

Universidad Estatal Amazónica



Centro de Postgrados

**Maestría en Agronomía
Mención Sistemas Agropecuarios**

Proyecto de Innovación

**Caracterización de la vulnerabilidad ambiental de la microcuenca
del Río Anzu mediante indicadores del paisaje**

**Autora: Mallury Elizabeth Coronado Zurita
Director: PhD. Carlos Alfredo Bravo Medina**

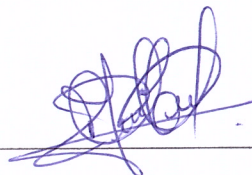
Puyo, Ecuador

2018

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

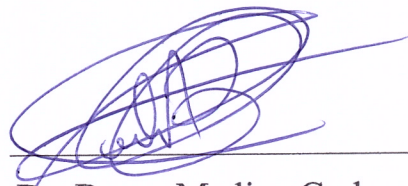
Quien suscribe, **Mallury Elizabeth Coronado Zurita** portadora de la cédula de identidad N° 1206485227, hace constar que es la autora del proyecto de innovación con el título “**Caracterización de la vulnerabilidad ambiental de la microcuenca del río Anzu mediante indicadores del paisaje**”, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del asesor de dicho trabajo, Dr. Carlos Alfredo Bravo Medina; en tal sentido, corresponde la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de conclusiones. Aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente, se ceden los derechos a la Universidad Estatal Amazónica para que pueda realizar publicaciones o almacenar el documento tanto en medio físico y electrónico para consultas.

En la ciudad de Puyo, a los 30 días del mes de octubre del dos mil dieciocho.



Mallury Elizabeth Coronado Z.

CI: 1206485227



Dr. Bravo Medina Carlos A, PhD.

CI. 1757015373



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

Centro de Postgrados

AVAL

Quien suscribe CARLOS ALFREDO BARVO MEDINA, director del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Innovación titulado: CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD AMBIENTAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO ANZU MEDIANTE INDICADORES DEL PAISAJE a cargo de MALLURY ELIZABETH CORONADO ZURITA, egresada de la primera cohorte de la Maestría en Agronomía mención Sistemas Agropecuarios de la Universidad Estatal Amazónica.

Certifico haber acompañado el proceso de elaboración del Proyecto de Innovación y considero cumple los lineamientos y orientaciones establecidas en la normativa vigente de la institución por lo que se encuentra listo para ser sustentado.

Por lo antes expuesto se avala el Proyecto de innovación para que sea presentado ante el Centro de Postgrados como forma de titulación como Magister en Agronomía mención Sistemas Agropecuarios y que dicha instancia considere el mismo a fin de que tramite lo que corresponda.

Para que a si conste, firmo la presente a los 30 días del mes de octubre de 2018.

Atentamente,

Dr. Bravo Medina Carlos A, PhD

DIRECTOR DE TESIS



Oficio No. 079-IL-UEA-2018

Puyo, 23 de Noviembre del 2018

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El trabajo de titulación correspondiente a la ING. **Mallury Elizabeth Coronado Zurita**, con C.I. **1206485227**, con el tema: “**CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD AMBIENTAL DE LA MICROCUENCA DEL RIO ANZU MEDIANTE INDICADORES DEL PAISAJE**”, de la Maestría en Agronomía, Mención Sistemas Agropecuarios, Director de Proyecto PhD. Carlos Alfredo Bravo Medina, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 1%, Informe generado con fecha 23 de noviembre de 2018 por parte del director, conforme archivo adjunto.

Particular que comunico para los fines pertinentes

Atentamente,

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco MSc.

ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND-UEA

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN
DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN**

Este Proyecto de Innovación fue revisado y aprobado por el siguiente tribunal de sustentación de la Universidad Estatal Amazónica

Dra. Ruth Arias Gutiérrez, PhD

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dr. Yoel Rodríguez Guerra, PhD

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Dra. Alina Ramírez Sánchez, PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

A:

Mis padres: Efraín Coronado y Nancy Zurita, a mi esposo Henry Navarrete, a mi asesor; Dr. Carlos Bravo, a mis hermanos; Marcia, Nelson, Mayra, Javier, Maricela, Fernando y Josselin y a todos los que me apoyaron..., por ser las personas especiales que inspiran mi vida, por el apoyo incondicional en momentos de desánimo y por ser el soporte en todo aspecto, por ustedes y para ustedes siempre seré mejor cada día.

AGRADECIMIENTO

A los profesores de postgrado, Maestría en Agronomía, de la Universidad Estatal Amazónica y a sus autoridades, expreso mi profundo agradecimiento ya que me dieron la oportunidad para obtener un nivel más de educación.

A mi asesor Dr. Carlos Bravo, que no solo fue un profesor, un tutor, sino una guía para no solo ser mejor sino ser excelente tanto en el aspecto profesional como personal.

A mi esposo Henry Navarrete por el apoyo y darme el tiempo que implica un período de postgrado. A mis padres: Efraín Coronado y Nancy Zurita; a mis hermanos; Marcia, Nelson, Mayra, Javier, Maricela, Fernando y Josselin por las palabras de aliento; sin ellos no tendría esperanzas de avanzar en la vida.

RESUMEN EJECUTIVO

Las cuencas hidrográficas, a nivel mundial son ecosistemas de importancia ambiental y es donde el humano interactúa de forma socioeconómica. El problema que afecta a las cuencas es la deforestación que reduce la capacidad de funcionamiento del suelo. El objetivo del estudio fue caracterizar la vulnerabilidad ambiental de la microcuenca del río Anzu mediante indicadores del paisaje. El área de estudio comprende una superficie de 255.99 km². Los indicadores de paisaje usados fueron: usos y coberturas del suelo, pendiente, rangos altitudinales, cercanías de las comunidades a los ríos y la red hídrica. La vulnerabilidad ambiental y la deforestación se cuantificaron mediante el análisis de imágenes satelitales RapidEye en el software ArcGIS 10.1 con parámetros de precisión de la matriz de confusión y del índice de Kappa. Los datos reflejaron que las coberturas de mayor presencia para el 2010 y 2017 son: el bosque primario, seguido por el bosque secundario, en este período el área boscosa perdió 295.85 ha. Otro uso que disminuyó fue el agrícola, que fue reemplazado por el bosque secundario, pastizal e infraestructura. La vulnerabilidad ambiental obtenida con la reclasificación de los indicadores de paisaje reflejó que la microcuenca tiene vulnerabilidad muy baja y solo Boayacu y Simón Bolívar tienen una vulnerabilidad media por ubicarse cerca al río Anzu. Los resultados de vulnerabilidad muestran la importancia de los bosques en la región amazónica ecuatoriana para minimizar riesgos de erosión en un paisaje caracterizado por altas precipitaciones y gran variabilidad topográfica.

Palabras Claves: Cuencas hidrográficas, erosión, riesgos, vulnerabilidad, deforestación.

ABSTRACT

At a global level, watersheds are ecosystems of environmental importance where the human interacts in a socioeconomic way. The problem that affects the basins is deforestation that reduces the capacity of the soil to function. The objective of the study was to characterize the environmental vulnerability of the Anzu river micro-basin based on landscape indicators. The study covered an area of 255.99 km². The landscape indicators used were: uses and covers of the soil, slope, altitudinal ranges, proximity of the communities to the rivers and the water network. Environmental vulnerability and deforestation were quantified by analyzing RapidEye satellite images in ArcGIS 10.1 software with precision parameters of the confusion matrix and the Kappa index. The data showed that the coverage with the greatest presence for 2010 and 2017 is: the primary forest, followed by the secondary forest, in this period the forest area lost 295.85 ha. Another use that decreased was agriculture, which was replaced by secondary forest, pasture and infrastructure. The environmental vulnerability obtained with the reclassification of the landscape indicators showed that the microbasin has very low vulnerability and only Boayacu and Simon Bolívar have an average vulnerability because they are close to the Anzu River. The results of vulnerability show the importance of forests in the Ecuadorian Amazon region to minimize risks of erosion in a landscape characterized by high rainfall and great topographic variability.

Key words: Watersheds, erosion, risks, vulnerability, deforestation

TABLA DE CONTENIDOS

CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
PROBLEMA CIENTÍFICO.....	4
HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	4
OBJETIVOS	5
CAPITULO II	6
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	6
2.1 Caracterización de la Región Amazónica Ecuatoriana	6
2.2 Modelo conceptual de cuenca hidrográfica y vulnerabilidad ambiental	7
2.3 Indicadores del paisaje para la determinación de la vulnerabilidad ambiental	9
2.4 Efectos de vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas	11
CAPITULO III.....	14
MATERIALES Y MÉTODOS	14
3.1 Área de estudio.....	14
3.2 Tipo de investigación	15
3.3 Métodos de investigación.....	15
3.4 Tratamiento de los datos	15
3.5 Procedimiento metodológico.....	16
FASE 1	17
3.5.1 Recopilación de información	17
3.5.2 Tratamiento de las imágenes satelitales	17
3.5.3 Análisis multitemporal	21
FASE 2	21
3.6 Descripción de parámetros morfométricos de la microcuenca del río Anzu.....	21
3.7 Indicadores de impactos a nivel de cuenca (Paisaje).....	22
3.8 Elaboración de los mapas temáticos.....	23
3.9 Determinación de la vulnerabilidad ambiental del área de estudio	24

3.10 Recursos humanos y materiales	25
CAPÍTULO IV	26
RESULTADOS Y DISCUSION.....	26
4.1 Cuantificación de la deforestación mediante el análisis multitemporal: 2010 -2017.....	26
4.1.1 Resultados del tratamiento de imágenes satelitales: 2010 - 2017	26
4.1.2 Cambios de la cobertura vegetal para el periodo: 2010 – 2017 de la microcuenca del río Anzu..	29
4.2 Mapas temáticos mediante el uso de indicadores del paisaje.....	31
4.2.1 Parámetros morfométricos de la microcuenca del río Anzu	31
4.2.2 Mapas temáticos generados a partir del procesamiento de las imágenes	34
Usos y Coberturas (2010 y 2017) de la microcuenca del río Anzu.....	34
Pendientes de la microcuenca del río Anzu	37
Rangos Altitudinales o Zonas de Elevación de la microcuenca del río Anzu.....	39
Red Hídrica y Tributarios del río Anzu.....	41
4.3 Cuantificación de la vulnerabilidad ambiental	43
CAPITULO V	46
CONCLUSIONES	46
RECOMENDACIONES	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXOS.....	54

INDICE DE FIGURAS, TABLAS Y ANEXOS

FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.	14
Figura 2. Descripción sintetizada del proceso metodológica del proyecto	16
Figura 3. Rangos de reflectividad y longitud de onda de las imágenes RapidEye.....	18
Figura 4. Mapas de los usos y coberturas del suelo para el periodo 2010 - 2017	29
Figura 5. Parámetros morfométricos de la microcuenca del Río Anzu.....	32
Figura 6. Distribución espacial de los usos y coberturas del suelo del año 2010.....	35
Figura 7. Distribución espacial de los usos y coberturas del suelo del año 2017.....	36
Figura 8. Distribución espacial de la pendiente en la microcuenca del río Anzu.....	38
Figura 9. Rangos altitudinales del área de estudio.	40
Figura 10. Red hídrica y los tributarios del río Anzu.....	41
Figura 11. Cuantificación de la vulnerabilidad ambiental de la microcuenca del río Anzu.....	43

TABLAS

Tabla 1. Categorización del coeficiente de Kappa.....	19
Tabla 2. Clasificación de la vulnerabilidad	24
Tabla 3: Matriz de confusión entre categorías de los usos y coberturas del suelo del año 2010	26
Tabla 4: Matriz de confusión entre categorías de los usos y coberturas del suelo del año 2017	27
Tabla 5. Valores de la precisión y errores entre categorías de los usos y coberturas del suelo del año 2010 - 2017	28
Tabla 6. Valores de la precisión global y del estadístico índice de Kappa de la clasificación supervisada del periodo: 2010 - 2017.	28
Tabla 7. Pérdidas y ganancias en los usos y coberturas del suelo	30
Tabla 8. Resumen de Índices y Parámetros de la microcuenca del Río Anzu	33

ANEXOS

Anexo 1. Características técnicas al momento de la compra de las imágenes RapidEye.	54
Anexo 2. Mosaico de imágenes y la distribución de los puntos de control para la clasificación supervisada.....	54
Anexo 3. Mosaico de cultivos que se desarrollan dentro del área de la microcuenca del Río Anzu	55

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas a nivel mundial son ecosistemas de gran importancia ambiental por su gran diversidad biológica, paisajística, cultural y prioritariamente por su capacidad de retención y regulación de agua. No obstante, para impulsar una adecuada gestión en las cuencas y promover el uso sostenible especialmente de los bosques y ecosistemas, es fundamental contar con información necesaria sobre el estado de los recursos (FAO, 2015).

La región Amazónica comprende alrededor del 45% del territorio ecuatoriano, caracterizada por condiciones climáticas muy lluviosas, con suelos muy susceptibles al lavado de nutrientes y de erosión lo que dificulta actividades agropecuarias (Torres *et al.*, 2017). En esta región predominan suelos clasificados como Inceptisoles, de pH ácidos y caracterizados por un bajo nivel de fertilidad, bajo contenido de nutrientes y altos contenidos de materia orgánica, lo que limita el desarrollo agrícola (Nieto y Caicedo, 2012; Bravo *et al.*, 2017b). En las seis provincias que integran la región amazónica ecuatoriana, la actividad principal es la agricultura tradicional y de subsistencia, esta última a menor escala y se da con limitaciones por la fragilidad de los suelos para mantener la capacidad productiva por varios años.

La vulnerabilidad en cuencas hidrográficas es la combinación de factores antropogénicos y ambientales acompañados de las condiciones morfométricas de las cuencas. Actualmente, este fenómeno corresponde a una de las mayores preocupaciones a nivel mundial, porque inciden en los usos y coberturas del suelo, calidad del agua, fragmentación de bosques, ciclo hidrológico, erosión y degradación de suelos, lo que genera un peligro para las comunidades humanas. La vulnerabilidad para Gaspari *et al.*, (2011) “*es la relación entre una condición en referencia a otra, donde se manifiesta el riesgo y el peligro*”. La vulnerabilidad ambiental hace referencia a que el medio y los recursos naturales pueden sufrir cambios, daños o pérdidas en sus componentes físicos o/y biológicos (Gaspari *et al.*, 2011; Valencia *et al.*, 2014).

En América Latina y el Caribe (ALC) por depender de los recursos naturales para la generación de los productos de consumo, la vulnerabilidad ambiental es causada por la variabilidad climática y la deforestación, por lo tanto, figura entre las más afectadas. Pese a que ha mejorado

procesos de conservación, aun en muchos países de ALC tienen una alta vulnerabilidad a la variación climática. Esta variación recae en su mayoría sobre los pequeños agricultores, debido al bajo acceso a tecnología, insumos, información y capacidad adquisitiva para adoptar medidas de mitigación. Es así que entre el 2000 al 2013, las pérdidas económicas estimadas ascendieron a los 52 mil millones de dólares, 13,883 muertos y 53.8 millones de personas fueron afectadas por eventos climáticos extremos (FAO, 2015).

En Ecuador, los aspectos negativos de la vulnerabilidad ambiental impactan en las cuatro regiones del país; Insular, Costa, Sierra y Amazonía. En la región interandina, pequeños productores ocupan áreas productivas reducidas y sobre utilizadas, situación que conlleva a la erosión de suelos, pérdida de la capacidad productiva, contaminación de agua y ampliación de la frontera agrícola hacia zonas frágiles como los páramos (Bravo *et al.*, 2017).

El problema en el Ecuador y en especial en la región Amazónica ecuatoriana es que la tasa de deforestación se ha incrementado. Todo ello debido entre otras razones, al cambio en el uso de la tierra, al incremento de la ganadería, la expansión de la colonización y a la construcción de carreteras clandestinas. Para el período 1990 al 2000 fueron deforestadas 32,655 ha, las provincias amazónicas con mayores tasas de deforestación fueron Sucumbíos y Orellana en cuyas provincias se hizo más flexible los trámites de permisos por parte del Ministerio del Ambiente (MAE). Para este periodo las menores tasas corresponden a la provincia de Pastaza y Napo. En el segundo periodo; 2000-2008 la deforestación afectó 38,036 ha; las provincias de Zamora Chinchipe, Morona Santiago y Pastaza presentaron las mayores tasas e incluso hubo un incremento sustancial con respecto al periodo anterior. La provincia de Napo, si bien, registró un incremento mínimo, es la que exhibe menor tasa de deforestación debido principalmente a que es una de las provincias con mayor superficie de zonas bajo régimen especial (parques, zonas de Biosfera; bosque protector; zonas de reserva natural, reservas biológicas, estaciones ecológicas o biológicas, refugios de vida silvestre) (Bravo *et al.*, 2017).

La deforestación afecta la capacidad de funcionamiento del suelo, es un indicador de la poca difusión y ausencia de procesos técnicos de zonificación influyendo directamente en un desordenado crecimiento de las actividades productivas poco rentables, incrementando la frontera agrícola, afectando principalmente zonas de alta biodiversidad y se manifiesta en

poblaciones rurales con pobreza (Bravo *et al.*, 2017). Estos efectos se contrastan en una economía que se basa en la agricultura para obtener ingresos y satisfacer sus necesidades. Mientras que la gestión sostenible de los recursos naturales presenta un desafío ante variables ambientales.

Es así como el problema de la deforestación toma mayor impacto a nivel nacional, según datos del MAE para el periodo 2008 al 2012 fueron deforestadas 65,880 ha, una cantidad menor desde el 2000 al 2008 que fue de 77,647 ha. El MAE estima en base a la tendencia de deforestación, que fue baja en el 2008 al 2012, determinan que se deforestaron 55,000 ha anuales desde el 2013 al 2017, lo que prevén que, para ese lapso, la tasa acumulada de deforestación es de 220,000 ha a nivel nacional. Cuantificaron económicamente que en ese ciclo las pérdidas por bienes y servicios ecosistémicos ascienden a los USD 301'154,042 (MAE, 2014).

El área de la microcuenca se encuentra en la jurisdicción de la provincia de Pastaza y es parte de la cuenca del río Napo, este representa un sistema fluvial importante tanto social, económico y productivo por conectar a las provincias de Napo y Orellana. Por las fuertes precipitaciones durante todo el año en la parte alta de la cuenca, se produce pérdidas de suelo por la acción erosiva de la corriente de agua y problemas de inundación en especial en la cuenca baja. Por la red de drenaje del área que abarca la localización, objeto de estudio se categoriza como microcuenca ya que sus aguas circulan al curso principal a una unidad un poco más grande, es decir a una subcuenca (Faustino y Jiménez, 2000).

El proyecto se compone por cinco capítulos, en el uno corresponde a una introducción, con su respectivo problema, hipótesis y objetivos. En el capítulo dos se da a conocer las generalidades (referencias bibliográficas) de la situación de la vulnerabilidad ambiental a nivel de cuencas hidrográficas y como éstas se han visto afectadas por factores como la deforestación que es el problema principal que ha generado pérdidas y cambios de la cobertura boscosa. El capítulo tres detalla el proceso metodológico hasta llegar a la vulnerabilidad ambiental de la microcuenca del río Anzu el cual consistió en realizar un procesamiento de imágenes satelitales multiespectrales RapidEye de dos diferentes años; 2010 y 2017 aplicando una clasificación supervisada y parámetros de precisión como el índice de Kappa y la matriz de confusión. En el capítulo cuatro se discute los resultados donde se conoció la situación de la cobertura vegetal en cuanto al periodo analizado (2010 - 2017) que se evidenció que la cobertura boscosa tuvo una reducción

de alrededor de 300 ha mientras que el bosque secundario, pastizales e infraestructura tuvieron un incremento. Así mismo se generaron mapas temáticos que fueron los insumos principales para generar el mapa de vulnerabilidad ambiental de la microcuenca. En el capítulo cinco se llega a las conclusiones basadas en el análisis de los resultados de la investigación, así mismo se realizan recomendaciones considerando que este estudio es una línea base que sirve para complementar a otros estudios futuros.

PROBLEMA CIENTÍFICO

En la Región Amazónica Ecuatoriana existe una alta deforestación causada por el avance de frontera agrícola que afecta los recursos naturales e incrementa la vulnerabilidad ambiental.

HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

El cambio de uso del suelo producto de la deforestación y el avance de la frontera agrícola podría incrementar la vulnerabilidad ambiental de la microcuenca del río Anzu y conducirá a la degradación de sus recursos.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la vulnerabilidad ambiental de la microcuenca del Río Anzu mediante indicadores del paisaje.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Cuantificar la deforestación en el periodo 2010 y 2017 mediante un análisis multitemporal del área de estudio.
- Generar mapas temáticos mediante el uso de indicadores del paisaje como: usos y coberturas de suelo, pendiente, rangos de elevación, distancias desde el río a las comunidades y la red hídrica.
- Determinar áreas de vulnerabilidad ambiental mediante mapas temáticos a través de la técnica algebra de mapas y reclasificación manual

CAPITULO II

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2.1 Caracterización de la Región Amazónica Ecuatoriana

La Amazonia Ecuatoriana contiene parte de las mayores reservas ecológicas, fundamentalmente por la riqueza biológica y el endemismo. También se suman los servicios ecosistémicos que ayudan a sostener poblaciones locales. Los cambios que ha experimentado la región como la deforestación, cambios del uso del suelo, afectaciones sobre el suelo y agua, afecta los ecosistemas amazónicos (Nieto y Caicedo, 2012; Bravo *et al.*, 2017).

Consecuentemente el cambio del uso de suelo por las actividades agropecuarias son factores de la pérdida, disminución de la fertilidad y calidad del suelo, así como también la extinción de biodiversidad. Como ejemplo de ello, un estudio multitemporal demostró que alrededor de un millón de hectáreas que comprenden la reserva de Biosfera Sumaco (RBS), un 8.35% se correspondieron a sistemas de ganadería con pastos de monocultivos y parches de sistemas silvopastoriles con árboles esporádicos (MAE y GTZ, 2008). Para el año 2013, estos mismos sistemas alcanzaron el 9.40% de toda la superficie de la RBS (MAE y GIZ, 2013), lo que demuestra que en estos cinco años 9,000 hectáreas fueron convertidas en áreas con pastos, sugiriendo que los sistemas ganaderos son la principal actividad productiva en la RBS (Torres *et al.*, 2014).

El 31% del área que corresponde al suelo amazónico ecuatoriano es destinado a la producción de pasto, donde el 70% es de pastizales en monocultivos. Estos cultivos y el cambio de la cobertura boscosa desencadenan otros impactos ambientales que aceleran la disminución de la calidad y disponibilidad de agua, la erosión del suelo y la pérdida de materia orgánica alterando la funcionalidad edáfica (Bravo *et al.*, 2015, Bravo *et al.*, 2017). Este escenario favorece que la Amazonia ecuatoriana presente fragilidad y vulnerabilidad sobre el avance de la frontera agrícola (Bravo *et al.*, 2017).

Bajo esta perspectiva, los bosques proporcionan multitud de servicios ecosistémicos, entre los que se destacan la absorción de carbono atmosférico, la producción de madera, la retención de agua en el suelo y el control del clima. Los bosques albergan, entre el 50% y el 90% de todas

las especies terrestres de animales y plantas (MEA, 2005), y cumplen un papel fundamental como refugio de fauna, incluyendo aquellas que están en peligro y es objeto de conservación (García y Morales, 2016)

Desde el punto de vista agroecológico y sustentable, cualquier establecimiento de un sistema de producción debe estar ligado a usos compatibles con el bosque, se sabe que el 52.7% del territorio amazónico ecuatoriano tiene potencial para este uso (Nieto y Caicedo, 2012). Las actividades agropecuarias tradicionales se encuentran limitadas por las condiciones climáticas (lluvias extremas), suelos pocos fértiles y susceptibles al lavado de nutrientes (Bravo *et al.*, 2015).

2.2 Modelo conceptual de cuenca hidrográfica y vulnerabilidad ambiental

Una cuenca hidrográfica se define como una unidad formada por sistemas bióticos y abióticos, de áreas variables delimitados por relieves o líneas divisorias (parte agua) que drenan el agua hacia un mismo punto más bajo. Es en esta superficie que el hombre interactúa con actividades económicas, sociales y políticas (Gutiérrez, 2009). Como unidad de estudio representan gran importancia ambiental, ofrecen además una oportunidad que promueven el bienestar humano y proteger los ecosistemas. Es necesario entender los procesos e interrelaciones que ocurren en el entorno de una cuenca hidrográfica. Por lo tanto, la importancia de la caracterización de los recursos y condiciones ambientales apremian resultados en función a la gestión territorial. Ciertos factores de riesgo preceden de relaciones entre amenazas físicas y la vulnerabilidad de sus pobladores o de un componente dentro de la cuenca. Las amenazas pueden clasificarse de acuerdo con su origen como: naturales, socio-naturales y antropogénicos, estos son eventos físicos latentes o dañinos en el futuro (Marín *et al.*, 2017).

La vulnerabilidad se entiende como la posibilidad o probabilidad de pérdida de biodiversidad, recursos naturales o productividad de un sistema frente a una amenaza latente. La vulnerabilidad también se asocia con el grado de resiliencia o de afrontar adversidades efectuadas por el cambio climático, la variabilidad climática y eventos extremos (Altieri y Nicholls, 2013).

La vulnerabilidad ambiental puede entenderse como el grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos negativos del cambio climático y, en particular, la variabilidad del clima y de los fenómenos extremos. Esta dependerá del carácter y magnitud del cambio climático al que está sometido un sistema, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación (IPCC, 2008). Otros autores definen la vulnerabilidad como la posibilidad o inminencia de pérdida de biodiversidad, recursos (suelo, agua, vegetación, fauna), o productividad de un ecosistema o agroecosistema, así como de sus características socio culturales claves frente a un proceso amenazante (Altieri y Nicholls, 2013). Al respecto, Smith & Olensen en el 2010, describen tres dimensiones de la vulnerabilidad:

- a. **Exposición (riesgo):** consiste en la probabilidad de un proceso amenazante de afectar un área por un período específico de tiempo. La predisposición o sensibilidad de un área a la amenaza constituye un componente de la exposición.
- b. **Intensidad:** incluye la magnitud, intensidad y frecuencia del proceso amenazante como por ejemplo un evento climático extremo.
- c. **Impacto:** hace referencia a los efectos del proceso amenazante sobre características particulares como efectos sobre abundancia o persistencia de ciertas especies, calidad del suelo, rendimientos, entre otros. En general el impacto de un proceso amenazante sobre características del sistema está determinado por la intensidad del evento y la sensibilidad del sistema.

El riesgo resultante será un producto de la relación entre la amenaza, vulnerabilidad, y capacidad de respuesta como la describe la siguiente ecuación (Lavell, 2003):

$$Riesgo = \frac{Amenaza+vulnerabilidad}{Capacidad\ de\ respuesta} \quad [1]$$

El riesgo se define como cualquier fenómeno de origen natural (huracán, sequía, inundación, entre otros), que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada de productores expuesto al fenómeno (Altieri y Nicholls, 2013). Los factores del riesgo derivan de la relación dinámica entre las llamadas amenazas físicas y las vulnerabilidades de una sociedad o un componente en particular de ésta. Las amenazas son eventos físicos latentes, o sea probabilidades de ocurrencia de eventos físicos dañinos en el futuro, y pueden

clasificarse genéricamente de acuerdo con su origen, como “naturales”, “socio-naturales”, o “antropogénicos” (Lavell, 2003).

El análisis de los factores de riesgos para una cuenca en particular, indican que las amenazas derivan en una intersección de prácticas humanas como por ejemplo deforestación, desestabilización de laderas por avance de la frontera agrícola, siembra de hortalizas con manejo convencional (monocultivo) y el asentamiento de comunidades en ambientes frágiles (IPCC, 2008). Así, un número importante de eventos físicos como inundaciones, deslizamientos, sequías, erosión de suelos y colapsos de tierra son generados o acentuados por dichas prácticas.

En resumen, la **vulnerabilidad ambiental** denota la incapacidad de una comunidad de productores para absorber, mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, o sea su inflexibilidad o incapacidad para adaptarse a ese cambio, que para la comunidad constituye un riesgo. Por otra parte, **la amenaza**, para la comunidad se considera la probabilidad de que ocurra un riesgo (intensidad y frecuencia) frente al cual tanto la comunidad particular y sus fincas son vulnerables (Altieri y Nicholls, 2013).

La vulnerabilidad, puede ser reducida por la capacidad de respuesta, entendida como los atributos de las comunidades o fincas, así como las estrategias y manejos que usan los productores para reducir los riesgos de eventos climáticos, para resistir y recuperarse de los daños causados por dichos eventos.

2.3 Indicadores del paisaje para la determinación de la vulnerabilidad ambiental

El paisaje como parte de los recursos no renovables es fácilmente depreciable, difícilmente recuperable, es la representación visual del medio y se entiende como un área heterogénea, compuesta por sistemas bióticos y abióticos en interacción. Se basa en procesos y actividades del suelo, plantas, animales, hombre y con capacidad de transformación. Al paisaje puede analizarse como un indicador ambiental, cultural o como fuente de información de un territorio. Así mismo se define por la combinación de ecosistemas, interacciones, geomorfología y clima. La belleza escénica es uno de los factores de la valoración del paisaje, principalmente por la presencia de fauna, disponibilidad de agua y cobertura vegetal (Muñoz, 2004; Marull *et al.*, 2006).

La planificación del paisaje, la preservación y conservación incluye connotaciones ecológicas y sistemáticas ante elementos naturales y artificiales que lo integran. Su gestión está dirigida a la planificación territorial integral, es así como los estudios de paisaje deben ser herramientas e insumos de planificación y desarrollo ya que el paisaje permite determinar actividades para tomar medidas de conservación de espacios naturales (Muñoz, 2004).

El paisaje como unidad heterogénea brinda novedosos espacios para el ser humano, su uso inapropiado rebaja la estabilidad de su composición (Muñoz, 2004). Factores como los indicadores de paisaje ayudan a medir la dimensión de las amenazas o afectaciones en el entorno de una cuenca hidrográfica y algunos de ellos pueden ser (Altieri y Nicholls, 2013):

Indicador	Descripción
Diversidad Paisajística	Se refiere a los usos y coberturas del suelo, cantidad de laderas, zonas bajas, variedad de sistemas de producción que tenga la comunidad o fincas. Mientras mayor diversidad paisajística, menor oportunidad de un desastre total ya que los diferentes sistemas desplazados sobre diversas pendientes con diferentes exposiciones sufrirán diversos niveles de daños.
Pendiente	Mientras mayor pendiente se debiera esperar mayor daño. Pendientes mayores a un 20 % se consideran riesgosas y limitan las actividades antropogénicas.
Orientación de la pendiente.	Las Fincas localizadas sobre laderas expuestas a los vientos y lluvias dominantes sufrirán más daño, ya que son altamente susceptibles a deslizamientos o erosión en masa.
Cercanías a bosques	Fincas aledañas a bosques que intercepten los vientos y lluvias excesivas, estarían menos expuestas a los daños directos y podrían aprovechar otros beneficios como proporción de insectos benéficos.
Prácticas de Conservación (Cercas Vivas o barreras rompe vientos).	Dependiendo de la composición vegetal, la altura del dosel, número de estratos, ubicación, practicas agroecológicas (agroforestería, agrosilvopastoril) existirá una mayor protección de los recursos y tener un mayor efecto sobre la sustentabilidad de las comunidades y fincas.

Cercanías a ríos	Comunidades o fincas localizadas en zonas bajas cercanas a los ríos pueden sufrir inundaciones que duran algunos días con efectos negativos.
-------------------------	--

2.4 Efectos de vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas

La vulnerabilidad ambiental representa actualmente uno de los mayores problemas para las comunidades actuales. En este contexto, las obras civiles y asentamientos humanos desordenados establecidos en tierras inundables con poca planificación y sin planes de emergencia son indicios de alta vulnerabilidad, en especial, la parte baja de una cuenca hidrográfica (Noriega *et al.*, 2011). La herramienta para ayudar a mitigar la vulnerabilidad ambiental es la planificación territorial, que permite establecer pautas por medio de ambientes que se acoplan como referencia y que proponen acciones futuras (Gaspari *et al.*, 2011).

En los últimos años se ha realizado algunos estudios a partir de indicadores de paisaje que determinan la vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas. Uno de ellos es el desarrollado por Marín *et al.*, (2017) en la cuenca alta del río San Pedro, estado Miranda, Venezuela, mediante la elaboración de mapas temáticos con el uso de los SIG y con categorizaciones de cinco niveles de vulnerabilidad ambiental; muy baja (1), baja (2), media (3), alta (4) y muy alta (5). Con esta metodología demostró que la vulnerabilidad por inundación en la subcuenca siguió la siguiente tendencia: clase media 33.75%, baja 31.91%, muy baja 26.86%, alta 6.12% y muy alta 1.37%. Las clases alta y muy alta corresponde a comunidades cercanas al río, caracterizadas por la presencia de desarrollo urbano, alta actividad agrícola, sugiriendo un alto riesgo por inundación. Mientras que la vulnerabilidad por desplazamiento registró una distribución; media 50.58% y baja 36.25%, el resto de las clases como alta, muy baja y muy alta mostraron porcentajes de 9.37, 3.29 y 0.41 respectivamente. Las clases de vulnerabilidad alta y muy alta se caracterizaron por tener mayor intervención antrópica, suelos con pendientes mayores a 30% con cultivos pocos protectores lo que favorece a la vulnerabilidad de la zona.

Otro estudio que analizó la vulnerabilidad y riesgo a inundaciones en cuencas hidrográficas fue en el distrito de Santa Marta, Colombia, mediante las comparaciones de tres sectores de intra e intersectorial los que determinaron que la cuenca baja del río Gaira sufrió cíclicamente en los últimos cinco años inundaciones. Todo ello fuertemente relacionado por las acciones antrópicas

la cual alcanzó un 69.5% y un valor promedio de 2.78 que ubicó a esa parte de la cuenca en una alta vulnerabilidad (Noriega *et al.*, 2011).

La evaluación de la vulnerabilidad social ante amenazas naturales en Manzanillo (Colima), Colombia realizada mediante el análisis de componentes principales determinó que los sectores con más bajo nivel económico de la ciudad Manzanillo presentan una alta vulnerabilidad ante las amenazas naturales (Bohórquez, 2013). Así mismo, la metodología para el análisis de vulnerabilidad en cuencas abastecedoras de agua ante la variabilidad climática consideró elementos como:

1. Incorporación de indicadores pertinentes para fuentes abastecedoras de acueductos municipales
2. Saberes locales sobre percepción, clima e identificación de problemáticas relacionadas
3. Procedimientos matemáticos y ajuste del algoritmo para calcular la vulnerabilidad
4. Articulación con instrumentos de planificación territorial

Estos elementos mostraron que la vulnerabilidad puede variar de acuerdo con la zona. Esto dio como resultado que la vulnerabilidad en el escenario actual de la subcuenca del río Las Piedras (Popayán), Colombia es media baja (0.42), producto de la capacidad adaptativa generada por procesos sinérgicos desarrollados entre los actores locales; en contraste, la subcuenca del río Michicao (Cajibío) presenta una vulnerabilidad media alta (0.54), debido a la desarticulación social, baja presencia institucional y nula inversión ambiental (Valencia *et al.*, 2014).

En diferentes contextos, las cuencas hidrográficas están en estado de vulnerabilidad tanto en aspecto económico, social y ambiental. Esta vulnerabilidad se traduce en procesos de degradación que luego impactan en la productividad agrícola y recursos hídricos (Gaspari *et al.*, 2011). A esto se suma eventos de separación de hábitats en fragmentos de menor tamaño, lo que conlleva a disminuir la conectividad de poblaciones que provoca la mayor pérdida de biodiversidad. En el análisis de fragmentación de ecosistemas realizado por el MAE, (2015) en el Ecuador usaron cuatro índices que describen la configuración espacial de los fragmentos de cobertura que componen un ecosistema: Número de parches (NumP), tamaño medio del parche (MPS), coeficiente de variación del tamaño del parche (PSCOV) y distancia media al vecino más cercano (MNN). Concluyen que 23 ecosistemas naturales presentan un nivel muy alto de

fragmentación, 24 ecosistemas en categoría alta, 34 en un nivel medio y 6 ecosistemas en un rango bajo de fragmentación. En este sentido, el deterioro y la fragmentación de los ecosistemas con la consecuente pérdida de biodiversidad constituyen uno de los problemas más graves que enfrenta el manejo sostenible de los ecosistemas en el país.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

El área de estudio se localizó en la microcuenca del río Anzú que corresponde a la cuenca alta del río Napo. Las altitudes que oscilan en esta zona son de 700 a 2800 msnm con una superficie aproximada de 255 km². Los límites geográficos de la microcuenca son: al norte con 9859829 en el eje Y, al sur con 9841814 en el eje Y, al este con 179297 en el eje X y al oeste con 152613 en el eje X

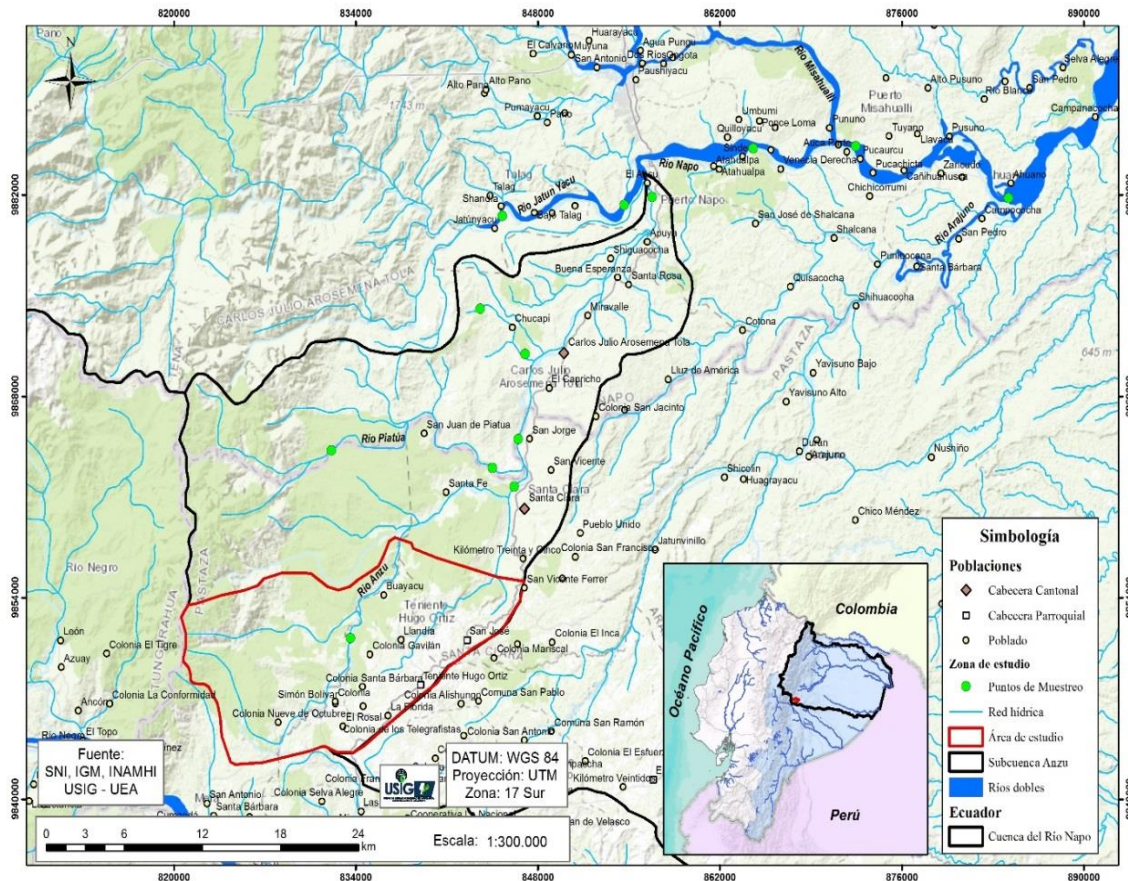


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

La microcuenca comprende una gran diversidad de comunidades asentadas a lo largo de su territorio que corresponde a la provincia de Pastaza. (figura 1). Las comunidades que se encontraron dentro del área de estudio son: Llandia, Colonia Nueve de Octubre, Boayacu,

Colonia Santa Bárbara, Simón Bolívar, Colonia La Florida, San José, Teniente Hugo Ortiz, Colonia de los Telegrafistas y Colonia Gavilán.

3.2 Tipo de investigación

El presente estudio fortalece la línea de investigación: Gestión y conservación ambiental y está inmerso en el proyecto: Gestión de riesgo socioambiental de comunidades localizadas en la cuenca alta del Río Napo, Región Amazónica Ecuatoriana frente al cambio climático global. Se enmarca en la investigación descriptiva debido a que se describe los productos resultantes del análisis de imágenes satelitales y principalmente la vulnerabilidad ambiental según los niveles de impacto

3.3 Métodos de investigación

El método que se usó en este proyecto fue el analítico, ya que se describió y analizó cada uno de los indicadores de paisaje en función a parámetros; rangos y porcentajes que condujeron a cuantificar la vulnerabilidad ambiental.

3.4 Tratamiento de los datos

Estadísticamente los datos fueron obtenidos a partir de una clasificación de máxima probabilidad que fue proporcionada por el software ArcGis al momento de llevar a cabo la clasificación supervisada. Este método consiste en que las clases se ajustan a una distribución normal permitiendo describir dicha categoría en función a la probabilidad, media, matriz de varianzas y covarianzas. Esa función asemeja la distribución real de los datos al momento de calcular la probabilidad de un píxel que corresponde a las determinadas categorías (Chuvieco, 2008; Quirós 2009)

En cuanto al álgebra de mapas, este algoritmo u operador lógico matemático está diseñado para generar otras capas a partir de otras, es decir, sumar, restar y multiplicar. Estos operadores están dados partir de programación Python. La reclasificación manual permite editar manualmente aquellos huecos que se quedaron en el álgebra de mapas (ESRI, 2018).

3.5 Procedimiento metodológico

Consistió en sistematizar procesos que permitió articular paso a paso el desarrollo del estudio por objetivo específico hasta llegar a la cuantificación de la vulnerabilidad ambiental (figura 2):

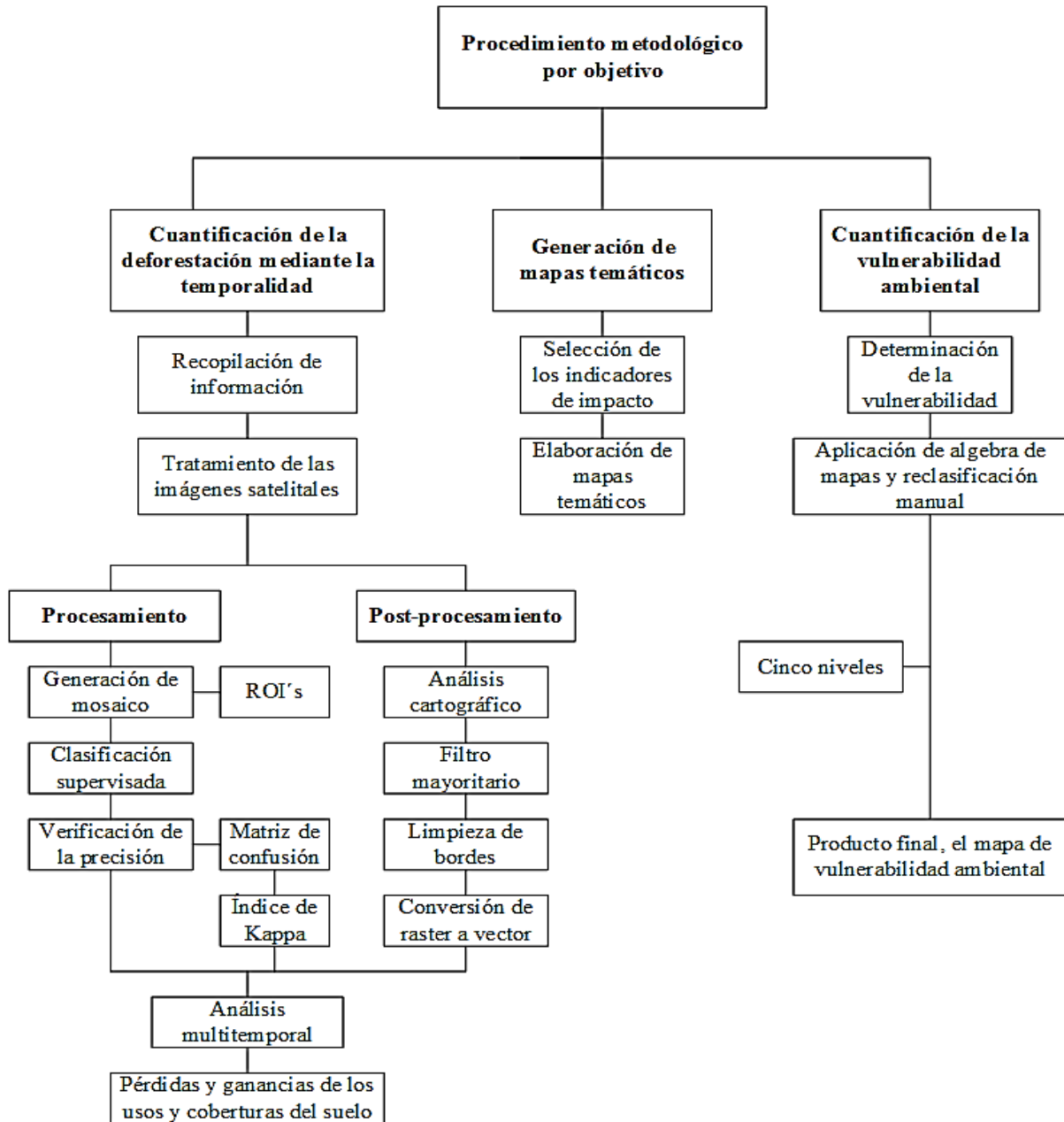


Figura 2. Descripción sintetizada del proceso metodológica del proyecto

FASE 1

3.5.1 Recopilación de información

Esta etapa se desarrolló durante los primeros dos meses del proyecto. Consistió en la búsqueda, análisis e interpretación de artículos relacionados con la investigación y ortofotos multiespectrales.

Las imágenes satelitales usadas en el proyecto corresponden al satélite RapidEye y fueron adquiridas en el mes de junio del presente año a los representantes de Sas-Planet, distribuidores oficiales en el Ecuador (Sas-Planet, 2018). Las imágenes cuentan con una orto rectificación y tienen una resolución espacial o tamaño de pixel de 5 x 5 m, es decir de 25 m², cuentan con cinco bandas espectrales, lo que se les denomina; multiespectral, las primeras tres bandas corresponden al espectro visible: Azul de 440 a 510 nanómetros - nm, Verde de 520 a 590 nm y la Roja de 630 a 685 nm, la cuarta al Borde Rojo de 690 a 730 nm y la quinta al Infrarrojo cercano de 760 a 850 nm (anexo 1). La banda del Borde Rojo o Red Edge es capaz de proporcionar información sobre el estado nutricional y las características de la cobertura vegetal (Weichelt et al. s.f.).

3.5.2 Tratamiento de las imágenes satelitales

Con el fin de identificar los usos y coberturas del suelo, comunidades y la construcción de diferentes mapas temáticos el tratamiento de las imágenes satelitales se realizó en dos etapas: procesamiento y post-procesamiento, el preprocesamiento no se realizó debido a que las imágenes satelitales ya contaron con una ortorrectificación:

Etapa 1: Procesamiento: se realizó:

Mosaico de imágenes: se creó el mosaico para cada año; 2010 y 2017. Mosaico comprende a la unión de varias imágenes en una sola. Este proceso se llevó a cabo mediante las herramientas del software ArcGIS® versión 10.1 (figura 2). ArcGIS es un software desarrollado en 1969 por Environmental Systems Research Institute (ESRI), con el fin de agrupar varias aplicaciones para captura, edición, análisis, tratamiento y diseño de información geográfica. Dentro del paquete de productos que ESRI ofrece, entre los más destacados están: ArcGis Server, Móvil, Desktop (ESRI, 2018).

Para la conformación de los mosaicos del área de estudio se consideró tres bandas espectrales: roja, (red - 3), borde rojo (Red Edge - 4) y la infrarroja cercana (Near Infrared - 5). La banda Red Edge, fue escogida por ubicarse al final del espectro visible y al inicio del infrarrojo cercano. En esta banda los valores de reflectividad son altos por la respuesta de la vegetación y su estado nutricional (figura 3), lo cual permitió discriminar con facilidad los tipos de vegetación y garantizar la clasificación de los usos y coberturas del suelo. Por dicha respuesta esta banda; la red edge es usada para realizar análisis nutricional de cultivos, identificación e incidencia de plagas, así como también para la combinación de índices como: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) y el Normalised Difference Red Edge Index (NDRE) (Weichelt *et al.*, s.f.)

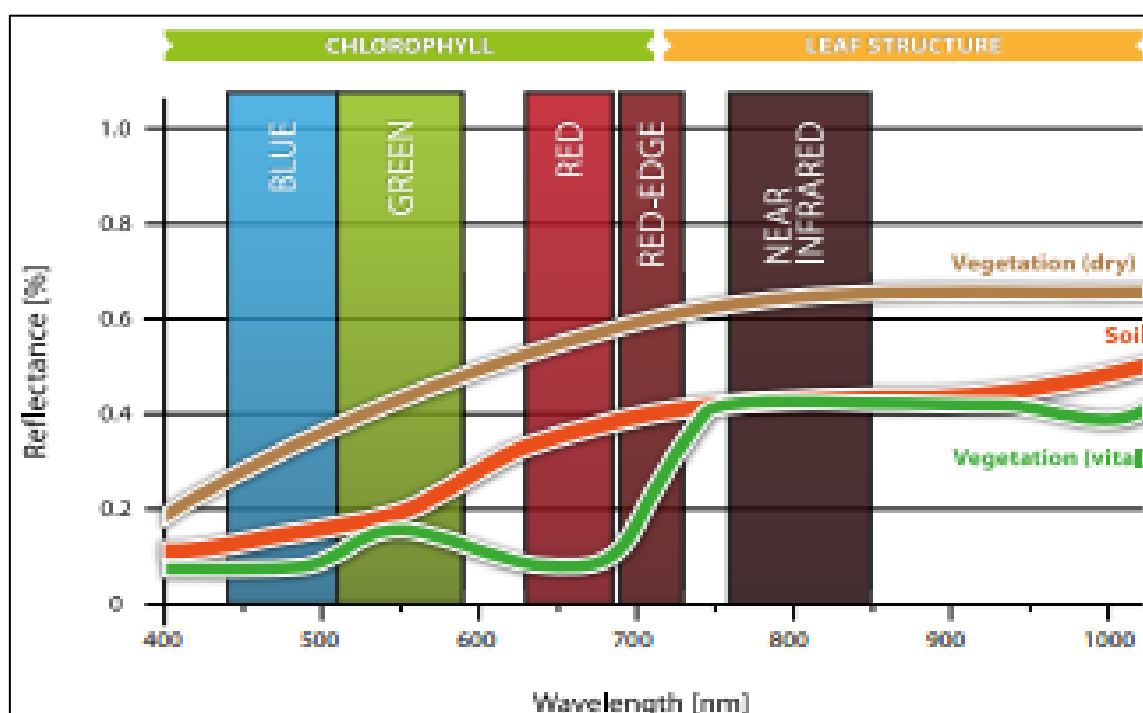


Figura 3. Rangos de reflectividad y longitud de onda de las imágenes RapidEye.

Fuente: (Weichelt *et al.*, s.f.).

Creación de puntos de control: Dentro de esta misma etapa se identificaron y se establecieron puntos de control o regiones de interés – (ROI's, por las siglas en inglés) que permitió determinar la capa y categorías de los usos y coberturas del suelo, de los cuales se establecieron: bosque primario, agricultura, pastizal, bosque secundario, cuerpos de agua e infraestructura que corresponde a asentamientos humanos y a la red vial. Los puntos de control se distribuyeron en todo el mosaico de manera aleatoria, tomando en cuenta que es importante mantener la

heterogeneidad de píxeles para que no ocurra la mezcla entre categorías de usos (Chuvieco, 2008). La identificación y creación de estos puntos se realizó con el fin de entrenar al software a que aplique la clasificación supervisada (anexo 2).

Clasificación supervisada: este método se aplicó para la generación de la capa de los usos y coberturas del suelo usando como insumo principal cada categoría establecida en los puntos de control.

Matriz de confusión: esta matriz es de carácter bidimensional; filas (clases de uso) y columnas (categorías de clasificación) y se aplica con el fin de validar el proceso. Esta matriz permite determinar los aciertos y errores de la clasificación y del clasificador con relación a los puntos de control establecidos. Donde las filas muestran las clases de uso y las columnas muestra los datos reales y los que no corresponden a la clasificación.

Índice de Kappa: A partir de la matriz se determinó medidas estadísticas como la precisión global, errores de omisión y comisión y la fiabilidad del usuario y del productor hasta llegar al estadístico índice de Kappa o análisis categórico multivariante (Chuvieco, 2008).

El error de comisión corresponde a la precisión de la clasificación y el error de omisión se basa en una definición imperfecta de la categoría. La matriz refleja información relacionada a la fiabilidad del productor que representa porcentajes de aciertos que se han producido en la clasificación y del usuario muestra el porcentaje de casos que según la clasificación pertenecen a cada clase establecida (Chuvieco, 2008 y Quirós, 2009). Adicionalmente, con el índice de Kappa se identificó la concordancia estadísticamente y el error entre píxeles de la clasificación de los usos y coberturas del suelo (Congalton, 1999).

Tabla 1. Categorización del coeficiente de Kappa

Coeficiente de Kappa	Desempeño
<0.00	Pésimo
0-00 a 0.20	Malo
0.20 a 0.40	Razonable
0.40 a 0.60	Bueno
0.60 a 0.80	Muy bueno
0.80 a 1.00	Excelente

Fuente: (Chuvieco, 2008)

Datos menores a 0.6 es recomendable volver a redefinir los puntos de control para que los resultados sean fiables y cercanos a la realidad. Esta situación se da cuando existe similitud de reflectancia entre los usos y coberturas del suelo, afectando la precisión global de la clasificación de imágenes satelitales. La fiabilidad de los datos se expresa por la relación entre el número de píxeles asignados correctamente y el total de píxeles de cada clase, así también para cada clase de manera individual (Chuvienco, 2008).

Etapas 2: Post-procesamiento: Consistió en aplicar procesos como: filtro mayoritario (Majority Filter) y una limpieza de bordes (Boundary Clean) al resultado de la clasificación supervisada (capa raster) para luego convertir la capa raster a capa vectorial (Raster to polygon).

Majority Filter: las celdas o píxeles de la capa raster son reemplazadas por la mayoría de los píxeles vecinos y usa una ventana de 3 x 3 píxeles para corregir otros píxeles

Boundary Clean: suaviza los bordes de los píxeles y para este caso se utilizó una limpieza de tipo descendiente, esto implica que las zonas de mayor tamaño tienen prioridad para expandirse sobre las áreas más pequeñas.

Raster to polygon: Convierte celdas o píxeles a entidades editables o de forma (Shapefile)

3.5.3 Análisis multitemporal

Este análisis se basó en evaluar mediante operación matemática simple: suma y resta, el cambio o avance del proceso de deforestación y uso del suelo. Esto además permitió evidenciar el movimiento demográfico y el impacto que tienen las actividades antropogénicas en cuanto a la cobertura vegetal.

FASE 2

3.6 Descripción de parámetros morfométricos de la microcuenca del río Anzu

Las cuencas hidrográficas además de tener importancia ambiental se caracterizan unas de otras por parámetros morfométricos diferentes. La caracterización morfométrica de la microcuenca se inició con la delimitación, y a partir de la cual se obtuvieron distintos parámetros de forma que permitieron calcular el área de la cuenca, el perímetro, el desnivel altitudinal, perfil longitudinal, jerarquización de la red fluvial, entre otros parámetros.

El perfil longitudinal es un corte que muestra la altura mínima y máxima del recorrido del río desde su nacimiento hasta su desembocadura. La jerarquización de la red hídrica se usó el método de Horton (1945) que consiste en asignar números a cada ramificación menor, media y mayor hasta llegar al río principal que toma el número mayor (Benavides *et al.*, 2009).

El índice de forma se calculó mediante la relación entre el área de la cuenca (255 Km²) y la longitud de esta al cuadrado (24.5 Km)². Una cuenca con un factor de forma con valores mayores a 1, tiende a tener una forma redondeada lo cual le confiere susceptibilidad a crecidas rápidas e intensas (Ortiz, 2004; Marín *et al.*, 2017). La forma de la microcuenca determina la distribución de las descargas de agua a lo largo del curso principal y es en gran parte responsable de las características de las crecientes que presentan las mismas. Esto es expresado por parámetros tales como el Coeficiente de Compacidad y el Factor de Forma. El análisis de estos parámetros estuvo en función de determinar la influencia de la forma de la microcuenca en el movimiento y captación del agua de lluvia, además de proporcionar información relacionada con la gestión, planificación y ordenación del territorio.

$$(If=A/L^2) \quad [2]$$

If: índice de forma

A: área de la microcuenca

L^2 : longitud

En cuanto al índice de Alargamiento propuesto por Horton (1945) relaciona la longitud máxima encontrada en la cuenca, medida en el sentido de la dirección del río principal y el ancho máximo medido perpendicularmente, el resultado determina la forma que tiene la microcuenca.

$$Ia = (Lm/l) \quad [3]$$

Ia: Índice de alargamiento

Lm: Longitud máxima

L: ancho máximo

El Índice de Circularidad propuesto por Miller, (1953) relaciona el área de la cuenca con la de un círculo. Los valores oscilan entre 0 y 1, y el máximo valor equivale a la unidad, lo que correspondería a una cuenca de forma circular.

El índice de compacidad de Gravellius, este parámetro constituye la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo equivalente, cuya área es igual a la microcuenca en estudio. Esto indica, además, la regularidad de la forma de una cuenca y su influencia en las máximas crecidas (Ortiz, 2004). La densidad de drenaje es otra propiedad fundamental que controla la eficiencia del drenaje, señala además el estado erosivo de una cuenca, se relaciona con la longitud total de la microcuenca y con la superficie de esta (Cruz *et al.*, 2015)

3.7 Indicadores de impactos a nivel de cuenca (Paisaje)

Con el uso de Sistemas de Información Geográfica- SIG en el software ArcGIS versión 10.1 se procedió a elaborar el Modelo Digital del Terreno (MDT) mediante las curvas a nivel con intervalos de 25 metros cada una. Esta capa fue obtenida del software Global Mapper. Dicho MDT permitió obtener los siguientes indicadores:

Indicador	Descripción
Diversidad Paisajística	Comprende la distribución espacial de los usos y coberturas del suelo, cantidad de laderas, zonas bajas, variedad de sistemas de producción que tenga la comunidad o fincas
Pendiente	Con el fin de obtener variables iguales con la vulnerabilidad ambiental, es decir rangos de 1 al 5 se adaptó la misma clasificación de pendientes usada por Marín <i>et al.</i> , (2017); 0 – 15%, 15 – 30%, 30 – 45%, 45 – 60% y mayores de 60%. Mientras mayor pendiente se debiera esperar mayor daño. Pendientes mayores a un 20 % se consideran riesgosas.
Orientación de la pendiente.	Fincas localizadas sobre laderas expuestas a vientos y lluvias dominantes sufrirán mayores daños, ya que son altamente susceptibles a deslizamientos o erosión en masa.
Cercanías a bosques	Fincas aledañas a bosques que interceptan los vientos y lluvias excesivas, estarían menos expuestas a los daños directos y podrían aprovechar otros beneficios como proporción de insectos benéficos para hacer control biológico
Prácticas de Conservación (Cercas Vivas o barreras rompe vientos).	Dependiendo de la composición vegetal, la altura del dosel, número de estratos, ubicación, prácticas agroecológicas (agroforestería, agrosilvopastoril) existirá una mayor protección de los recursos.
Cercanías a ríos	Comunidades o fincas localizadas en zonas bajas, cercanas a los ríos pueden sufrir inundaciones frecuentes con efectos negativos.

3.8 Elaboración de los mapas temáticos

Con la recopilación de la información, una vez aplicados los indicadores de paisaje y ya establecidos mediante las imágenes satelitales los diferentes usos y coberturas del suelo, en el software ArcGis versión 10.1 se diseñó los diferentes mapas temáticos sabiendo que mapa temático es aquel que muestra información espacial para indicar la ubicación y la distribución de fenómenos específicos (ESRI, 2018) cuyos mapas fueron: usos y coberturas de suelo para el 2010 y 2017, rangos altitudinales, pendientes, distancias desde el río a las comunidades y la red hídrica.

3.9 Determinación de la vulnerabilidad ambiental del área de estudio

Una vez establecidas las capas (usos del suelo, indicadores de paisaje, pendiente, altitud, red hídrica) se determinó la vulnerabilidad ambiental para la microcuenca del río Anzu. Para ello se aplicó el método de algebra de mapas y reclasificación manual (Marín *et al.*, 2017). El método de algebra de mapas ayudó a realizar la combinación de varias variables de todas las capas, mientras que la reclasificación manual permitió establecer la cantidad de variables y códigos numéricos enteros, en este caso en función a la escala de la vulnerabilidad ambiental; 1 a 5. Como se muestra en la tabla 2, la vulnerabilidad ambiental viene dada en clases que permitió medir el impacto de actividades antropogénicas en la microcuenca en una escala de 1 a 5 (Marín *et al.*, 2017).

Tabla 2. Clasificación de la vulnerabilidad

Impacto	Escala
Muy Baja	1
Baja	2
Media	3
Alta	4
Muy Alta	5

Fuente: Marín *et al.*, 2017

La sobreposición de la capa de los usos y coberturas del suelo del 2017, el modelo digital del terreno más el de asentamientos humanos o comunidades fueron los insumos principales en este estudio que reflejó las condiciones del paisaje. La interacción de estos insumos determinó el comportamiento de la distribución espacial de la vulnerabilidad ambiental. El nivel 1 corresponde a una muy baja vulnerabilidad y un nivel 5, una muy alta vulnerabilidad. Lo que significaría que el paisaje es afectado por el principal problema; la deforestación provocada por las actividades agrícolas. (Marín *et al.*, 2017).

3.10 Recursos humanos y materiales

Recurso humano

- Maestrante
- Apoyo de técnico docente de la Unidad de Sistemas de Información Geográfica

Materiales para el tratamiento de imágenes satelitales

- Imágenes satelitales multiespectrales
- Computadora
- Software

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Cuantificación de la deforestación mediante el análisis multitemporal: 2010 -2017

4.1.1 Resultados del tratamiento de imágenes satelitales: 2010 - 2017

En la tabla 3 y 4 respectivamente, producto de la matriz de confusión, se muestra las categorías de manera horizontal y las clases en forma vertical, cada una con el total de pixeles seleccionados con las respectivas clases establecidas mediante 528 puntos de control colocados y distribuidos en toda el área de estudio (anexo 2). Esta matriz permitió verificar la precisión de los usos y coberturas del suelo, por ejemplo, para el caso del bosque, fueron 127 pixeles seleccionados de los cuales 120 si cayeron dentro de la misma categoría mientras que siete se confundieron con otras clases.

Para la clasificación de los usos y coberturas del año 2010 (tabla 3), en las categorías que mayor confusión se obtuvo fue en el de cuerpos de agua (CA) que del 100% de los pixeles seleccionados, es decir 147 pixeles, el 31% se colocaron en otras clases. Algo similar sucedió en el uso agrícola (A), con un 29% y un 19% para el bosque secundario. La mayor precisión que se llegó a obtener fue en la clase bosque que solo un 5% de pixeles se fueron mezclados con otras categorías.

Tabla 3: Matriz de confusión entre categorías de los usos y coberturas del suelo del año 2010

Clases	Categorías de los usos y coberturas del suelo						Total
	B	A	P	BS	CA	I	
Bosque	120	1	0	4	3	0	128
Agrícola	1	32	0	4	2	15	54
Pastizal	1	0	48	0	0	5	54
Bosque secundario	5	12	0	34	0	0	51
Cuerpos de agua	0	0	0	0	101	1	102
Infraestructura	0	0	3	0	41	95	139
Total	127	45	51	42	147	116	528

B: Bosque; A: Agricultura; BS: Bosque secundario; CA: Cuerpos de agua; I: infraestructura; P: Pastizal

La tabla 4, que corresponde a la matriz de confusión del año 2017, muestra las categorías de mayor confusión entre píxeles, en este caso fue para el bosque secundario con un 37.50%, seguido por el de infraestructura con un 34.21% y un 27.87% para el uso agrícola. Los usos de mayor precisión, para este año; 2017 fue el de bosque que solo el 5.56% de píxeles se confundieron, el 6.84%, en los pastizales y 7.35% en el de cuerpos de agua.

Esto coincide con lo establece Chuvieco, (2008) que esta situación se da cuando existe similitud de reflectancia entre los usos y coberturas del suelo, afectando la precisión global evaluada por el índice de kappa.

Tabla 4: Matriz de confusión entre categorías de los usos y coberturas del suelo del año 2017

Clases	Categorías de los usos y coberturas del suelo						Total
	B	A	P	BS	CA	I	
Bosque	68	0	1	11	3	0	83
Agrícola	0	87	2	10	0	3	102
Pastizal	0	1	109	0	2	16	128
Bosque secundario	4	33	1	35	0	1	74
Cuerpos de agua	0	0	2	0	227	6	235
Infraestructura	0	0	2	0	13	50	65
Total	72	122	117	56	245	76	687

B: Bosque; A: Agricultura; BS: Bosque secundario; CA: Cuerpos de agua; I: infraestructura; P: Pastizal

Otro de los parámetros, que se derivan de la matriz de confusión son los errores de comisión y omisión, del productor y del usuario. En la tabla 5 se muestran los resultados para cada una de las capas generadas de los dos años: 2010 y 2017.

Tabla 5. Valores de la precisión y errores entre categorías de los usos y coberturas del suelo del año 2010 - 2017

Clases	Errores (%)		Precisión (%)	
	Comisión	Omisión	Productor	Usuario
Bosque	6.25	5.51	94.49	93.75
Agrícola	40.74	26.67	71.11	59.26
Pastizal	11.11	5.88	94.12	88.89
Bosque secundario	33.33	19.05	80.95	66.67
Cuerpos de agua	0.98	31.29	68.71	99.02
Infraestructura	31.65	18.10	81.90	68.35

Clases	Errores (%)		Precisión (%)	
	Comisión	Omisión	Productor	Usuario
Bosque	18.07	5.56	94.44	81.93
Agrícola	14.71	27.87	71.31	85.29
Pastizal	14.84	6.84	93.16	85.16
Bosque secundario	52.70	37.50	62.50	47.30
Cuerpos de agua	3.40	7.35	92.65	96.60
Infraestructura	23.08	34.21	65.79	76.92

La precisión para el año 2010 y 2017 respectivamente fue de 77 % y 79 % obtenida con el estadístico de Kappa es considerada como muy buena. Así también con una precisión global de 81% para el año 2010 y 84% para el 2017 categorizados de muy buenos a excelentes (tabla 6). De igual forma estos resultados, coinciden con los parámetros de precisión establecidos por Chuvieco, (2008) que valores cercanos a uno se garantiza precisión en la clasificación de los usos y coberturas del suelo tanto en el mapa como en la realidad.

Tabla 6. Valores de la precisión global y del estadístico índice de Kappa de la clasificación supervisada del periodo: 2010 - 2017.

Estadísticos	2010	2017
Precisión Global	0.81	0.84
Índice de Kappa	0.77	0.79

4.1.2 Cambios de la cobertura vegetal para el periodo: 2010 – 2017 de la microcuenca del río Anzu

En la microcuenca del río Anzu, como muestra la figura 4 y tabla 7, las coberturas de mayor presencia en los dos años fue el bosque primario y el secundario. Estos usos en el año 2017 representaron el 66.75% y 20.11% respectivamente de 25,553.99 ha. Esto concuerda con el uso potencial de la zona. En el período evaluado el área boscosa disminuyó un 1.70% que equivalen a 295.85 ha. Otro de los usos que disminuyó en un 50% desde el 2010 al 2017 fue el área agrícola, lo que se prevé que fue reemplazado por el bosque secundario, pastizal e infraestructura. Este bosque secundario puede estar compuesto por chacras, sistemas silvopastoriles o agroforestales.

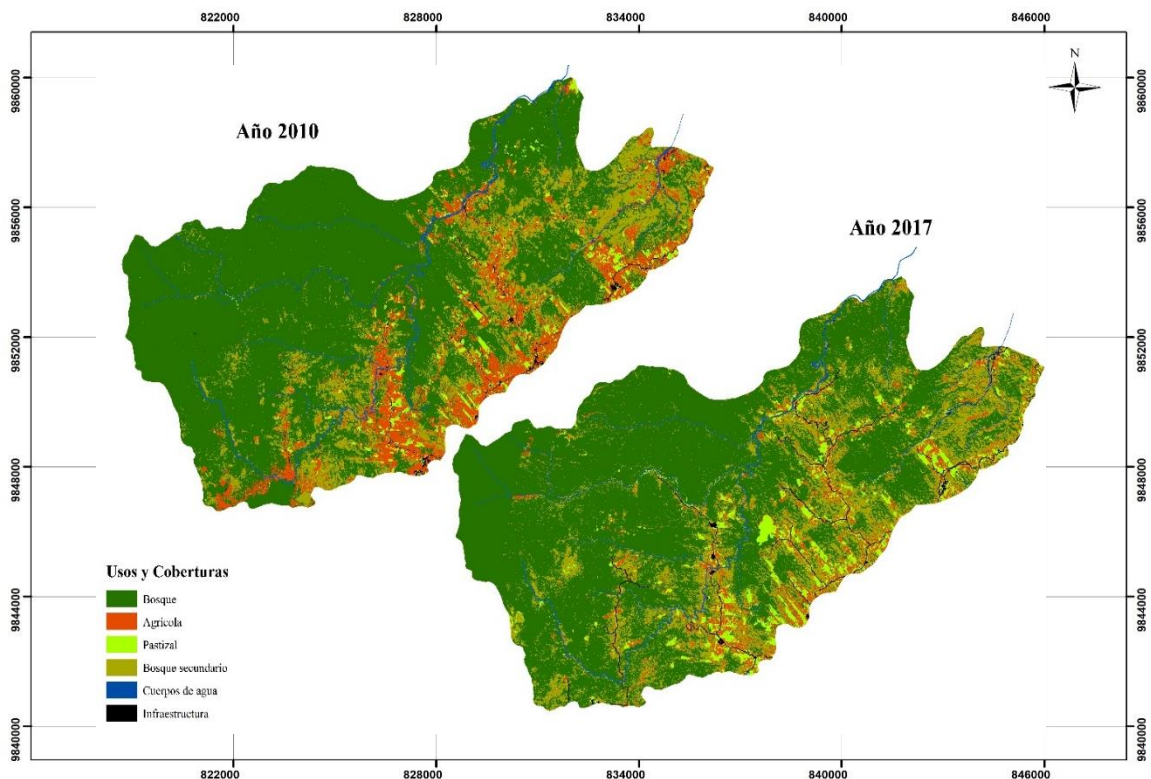


Figura 4. Mapas de los usos y coberturas del suelo para el periodo 2010 - 2017

El uso que tuvo un importante incremento desde el 2010 al 2017 fue para el bosque secundario, que pasó de 4,081.81 a 5,140.07 ha. Se presume que este cambio de agricultura y bosque a bosque secundario, pastizal e infraestructura está vinculado al abandono de las actividades

netamente agrícolas por la baja productividad a otras actividades como sistemas agroforestales y silvopastoriles.

Los resultados obtenidos acerca de los cambios de usos y coberturas del suelo coinciden con lo planteado por el MAE (2015). En donde identificaron los cambios positivos y negativos en distintos periodos de tiempo. Para el año 2008 al 2014 la deforestación neta anual promedio fue de 47,497 ha a nivel nacional, siendo las tres provincias de mayor deforestación; Morona Santiago con 7,925 ha, El Oro con 6,274 ha y Esmeraldas con 5,476 ha. Así mismo en una comparación multitemporal de la existencia de bosque nativo reportaron una disminución de superficie desde 1990 al 2014. En 1990 existieron 14'587,771 hectáreas, en el 2000; 13'660,354 hectáreas, en el 2008; 13'038,367 hectáreas y para el 2014; 12'753,387 hectáreas de bosque nativo. La distribución de bosque nativo hasta el año 2015 se encontró principalmente en cuatro provincias de la región amazónica; Pastaza con 2'793,561 ha, Orellana con 1'891,005 ha, Morona Santiago con 1'763,757 ha, Sucumbíos con 1'426,332 ha, mientras que la provincia de los Ríos solo contaba con 12,764 ha de bosque nativo (MAE, 2015).

Tabla 7. Pérdidas y ganancias en los usos y coberturas del suelo

Uso y Cobertura	Año 1 (2010)	Año 2 (2017)	Pérdida	Ganancia
Bosque Primario	17,354.30	17,058.45	-295.85	
Agrícola	2,873.20	1,453.00	-1,420.20	
Pastizal	787.12	1,401.17		614.05
Bosque secundario	4,081.81	5,140.07		1,058.26
Cuerpos de agua	300.83	214.76	-86.07	
Infraestructura	156.73	286.54		129.81
Total en ha	25,553.99	25,553.99	-1,802.12	1,802.12

Con respecto a las pérdidas de biodiversidad en Ecuador, el Ministerio del Ambiente estimó que alrededor de 217 especies de mamíferos, 238 especies de aves, 276 especies de reptiles y 521 de anfibios se encuentran en cierto grado de vulnerabilidad o amenaza de extinción por la pérdida y contaminación del hábitat, fragmentación de ecosistemas y la deforestación causados por la agricultura y tala de árboles. Los procesos de conservación desde el 2002 han sido la prohibición por tiempo indefinido de actividades que vulneren la existencia de estas especies (MAE, 2018.).

Bajo esta perspectiva, el cambio de la cobertura del suelo, en especial la boscosa refleja efectos que están vinculados a procesos culturales y económicos donde todo se convierte en sistemas de producción para proveer alimentos a sus familias. El estudio realizado en el municipio de Riberalta, Amazonia boliviana por Peralta *et al.*, (2015), coincide que la deforestación afectó principalmente a la zona boscosa que del año 2000 al 2011 perdieron 885.55 km² de cobertura forestal y pasó a áreas cultivadas como sistemas agrícolas, ganadería, agricultura de subsistencia, mecanizada a pequeña y a gran escala.

Estos factores se asocian a actividades socioeconómicas que si bien es cierto las políticas públicas de desarrollo agropecuario propiciaron en los años 1960, 1970 y 1980 en algunos gobiernos latinoamericanos la transformación de ecosistemas y cambios en la cobertura vegetal. Este desarrollo buscaba dinamizar la colonización y la expansión de la frontera agrícola en regiones tropicales a través del aprovechamiento del suelo, aun si este contaba con cobertura boscosa para ejecutar proyectos agrícolas y ganaderos. En ese sentido, para el año 2000 los bosques de América Latina habrían reducido a más del 50% de su área; Brasil, México y Costa Rica fueron los países de mayor alteración (Reyes *et al.*, 2006).

Bajo este contexto, los bosques proporcionan múltiples servicios ecosistémicos, entre los que se destacan la absorción de carbono atmosférico, la producción de madera, la retención de suelos y el control del clima (García y Morales, 2016). Los bosques albergan entre el 50% y el 90% de todas las especies terrestres de animales y plantas, cumplen un papel fundamental como refugio de fauna, incluyendo aquella que está en peligro y es objeto de conservación (MEA, 2005).

4.2 Mapas temáticos mediante el uso de indicadores del paisaje

4.2.1 Parámetros morfométricos de la microcuenca del río Anzu

En la descripción de los parámetros morfométricos (figura 5) y según la observación en las imágenes satelitales se obtuvo un perímetro de 82.52 km, un ancho de 10.43 km, una longitud de 24.5 km y un área de 255 km². En cuanto al desnivel altitudinal, la cota más alta es de 2,890 msnm y la más baja de 680 msnm, lo que arroja una diferencia de altura de 2,210 msnm. En cuanto al perfil longitudinal, como se observa en la figura 5 el punto más alto desde el nacimiento del río va desde los 1,750 msnm hasta la desembocadura con 680 msnm. La jerarquización de la red hídrica fue otro dato importante, según el método de Horton (1945) el

río Anzu toma el número cuatro en esta jerarquización y sus tributarios, que en este caso son seis, se asignaron rangos menores.

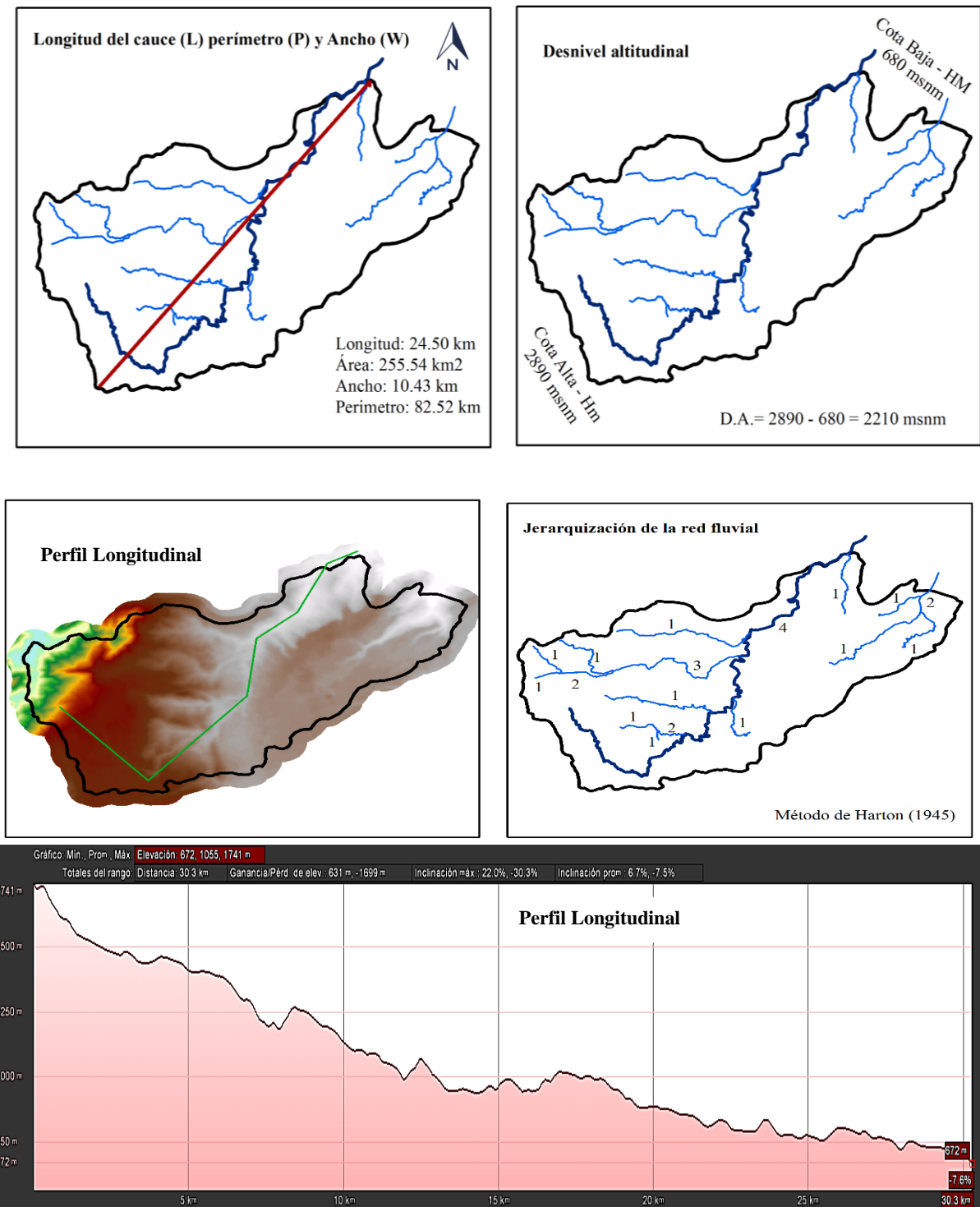


Figura 5. Parámetros morfométricos de la microcuenca del Río Anzu.

Otro de los parámetros analizados en esta sección fue el índice de forma, que dio como resultado un valor de 2.43, clasificada como ligeramente redondeada. Es importante recordar que una cuenca con un factor de forma con valores mayores a 1, la microcuenca confiere susceptibilidad a crecidas rápidas e intensas (Ortiz, 2004; Marín *et al.*, 2017). Esto significa que, la microcuenca está fuertemente influenciada sobre la forma el cual suministra el agua al cauce principal, desde su nacimiento hasta su desembocadura. En cuanto al índice de alargamiento resultó en un valor de 2.43 corroborando que la microcuenca bajo estudio presenta una forma moderadamente redondeada. Esto coincide con el índice de circularidad que se obtuvo un resultado de 0.47, lo que indica que la microcuenca en estudio es de moderada circularidad, confirmando la forma ligeramente redondeada.

En relación con el índice de compacidad de Gravellius el resultado obtenido fue de 1.46, lo cual se confirma el carácter moderadamente redondeada, por consiguiente, tendrán recesiones más prolongadas, aumentando el riesgo de inundaciones (Ortiz, 2004). Con ese dato obtenido refleja que la microcuenca será susceptible a avenidas rápidas e intensas o que puede generar pérdidas de suelo en la parte alta y traer consecuencias en la morfología del terreno aguas abajo (Cruz *et al.*, 2015).

Tabla 8. Resumen de Índices y Parámetros de la microcuenca del Río Anzu

Morfometría	Valores	Clasificación
Perímetro (km)	82.52	---
Longitud Cauce Principal (km)	24.5	Grande
Ancho Máximo Cuenca (km)	10.43	
Área (km ²)	255	Grande
Altitud Máxima (msnm)	2,890	---
Altitud mínima (msnm)	680	---
Desnivel (m)	2,210	---
Índice Forma (I _f)	10.40	Redondeada
Índice Alargamiento (I _a)	2.35	Poco alargada
Razón de Circularidad	0.47	Moderada circularidad
Coficiente de Compacidad	1.46	Redondeada
Densidad de Drenaje	0.10	Baja

Fuente: Elaboración propia

La densidad de drenaje, que en este caso se obtuvo un resultado de 0,10 lo cual refleja que es una microcuenca mal drenada. Este parámetro es de carácter fundamental para el área de estudio

ya que ayuda a controlar la eficiencia del drenaje y el estado erosivo de la misma. Las cuencas que se encuentran en rangos menores a 1.50 significa que son susceptibles a precipitaciones rápidas e intensas y que puede generar pérdidas de suelo en la parte alta y traer consecuencias en la morfología del terreno aguas debajo de la cuenca (Cruz *et al.*, 2015). Todo ello se relaciona con el índice de alargamiento.

Según los datos obtenidos mediante los parámetros morfométricos, tal como se aprecia en la tabla 8, la microcuenca, en sus características físicas y comportamiento hidrológico se encuentran influenciada por la topografía, puesto que a mayores pendientes corresponde mayores velocidades de las corrientes de agua y menor será el tiempo de concentración (Cruz *et al.*, 2015; Marín *et al.*, 2017).

4.2.2 Mapas temáticos generados a partir del procesamiento de las imágenes

Usos y Coberturas (2010 y 2017) de la microcuenca del río Anzu

Como resultado de todo el proceso se obtuvo los mapas de la distribución de los usos y coberturas del suelo para el año 2010 y 2017 (figura 6 y 7). Así como también los mapas de los rangos altitudinales, pendiente, red hídrica y el de vulnerabilidad ambiental. En cada mapa se presenta el detalle que describe cada resultado y que al mismo tiempo serán insumos para la cuantificación de la vulnerabilidad ambiental de la microcuenca.

Dentro del área de la microcuenca del río Anzu el uso de mayor presencia en el año 2010 fue la cobertura boscosa que representó el 67.91 %, seguido por el bosque secundario con un 15.97 %. Otro uso que ocupó área importante fue el de la agricultura con 2,873.20 ha que representó el 11.24 % y su distribución se daba junto en la red vial ya sea vía principal (vía Puyo – Tena) o en la secundaria hacia las comunidades internas. Por otro lado, los usos de menor superficie fueron el pastizal con 3.08 %, los cuerpos de agua con 1.18 % y por último los asentamientos humanos con 0.61 % (figura 6).

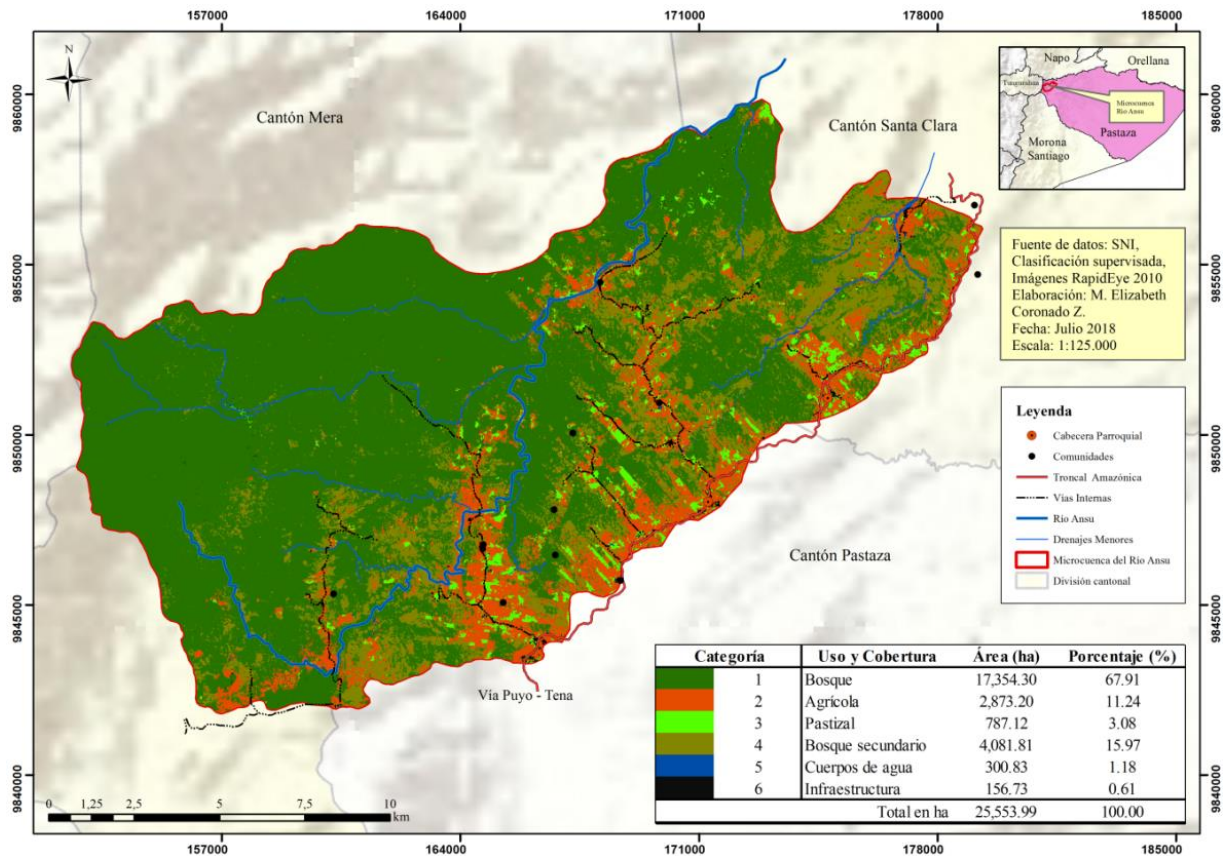


Figura 6. Distribución espacial de los usos y coberturas del suelo del año 2010

La figura 7 corresponde al año 2017, en este caso, es notable la cobertura boscosa distribuida en toda el área de la microcuenca y a su vez representa el 66.75 % con 17,058.45 ha. Seguido se encuentra el bosque secundario con el 20.11 %, 5 % más que en el año 2010. A diferencia del primer año (2010), el pastizal y el área agrícola ocupan cada una 5% del territorio de la microcuenca y se localizan paralelamente en la red vial, lo que representa accesibilidad y mayor actividad socioeconómica. Cabe recalcar que en este año el área agrícola disminuyó un 6% y los asentamientos humanos tuvo un incremento de 0.61% al 1.12%, aunque no es significativo, esto podría estar vinculado a la migración del campo a la ciudad por la baja productividad y rentabilidad de los cultivos.

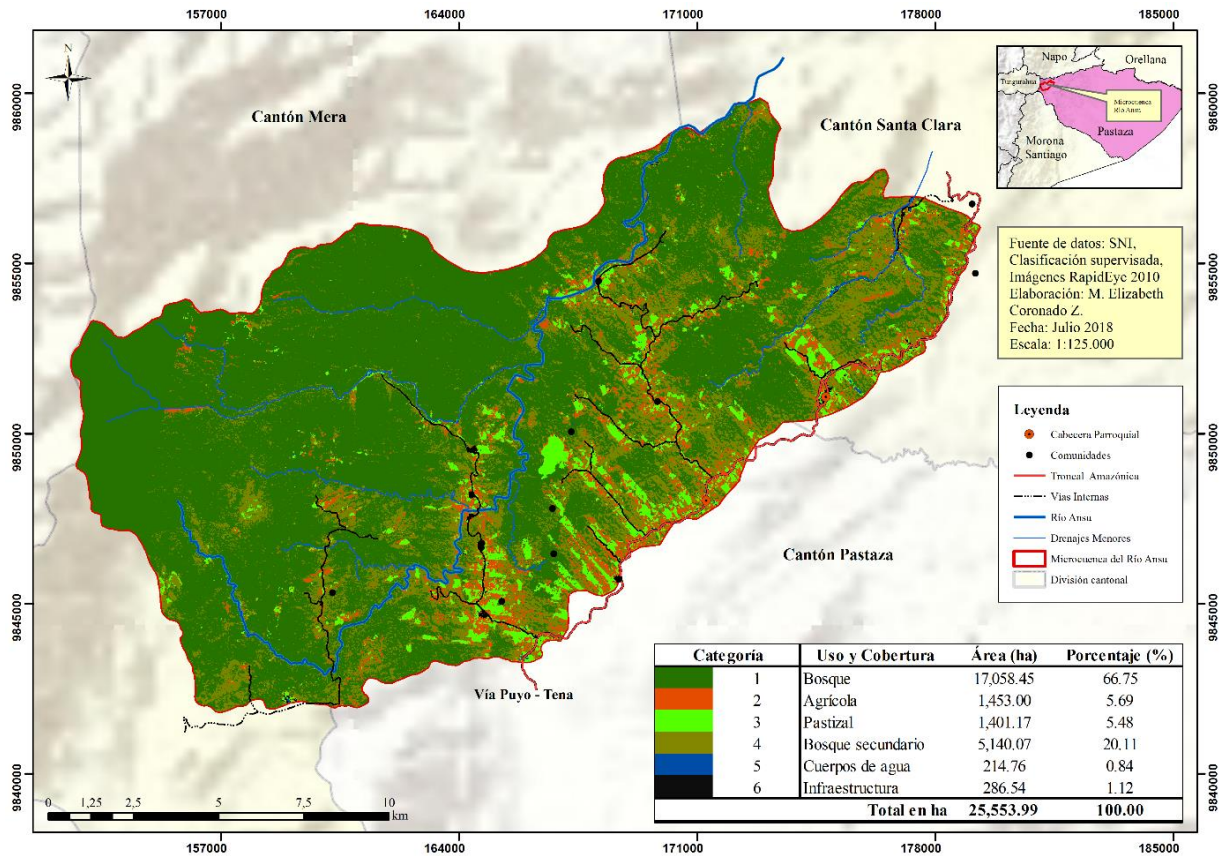


Figura 7. Distribución espacial de los usos y coberturas del suelo del año 2017

En este año (2017), la presencia de una vegetación secundaria comprendida por el bosque secundario, los pastizales y la agrícola abren una posibilidad de que los suelos presenten mayor sensibilidad frente a diferentes procesos climáticos como: precipitación, vientos, deslizamientos e inundaciones (Marín *et al.*, 2017). Esta vegetación es resultado del abandono de tierras de la población que va desde el campo a centros poblados o la ciudad debido a la baja productividad de cultivos (Sierra, 1999).

El aumento de la deforestación pone en riesgo el pilar de la productividad de comunidades locales; la fertilidad del suelo, que está directamente relacionada con la cobertura boscosa que aportan biomasa rica en nutrientes al suelo a través del reciclaje de estos (Bravo *et al.*, 2017b). Una forma de medir la fertilidad es la capacidad de producción y la eficiencia que tienen las plantas para absorber esos nutrientes. Así mismo, los bosques aportan mediante la intercepción de nubes, al almacenamiento de agua protegiendo al suelo de la erosión (Bravo *et al.*, 2017a). Otro de los aspectos que determina la importancia de los bosques es que ayudan a la regulación

climática y al mismo tiempo a la resiliencia ante los efectos del calentamiento global y el cambio climático.

En términos de la fertilidad del suelo, los sistemas de pastura y agrícolas representan los usos de mayor área a nivel mundial y se asocia directamente a estas actividades las alteraciones de las funciones del suelo y sus propiedades. Los cambios de los usos de suelo principalmente de bosque a cultivos agrícolas generan modificaciones en el contenido de materia orgánica, almacenamiento de Carbono y las concentraciones de potasio intercambiable (Bravo *et al.*, 2017b). De igual forma interfieren en la erosión de suelo, degradación física y la calidad de agua con impactos negativos sobre la vida acuática. Desde un punto de vista sistémico el suelo forma parte de un subcomponente central del agroecosistema conectado directamente a la fertilidad y a la sustentabilidad para mejorar la productividad.

En los suelos de la región amazónica, diversos estudios reiteran las propiedades químicas y la baja fertilidad natural caracterizado por ser suelos con pH ácidos, alto contenido de materia orgánica, bajas concentraciones en fósforo, Azufre, y en bases cambiables (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+1}) y alta presencia en hierro. Sin embargo, el fósforo es uno de los nutrientes críticos en suelos de la región amazónica que desempeña importantes funciones en el desarrollo de las plantas y su deficiencia puede representar grandes problemas en la producción de cultivos. Se ha demostrado mediante estudios de suelo que la fertilidad física y química en horizontes de 0 a 10 y de 10 a 30 cm, resulta mejor la primera capa, esto se traduce a la presencia de altos contenidos de materia orgánica proporcionados por el material vegetal descompuesto en el suelo y que ayuda a mejorar las condiciones físicas y la disponibilidad de nitrógeno (Bravo *et al.*, 2017b). Entonces al reemplazar al bosque, principal proveedor de materia orgánica por sistemas agrícolas y ganaderos se estaría induciendo al suelo a perder su capacidad productiva, alterando a los índices estructurales, densidad aparente, porosidad de aireación y de retención, conductividad hidráulica y a la resistencia a la penetración (Bravo *et al.*, 2017b).

Pendientes de la microcuenca del río Anzu

La pendiente en el área de estudio obtenida del modelo digital del terreno se distribuye en cinco categorías que van desde 0 a 15%. De 15 a 30%, de 30 a 45%, de 45 a 60% y superiores de 60%, siendo la categoría uno, la de mayor presencia con un 60.51 % (figura 8). Adicionalmente,

pendientes de categoría dos ocupan el 25.27% y pendientes mayores al 60% representan 478.56 ha.

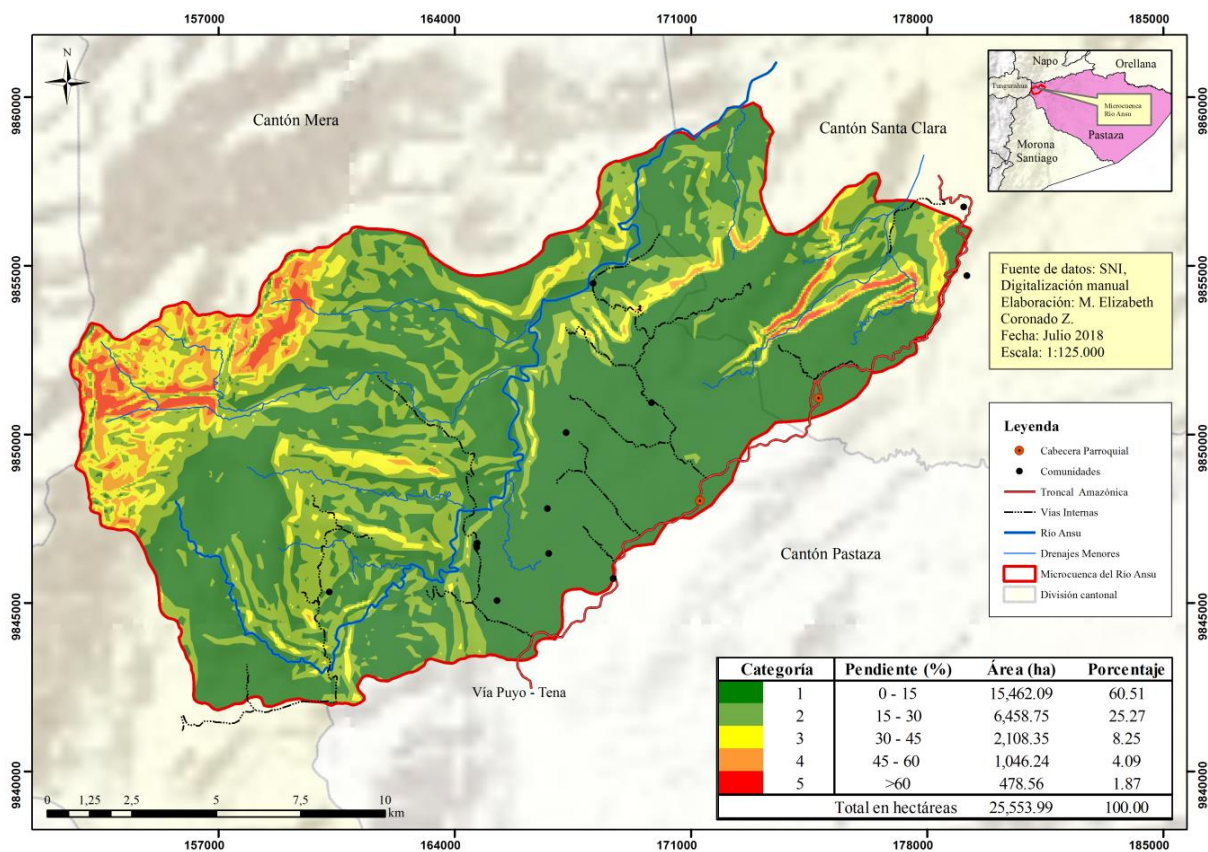


Figura 8. Distribución espacial de la pendiente en la microcuenca del río Anzu.

Es importante mencionar que la cobertura boscosa y bosque secundario se acentúa en las pendientes que van desde los 30 a rangos superiores al 60%. Mientras que en rangos menores se concentran las comunidades y las actividades agrícolas que representa facilidad de movilización y acceso (figura 8). Las comunidades que se ubican en la categoría uno es decir en pendientes de 0 a 15% son: Boayacu, Llandia, Colonia Gavilanes, Colonia Simón Bolívar, El rosal, Teniente Hugo Ortiz, Colonia Santa Bárbara, Los Telegrafistas, Colonia Bellavista La Libertad y San José, mientras que solo la Colonia Nueve de Octubre se ubica en el rango dos (pendiente de 15 a 30%). Estos rangos juegan un papel fundamental y al mismo tiempo son indicadores en el proceso de la cuantificación y determinación del grado de vulnerabilidad de los asentamientos humanos en pendientes de diferentes porcentajes. Es así como pendientes mayores al 40% y una topografía irregular, el desarrollo de las actividades antropogénicas se

ven limitadas (Marín *et al.*, 2017). Argumento que coincide con Torres *et al.*, (2017) de que cada vez existe gran necesidad de usar el suelo para sobrevivir, factor que contribuye a la fragmentación de fincas, deforestación, avance de la frontera agrícola y uso de suelo con mayores pendientes.

En la mayoría del territorio ecuatoriano amazónico, las comunidades rurales practican una agricultura de subsistencia y autoconsumo que genera dependencia de los recursos naturales. Estas familias combinan simultáneamente cultivos para compensar ingresos a través del tiempo. De los alimentos consumidos a nivel nacional procedentes del campo, el 60% provienen de la agricultura de subsistencia (Valle *et al.*, 2017).

Rangos Altitudinales o Zonas de Elevación de la microcuenca del río Anzu

La figura 9 muestra los rangos altitudinales generados a partir del modelo digital del terreno y que van desde los 670 hasta los 2,890 msnm. En los rangos de media y mayor altura se distribuye el bosque y se encuentra en pendientes mayores al 30%. Mientras que en rangos de media y menor altitud se desarrolla toda actividad agrícola, de interés socioeconómica y establecimiento de cultivos como: papa china, caña de azúcar, chacras, ganadería, sistemas silvícolas, entre otras (anexo 3).

Así también la mayoría de las comunidades; Llandia, Teniente Hugo Ortíz, Los Telegrafistas, San José, Colonia Gavilán, Colonia 9 de octubre, El Rosal, Colonia Santa Bárbara, Colonia Bellavista La Libertad y La Florida se encuentran en el rango que va desde los 1,000 a 1,500 msnm y Boayacu en el rango de 680 a 1,000 msnm, mientras que en los otros rangos no existe presencia de comunidades. Sin embargo, con este gradiente altitudinal puede variar la temperatura y a su vez podría generar cambios sustanciales en el tipo de vegetación y por ende en algunos parámetros del suelo asociados a su fertilidad física, química y biológica (Bravo *et al.*, 2017).

Estas actividades agrícolas se basan, aunque no en su totalidad, en el corte de malezas y material vegetal viejo dejándolo en su sitio para la descomposición como aporte de nutrientes al suelo. Bajo este contexto, la mayoría de las fincas son semicomerciales que funcionan cultivando especies de ciclo corto y anuales para la subsistencia familiar y los excedentes son

comercializados localmente. Estos sistemas se caracterizan por el uso de mano de obra familiar y tecnología agrícola básica. La presencia de especies silvestres y cultivadas se ven limitadas a medida que los rangos altitudinales descienden o ascienden. Para tener una idea de esa variabilidad, en el análisis multitemporal de uso del suelo y cobertura vegetal de la Reserva de Biosfera Sumaco, en rangos de los 450 a 800 msnm, domina la familia Rubiaceae con un 20% luego la Fabaceae (leguminosas) y Araceae con 12% cada una, seguido por la Melastomataceae y Gesneriaceae con 10% cada una. Así mismo en este rango se encuentran especies forestales de importancia comercial como la caoba, capirona, sangre de gallina y sande (Torres *et al.*, 2017).

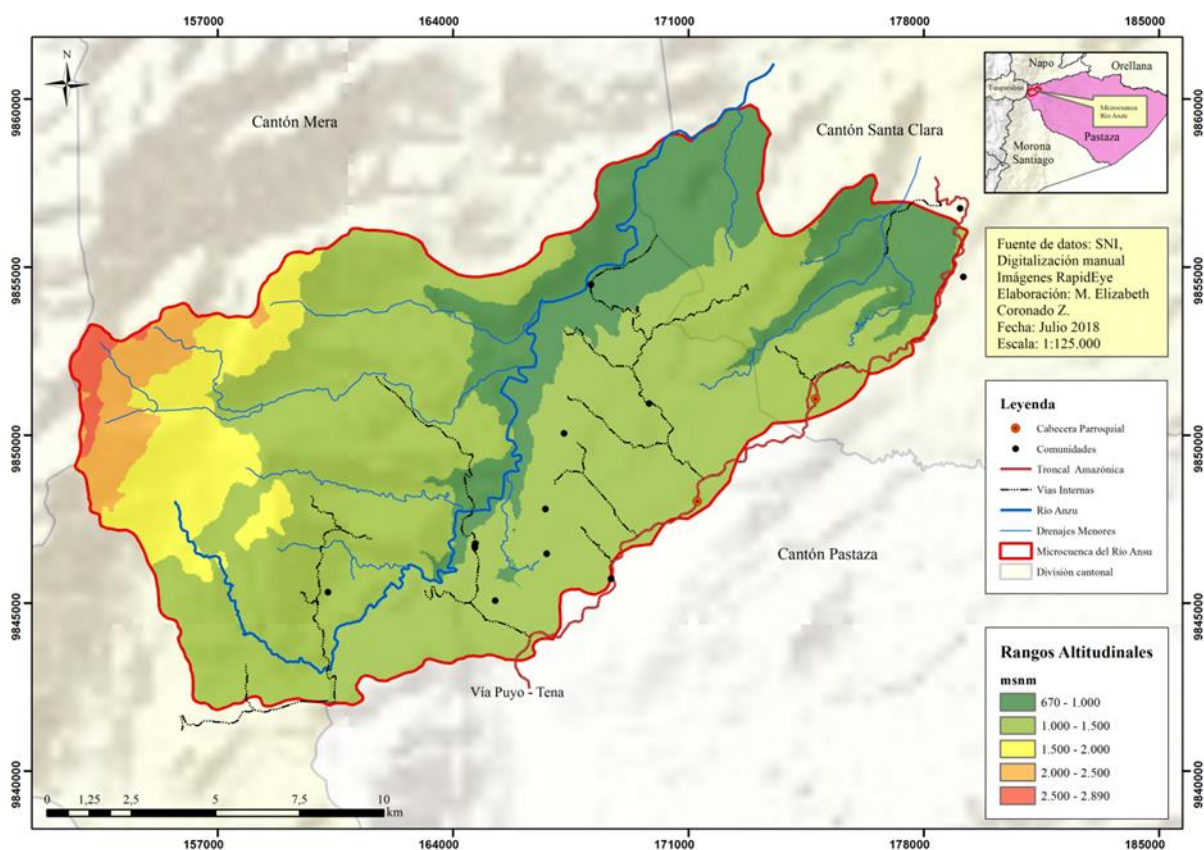


Figura 9. Rangos altitudinales del área de estudio.

En el rango de elevación que va desde los 800 a 1,200 msnm, la composición florística se modifica y se caracteriza por la abundante cantidad de la familia Rubiaceae con 20%, Araceae con 14%, Melastomataceae con 11% y Euphorbiaceae con el 10%. En este rango altitudinal las especies maderables se ven reducida su densidad poblacional, no obstante, se mantiene la presencia de especies de las familias Fabaceae y Rubiaceae y dan paso a otras especies como

las epifitas de las familias Ericaceae y Araceae. En alturas de 1,200 a 2,000 msnm la familia de las Rubiaceae continuó con una gran presencia (19%), seguido por las Araceae 14%, Melastomataceae 11% y Pteridophytae 10%. Para alturas de 2,000 a 2,800 msnm predominan los helechos (Pteridophytae 20 %), seguido por las Melastomataceae con 14%, y los Araceae 13%, en este rango la presencia de la familia Orquidaceae toma mayor importancia (9 %) que en los pisos anteriores (MAE, 2008).

Red Hídrica y Tributarios del río Anzu

El área de la microcuenca se localiza en su mayoría en la jurisdicción del cantón Mera en donde se encuentra los rangos altitudinales de mayor altura. Es desde allí que nace el río Anzu y tiene una longitud de 24.5 km hasta su desembocadura al Río Piatúa y a él se conectan tributarios perennes e intermitentes. Mediante la clasificación de las imágenes se identificaron seis ríos que están en medio de la cobertura boscosa y vegetación secundaria. Mientras que en la parte baja y de menor porcentaje de pendiente existe interacción entre las actividades humanas y la cobertura vegetal, es decir, el área agrícola.

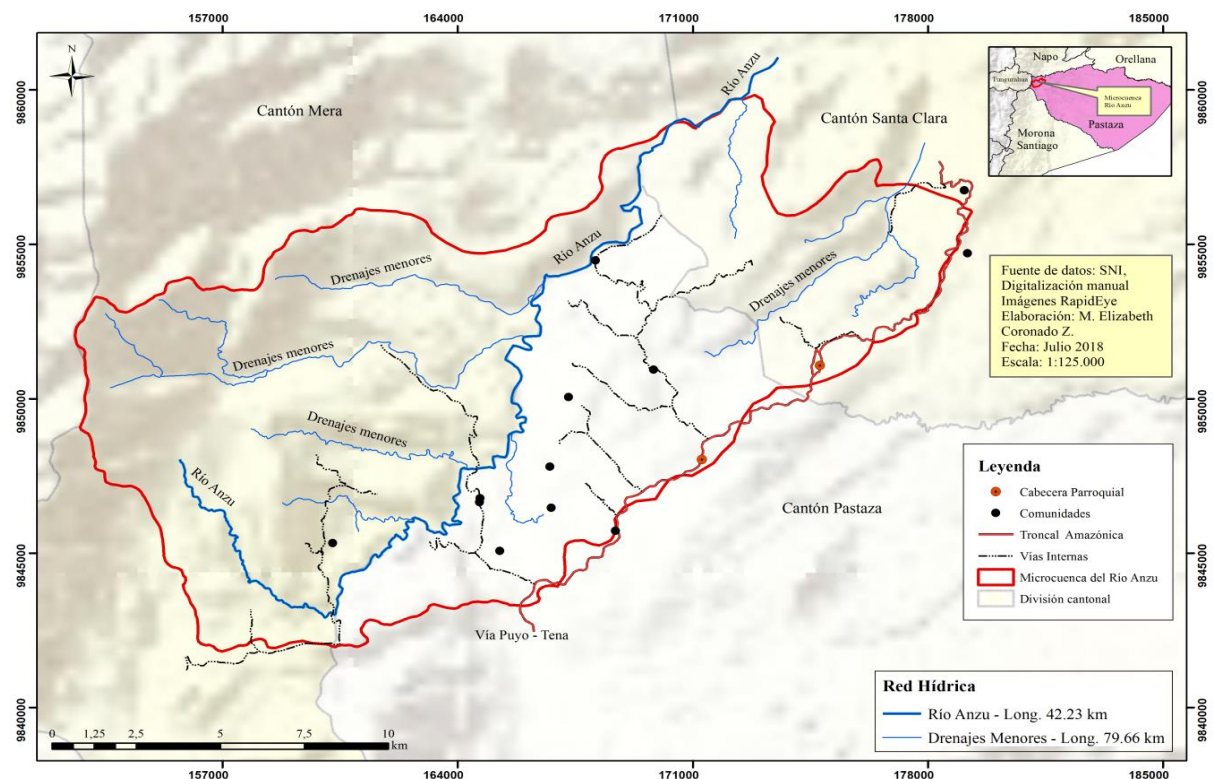


Figura 10. Red hídrica y los tributarios del río Anzu.

El agua es elemento fundamental para cualquier actividad humana, por ello los cambios en los suministros de agua que se dan como producto de acciones antrópicas tales como la deforestación pueden por tanto afectar de manera dramática sectores como el de agua potable, el energético y el agrícola.

Los resultados reflejan la riqueza hídrica de la zona estudiada y la importancia como servicio ecosistémico que puede prestar a sus comunidades más cercanas. En este sentido en el contexto mundial, la cuenca hidrográfica del Amazonas corresponde a una de las áreas de menor densidad poblacional, que cuenta con una enorme disponibilidad de agua dulce debido a la frecuencia de precipitaciones, situación opuesta a la tendencia global (Nieto y Caicedo 2012). Sin embargo, de ello, cada vez más se evidencian situaciones de “estrés hídrico” entre las poblaciones de la región amazónica ecuatoriana (RAE), sea por deficiencias severas en la dotación de servicios de agua y alcantarillado, problemas derivados de la contaminación industrial (hidrocarburos o minería), alteraciones del ciclo hídrico por deforestación o inundaciones (cambio climático), así como por los impactos que generan proyectos de aprovechamiento del recurso hídrico que no se compatibilizan con el desarrollo local sostenible.

En resumen, teniendo en cuenta que el cambio climático mundial constituye la condición general para las estrategias de protección de los recursos hídricos, se hace necesario desde una visión sistémica reconocer que el agua siempre forma parte de un ecosistema, incluidos los asentamientos humanos. Esto significa que no existe protección del agua que no pase por la protección del ecosistema y de la sociedad de la que forma parte. Por tanto, la investigación científica debe enfatizar sobre las interacciones entre los recursos hídricos, los ecosistemas, la economía y el sistema climático, como componente esencial de los planes y programas locales de protección del agua.

4.3 Cuantificación de la vulnerabilidad ambiental

La vulnerabilidad ambiental es un concepto que se relaciona con la susceptibilidad o predisposición intrínseca del medio y los recursos naturales a sufrir un daño o una pérdida, siendo estos elementos físicos o biológicos (Altieri y Nicholl, 2013). El concepto de vulnerabilidad, aplicado a cuencas hidrográficas, se manifiesta cuando se presentan fenómenos de carácter hidrometeorológico extremo (granizadas, lluvias torrenciales, huracanes, inundaciones, sequías, tornados) y escenarios morfométricos críticos (alta pendiente, geomorfología abrupta, suelos poco profundos, uso del suelo sin medidas conservacionistas)

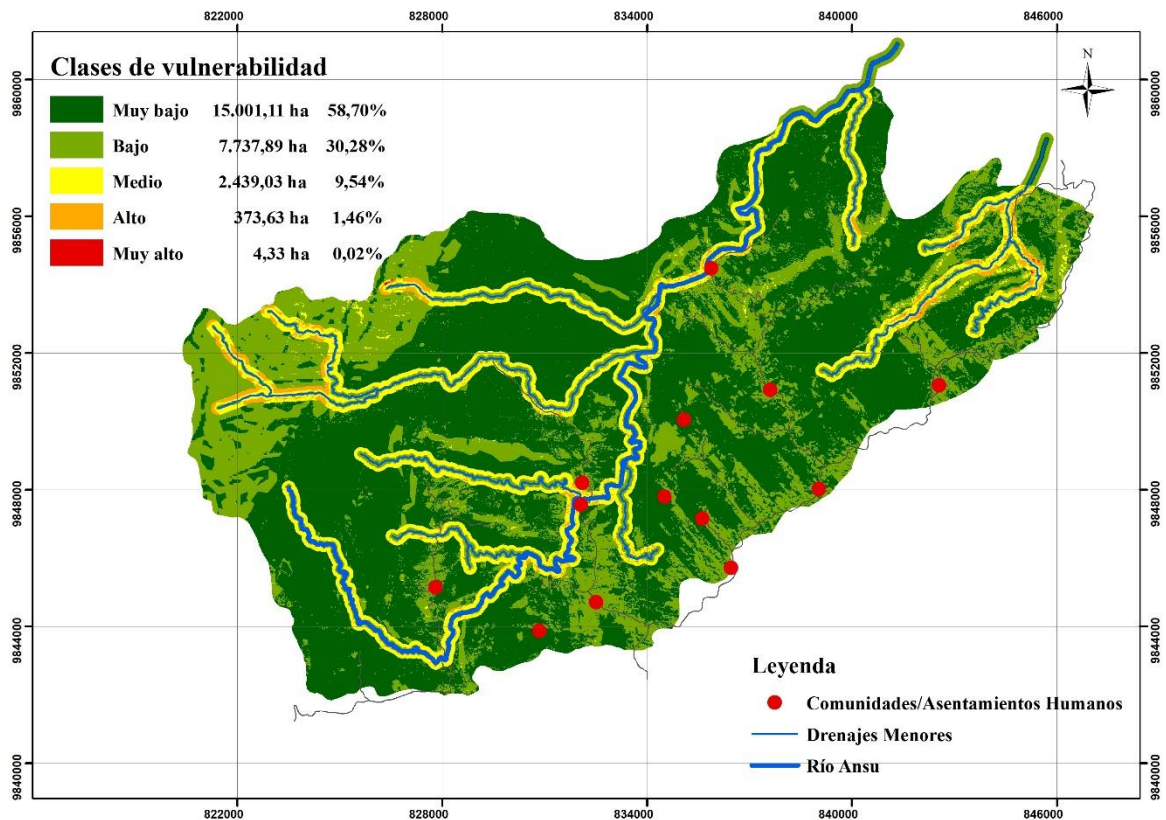


Figura 11. Cuantificación de la vulnerabilidad ambiental de la microcuenca del río Anzu.

En la figura 11 se muestra las clases de vulnerabilidad ambiental usando los diferentes indicadores que a su vez presentó en su mayoría una vulnerabilidad baja y muy baja. Esta cuantificación constituye la tendencia de un dinámico proceso que está ligado al cambio de la cobertura vegetal hacia otros usos y que se asocia principalmente al avance de la frontera

agrícola. Del área de la microcuenca, el 58.70% del territorio corresponde a una vulnerabilidad muy baja (clase 1), el 30.28% a una vulnerabilidad baja (clase 2) y 11.02% a una vulnerabilidad media, alta y muy alta, es decir a la clase tres, cuatro y cinco respectivamente.

Como se señaló anteriormente, un alto porcentaje de la microcuenca se encuentra en vulnerabilidad baja y está estrechamente enlazada con la distribución de la cobertura boscosa y las pendientes. Al interponer el mapa de los asentamientos humanos se llegó a determinar que las comunidades de Boayacu y Simón Bolívar se localizan en una zona de vulnerabilidad media (clase 3). Es decir que, en eventos climáticos fuertes, en especial precipitaciones podrían sufrir algún tipo de afectación, daños materiales y humanos.

La distribución de la vulnerabilidad del área de estudio para aspectos sociales no genera grandes preocupaciones puesto que las comunidades se concentran en pendientes no mayor al 15% que representa el 60% del territorio de la microcuenca, lo que se ubica en un nivel bajo de vulnerabilidad. Sin embargo, para la cobertura forestal las presiones de las actividades extractivas no son amigables dado que los resultados son la deforestación, fragmentación de ecosistemas, suelos degradados, contaminación de fuentes de agua y pérdida de biodiversidad.

Es importante resaltar que, debido a las características morfométricas de la microcuenca, con una longitud del cauce principal medio, de forma redondeada y moderada a alta circularidad, sugiriendo que la misma puede ocurrir mayores concentraciones de aguas que deriven en inundaciones sobre todo en las zonas de menores pendientes. Todo ello se confirma con los resultados del índice de densidad de drenaje que fueron bajos, que corresponde a una mayor densidad de las corrientes que unido a la presencia de asentamientos humanos a las orillas del río, con actividad agrícola pueden aumentar los riesgos por inundaciones con sus correspondientes daños materiales y humanos

Los resultados de vulnerabilidad demuestran la importancia que representan los bosques como uso potencial de la región amazónica ecuatoriana y como factor principal para minimizar los riesgos potenciales de erosión en un paisaje caracterizado por una alta variabilidad topográfica con gran diversidad de pendientes que junto con las características climáticas de altas precipitaciones representan una de las mayores amenazas (Bravo *et al.*, 2017).

Los cambios de la cobertura vegetal principalmente de la boscosa, ha sido un proceso que se viene dando desde inicios de la humanidad y según estudios realizados por la FAO en el 2015, mediante el uso de imágenes satelitales, menciona que la deforestación se ha podido cuantificar con facilidad y que ha tenido considerables incrementos, principalmente en la región tropical. A pesar de los esfuerzos realizados por entidades interesadas en mantener la cobertura boscosa, los bosques a nivel mundial continúan en reducción a medida que la población crece y con ello aumenta la demanda de alimentos y espacios para producir.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

- El análisis multitemporal permite señalar que la deforestación tuvo un avance en el periodo evaluado que fue aproximadamente 300 ha y fueron reemplazadas por otros usos como el bosque secundario, pastizales y agricultura.
- Las coberturas de mayor presencia fueron el bosque primario, seguido del bosque secundario; el uso agrícola fue reemplazo por el bosque secundario, pastizal e infraestructura.
- La vulnerabilidad ambiental obtenida de los indicadores de paisaje reflejó que la microcuenca tiene vulnerabilidad muy baja, solo Boayacu y Simón Bolívar tienen una vulnerabilidad media por ubicarse cerca al río Anzu

RECOMENDACIONES

- Realizar el mismo estudio en un periodo más amplio usando la misma metodología que ayude a una gestión integral del territorio
- Considerar otros indicadores como geología, precipitación, censo poblacional, movimientos telúricos
- Replicar este estudio en otras microcuencas que permita tener un panorama claro del impacto que genera la deforestación y las actividades antrópicas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri M., A., Nicholls, C. I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología* 8: 7-20.
- Benavides M., Victoria, Tarlé P., Teresa C. y Galbiatti, João A. (2009). Caracterización y clasificación de la red hidrográfica de la cuenca del río Bobo, departamento de Nariño Colombia. *Revista Ingeniería e Investigación* Vol. 29 No. 3, (97-101)
- Bohórquez, J., E., T. (2013). Evaluación de la vulnerabilidad social ante amenazas naturales en Manzanillo (Colima). Un aporte de método. *Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 2013(81), 79-93.
- Bravo, C., D, Benítez., JC, Vargas Burgos., R, Alemán., B, Torres & Marín, H. (2015). Socio-Environmental Characterization of Agricultural Production Units in the Ecuadorian Amazon Region, Subjects: Pastaza and Napo. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*. 4 (1): 3-31
- Bravo Medina, C.; Torres, B.; Changoluisa, D.; Marín, H.; Alemán, R. ;Torres, R. (2016). Environmental impact of livestock systems in the Ecuadorian Amazon. In *Proceedings of the MOL2NET, International Conference on Multidisciplinary Sciences, 25 December 2016–25 January 2017; Sciforum Electronic Conference Series, Vol. 2, (2016); doi:10.3390/mol2net-02-03869*
- Bravo Medina, C.; Marín, H.; Marrero-Labrado, P; Ruiz, M.E; Torres-Navarrete, B; Navarrete-Alvarado, H; Durazno-Alvarado, G y Changoluisa-Vargas, D. (2017). Evaluación de la sustentabilidad mediante indicadores en unidades de producción de la provincia de Napo, Amazonía Ecuatoriana. *Bioagro*, 29(1): 23-36.
- Bravo Medina, C.; Torres, B.; Alemán, R; Changoluisa, D; Marín, H; Reyes, H; Navarrete, H. (2017). Soil structure and carbon sequestration as ecosystem services under different land uses in the Ecuadorian amazon region. In *Proceedings of the MOL2NET 2017, International Conference on Multidisciplinary Sciences, 3rd edition, 15 February–20*

December 2017; Sciforum Electronic Conference Series, Vol. 3, (2017);
doi:10.3390/mol2net-03-04859

Bravo-Medina, C.; Torres, B; Alemán, R., Marín, H.; Durazno, G; Navarrete, H; Tuniesky Gutiérrez; E y Tapia, A. (2017 a). Indicadores morfológicos y estructurales de calidad y potencial de erosión del suelo bajo diferentes usos de la tierra en la Amazonía ecuatoriana. *Anales de Geografía. Universidad Complutense*. 37(2): 247-264.

Bravo, C., Ramírez, A., Marín, H., Torres, B., Alemán, R., Torres, R., Navarrete, H., Changoluisa, D. (2017b). Factores asociados a la fertilidad del suelo en diferentes usos de la tierra de la Región Amazónica Ecuatoriana. *REDVET Rev. Electrón. Vet.* 2017 Volumen 18 (11) p. 1-16.

Chuvieco, S.E. (2008). Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. Tercera edición. Barcelona, España. Editorial Ariel 254-259, 348-356, 389- 391 p.

Congalton, R., Green, K. (1999). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data*. Boca Ratón: CRC Press.

Cruz-Romero, B; Gaspari, FJ.; Rodríguez Vagaría, AM, Carrillo González, FM, Téllez López, J. (2015). Análisis morfométrico de la cuenca hidrográfica del río Cuale, Jalisco, México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 64: 26-34.

ESRI: Environmental Systems Research Institute, (2018). Recuperado en 6 de diciembre del 2018, disponible en: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>

FAO [Food and Agriculture Organization of the United Nations]. (2015). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación: La ganadería a examen*. Roma: FAO. 200 p

FAO [Food and Agriculture Organization of the United Nations]. (2015).

- Faustino Manco, J., & Jiménez Otárola, F. (2000). Manejo de cuencas hidrográficas. Recuperado en 6 de diciembre del 2018, disponible en <http://www.sidalc.net/REPDOC/A5762E/A5762E.PDF>
- Gaspari, F., Rodríguez Vagaría, A., Delgado, M., Senisterra, G., Denegri, G. (2011). Vulnerabilidad ambiental en cuencas hidrográficas serranas mediante SIG. *Multequina*, (20), 3-13.
- García-Valdés, R., & Morales-Castilla, I. (2016). Efectos del cambio climático en los ecosistemas forestales: integrando inventarios y modelos. *Revista Ecosistemas*, 25(3), 51-59.
- Gutiérrez Rojas, Y. A. (2009). Uso del suelo, vegetación ribereña y calidad del agua de la microcuenca del río Gaira, Santa Marta, Colombia. Tesis de MSc. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza – CATIE. Costa Rica. 5p.
- Horton, R. (1945): “Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology”. *Bull. Geol. Soc. Am.* 56, 275-370.
- IPCC; Intergovernmental Panel on Climate Change. (2008) Summary for policy makers, in *Climate change: The physical science basis, Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt,
- Lavell, A. (2003). La Gestión local del riesgo. Nociones y precisiones con respecto al concepto y la práctica. Programa Regional para la Gestión del Riesgo en América Latina. PNUD. 101 pág. Guatemala.
- Marull, J., Pino, J., Tello, E., Mallarach, J. (2006). Análisis estructural y funcional de la transformación del paisaje agrario en el Vallès durante los últimos 150 años (1853-2004): relaciones con el uso sostenible del territorio. *AREAS – Revista Internacional de Ciencias Sociales*. (25) 105 – 126p.

- Marín, Haideé Coromoto; Bravo Medina, C y Manjarrez Fuentes, N. (2017). Análisis de vulnerabilidad ambiental de la cuenca alta del río San Pedro, estado Miranda, Venezuela. *Cienc Tecn UTEQ* 10(2) p 1-8.
- MAE; Ministerio del Ambiente, (2018). Protege Ecuador, la responsabilidad es de tod@s <http://www.ambiente.gob.ec/11699/>
- MAE; Ministerio del Ambiente del Ecuador – Programa GESOREN-GTZ. (2008). Análisis Multitemporal del Uso del suelo y Cobertura Vegetal de la Reserva de Biósfera Sumaco. Quito
- MAE; Ministerio del Ambiente del Ecuador y GIZ; Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. (2013b): Segunda medición del uso del suelo y de la cobertura vegetal en la Reserva de Biosfera Sumaco. Consultora Agroprecisión Cía. Ltda. Quito, Ecuador. 110 pp.
- MAE; Ministerio del Ambiente, (2014). Plan Nacional de Restauración Forestal 2014-2017. Quito. Consultado el 08 de marzo del 2018. Disponible en: <http://sociobosque.ambiente.gob.ec/files/images/articulos/archivos/amrPlanRF.pdf>
- MAE; Ministerio del Ambiente, (2015). Fragmentación de los ecosistemas del Ecuador Continental.
- MEA, (2005). Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis. World Resources Institute, Washington D.C., Estados Unidos.
- Muñoz-Pedrerros, A. (2004). La evaluación del paisaje: una herramienta de gestión ambiental. *Revista chilena de historia natural*, 77(1), 139-156. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2004000100011>
- Nieto, C. y Caicedo. C. (2012). Análisis reflexivo sobre el desarrollo agropecuario sostenible en la Amazonía ecuatoriana. INIAP / EECA. Joya de los Sachas, Ecuador. 102 p. (Publicación Miscelánea, no. 405).

- Noriega, O. D. J., Gutiérrez Rojas, Y., & Rodríguez Barrios, J. (2011). Análisis de la vulnerabilidad y el riesgo a inundaciones en la cuenca baja del río Gaira, en el Distrito de Santa Marta. *Prospect*. Vol. (9) 2, 93-102.
- Ortiz, L. (2004) Evaluación hidrológica en *Revista Hidro Red*, Red Latinoamericana de Micro Hidroenergía, Lima Perú. Vol. (2): 2-10.
- Peralta-Rivero, Carmelo, Torrico-Albino, Juan C., Vos, Vincent A., Galindo-Mendoza, María G., & Contreras-Servín, Carlos. (2015). Tasas de cambios de coberturas de suelo y deforestación (1986-2011) en el municipio de Riberalta, Amazonía boliviana. *Ecología en Bolivia*, 50(2), 91-114.
- Quirós Rosado, E. M. (2009). Clasificación de imágenes multiespectrales Aster mediante funciones adaptativas. Tesis Doctoral. España. Universidad de Extremadura. 110.
- Reyes Hernández, Humberto, Aguilar Robledo, Miguel, Aguirre Rivera, Juan Rogelio, & Trejo Vázquez, Irma. (2006). Cambios en la cubierta vegetal y uso del suelo en el área del proyecto Pujal-Coy, San Luis Potosí, México, 1973-2000. *Investigaciones geográficas*, (59), 26-42.
- SASPLANET (versión 151111) [Software]. (2015). SASGIS. Obtenido de <http://www.sasgis.org/sasplaneta/>
- Smith, P. y Olesen, JE. (2010). Synergies between the mitigation of, and adaptation to, climate change in agriculture. *Journal of Agricultural Science*, 148, 543 – 552.
- Sierra, R. (Ed.). 1999. Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF y EcoCiencia. Quito, Ecuador.
- Torres, B.; Starnfeld, F., Vargas, J.C., Ramm, G., Chapalbay, R.; Ríos, M., Gómez, A., Torricelli, Y.; Jurrius, I.; Tapia, A., Shiguango, J., Torres, A., Velasco, C., Murgueytio, A., and Cordoba-Bahle, S.D. (2014): Gobernanza participativa en la Amazonía del Ecuador: recursos naturales y desarrollo sostenible. Universidad Estatal Amazónica,

Ministerio del Ambiente del Ecuador, Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Napo y Cooperación Alemana al Desarrollo. Puyo, Ecuador. P.124

Torres, B., Vargas, J., Arteaga, Y., Torres, A. y Lozano, P. (2017). Entendiendo las dinámicas de un paisaje megadiverso: Amazonia Ecuatoriana. En Torres, B., Vargas, J., Arteaga, Y., Torres, A. y Lozano, P (Eds.) (2017). Gente, Bosque y Biodiversidad: El rol del bosque sobre la biodiversidad y las poblaciones rurales. Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador. 279 pp.

Torres, B., Vargas, J.C., Arteaga, Y., Torres, A., y Lozano, P. (Eds.) (2017). Gente, Bosque y Biodiversidad: El rol del bosque sobre la biodiversidad y las poblaciones rurales. Universidad Estatal Amazónica. Programa Economía de Recursos Naturales y Desarrollo Empresarial. Puyo, Ecuador. 253 pp. ISBN: 978-9942-932-19-8

Valencia R., M., Figueroa C., A., Ruiz, D., Otero S., J., Martínez, J.P., Ceballos, V., Joaquín, S.C., González, D. (2014). Metodología para el análisis de vulnerabilidad en cuencas abastecedoras de agua ante la variabilidad climática. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, vol. 13, No. 25 ISSN 1692-3324 - julio-diciembre de 2014/248 p. Medellín, Colombia.

Valle-Carrión, L., Leonardo Izquierdo Montoya, Diana Encalada y Santiago Ochoa-Moreno, (2017). Análisis del portafolio del uso del suelo y rentabilidad en la agricultura campesina: un estudio de caso en el sur de la Amazonía Ecuatoriana. En Torres, B., Vargas, J., Arteaga, Y., Torres, A. y Lozano, P (Eds.) (2017). Gente, Bosque y Biodiversidad: El rol del bosque sobre la biodiversidad y las poblaciones rurales. Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador. 279 pp.

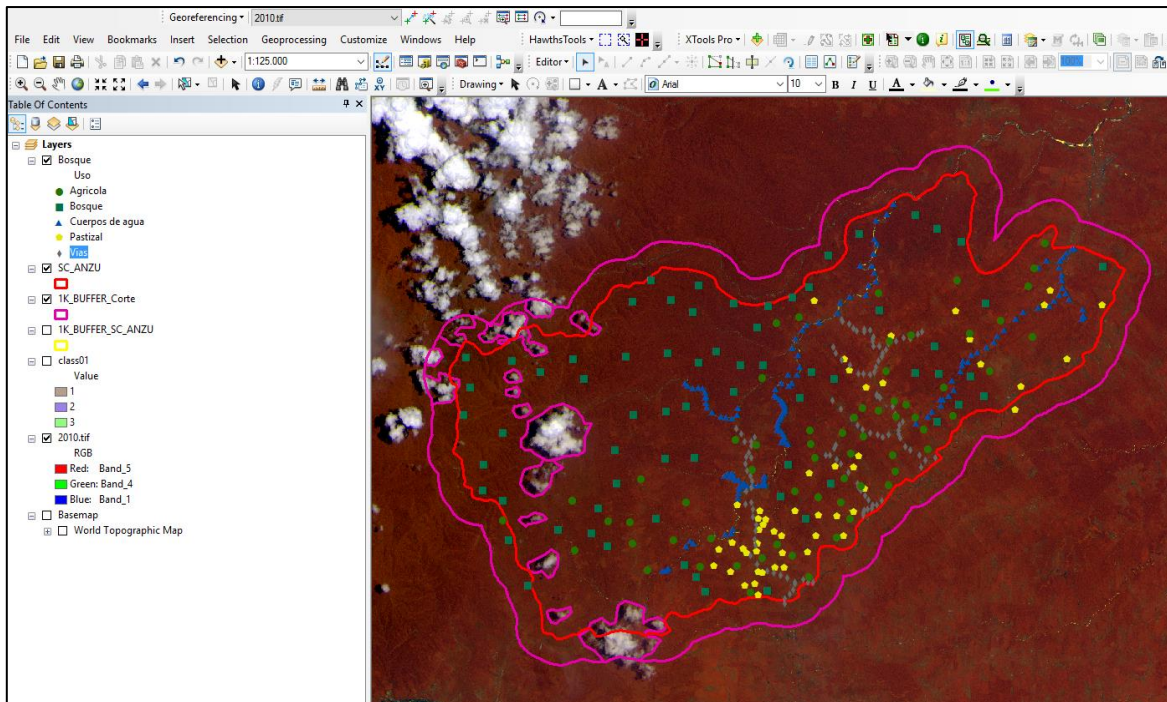
Weichelt, H., Rosso, P., Marx, A., Reigber, S., Douglass, K. y Heynen, M. (s.f.) The RapidEye Red Edge Band. Germany, USA, Canadá y Luxemburgo. 4-5 p. Recuperado el 6 de septiembre. Documento en línea, disponible en https://apollomapping.com/wp-content/user_uploads/2012/07/RapidEye-Red-Edge-White-Paper.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Características técnicas al momento de la compra de las imágenes RapidEye.

ITEM	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
Nivel de tratamiento	Imágenes Ortorectificadas
Bandas espectrales	5 (Rojo, Verde, Azul, RedEdge, NIR)
Sensor	Multiespectral (frame imager)
Cobertura de nubes	Hasta 20% del área total
Ángulo de inclinación de la adquisición	+/- 23°
Resolución espacial	5 metros
Resolución radiométrica	12 bits
Formato de entrega	GeoTIFF
Sistema de coordenadas	UTM / WGS-84

Anexo 2. Mosaico de imágenes y la distribución de los puntos de control para la clasificación supervisada.



Anexo 3. Mosaico de cultivos que se desarrollan dentro del área de la microcuenca del Río Anzu

