escala 1:50000 donde cada pixel tiene 16 metros.

4.2.2 Análisis de las Variables

Para realizar la zonificación de áreas para conservación fue necesario establecer a que caso de lógica difusa pertenece cada variable.

En la tabla 15 se muestra un resumen del proceso que se aplicó a cada variable, se determinó que el caso 2 es el apropiado para las variables zonas urbanas y sistema vial, ya que si la zona a ser conservada se encuentra lejos de presiones antrópicas, la zona tendrá mayor posibilidad para su manejo y cuidado.

Para las variables: paramo, sistema hídrico, uso de suelo, textura de suelo, captaciones de agua, concesiones y altura se determinó que el caso 3 es el apropiado, ya que estas variables son esenciales para cuidado, y la cercanía a las mismas proporcionaría mayor importancia para la conservación de la zona.

Tabla 15

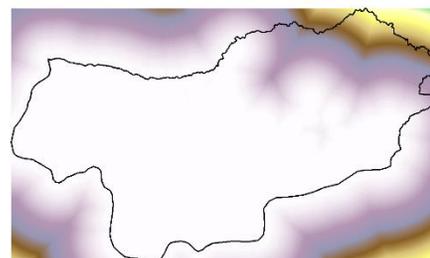
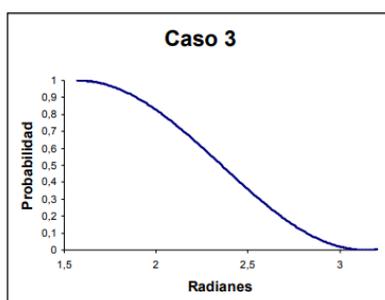
Procedimiento para cada variable

VARIABLE

CASO

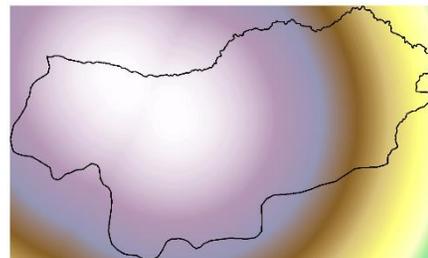
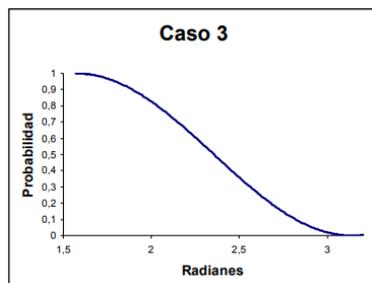
RASTER BAJO LÓGICA DIFUSA

ALTURA

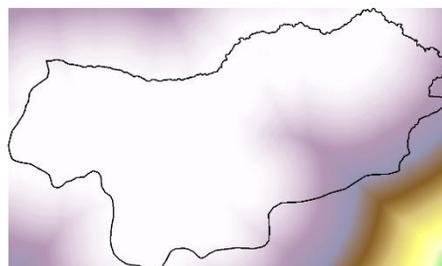
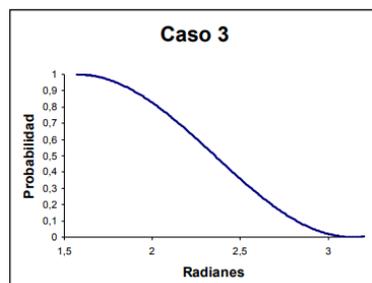


CONTINÚA

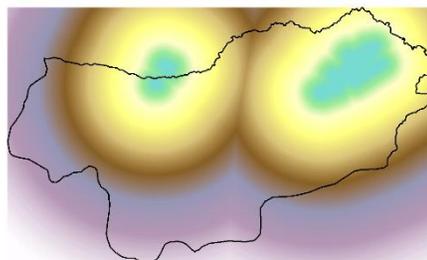
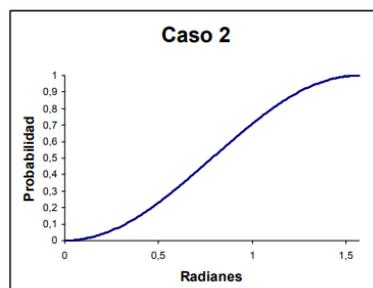
**CAPTACIONES
DE AGUA**



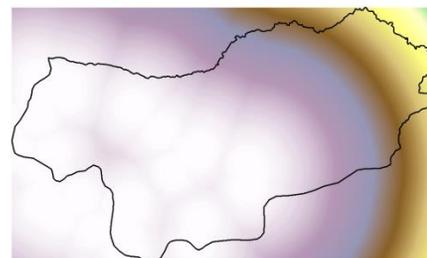
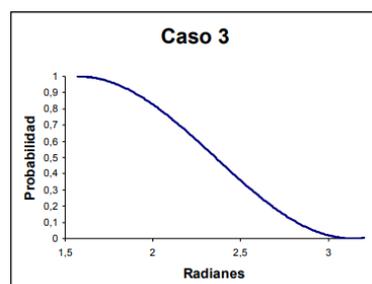
**SISTEMA
HÍDRICO**



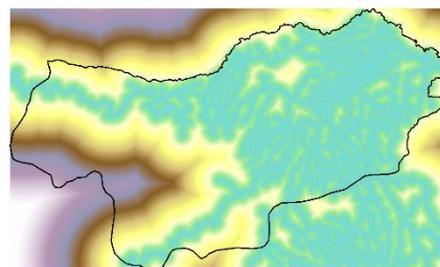
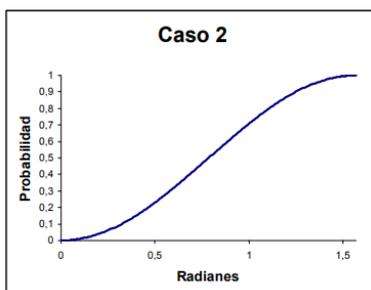
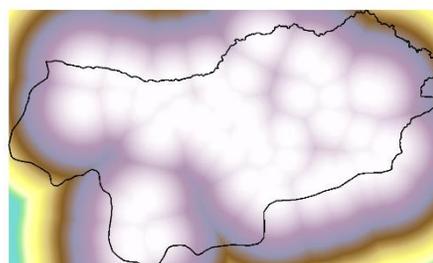
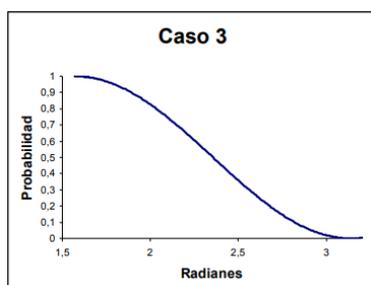
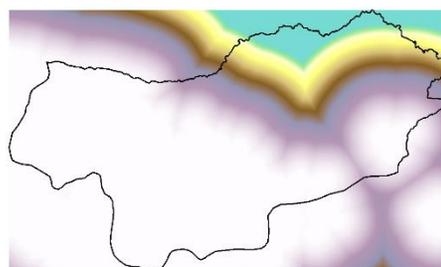
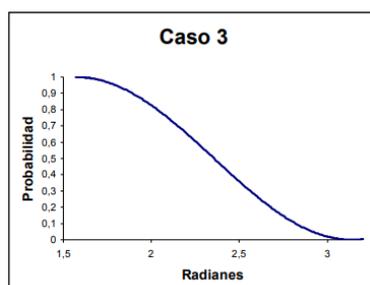
ZONAS URBANAS



**CUERPOS DE
AGUA**



CONTINÚA 

SISTEMA VIAL**CONCESIONES DE AGUA****PÁRAMO****4.2.3 Textura de Suelo**

Para la variable textura de suelo se realizó una clasificación de acuerdo a la permeabilidad y contenido de materia orgánica de cada tipo de suelo existente en la cuenca del río Carchi. Como se puede observar en la tabla 16 la mayor jerarquización tienen los suelos andisoles y los molisoles que representan los suelos más permeables, seguido de los suelos inceptisoles e entisoles que son suelos jóvenes en evolución.

Tabla 16*Ponderación Orden de Suelo*

ORDEN DE SUELO	JERARQUIA
ANDISOLES	10
ENTISOLES	4
INCEPTISOLES	5
MOLISOLES	8

En la tabla 17 se muestra la ponderación dada por el método Saaty, a partir de la jerarquización inicial, en la cual se obtuvo una consistencia de 0, indicando que existe relación en las ponderaciones.

Tabla 17*Ponderación orden de suelo por Saaty*

ORDEN DE SUELO	PONDERACION
ANDISOLES	0.3704
ENTISOLES	0.1481
INCEPTISOLES	0.1852
MOLISOLES	0.2963
SUMA	1

En la figura 18 se muestra el orden del suelo en la cuenca del río Carchi con la ponderación dada.

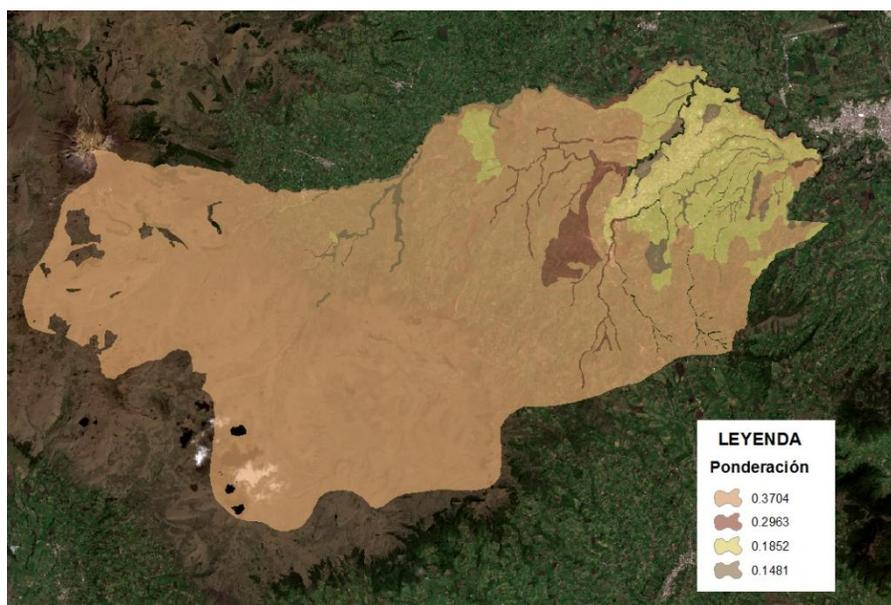


Figura 18. Orden de Suelo en la cuenca del Río Carchi

4.2.4 Uso de Suelo

Para la variable uso de suelo se realizó una clasificación de acuerdo a la conservación como el principal componente de jerarquía en la cuenca del río Carchi. Como se puede observar en la tabla 18 la mayor jerarquización tienen los suelos con uso de conservación y protección, mientras que los suelos con fines agrícolas y pecuarios tienen una jerarquización baja, ya que representan presiones para cuidado del medio.

Tabla 18

Ponderación Uso de Suelo

USO DE SUELO	JERARQUIA
AGRÍCOLA	5
AGROPECUARIO MIXTO	3
CONSERVACIÓN Y PRODUCCIÓN	7
CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN	10
PECUARIO	2
PROTECCIÓN O PRODUCCIÓN	6

Se utiliza la jerarquización inicial para dar la ponderación por Saaty en un rango de 0 a 1. En la tabla 19 se indica la ponderación dada en la cual se obtuvo una consistencia de 0, indicando que existe relación en las ponderaciones.

Tabla 19

Ponderación Uso de Suelo por Saaty

USO DE SUELO	PONDERACION
AGRÍCOLA	0.1515
AGROPECUARIO MIXTO	0.0909
CONSERVACIÓN Y PRODUCCIÓN	0.2121
CONSERVACIÓN Y PROTECCIÓN	0.3030
PECUARIO	0.0606
PROTECCIÓN O PRODUCCIÓN	0.1818
SUMA	1

En la figura 19 se muestra el uso de suelo con la ponderación en la cuenca del río Carchi.

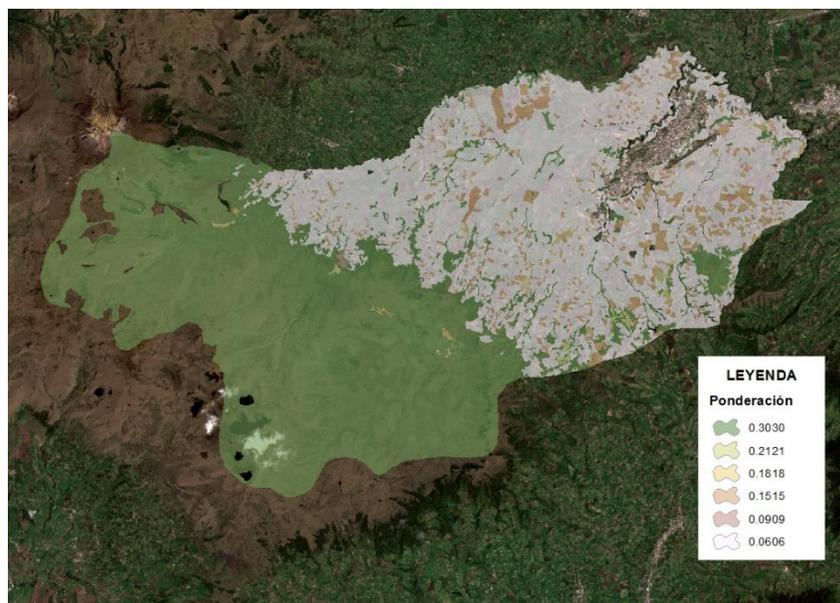


Figura 19. Ponderación Uso de Suelo

4.2.5 Modelos Generados

Modelo 1

Para generar el modelo 1 se asignó el mismo peso a todas las variables, esto significa que al promediar las 10 variables, cada una obtiene el 10% de importancia. Con la herramienta Raster Calculator se sumó las variables que se utilizó y se dividió para el número total, como se indica en la siguiente fórmula:

$$\mathbf{Modelo1} = (Zona\ urbana + puntos\ de\ captacion + concesiones + sistema\ vial + altura + sistema\ hidrico + cuerpos\ de\ agua + paramo + orden\ de\ suelo + uso\ de\ suelo) / 10 \quad (27)$$

En la figura 20 se muestra el modelo 1 aplicado a la cuenca del Rio Carchi.

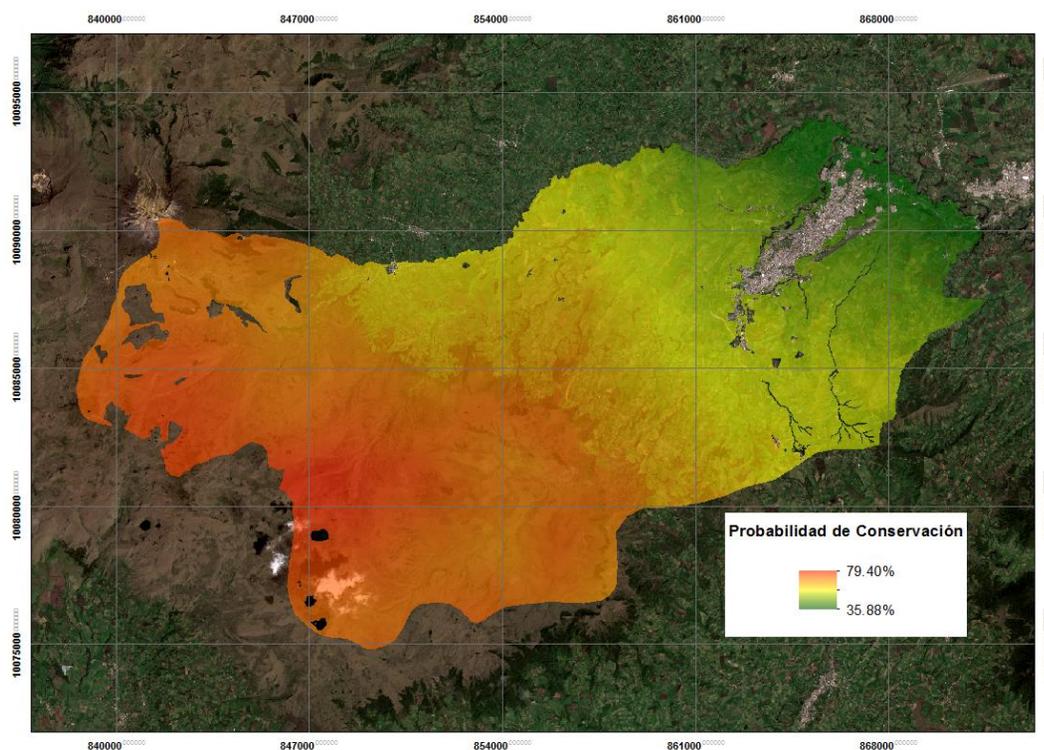


Figura 20. Modelo 1 en la cuenca del Río Carchi

De acuerdo al modelo 1 que corresponde al promedio de las variables, la probabilidad de conservación varían de 35.40% a 79.88%

Modelo 2

Para generar el modelo 2 se utilizó el método de jerarquías de Saaty, para iniciar se dio valores del 1 al 10 a cada variable según el criterio del autor. En la siguiente tabla se muestra la ponderación dada.

Tabla 20

Ponderación a cada variable

VARIABLES	JERARQUIA
ALTURA	9
PARAMO	10
SISTEMA VIAL	4
SISTEMA HIDRICO	9
ZONA URBANA	4
PUNTOS DE CAPTACION	9
CUERPOS DE AGUA	8
USO DE SUELO	7
ORDEN DE SUELO	7
CONCESIONES DE AGUA	7

En la tabla 21 se indica la ponderación dada por Saaty partiendo de la jerarquización inicial, en la cual se obtuvo una consistencia de 0, indicando que existe relación en las ponderaciones.

Tabla 21*Ponderación según el método Saaty*

VARIABLES	PONDERACION
ALTURA	0.1216
PARAMO	0.1351
SISTEMA VIAL	0.0541
SISTEMA HÍDRICO	0.1216
ZONA URBANA	0.0541
PUNTOS DE CAPTACIÓN	0.1216
CUERPOS DE AGUA	0.1081
USO DE SUELO	0.0946
ORDEN DE SUELO	0.0946
CONCESIONES DE AGUA	0.0946

Con la herramienta Raster Calculator se multiplicó cada variable por su ponderación, luego se sumó las variables como se indica en la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}
 \text{Modelo 2} = & 0.0541 * \text{Zona urbana} + 0.1216 * \text{puntos de captacion} + 0.0946 * \\
 & \text{concesiones} + 0.0541 * \text{sistema vial} + 0.1216 * \text{altura} + 0.1216 * \text{sistema hidrico} + \\
 & 0.1081 * \text{cuerpos de agua} + 0.1351 * \text{paramo} + 0.0946 * \text{orden de suelo} + 0.0946 * \\
 & \text{uso de suelo.} \qquad \qquad \qquad (28)
 \end{aligned}$$

En la siguiente figura se muestra el modelo aplicado a la cuenca del Rio Carchi.

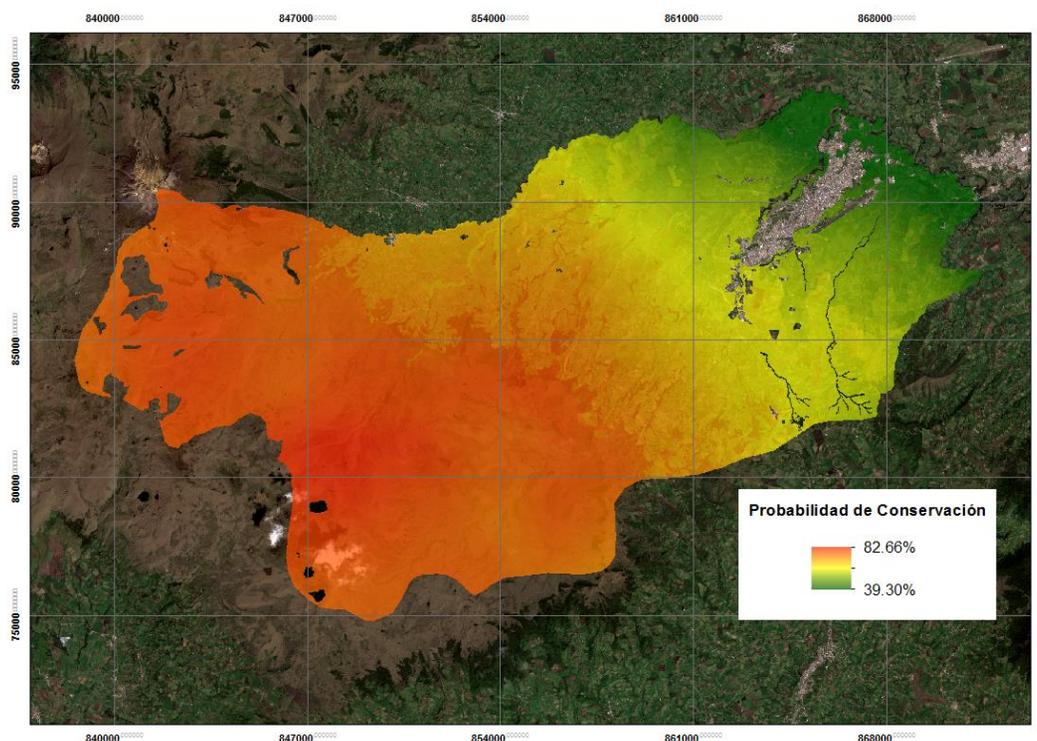


Figura 21. Modelo 2 en la cuenca del río Carchi.

En el modelo 2 del modelo desarrollado por la metodología de Satty la probabilidad de conservación varía de 39.30% a 82.66%.

Análisis Estadístico

Se realizó el análisis estadístico en los modelos con el fin de analizar y conocer el ajuste de acuerdo a las zonas propuestas.

Análisis-Modelo1

En el modelo 1 la V_{med} tomada en campo tiene el valor de 1 en la zona de interés crítico de conservación, y la V_{calc} en el modelo tiene el valor de 0.79. Al realizar el cálculo estadístico tenemos como resultado un valor de ajuste de: **0.041**

Análisis- Modelo 2

En el modelo 2 la V_{med} tomada en campo tiene el valor de 1 en la zona de interés crítico de conservación, y la V_{calc} en el modelo tiene el valor de 0.82. Al realizar el cálculo estadístico tenemos como resultado un valor de ajuste de: **0.032**

Zonas de conservación

Para la cuenca del río Carchi se establece zonas de acuerdo a la prioridad e importancia para conservar en 5 categorías: crítica, alta, media, ligera y baja (Figura 22)

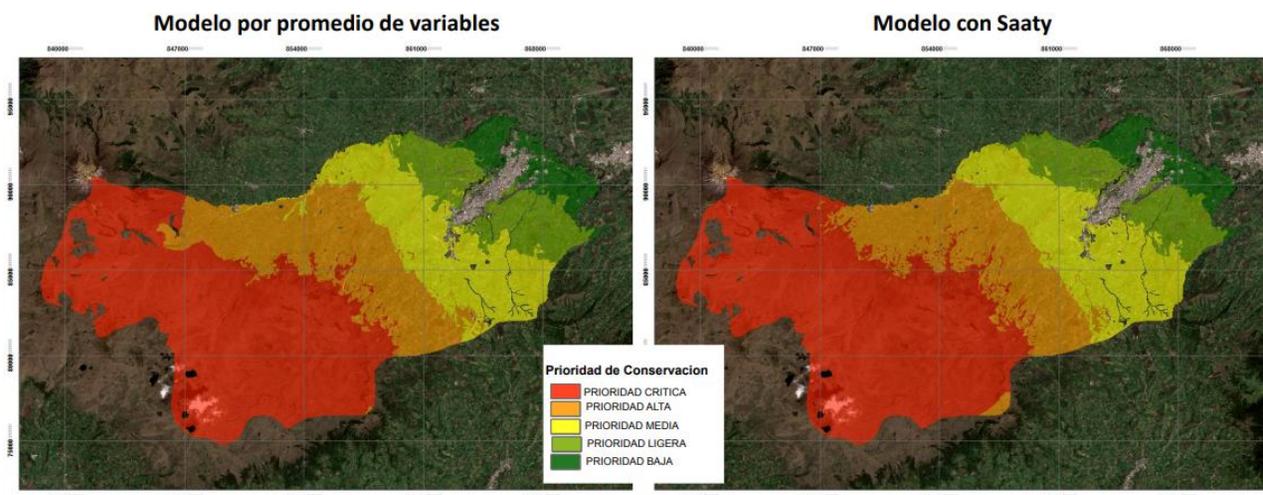


Figura 22. Modelos de la cuenca del río Carchi

Se obtuvo que en el modelo 1 (Ver tabla 22), la zona de prioridad crítica de conservación corresponde a 159.16km², la zona de prioridad alta corresponde a 71.01km², la zona de prioridad media son 57.24km², la zona de prioridad ligera 32.26km² y la zona de prioridad baja 16.69km².

Tabla 22*Resultados de Modelo 1*

ZONAS DE PRIORIDAD	SIMBOLOGIA	INTERVALO DE PROBABILIDAD	EXTENSION (KM2)
CRITICA		0.70-0.79	159.16
ALTA		0.63-0.70	71.07
MEDIA		0.56-0.63	57.24
LIGERA		0.48-0.56	32.26
BAJA		0.35-0.48	16.69

En el modelo 2 (Ver tabla 23), la zona de prioridad crítica de conservación corresponde a 167.79 km², la zona de prioridad alta corresponde a 63.91 km², la zona de prioridad media son 59.66 km², la zona de prioridad ligera 30.02 km² y la zona de prioridad baja 15.05 km².

Tabla 23*Resultados de Modelo 2*

ZONAS DE PRIORIDAD	SIMBOLOGÍA	INTERVALO DE PROBABILIDAD	EXTENSION (KM2)
CRITICA		0.76-0.82	167.79
ALTA		0.70-0.76	63.91
MEDIA		0.62-0.70	59.66
LIGERA		0.54-0.62	30.02
BAJA		0.39-0.54	15.05

4.2.6 Gestión de la cuenca del río Carchi

Áreas protegidas existentes

Se cruzó los modelos generados con el shape de áreas protegidas con el objetivo de conocer el estado de conservación en cuanto al manejo y protección del medio ambiente en la cuenca del río Carchi.

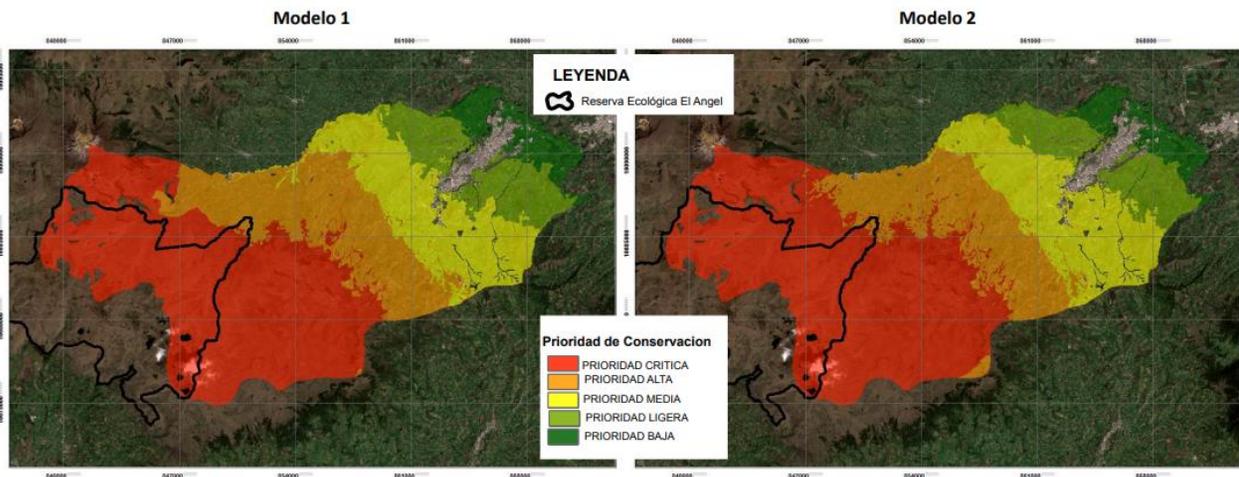


Figura 23. Áreas protegidas en la cuenca del río Carchi

En la Cuenca del Río Carchi existe la Reserva Ecológica del Ángel dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) del Ministerio del Ambiente(Ver figura 23), el área que corresponde la reserva ecológica se cruza en los dos modelos principalmente con la zona de prioridad crítica de conservación y en menor área con la zona de prioridad alta.

La Reserva Ecológica el Ángel tiene un área total de 15002,70 Ha; el área que ocupa en la zona de prioridad crítica es de 10650,00 Ha. El área que se propone para conservación es de 6109,5 Ha

Cobertura Vegetal

La agricultura es considerada como la actividad que provoca mayor impacto ambiental, por lo que es importante visualizar las zonas agrícolas en los modelos generados para conocer la presión de esta actividad en las áreas de conservación.

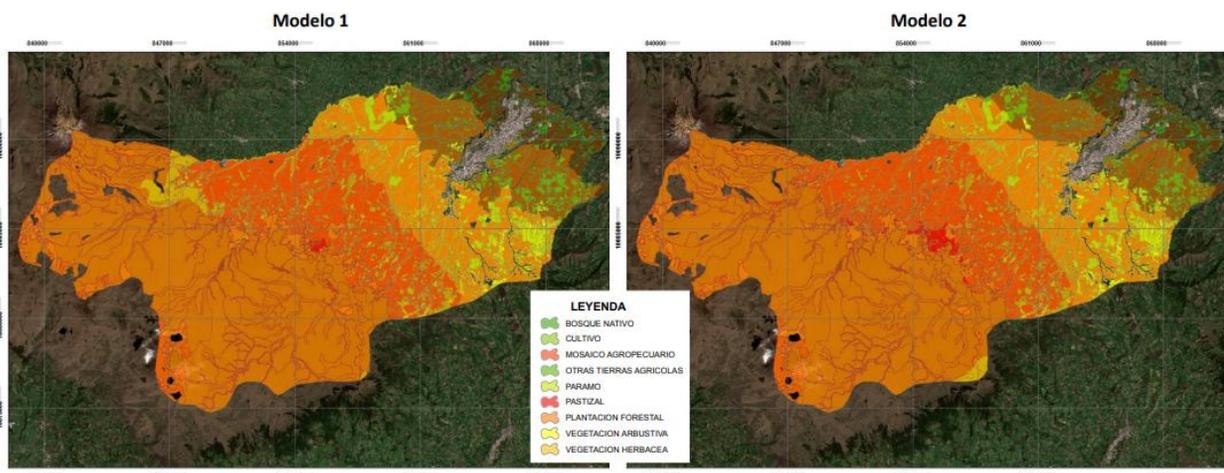


Figura 24. Cobertura vegetal en la cuenca del río Carchi

En relación a la cobertura vegetal se estableció que en la cuenca del Río Carchi existe una gran cantidad de presiones que provienen de la actividad agrícola (Figura 24).

Con un enfoque más directo en las zonas de prioridad crítica y la zona de prioridad alta se analizó que en la zona de prioridad crítica, la cobertura principal es paramo con un porcentaje de: 88.56% seguido de vegetación arbustiva 8.8%.

En la zona de prioridad alta de conservación la principal cobertura es los pastizales con un porcentaje de 73.40% seguido de paramo con 7.58% y cultivos 7.50%.

Suelo con uso pecuario

La actividad ganadera figura como una de los sectores más perjudiciales para el recurso hídrico, y el daño a gran escala del suelo. Se cruzó los modelos generados con el shape de uso pecuario para saber el estado y la presión de las zonas de conservación.

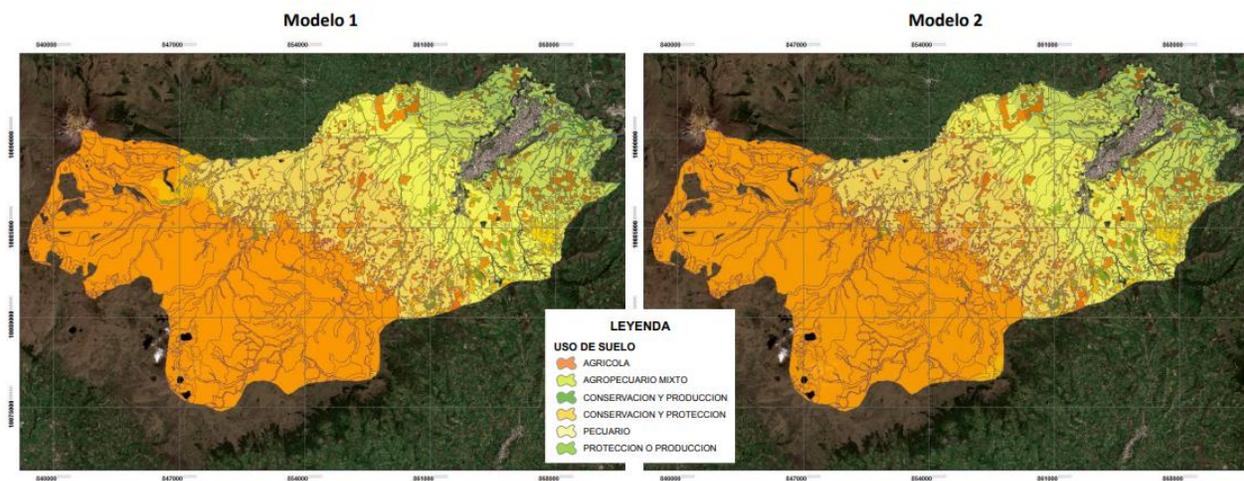


Figura 25. Uso de suelo en la cuenca del río Carchi

En la zona de prioridad crítica el 97.37% está destinado para la conservación seguido de valores mínimos: 1.58% destinado a uso pecuario y 1.05% destinado a agricultura. En la zona de prioridad alta el 73.40% tiene uso pecuario, el 16.72% está destinado para conservación y protección y el 7.61% uso agrícola (Ver figura 25).

Centros poblados

En la siguiente figura se muestra el cruce de los modelos generados con los centros poblados existentes en la cuenca del río Carchi.

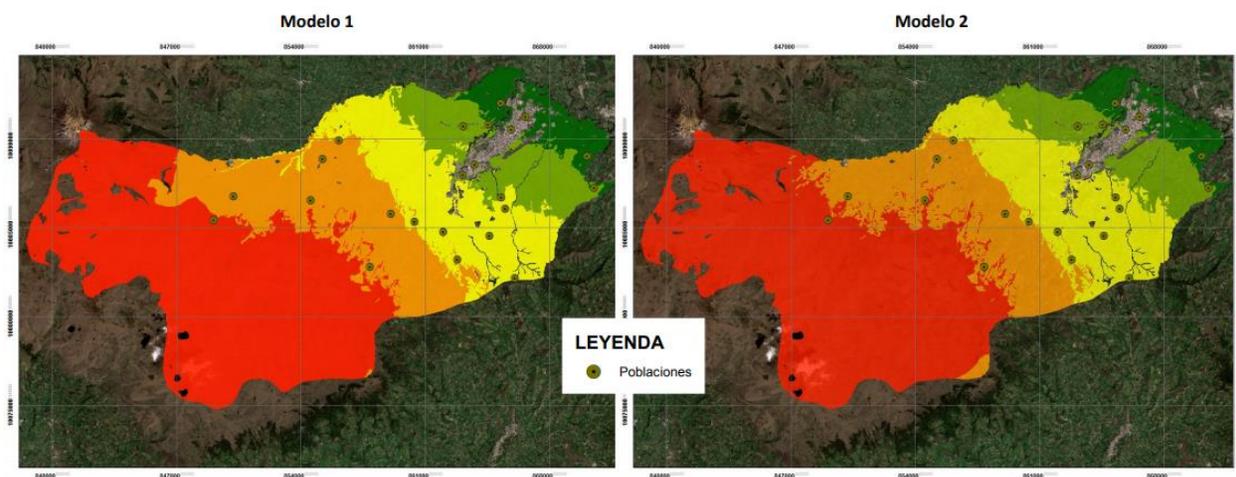


Figura 26. Poblaciones en la cuenca del río Carchi

Se determinó que el número de centros poblados que se encuentran en la zona de conservación crítica son 2 y alta son 4. Mientras que los otros centros poblados se encuentran en zonas de interés media, ligera y baja para conservación (Figura 26).

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La planta de tratamiento en la ciudad Tulcán tiene una capacidad máxima de 220 litros por segundo, por lo que en proyecciones realizadas a 20 años del crecimiento de la población la ciudad debe buscar nuevas captaciones.

El caudal de la Cuenca del Rio Carchi que se calculó a través del método Sandoval-Aguilera para caudales con poca información se lo desarrolló con la caracterización de la cuenca, valor que corresponde a 0,544 (m³/s) (Ver Tabla 10, sección 4.1.5).

Tomando en cuenta mano de obra, químicos y electricidad durante la fase de tratamiento del agua, el beneficio de purificación calculado corresponde a 536145,67 (\$/año); el beneficio de almacenamiento calculado en producción de papa y producción de maíz corresponde a un total de 452570,11(\$/año). El beneficio total de los servicios hídricos del páramo es 988715,78(\$/año).

La metodología de Lógica Difusa permitió obtener zonas con diferentes probabilidades para su cuidado, a partir de distancias y criterios basados en aspectos ambientales y geográficos. Según el análisis estadístico el modelo que tuvo un mejor ajuste corresponde al modelo realizado con lógica difusa; fundamentando este resultado a la proximidad de los datos de acuerdo a distancias y la jerarquización de acuerdo a la importancia que tienen las variables.

Las zonas que tienen la mayor probabilidad para ser conservadas son las que están ubicadas en zonas altas de la cuenca del rio Carchi, cerca de la reserva ecológica el ángel y cerca de cobertura

vegetal de páramo, pues este ecosistema representa el hábitat de fauna y flora endémica, además este ecosistema provee servicios ambientales irremplazables

5.2 Recomendaciones

La valoración económica puede desempeñar un papel importante para que los gobiernos puedan reestructurar sus políticas, ya que el pago por servicios ambientales debe ser considerado como un instrumento económico que puede ayudar en la conservación de los ecosistemas

Para garantizar el abastecimiento de agua en cantidad y calidad de manera permanente para la población de la ciudad de Tulcán se recomienda realizar estudios para nuevas fuentes de captación, ya que actualmente existe un déficit de provisión de este servicio debido a la falta de infraestructura.

La planta de tratamiento tiene una capacidad máxima de 240 litros/segundo por lo que se recomienda estudios para la construcción de una nueva planta de tratamiento.

Se recomienda incrementar el valor por cada m³ de agua en la ciudad de Tulcan y usar un porcentaje del mismo para proyectos encaminados a cuidar las fuentes hídricas y el desarrollo de proyectos.

Con los resultados obtenidos se da la recomendación a las entidades correspondientes en este caso EPMAPA-T y Senagua, que se incremente el pago por el consumo de agua y riego para producción.

Los valores obtenidos en este estudio son una referencia para conocer la importancia del agua, pero toda mejora en el incremento va servir para lograr el eficiente uso del agua.

Se recomienda que la información geográfica para el modelamiento se encuentre en el mismo sistema de referencia para que no exista inconvenientes.

Para realizar la metodología de lógica difusa se recomienda tener criterios de expertos en el tema para un mejor manejo de la información.

Se recomienda que las entidades administrativas del cantón Tulcán, realicen estudios de acuerdo a las 6000 ha propuestas, para posteriormente poder declararlas como bosques de protección o corredores cuyo fin sea la conservación y el cuidado del páramo, a su vez generen estrategias para cuidar y mantener la extensión de la cobertura vegetal.

Los pobladores de la comuna la esperanza de la parroquia de Tufiño deben preveer que no se realicen actividades de ganadería o pastoreo en las zonas de interés propuestas, ya que estas actividades afectan a la flora y fauna endémicas de este ecosistema.

REFERENCIAS

- Aguiar, Hernan, & Alvarez , Rafael. (2015): Semestre Economico, Valoración económica de bienes ambientales, volumen 5.
- Arroyabe, M. et al. (2006): Revista de la Escuela de ingenieria de Antioquia, Impactos de las carreteras sobre la fauna silvestre y sus principales medidas de manejo, pp 45-57.
- Barbier, E.B. 1994. Valuing environmental functions: Tropical wetlands. *Land Economics* 70(2):155-173.
- Basan et al. (2017): Aqua Lac, sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano, pp 15-25.
- Beltran et al. (2009): Eco-Ciencia, Proyecto Páramo Andino, Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador.
- Bocco et al. (2002): Agricultura tècnica, Modelos multicriterio: una aplicación a la selección de alternativas productivas, volumen 62.
- Burbano, N. (2019): Situacion del agua potable en la ciudad de Tulcan. (S. Mejia, Entrevistador)
- Buytaert et al. (2006): *Earth Science*, Human impact on the hydrology of the Andean páramos, volumen 79, pp 53-79.
- Camacho, M. (2013): Revista Anales, los páramos ecuatorianos: caracterización y consideraciones para su conservación, volumen 1 numero 372.
- Campoblanco, Honorio & Gomero, Julio. (2000): Revista de Geologia, minas, metalurgia y ciencias geograficas, la importancia de los rios en el ambito ambiental.
- Campos, J. (2016): Banco Internacional de Desarrollo, tasa de descuento social y evaluación de proyectos: algunas reflexiones prácticas para América Latina y el caribe.
- Cañadas, L. (1983): El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador, Banco Central del Ecuador, pp 90-96.

- Chakhar, S. (2003): Enhancing geographical information systems capabilities with multi-criteria evaluation functions.
- Cisneros, V. M. (2011): Conservación de la biodiversidad o desarrollo social: una deliberación bioética, construcción de la variante Mocoa-San Francisco, Putumayo- Colombia
- CMMAD. (2005): Nuestro futuro común, Unesco el concepto de sustentabilidad.
- Conaf. (2013): Los humedales y la importancia de conservarlos, proyecto Chile Mexico.
- Condensan. (2016): Creación del Área de Conservación y Uso Sustentable de la Cordillera Oriental del Carchi.
- Corrales (2015): Las concesiones de agua: una revisión con criterios de equidad y eficiencia, Universidad del Valle- politicas publicas
- Cristeche, Estela, & Penna, Julio. (2008): Estudios socioeconomicos de la sustentabilidad de los sistemas de produccion y recursos naturales, métodos de valoración económica de los servicios ambientales, volumen 3.
- CSIC. (2016): Aeclim, Cambio Global, impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra.
- Cuatrecasas, J. (2017): Aspectos de la vegetación natural de Colombia. Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales parte 1.
- De Lazaro, Luisa & Gonzales, Jesus. (2005): Didactica Geografica, La utilidad de los sistemas de informacion geográfica para la enseñanza de la geografía, pp 105-122
- Delgado, A. (2015). Documento Tesis Valoración Económica de Bienes y servicios ambientales.
- Dimas , Malagón., & Pulido , Carlos. (2000): Revista de Ingenieria: Suelos del páramo Colombiano.
- Dixon, Jhon & Pagiola, Estefano. (1998): Environment Departament, Análisis Económico y Evaluación Ambiental.
- Duguit, L. (1931): Tratado constitucionale, Medio Ambiente y Metodos de Valoracion Economica.
- EC. (2009): Comision Europea, Bienes y servicios ecosistemicos.

- ESRI. (2016). Aplicar lógica difusa a rásteres de superposición.
- GAD Tulcán. (2015): Diagnostico Tulcan, Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Cantón Tulcan
- Garcés, S. (Noviembre de 2008): Letras Verdes, Areas protegidas y conservación en los países andinos : modelos,estrategias y participacion.
- Garcia, H. (2013): Fedesarrollo, Valoración de los bienes y servicios ambientales provistos por el Páramo de Santurbá.
- Gutierrez, C. G. (2017). El desarrollo sostenible, Conceptos basicos, alcance y criterios para su evaluacion.
- Hanley, N. (2009): Cost–Benefi t Analysis and Environmental Policy, Pricing Nature. En Cost–Benefi t Analysis and Environmental Policy ,pp 15,16.
- Hofstede, R. (2011): Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, Los Servicios del Páramo y la Evaluación de Ecosistemas del Milenio.
- INHAMI. (2003). Estudio de evaluacion del recurso hidrico superficial y subterraneo del canton Tulcan.
- LLambi, D et al. (2012). Ecología, hidrología y suelos de páramos.
- London Environmental Economics Centre. (1992): Biodiversity and Conservatio,Valuing environmental functions in developing countries, pp 34-50.
- Ministerio del Ambiente. (2018). Punto Verde, Sistema Nacional de Áreas Protegidas, Quito, Ecuador. Recuperado: <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/todas-areas-protegidaspor-region?t=S>
- MAE. (2006). Sistema nacional de áreas protegidas del ecuador - SNAP.
- Malagon et al.(2000). Génesis y taxonomía de los andisoles Colombianos.
- Maldonado, G., & De Brieve, B. (2011): Paramundi, 2do Congreso Mundial de Páramos Memorias.

- Medina ,Galo & Mena,Patricio. (2000): Asocam, El Páramo como espacio de mitigación de carbono atmosférico.
- Menger, C. (2017): Principios de economía política,Economía y Bienestar Economico, pp 69-101.
- Miquel, A. B. (2015): Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa, La medición del bienestar económico a través de las macromagnitudes de la contabilidad nacional.
- Modesto, M et al.(2018). 11 provincias del Ecuador se integran a favor del paramo.
- Montesino, J. L. (2013). Presencia institucional de las fuerzas armadas en países de américa latina y su impacto en la calidad de vida de la población.
- Olmeda, J. M. (2006): Reunión de economica mundial, El agua y su análisis desde la perspectiva económica: una aplicación para el crecimiento economico.
- OMS. (2005): World Health Organization, Ecosistemas y bienestar humano, Evaluacion de los ecosistemas del milenio,pp 12-27.
- Ortega, B. (2012): Extoikos, Análisis Coste-Beneficio, pp 145-150.
- Ortiz, D., & Viteri, P. (2002): Ecociencia,Páramos Paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado.
- Oyarzun, D. A. (2011). Valoración Económica de la Calidad Ambiental.
- Padilla,O.(2007): Revista Geoespacial, Fundamento teórico para modelizacion de variables ambientales ambientales mediante operadores difusos, pp 56-62.
- Perez, F. (2015). Medio ambiente, bienes ambientales y métodos de valoración,pp 119-158.
- Pietersen, K. (2006): Multiple criteria decision analysis (MCDA) a tool to support sustainable management of groundwater resources in South Africa, volumen 32,pp 119-128.
- Prakash, T. N. (2003): Institute for geo information science and earth observation enschede, Land suitability analysis for agricultural crops: A fuzzy multicriteria decision making.
- Riera, P. (2005). Manual de Economía Ambiental y los Recursos Naturales.

- Rivera , D., & Vargas, O. (1991): Revista de la univeridad de Tolima, el paramo un ecosistema fragil.
- Rodríguez et al. (2018). Revista Geoespacial, Beneficios económicos de la conservación de las áreas protegidas andinas, pp 112-116.
- Samuelson, P. (1950): Revista de economía política, evaluación de la renta nacional real, pp 66-113.
- Sarría, F. A. (2007): Universidad de Murcia,Sistemas de Información Geográfica.
- Suia. (2016). Ministerio del Ambiente, areas protegidas del Ecuador socio estrategico para el desarrollo.
- Tkach, R., & Simonovic, S. (1997). A New Approach to Multi-criteria Decision Making in Water Resources, volumen 1, pp 25-44.
- Tobar , J., & Paspuel, J. (2017): Revista Publicando, Valoración económica del servicio ambiental hídrico: para la ciudad de Tulcán, pp 135-140.
- Vargas et al. (2004). Propuesta de actividades de investigación para paramos.
- Vega,Esteban & Martinez,Diego.(2000). Productos económicamente sustentables y servicios ambientales del páramo.
- Villar, A. D. (2010). Universidad de Alcalá, Estudios de economía aplicada, los precios de los servicios del agua. Un análisis prospectivo de demanda sobre los usos domesticos, pp 333-356
- WWF. (2018): Planeta vivo, Fondo Mundial para la Naturaleza.
- Zegarra, E. (2014). Economía del agua conceptos y aplicaciones para una mejor gestión, pp 15-54.