

UNIVERSIDAD LATINOAMERICANA CIMA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“DETERMINACIÓN DE LOS CAMBIOS EN LA
FRAGMENTACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS POR
ACTIVIDAD ANTROPOGÉNICA, EN TRES
TEMPORALIDADES, EN LA CUENCA DEL MAURE DE LA
REGIÓN TACNA”**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Presentado por:

Naysha Saret Frisancho Soto

Asesor:

Blgo. Marco Alberto Navarro Guzmán

Tacna – Perú

2019

Dedicatoria

A Dios, a Walter y Lidia, mis padres; a Nicol, hermana, por su apoyo constante e inmenso amor; a mis abuelos, tíos y demás familia y a todo aquel que contribuyó en mi formación personal y académica

Agradecimientos

A la Universidad Latinoamericana CIMA, por brindarme la oportunidad de formarme académicamente con docentes de gran experiencia profesional, que vienen trabajando arduamente en la gestión ambiental de nuestra región y país, en especial al Blgo. Marco Alberto Navarro Guzmán, por su asesoramiento en la presente tesis.

A mi familia por su amor y comprensión y a todo aquel que contribuyó a mi formación personal y profesional.

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIZACIÓN

Yo, Naysha Saret Frisancho Soto, identificada con DNI. N° 71041107, de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Latinoamericana CIMA declaro bajo juramento, autorizar, en mérito a la Resolución del Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU/CD del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar Grados Académicos y Títulos Profesionales, registrar mi trabajo de investigación para optar el: Título Ingeniera Ambiental.

- a) **Acceso abierto;** tiene la característica de ser público y accesible al documento a texto completo por cualquier tipo de usuario que consulte el repositorio.
- b) **Acceso restringido;** solo permite el acceso al registro del metadato con información básica, mas no al texto completo, ocurre cuando el autor de la información expresamente no autoriza su difusión, de acuerdo con lo declarado en el Anexo N° 2 del presente Reglamento.

En caso que el autor del trabajo de investigación elija la opción restringida, se colgará únicamente los datos del autor y el resumen del trabajo de investigación.



Autor : Saret Naysha Frisancho Soto
Firma

DECLARACIÓN JURADA

Yo, Naysha Saret Frisancho Soto, identificad con DNI° 71041107, egresado (a) de la carrera de Ingeniería Ambiental declaro bajo juramento ser autor (a) de la Tesis denominada “Determinación de los cambios en la fragmentación de los ecosistemas por actividad antropogénica, en tres temporalidades, en la cuenca del Maure de la región de Tacna”. Además de ser un trabajo original, de acuerdo a los requisitos establecidos en el artículo 47° del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Latinoamericana CIMA.



Autor : Saret Naysha Frisancho Soto
Firma

Índice general

Dedicatoria	ii
Agradecimientos.....	iii
Índice general	iv
Índice de tablas.....	viii
Índice de figuras	ix
Abstract	xii
Introducción	xiii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
1.1. Descripción del problema	15
1.2. Formulación del problema:	16
1.2.1. Problema general	16
1.2.2. Problemas específicos	16
1.3. Objetivos de la investigación.....	17
1.3.1. Objetivo General.....	17
1.3.2. Objetivos Específicos.....	17
1.4. Justificación de la investigación.....	18
1.5. Limitaciones de la investigación	22
1.6. Delimitación de la investigación	23
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	24
2.1. Antecedentes de la investigación.....	24
2.1.1. Antecedentes internacionales	24
2.1.2. Antecedentes nacionales	25
2.2. Bases teóricas	26
2.2.1. Definición de la variable	26
La fragmentación de los ecosistemas.....	26

Efectos abióticos	27
Efectos bióticos	28
2.2.2. Teoría que sustenta la variable	29
2.2.2.1. Las métricas del paisaje	29
2.2.2.2. La cuenca del Maure en Tacna	30
Hidrografía	30
Variables climáticas	30
Ecología.....	33
2.2.2.3. Actividad antropogénica en la cuenca del Maure.....	37
Afianzamiento hídrico (Autoridad Nacional del Agua, 2015).....	37
Obras viales	40
Población.....	41
2.3. Definición de términos básicos.....	41
Ecosistemas	41
Cobertura vegetal.....	42
Paisaje	42
Fragmentación del paisaje	42
Actividad antropogénica	43
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	44
3.1. Formulación de la hipótesis	44
3.1.1. Hipótesis general	44
3.1.2. Hipótesis específicas	44
3.2. Operacionalización de variables e indicadores	44
3.3. Tipo y diseño de investigación	46
3.3.1. Tipo de investigación.....	46
3.3.2. Diseño de la investigación.....	46

3.4. Población y muestra de la investigación	46
3.4.1. Población	46
3.4.2. Muestra	46
3.4.3. Distribución muestral	46
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	46
3.5.1. Descripción de instrumentos	48
Distribución geográfica del paisaje en la cuenca del Maure.....	48
a) Delimitación de la cuenca del Maure en ArcGIS 10.3.....	48
b) Determinación de cobertura vegetal del paisaje	52
Distribución geográfica de las actividades antropogénicas en tres temporalidades	53
a) Definición de temporalidades.....	53
Primera temporalidad - Año 1975	53
Segunda temporalidad - Año 2012	53
Tercera temporalidad – Año 2020.....	53
b) Salidas de campo	54
Las métricas del paisaje para cada temporalidad	54
a) Elaboración de los polígonos analizadores de métricas	54
b) Cálculo de las métricas del paisaje	55
Variación de la fragmentación:	58
3.5.2. . Validación y fiabilidad de instrumentos.....	60
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	60
CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61
4.1. Resultados	61
4.1.1. Distribución geográfica del paisaje en la cuenca del Maure	61
4.1.2. Distribución geográfica de las actividades antropogénicas en tres temporalidades	63
4.1.3. Las métricas de la cuenca del Maure	67

4.1.4. Variación de la fragmentación:.....	81
4.2. Discusión de resultados	82
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
5.1. Conclusiones.....	85
5.2. Recomendaciones	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

Índice de tablas

Tabla 1. Sub cuencas del Maure.....	31
Tabla 2. Operacionalización de las variables e indicadores.....	45
Tabla 3. Técnicas de instrumentos de recolección de datos.....	47
Tabla 4. Métricas del paisaje utilizadas para calcular la fragmentación de la cuenca del Maure.....	56
Tabla 5. Escala de fragmentación según tasas altas y bajas de deforestación a nivel mundial.....	59
Tabla 6. Tipos de cobertura vegetal en la cuenca del Maure.....	62
Tabla 7. Valores obtenidos de las métricas de diversidad a nivel paisaje en la cuenca del Maure.....	73
Tabla 8. Valores obtenidos de las métricas de forma a nivel paisaje en la cuenca del Maure.	73
Tabla 9. Valores obtenidos de las métricas de borde a nivel de paisaje en la cuenca del Maure.....	74
Tabla 10. Valores obtenidos de las métricas de densidad, tamaño y variabilidad a nivel de paisaje en la cuenca del Maure.....	74

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de la cuenca y subcuencas del Maure. Se observa la distribución geográfica de la cuenca del Maure a través de las subcuencas que lo conforman.....	32
Figura 2. Archivo en formato shape de las cuencas hidrográficas de Tacna.....	48
Figura 3. Selección de la cuenca del Maure	49
Figura 4. Extracción del polígono de la cuenca del Maure de la capa de cuencas hidrográficas de la ZEE de Tacna.	49
Figura 5. Cuenca del Maure superpuesta a la imagen satelital de Tacna.....	50
Figura 6. Cuenca del Maure de la Región Tacna.....	50
Figura 7. Extracción de la imagen satelital de Tacna en los límites de la cuenca del Maure.	51
Figura 8. Cuenca del Maure en formato Raster.....	51
Figura 9. Reclasificación de imagen satelital en polígonos de cobertura vegetal.....	52
Figura 10. Cobertura vegetal de la cuenca del Maure en formato vectorial o shape.....	53
Figura 11. Inicio del cálculo de las métricas del paisaje.....	58
Figura 12. Métricas disponibles a medir por el software Patch Analyst.	58
Figura 13. Cobertura vegetal de la cuenca del Maure.....	61
Figura 14. Distribución porcentual del paisaje según el tipo de cobertura vegetal en la cuenca del Maure.....	63
Figura 15. Actividad antropogénica en la cuenca del Maure hasta el año 1975.....	64
Figura 16. Actividad antropogénica en la cuenca del Maure hasta el año 2012.	65
Figura 17. Actividad antropogénica en la cuenca del Maure al año 2020.	66
Figura 18. Analizador de métricas sin actividad antropogénica	68
Figura 19. Analizador de métricas con actividad antropogénica al año 1975	69
Figura 20. Analizador de métricas con actividad antropogénica al año 2012	70
Figura 21. Analizador de métricas con actividad antropogénica al año 2020	71

Figura 22. Índice de Diversidad de Shannon (SDI) para el paisaje de la cuenca del Maure ..	75
Figura 23. Índice de Equidad de Shannon (SEI) para el paisaje de la cuenca del Maure.	75
Figura 24. Variación del AWMPFD que mide el grado de complejidad de los fragmentos. ...	76
Figura 25. Variación del MPFD que también calcula la complejidad de los fragmentos.	76
Figura 26. Variación del MPAR que es la sumatoria de la razón perímetro/área dividida por el NumP.	77
Figura 27. Variación del índice promedio de la forma (MSI) en el paisaje de la Cuenca del Maure.....	77
Figura 28. Variación del índice ponderado por el área del promedio de la forma (AWMSI) en la cuenca del Maure.....	77
Figura 29. Incremento del número de fragmentos (NumP) en la cuenca del Maure.....	78
Figura 30. Variación del tamaño medio de parches (MPS) en la cuenca del Maure.....	78
Figura 31. Variación de la mediana del tamaño del parche (MedPS).....	79
Figura 32. Coeficiente de variación del tamaño medio de los parches (PSCoV) de la cuenca del Maure.....	79
Figura 33. Variación de la Desviación estándar del área de los parches (PSSD) en la cuenca del Maure.....	79
Figura 34. Variación del área total del paisaje (TLA) en la cuenca del Maure.....	80
Figura 35. Variación del perímetro total de los parches (TE) de la cuenca del Maure.	80
Figura 36. Variación de la cantidad de perímetro respecto al área total del paisaje (ED) Cuenca del Maure.	81
Figura 37. Variación del promedio del borde de los parches (MPE) en la cuenca del Maure.	81

Resumen

A pesar de la importancia que tienen los ecosistemas de la cuenca del Maure, en la provisión del recurso hídrico para la región de Tacna, no existe mayor información científica sobre el incremento de la fragmentación que las actividades antropogénicas han venido generando sobre estos, lo que ha traído diversas implicancias ambientales, económicas y ecológicas. Para determinar los cambios en la fragmentación de los ecosistemas ocasionada por la actividad antropogénica, en tres temporalidades (año 1975, 2012 y 2020) en la cuenca del Maure de la Región de Tacna, se ha propuesto una investigación del tipo no experimental con diseño longitudinal de tendencia. Por tal motivo, es que mediante un análisis geográfico a escala de paisaje y utilizando el software ArcGIS 10.3, la extensión Patch Analyst 5.2, la información geográfica generada por diversas instituciones públicas y las mediciones e información tomada durante las salidas de campo, es que se ha determinado la variación de la fragmentación en tres temporalidades desde el año 1975 al 2012 y una proyección al año 2020. Los resultados demuestran que el paisaje estuvo conformado de forma natural por 302 fragmentos de 7 tipos de cobertura vegetal, bofedales, queñuales, matorrales, pajonales, lagunas, glaciares y zonas nival, a quienes se ha considerado como unidades ecosistémicas. En el año 1975, según la revisión bibliográfica y el análisis de la base de datos, la mayor actividad antropogénica fue por el crecimiento de los centros poblados, la construcción de carreteras, trochas, caminos de herradura y algunas remociones de tierras por actividad minera, dando como resultado para esta temporalidad 670 fragmentos para el paisaje estudiado. Al incrementarse la actividad antropogénica en los siguientes años hasta el 2012, con pozos, reservorios, canales, parteaguas, represas, etc., se ha evidenciado que en esta temporalidad, el paisaje quedó conformado por 818 fragmentos. Incorporando los nuevos proyectos de desarrollo de la actividad antropogénica se calcula que para el año 2020, el paisaje de estudio, estará conformado por 837 fragmentos, lo que demuestra un alto nivel de fragmentación de la cuenca del Maure en 40 años, de 13,34%.

Abstract

Despite the importance of the ecosystems of the Maure basin, in the provision of water resources for the Tacna region, there is no greater scientific information on the increase in fragmentation that anthropogenic activities have been generating over these for a long time ago, the same ones that have brought diverse environmental, economic and ecological implications, becoming limiting factors to carry out an adequate territorial management that allows to ensure their conservation and sustainability. For this reason, it is that by geographic analysis at landscape scale and using ArcGIS 10.3 software, the Patch Analyst 5.2 extension, the geographic information generated by various public institutions in our region and the measurements and information taken during the field trips, is that the variation of the fragmentation has been determined in three temporalities, from 1975 to 2012 and a projection to the year 2020. The results show that the study landscape, the Maure basin, is formed naturally by 302 fragments of 7 types of vegetation cover, bofedales, queñuales, bushes, pajonales, lagoons, glaciers and nival zones, to those that have been considered as ecosystemic units. In 1975, according to the bibliographic review and the analysis of the database, the greatest anthropogenic activity was due to the growth of population centers, the construction of roads, trails, bridleways and some land removals due to mining activity, giving as a result for this temporality 670 fragments for the landscape studied. As the anthropogenic activity increases in the following years until 2012, with wells, reservoirs, canals, gates, dams, etc., it has become evident that in this temporality, the landscape was made up of 818 fragments. Incorporating new projects for the development of anthropogenic activity it is estimated that by 2020, the study landscape will be made up of 837 fragments, which shows a high level of fragmentation of the Maure watershed in 40 years, of 13,34%.

Introducción

La fragmentación es la transformación ocasionada por el hombre, de un paisaje naturalmente homogéneo, en fragmentos de menor tamaño y que en ciertos casos suelen quedar aislados formando pequeñas islas. Esta se ha convertido en una gran amenaza para los ecosistemas del mundo, ya que a través de ella se pierden los hábitat naturales pero principalmente la diversidad biológica, ocasionada por la disminución de la oportunidad y capacidad de la diversidad genética a adaptarse a los cambios ambientales y nuevos escenarios.

Esta pérdida de la biodiversidad está vinculada directamente al hombre, ya que es dependiente del normal funcionamiento de los ecosistemas naturales, a través del aprovechamiento de los servicios ecosistémicos que brindan, y que al verse afectados por la fragmentación, reducen su capacidad para continuar proveyéndolos en calidad y cantidad.

En la región de Tacna, es conocido que los servicios ecosistémicos (especialmente los de regulación hídrica) se encuentran asociados a los ecosistemas naturales de la zona altoandina de Tacna, quienes a través de su funcionamiento los proveen a las zonas bajas y desérticas de la región. Las obras de afianzamiento hídrico y otras actividades humanas han fragmentado a los ecosistemas altoandinos que conforman el paisaje, en especial el de la cuenca del Maure, motivo por el cual es estudiado en la presente investigación.

Así, es que a través de imágenes satelitales, información secundaria histórica de la actividad antropogénica y de los ecosistemas naturales presentes en la cuenca del Maure, se ha determinado los cambios en la fragmentación de los ecosistemas sucedida en tres temporalidades, lo que nos da una idea si es que esta se ha incrementado o disminuido.

Esta evaluación no sólo ha considerado aspectos visuales, sino también el cálculo de múltiples variables llamadas métricas del paisaje, que son índices numéricos que expresan el tamaño, la densidad, la variabilidad y la forma de los fragmentos de un paisaje determinado y que se

obtienen con ayuda de un conocido programa llamado ArcGIS y su complemento, el Patch Analyst en su versión 5.2. Estas métricas que calculan los cambios en el paisaje de la Cuenca del Maure a través de la medición de la forma, el tamaño, la densidad y diversidad de los fragmentos, pueden interpretarse en implicancias ecológicas (afectación a los componentes bióticos y abióticos) que afectan a los ecosistemas y su funcionamiento, dejando en evidencia el daño que se les ha venido generando durante mucho tiempo.

Esto permitirá proponer medidas para la restauración en búsqueda de recuperar la conectividad del paisaje y que no se siga perdiendo la capacidad de estos importantes ecosistemas en proveer el servicio de regulación hídrica tan necesario para el hombre y sus actividades económicas, como la agricultura.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema:

El abastecimiento de agua para el normal desarrollo de la dinámica poblacional y su uso productivo dentro de las más importantes actividades económicas regionales - como la agricultura, la agroindustria y el turismo - durante muchos años dependen de los megaproyectos de afianzamiento hídrico que fueron planificados y ejecutados por el Gobierno Regional de Tacna a través del operador hidráulico mayor, el Proyecto Especial Tacna (PET).

Para lograr cubrir la demanda hídrica de Tacna, ha sido necesario realizar la instalación de una gran cantidad de infraestructura gris (llamada así, porque sus principales componentes son fierro y cemento), como represas, canales, diques, bocatomas, partidores de agua, etc., tanto en los puntos en donde se abastece a la Empresa Prestadora de Servicio - EPS Tacna, para su tratamiento y distribución para el uso poblacional (Calana), como al interior o en remplazo de los ecosistemas naturales de las cuencas altoandinas de Tacna, en donde se presentan elevados promedios de precipitación y que además son reguladores naturales del ciclo del agua; con la finalidad de recolectarla y trasladarla hacia las zonas áridas de nuestra región.

Desde los años noventa en adelante, se inició la construcción de una gran cantidad de infraestructura gris dentro de los ecosistemas naturales altoandinos, incluso muchas de ellas, mediante proyectos que no contaban con certificación ambiental, ya que al momento de su ejecución, no existía la normativa ambiental vinculante. En su momento, la instalación de esta infraestructura (en especial de los canales) fue cuestionada socialmente por las poblaciones locales y comunidades campesinas, quienes sentían que éstas afectaban directamente a sus áreas de pastoreo, ocasionando la muerte de sus alpacas

por falta de alimento, de la fauna silvestre y del ecosistema mismo, en especial en sectores donde estas obras quedaron inconclusas y no se encuentran en operación. Las noticias de esa época son la evidencia de que mucha de la infraestructura construida no ha generado ningún tipo de beneficio a la población en general.

Con la finalidad de adecuar ambientalmente a los proyectos y a la infraestructura gris instalada de las épocas sin leyes ambientales, es que la nueva normatividad e institucionalidad ambiental ha exigido que el Proyecto Especial Tacna elabore e implemente un Programa de Adecuación y Manejo Ambiental - PAMA, el cual, hasta la fecha sólo ha sido implementado parcialmente. En cartera, se encuentran varios proyectos similares pero con certificación ambiental que serán instalados en los ecosistemas naturales de las cuencas altoandinas en los próximos años.

Paralelamente, se han desarrollado grandes obras de infraestructura vial, crecimiento urbano y otras actividades antropogénicas, que de forma individual o grupal han fragmentado la superficie de los ecosistemas naturales, por lo que resulta importante conocer el cambio en la fragmentación antropogénica en los últimos años.

1.2. Formulación del problema:

1.2.1. Problema general

¿Cuánto ha cambiado la fragmentación de los ecosistemas ocasionada por actividad antropogénica durante tres temporalidades (1975, 2012 y 2020) en la cuenca del Maure de la Región Tacna?

1.2.2. Problemas específicos

- i. ¿Cuál es la distribución geográfica del paisaje en la cuenca del Maure de la Región Tacna?

- ii. ¿Cómo se distribuyen geográficamente las actividades antropogénicas en las tres temporalidades de estudio?
- iii. ¿Cuáles son los valores de las métricas del paisaje en cada una de las temporalidades de estudio?
- iv. ¿Cuánto ha variado la fragmentación del paisaje y que implicancias se han generado?

1.3. Objetivos de la investigación:

1.3.1. Objetivo General:

Determinar los cambios en la fragmentación de los ecosistemas ocasionada por actividad antropogénica, en tres temporalidades (año 1975, 2012 y 2020) en la cuenca del Maure de la Región Tacna.

1.3.2. Objetivos Específicos:

- i. Definir la distribución geográfica de los ecosistemas que conforman el paisaje de estudio, la cuenca del Maure de la Región Tacna.
- ii. Elaborar cartográficamente la distribución geográfica de las actividades antropogénicas en las tres temporalidades de estudio.
- iii. Calcular las métricas de diversidad, forma, variabilidad y borde para cada temporalidad de estudio en el paisaje la cuenca del Maure.
- iv. Analizar e interpretar la variación de la fragmentación de los ecosistemas y sus implicancias.

1.4. Justificación de la investigación:

Todas las personas del mundo dependen por completo de los ecosistemas naturales de la Tierra y de los servicios que éstos proporcionan, como los alimentos, el agua, la gestión de las enfermedades, la regulación del clima, la satisfacción espiritual y el placer estético. En los últimos 50 años, los seres humanos han transformado los ecosistemas naturales más rápida y extensamente que en cualquier otro período de tiempo de la historia humana, en gran medida para resolver rápidamente las demandas crecientes de alimentos, agua dulce, madera, fibra y combustible. Esta transformación del planeta ha aportado considerables beneficios netos para el bienestar y el desarrollo económico, pero no en todas las regiones ni en todos los grupos sociales, de hecho, a muchos les ha perjudicado. (Reid, Mooney, Cropper, Capistrano, Carpenter, Chopra, Zurek, 2005).

Navarro (2015), señaló que estamos afectándonos a nosotros mismos al transformar o destruir los ecosistemas naturales del mundo mediante prácticas equivocadas, o manteniendo un grave desorden en el desarrollo de nuestras actividades humanas, lo que es confirmado por el estudio Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Reid et al, 2005), quien señaló los siguientes datos a nivel mundial:

- Se han convertido más tierras en áreas cultivables durante los últimos treinta años, y después de 1950, que en los 150 años entre 1700 y 1850.
- En las últimas décadas, el mar ha perdido el 20% de los arrecifes de coral, y otro 20% se encuentra degradado.
- En los últimos decenios se ha perdido el 35% de los manglares del mundo.
- Desde 1960, la cantidad de agua en reservorios se ha cuadruplicado.
- La extracción de agua de los ríos y lagos se ha duplicado desde 1960.
- La distribución de especies se está volviendo más homogénea.

- Los humanos han incrementado más de mil veces las tasas típicas de extinción en la historia del planeta.
- Entre el 10% y el 30% de las especies de mamíferos, aves y anfibios están actualmente amenazadas.

Los gobiernos a través de sus instituciones han respondido a este problema, por un lado promulgando planes, programas o estrategias nacionales (desarrollo sostenible, biodiversidad, cambio climático, etc.), y por otro, promoviendo acuerdos multilaterales para abordar los problemas a nivel global, como es el caso del Convenio sobre Diversidad Biológica (CBD por sus siglas en inglés), sobre el Cambio Climático (UNFCCC por sus siglas en inglés), sobre Humedales (Ramsar), o para la lucha contra la Desertificación (UNCCD por sus siglas en inglés).

Para fortalecer la base científica en la toma de decisiones de las políticas ambientales que se están desarrollando dentro o fuera del marco de estos convenios, se están llevando a cabo una serie de evaluaciones globales de carácter sectorial, como la Evaluación Global de la Biodiversidad (GBA por sus siglas en inglés), el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), la Evaluación Global de Aguas Internacionales (GIWA por sus siglas en inglés), o la serie recientes de informes del Programa Global Environmental Outlook (GEO por sus siglas en inglés). (Montes y Sala, 2007).

Estos convenios indican que existe información importante respecto a las actividades humanas y sobre todo de los procesos de degradación que vienen generándose en los ecosistemas naturales del mundo, pero esta es mayoritariamente elaborados a gran escala, que, si bien es cierto han permitido plantear algunas decisiones mundiales sobre la

gestión, manejo y conservación, estas no han sido lo suficientemente específicas (escala local) para detener rápidamente la problemática local (Navarro, 2015).

El estado Peruano es parte firmante de los Convenios internacionales mencionados, y está comprometido en cumplir los acuerdos de éstos desde el primer día en el que se incorporaron a la legislación nacional, es por ello que se ha elaborado estrategias nacionales propias, cuyos diagnósticos se basan en información y estudios científicos a escala nacional (MINAM, 2014).

A nivel de regiones o distritos, estas evaluaciones globales son solo referenciales, siendo necesario complementarlos con estudios científicos – en especial sobre la degradación de los ecosistemas - a una escala local adecuada. Según las leyes que rigen el Sistema Nacional de Gestión Ambiental en el Perú, esta planificación hacia el desarrollo sostenible deberá adecuarse al nivel y escala más descentralizada posible de la gestión territorial, es decir los niveles provinciales y distritales. (MINAM, 2014)

La fragmentación es considerada como la principal amenaza que afecta a la diversidad biológica en el mundo, lo que conservacionistas, planificadores y ecólogos citados por Collinge (1996) refieren al término fragmentación como la pérdida y al aislamiento de los hábitats de las especies, como lo indica Harris, 1984; Wilson, 1988; Saunders y Hobbs, 1991; Alverson, 1994; McCullough, 1996; Pickett, 1997; Fielder y Kareiva, 1998.

La cuenca del Maure es una de las más grandes de Sudamérica y por sus condiciones geográficas, climáticas y ecológicas ha sido escenario de la instalación de infraestructura de diferentes actividades antropogénicas para explotación de diferentes servicios ambientales, que si bien ha permitido satisfacer la demanda de las poblaciones humanas vinculadas a ésta, es posible que haya sido o siga siendo gravemente fragmentada. En su territorio correspondiente a la Región Tacna, es fácil observar infraestructura gris para el

afianzamiento hídrico regional, como represas, canales, bocatomas, etc., que permiten el traslado del agua desde la cuenca del Maure hacia la zona andina y costera para sostener el desarrollo y crecimiento de diversas actividades económicas, principalmente la expansión de la frontera agrícola sucedida en los últimos 20 años (Autoridad Nacional del Agua, 2015).

A nivel de carreteras, por esta cuenca, cruza la antigua carretera de categoría nacional Tacna – Mazocruz - Puno y la nueva carretera internacional Tacna – Collpa - La Paz, uniéndoseles una extensa red de caminos vecinales y trochas carrozables que comunican a los distintos centros poblados, anexos y estancias.

Muchas de estas obras, se realizaron tiempo atrás, en los años en los que no existía la regulación de las normas ambientales que evalúan el impacto ambiental y por consecuencia, sin el funcionamiento de las instituciones evaluadoras ni fiscalizadoras, por lo que es muy probable que se hayan ejecutado sin considerar los estándares, criterios y medidas para la mitigación de los impactos ambientales y sociales. Si uno hace un recorrido por los centros poblados de esta cuenca, encontrará rastros de pasivos ambientales generados durante esos años, ya sea por la actividad ganadera, agrícola, minera, construcción de carreteras, canales de agua, pozos perforados, bocatomas, etc. También es posible encontrar propietarios de predios o comuneros, insatisfechos con la instalación de infraestructura gris por la afectación a los ecosistemas naturales que dejaron de ser útiles para sus fines productivos.

Resulta importante conocer el nivel de la fragmentación de los ecosistemas naturales ocasionada por la actividad antropogénica en nuestras cuencas, en especial de aquellas que brindan variedad de servicios ecosistémicos y que contribuyen directamente al

bienestar humano, ya que se puede haber generado o aun estar generando, la pérdida de su estructura ecológica y provocando su inminente destrucción.

Por esta razón, se espera que los resultados de la presente investigación permitan demostrar la variación temporal de la fragmentación producida por las actividades antropogénicas desde el año 1975 hasta la actualidad en tres temporalidades distintas. Asimismo, sirva para establecer medidas de recuperación de la estructura del paisaje y de sus atributos ecológicos claves, los que contribuirán a su conservación.

1.5. Limitaciones de la investigación:

En el Perú se han desarrollado muy pocas investigaciones sobre la fragmentación de los ecosistemas, por lo que es difícil comparar resultados previos o tomar referencias bibliográficas locales de investigaciones realizados en similares paisajes.

La información geográfica que se utilizó en la presente investigación, deriva de estudios geográficos realizados a escala de 1/50 000, es decir, obtenidos de imágenes o cartografía de mayor tamaño y menor precisión, contrariamente a la mayor especificidad y certeza en los resultados que se podría obtener si es que se utilizaran imágenes de mayor precisión o cartografía a menor escala, o mejor aún, fotografías aéreas de drones o avionetas, los cuales no estuvieron disponibles.

Existe información geográfica a nivel provincial y distrital que ha sido elaborada con a menor escala y con mayor precisión (1/25 000) pero que aún no ha sido publicada por las instituciones que la han generado, por lo que no fue posible tener acceso a ella y estar considerada en el presente trabajo de investigación.

En la bibliografía consultada, revisada y citada en el presente informe, se mencionan diferentes nombres a las unidades resultantes de la fragmentación, como teselas,

mosaicos, parches, islotes y fragmentos, por lo que se han considerado como sinónimos entre sí, con la finalidad de no alterar la cita bibliográfica original y evitar confusiones.

1.6. Delimitación de la investigación:

El presente estudio de investigación se desarrolló dentro de los límites de la cuenca del Maure que se encuentra al interior de la Región Tacna, la cual es transfronteriza al ocupar territorio peruano, boliviano y chileno, intersectándose con los límites de la Región de Tacna. Para hacer la delimitación del paisaje de estudio, se utilizó el software ArcGIS y la base cartográfica del estudio de la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) de Tacna, aprobada el año 2013.

Asimismo, se consideró como ecosistemas del paisaje de estudio, a la cobertura vegetal del suelo, al que se considera, por diversidad y tamaño, como la más adecuada para el análisis de la fragmentación del paisaje por actividad antropogénica.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Un primer antecedente corresponde a Velásquez (2017) quien realizó el estudio denominado “Caracterización de la Estructura del Paisaje y su Estado de Conservación en las Cuencas de Cabecera de Medellín”. En él utilizó la extensión Patch Analyst 5.2 y el software ArcGIS 10.3 para evaluar la fragmentación de los ecosistemas en las cuencas mencionadas. Como resultado del estado actual de las cuencas de cabecera de Medellín, se determinó que existe una baja conectividad y alta fragmentación, por lo que propone la suma de esfuerzos por parte de las instituciones locales para conservar y garantizar la continuidad y calidad de las cabeceras de cuenca.

Este estudio se relaciona con el presente trabajo de investigación al proponer calcular, con los mismos instrumentos (software), las métricas del paisaje que indicaran los cambios en la fragmentación de los ecosistemas de una determinada cuenca alta de la Región Tacna.

Un segundo antecedente corresponde a Lara y Gandini (2014) quienes realizaron el estudio denominado “Análisis de la fragmentación de pastizales en la Pampa Deprimida de Buenos Aires”. El trabajo se llevó a cabo en la región central de la distribución original del pajonal, en el que utilizó una imagen Landsat TM, calibrada y clasificada según el criterio de máxima verosimilitud. Posteriormente, se obtuvieron las principales métricas del pajonal con el software FRAGSTATS 4.1. Se pudo determinar el estado de conservación del pajonal, identificando áreas que se encuentra en un estado avanzado de fragmentación, sobre todo en la región oeste del área de estudio. Este gradiente de

fragmentación se encontró gracias al análisis de componentes principales, el cual reflejó la relación entre las métricas, lo que facilitó la interpretación de los resultados obtenidos.

Este estudio se relaciona con el presente trabajo de investigación en el objetivo de calcular las métricas del paisaje para determinar el nivel de fragmentación o los cambios y variaciones que se hayan dado en el transcurrir del tiempo.

Un tercer antecedente es el de García y Defler (2013) quienes realizaron el estudio denominado “Análisis preliminar de la pérdida y fragmentación del hábitat de *Callicebus caquetensis*”, cuyo resultado fue que el número de fragmentos de bosque aumentó en un 40% de 1989 al 2002 y el tamaño medio de estos disminuyó de 9,15 ha a 3,75 ha. También se determinó que en el año 2002 existían 30 583 fragmentos de bosque, de los cuales el 56% tenían un tamaño entre 0,3 a 10 ha. Comparado con 1989, las frecuencias del 2002 han aumentado para fragmentos de 0,3 a 1000 ha, perdiendo a su vez fragmentos mayores a este tamaño.

Este estudio se vincula con el presente trabajo de investigación, por que realiza un análisis espacial con la extensión Patch Analyst de Arcview 3.2, obteniendo métricas de composición y configuración basadas en el mapa de coberturas para la Amazonía Colombiana.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Un trabajo es el de Condori – Castillo (2012) denominado “Influencia de la Fragmentación en la Diversidad de la Flora Silvestre y en los Cambios de Uso de Suelo y Cobertura Vegetal en Huerta Huaraya, Puno”. Se relaciona con el estudio de investigación por que identifica zonas fragmentadas y la relaciona con la diversidad de especies de flora silvestre. Como resultado hallaron un total de 52 especies de flora silvestre en dos tipos de zonas. En la zona no Fragmentada (ZNF) detectó presencia de

49 especies distribuidas en 3778 individuos, 39 géneros y 17 familias. La Zona Fragmentada (ZF) cuenta con 20 especies distribuidas en 2200 individuos, 17 géneros y 6 familias.

No existen mayores antecedentes nacionales de investigación respecto a la evaluación de la fragmentación de los ecosistemas en el Perú.

2.2. Bases teóricas:

2.2.1. Definición de la variable

La fragmentación de los ecosistemas

El fenómeno de la fragmentación de hábitats es una de las mayores amenazas para la conservación de la biodiversidad. Las infraestructuras lineales de transporte están consideradas como uno de los principales agentes responsables de este fenómeno, por su efecto de ruptura de las unidades ambientales que atraviesan. Sin embargo, la inclusión de los efectos sobre la fragmentación en las metodologías de evaluación es escasa y desigual, existiendo una gran variedad de índices de fragmentación en la literatura. (European Commission, 1999)

Cuando la intervención sobre el paisaje se intensifica, comienza el fenómeno de fragmentación, que es el quiebre de los parches o hábitats en pequeños fragmentos (islotas) de tamaños variables. Forman (1995) afirmó que la disección podría ser considerada como un caso especial de fragmentación; su diferencia radica en que la disección es la separación de fragmentos por elementos lineales. Estos dos procesos aumentan el número de parches y disminuyen su conectividad.

La fragmentación es un proceso por el cual una entidad, el hábitat, se divide en unidades de menor tamaño llamadas “teselas” y se caracteriza por una disminución del área total

del hábitat y por su ruptura en partes. Las teselas nuevas, formadas a partir de una de mayor superficie, tendrán características muy semejantes entre sí (Forman, 1995) pero también características propias debidas a su tamaño, forma, bordes, etc. (Martín, 2006)

Por definición, la fragmentación aumentará el número de teselas que conforman cada hábitat, disminuirá el tamaño medio de las teselas, y aumentará la cantidad de borde, siendo el borde la barrera que existe entre las teselas de dos clases diferentes. Por otro lado, el término fragmentación también incluye otros aspectos de los cambios en los ecosistemas, aparte de su forma, composición y configuración, como son los relacionados con la pérdida de biodiversidad, flujo de nutrientes, etc. (MacArthur et al, 2001)

La fragmentación afecta a los ecosistemas alterando las condiciones dentro de las teselas y el movimiento de los recursos (organismos, propágulos, nutrientes etc.) entre ellas. Sus efectos se dividen en efectos bióticos y abióticos. (Rutledge, 2003)

Efectos abióticos:

La fragmentación altera las entradas y salidas de los recursos físicos de un hábitat que dependen de la forma, el tamaño, el número o la configuración de las teselas resultantes. Entre los factores abióticos afectados por la fragmentación de hábitats se encuentran la incidencia de la luz, la humedad, y los regímenes del viento y del suelo. (Martín, 2006)

El gradiente de afección, con frecuencia, disminuye desde el borde hacia el interior de las teselas. Para cuantificar esta relación las teselas que conforman el hábitat, generalmente se dividen en superficie del borde y superficie interior (en inglés “edge area” y “core area”) (Forman, 1995).

La superficie interior de la tesela es el área total de la misma excepto una franja exterior en contacto con la frontera de la tesela que corresponde a la superficie del borde. La

superficie del borde, recibe mayor influencia de las teselas vecinas, y sufre una mayor alteración como consecuencia de la fragmentación. El principal problema que surge al utilizar este modelo es definir estas dos superficies, puesto que dependen de la especie y del proceso que se estén estudiando (Martín, 2006).

La cantidad total de borde, es decir, de la frontera que separa una tesela de otra, de una clase diferente dentro del paisaje, es importante para muchos fenómenos ecológicos. La influencia del borde de las teselas se denomina efecto borde y la idea principal en la que se basa es que cuanto mayor es el perímetro de la tesela, mayor es la superficie de la misma amenazada por factores externos. Se ha prestado mucha atención al comportamiento de las poblaciones influidas por este fenómeno, de hecho, en muchas investigaciones ecológicas, gran parte de la importancia que se le otorga a la configuración espacial del paisaje reside en el efecto borde (McGarigal y Marks, 1995)

Efectos bióticos:

Especies diferentes responderán de forma diferente a la fragmentación. Las diferentes respuestas que se obtienen, estructurarán las comunidades ecológicas dentro de las teselas, y las diferentes especies aportarán riqueza en biodiversidad. La riqueza de cada una de las especies es función, por un lado de los factores abióticos, y por otro, de los ajustes que se producen en las interacciones entre las distintas especies. La relación entre la fragmentación y los factores bióticos se centra en cuatro procesos interespecíficos básicos: el crecimiento, la reproducción, la mortalidad y la dispersión (inmigración y emigración). Como consecuencia de los cambios de los factores abióticos, las tasas de crecimiento cambiarán, la composición específica de la flora se verá afectada y con ella las relaciones de competencia. Como consecuencia de los cambios en la flora, la fauna se

verá afectada. En muchos casos las especies se verán obligadas a moverse por zonas más amplias para obtener recursos alimenticios y reproductivos (Martín, 2006).

La fragmentación provoca la aparición de teselas aisladas entre las que los organismos deben moverse. La teoría Biogeográfica de las Islas (MacArthur y Wilson, 2001) relaciona la persistencia de las especies con el tamaño de las islas y la distancia que existe al lugar de colonización, y se considera la base del estudio de los movimientos de dispersión de las especies (Martín, 2006).

2.2.2. Teoría que sustenta la variable

2.2.2.1. Las métricas del paisaje:

La ecología del paisaje enfatiza en la interacción entre los patrones espaciales y los procesos ecológicos, esto es, las causas y consecuencias de la heterogeneidad espacial a través de un rango de escalas a través de modelos que permitan desarrollar teorías de cómo funcionan dichas interacciones. Por ello, es necesaria la medición de la composición y configuración del paisaje (Turner, Gardner y O'Neill, 2001).

La configuración del paisaje se define como la organización específica de los elementos espaciales; por su parte, la composición del paisaje es la variedad y abundancia de fragmentos en el mismo. Estos dos elementos del patrón paisajístico pueden ser medidos mediante métricas de paisaje en un intervalo de tiempo para poder evidenciar determinado proceso ecológico (Turner et al, 2001).

Las métricas del paisaje pueden clasificarse de acuerdo al nivel de análisis. A nivel de parche, cuando se analiza información de un solo fragmento (por ejemplo el tamaño de parche o el índice de forma); a nivel de clase cuando se analiza la información de todos los fragmentos de un solo tipo (el promedio de tamaño de parche o el promedio de índice

de forma); y a nivel de paisaje cuando se quiere obtener un análisis de todos los elementos contenido en un área de estudio (riqueza de parches, índice de Shannon). Mediante el análisis de las métricas del paisaje en un periodo de tiempo, es posible estudiar procesos ecológicos como la fragmentación, pérdida de coberturas, perturbación de áreas naturales, entre otros. (Bocco, 2010)

2.2.2.2. La cuenca del Maure en Tacna

La cuenca transfronteriza del Maure o también llamado Mauri tiene una superficie de 9810,57 km², es compartida por tres países, el Perú tiene el 20%, Bolivia el 70% y Chile el 10%, de su superficie. Las áreas de esta cuenca con mayor altitud se ubican en Perú y Bolivia, donde se encuentran ecosistemas altoandinos que dependen de los manantiales, lagunas, bofedales y glaciares vinculados al origen de las principales corrientes de agua.(Autoridad Nacional del Agua, 2015)

Hidrografía

Hidrográficamente, la cuenca del Maure se ha delimitado en catorce subcuencas principales, ocho de las cuales son subcuencas tributarias, cuatro de ellas conforman el cauce principal y dos de ellas conforman parte del cauce principal hasta la frontera con Chile, tal y como se resumen en la Tabla 1 y se observa en la Figura 1.

Variables climáticas

Precipitación:

El inicio de la cuenca del Maure se caracteriza por precipitaciones de mediana intensidad, como se registran en las estaciones de Capazo con 516 mm/año, Vilacota con 448,27

mm/año y Paucarani con 401 mm/año. En la parte media occidental de la cuenca se encuentran las estaciones con menos cantidades de lluvias: Charaña con 225,03 mm/año en Bolivia y Visvine con 277,26 mm/año en Chile, éstas pueden ser explicadas por su cercanía al desierto de Atacama (Autoridad Nacional del Agua, 2015).

Temperatura del aire:

La temperatura del aire en la cuenca del Maure, tiene un rango de variación desde los -15°C de temperatura mínima, hasta los 20°C de temperatura máxima (Autoridad Nacional del Agua, 2015).

Tabla 1.

Sub cuencas del Maure

Ríos tributarios	Cauce principal	Fronterizas con Chile
✓ Pamputa	✓ Subcuenca Media 1 (desde la confluencia de los Ríos Pamputa y Ancoaque hasta la Bocatoma Ancoaque)	✓ Subcuenca Media 5
✓ Ancoaque		✓ Subcuenca Media 6
✓ Chiliculco	✓ Subcuenca Media 2 (desde la Bocatoma Ancoaque hasta la Estación Hidrométrica de Challapalca)	
✓ Ancomarca		
✓ Quebrada Mamuta		
✓ Kaño	✓ Subcuenca Media 3 (desde la Estación Hidrométrica de Challapalca hasta la Estación Hidrométrica de Chuapalca)	
✓ Kallapuma		
✓ Huañamaure	✓ Subcuenca Media 4 (desde la Estación Hidrométrica de Chuapalca hasta la Estación Hidrométrica La Frontera)	

Fuente: Ministerio de Agricultura, 2002

Humedad relativa:

Para estimar la humedad relativa de la cuenca, se ha tomado como referencia los datos de la variable de humedad relativa de estaciones de cuencas vecinas, a la cuenca del Maure de las cuencas de Locumba, Sama en Perú y de Desaguadero en Bolivia, por no existir datos disponibles de esta variable en la cuenca. La humedad relativa en promedio es de 55%, en la cuenca en cuestión, siendo los registros de valores mayores de la estación Suches con 65% de humedad y el de menor valor el de la estación Desaguadero con 46% de humedad relativa (Autoridad Nacional del Agua, 2015).

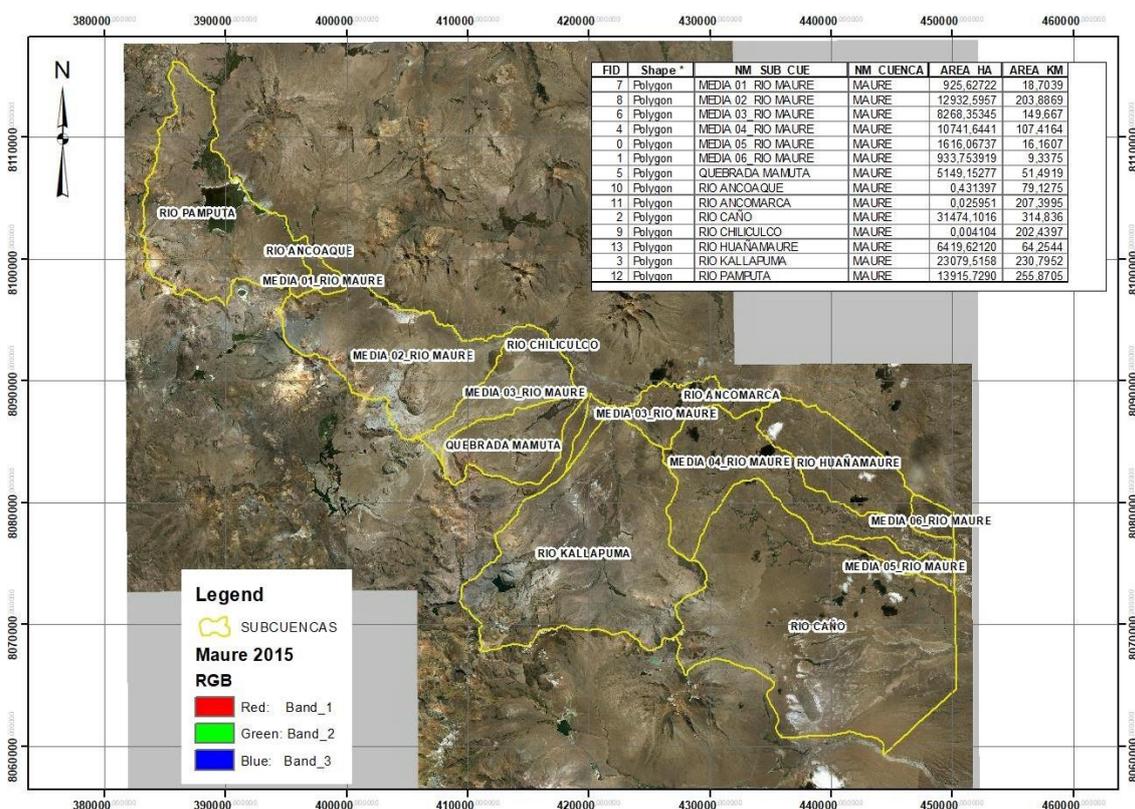


Figura 1. Mapa de la cuenca y subcuencas del Maure. Se observa la distribución geográfica de la Cuenca del Maure a través de las Subcuencas que lo conforman.

Fuente: Elaboración propia.

Evaporación

Para la caracterización de la evaporación en la cuenca del Maure, se ha considerado cinco estaciones, dos del lado peruano: Ayro y Capazo y tres del lado boliviano: Andamarca, Cosapa y Santiago de Machaca. El valor promedio de la evaporación anual es de 681,83 mm/año, la estación Cosapa del lado boliviano registra los valores más bajas de evaporación 1548,78 mm/año y en la estación Santiago de Machaca, también del lado boliviano se registran los valores mayores llegando anualmente a 1909,51 mm/año (Autoridad Nacional del Agua, 2015).

Ecología

A nivel de Ecorregiones:

Según el mapa de ecorregiones del Perú, que se utilizó para el establecimiento de sitios prioritarios para la conservación a nivel nacional, en la cuenca del Maure se encuentra una sola ecorregión, la Puna de los andes centrales. Ocupa el total de la superficie, posee un clima muy duro, caracterizado por grandes variaciones de temperatura: frío intenso en las noches y frío moderado durante el día. Cuenta con una temporada de lluvias, conocida localmente como «invierno» en la sierra, que se inicia en diciembre y se prolonga hasta marzo, aunque fuera de ella no son poco comunes los aguaceros. Su relieve es mayormente plano, con grandes planicies o pampas coronadas por escarpadas cordilleras. Es en estas últimas donde se ubican los glaciares y nevados. Estos glaciares se extienden a lo largo de la Cordillera del Barroso, nevados El Fraile, La Monja, la cima del cerro Jucure, etc., imponentes moles de hielo y nieve que a menudo sobrepasan los 5000 metros de altura. Allí se forman gran parte de los ríos que recorren la región. En esta ecorregión de clima adverso sólo algunas especies se han adaptado, soportando el frío y aprovechando los pocos recursos que el medio les provee, tales como: *Polylepis rugulosa* y *Polylepis tarapacana* “queñoal”, especie que forma los bosques a mayor altura del

mundo; los bofedales y tolares, los enormes pastizales de *Stipa ichu* “ichu”. En sus cielos las aves: *Lessonia oreas* “picaflor”, *Buteo polyosoma* “aguiluchos”, al *Vultur gryphus* “cóndor”, *Phoenicopterus andinus* y *P. chilensis* “parihuanas”, los mamíferos como *Vicugna vicugna* “vicuña”, *Puma concolor* “puma”, *Lagidium peruanum* “la vizcacha”, *Hippocamelus antisensis* “la taruca”, entre otras especies (Gobierno Regional de Tacna, 2011).

A nivel de zonas de vida:

En el lado peruano de la cuenca del Maure existen tres zonas de vida: Páramo Húmedo Sub andino Sub Tropical (PH – SAS), comprende las partes bajas planas y laderas intermedias del valle Maure entre 4200 y 4600 msnm.; en la cual, la vegetación está compuesta por gramíneas, matorrales de thola, la queñua y los bofedales dominados “kulle”. La zona de vida Tundra Muy Húmeda – Andina Sub Tropical (TMH – AS), se encuentra en las partes medias a altas de las laderas de las cadenas volcánicas, entre 4550 y 4950 msnm; por las condiciones climáticas muy duras, la vegetación es muy escasa, predominando la del tipo almohadillada como la yareta y algo de pajonales ralos. La zona de vida Nival – Sub Tropical (N – S), comprende las partes altas de las montañas volcánicas glaciales muy inaccesibles y de condiciones climáticas extremadamente duras. Constituyen los medios de mayor captación de las aguas y fuentes de escorrentía superficial e infiltración subterránea (Ministerio de Agricultura, 2002).

A nivel de cobertura vegetal: (Gobierno Regional de Tacna, 2011)

Matorral – pajonal - tólar

Los matorrales altoandinos denominados tolares ocupan grandes extensiones entre los 3600 y 4600 m de altitud. Se asientan sobre grandes llanuras formadas por antiguos cauces y coladas volcánicas, siendo típicas en las planicies por encima de las zonas de

cultivos tanto de la provincia de Candarave, Tarata y Tacna, estas comunidades son de tamaño pequeño y se va intercalando en diferentes zonas la predominancia de especies teniendo así predominancia de *Parastrephia lucida*, *Parastrephia lepidophylla* y *Tetraglochin cristatum*. Por encima de los 3800 existen asociaciones entre los tólares, pajonales y yaretales.

Entre las especies más representativas de matorrales se tienen a: *Parastrephia lepidophylla*, *Parastrephia lucida*, *Chersodoma jodopappa*, *Adesmia spinosissima*, *Tetraglochin cristatum*, *Baccharis tricuneata*, *Baccharis genistelloides*, *Junellia juniperina*, *Chuquiraga rotundifolia*, *Senecio spinosus* y brezales de *Fabiana stephanii*.

Los pajonales son agrupaciones en matas de gramíneas de hojas duras y punzantes conocida con los nombres vulgares de “ichu o paja brava” encontrándose en toda la zona altoandina. Tales pajonales ocupan grandes extensiones ya sea en zonas de planicies o en laderas de suelo pedregosos. Son pastos duros entre la especies más representativas se tienen a: *Festuca orthophylla*, *Stipa ichu*, *Stipa rigiseta*, *Nassella brachyphylla*, *Calamagrostis vicunarum* y *Muhlenbergia peruviana* entre otros. Después de las gramíneas, en orden de menor importancia siguen las familias Compositae, Cyperaceae y Juncaceae, entre otras. Forman parte del pajonal las comunidades arbustivas conocidas como tolares, muy peculiares en la zona sur (Arequipa, Moquegua, Tacna y Puno), las cuales forman una mixtura con las herbáceas antes mencionadas. Florísticamente los tolares están constituidos por las siguientes compuestas: *Parastrephia lephidophilla*, *Parastrephia tovari*, *Displostephium tacurensi* y *Baccharis tricuneata*; la altura promedio de las matas son de 60 a 70 cm. y son de consistencia resinosa como mecanismo de defensa contra el frío y la sequía.

Bosque de queñuas

Los bosques de *Polylepis* o queñuales son ecosistemas alto andinos que por su ubicación y características de paisaje natural constituyen un hábitat especial no sólo por sí mismos sino para diferentes grupos de organismos tales como aves, mamíferos y fauna entomológica.

Las poblaciones del género *Polylepis* son los denominados “Bosques de Queñuales”, están confinadas a los andes tropicales y subtropicales sudamericanos. Los queñuales no son solo unos árboles sino un conjunto interrelacionado de flora y fauna. En el ámbito tacneño existe dos especies identificadas y zonificadas estas son *Polylepis besseri* y *Polylepis tarapacana*.

Bofedales

Un bofedal es un ecosistema presente en zonas agroecológicas de puna seca. Es considerado una pradera nativa poco extensa con humedad permanente, vegetación siempre verde y de elevado potencial productivo. Los bofedales se encuentran compuestos de comunidades vegetales semihidrofíticas de excelente volumen y calidad.

Son las zonas donde se concentran las aguas de escorrentía de las laderas, de las fusiones nivales y de las fusiones casi diarias de las condensaciones directas de la escarcha, que llegan a los fondos de valle y pie de laderas, formando superficies saturadas de agua superficial y suelos mal drenados permanentemente. En esta condición hidrófita se desarrollan ciertos pastos naturales muy pequeños, pero permanentes y generalmente palatables por el ganado y se caracterizan por presentar especies como: *Plantago tubulosa*, *Distichia muscoides*, *Werneria pygmaea*, *Calamagrostis ovata*, *Hypsela reniformes*, *Oxychloe andina*, *Alchemilla diplophylla*, *Alchemilla bipinnatifida*, *Mimulus glabratus*, *Liliopsis macloviana*, *Myriophyllum quitense*, *Elodea potamogetum*, *Azolla filiculoides*, entre otras.

Escasa o nula vegetación

Estas zonas tienen además importantes restricciones climáticas por el clima excesivamente frío, por lo que son tierras que prácticamente carecen de uso. Estas áreas están conformadas mayoritariamente por afloramientos rocosos, depósitos de material rocoso particulado, arenales muy próximos a las áreas nivales. Su escasa a nula vegetación aunada al intenso frío hace imposible su uso o beneficio por la población local.

Nival

En esta zona la vegetación es nula, en estos últimos años el área de esta zona se ha reducido considerablemente por el gran problema mundial como es el calentamiento global, y la región de Tacna no se escapa a ello por lo que se ha actualizado el área de esta zona para tener conciencia de este problema y poder cuidar un recurso que cada vez se agota como es el agua. Constituido por materiales rocosos o afloramientos líticos cubiertos en su mayor proporción por nieve. Aquí están incluidos los nevados. Son áreas con abundante pedregosidad superficial y por suelos esqueléticos muy superficiales, que no tienen ninguna aptitud de uso para fines agrarios, pecuarios o forestales sino que tienen otros usos, como por ejemplo para recreación, por lo que entre otros constituye las tierras de protección.

2.2.2.3. Actividad antropogénica en la cuenca del Maure:

Afianzamiento hídrico (Autoridad Nacional del Agua, 2015):

En esta zona de influencia se ha ejecutado la Bocatoma Ancoaque la cual deriva recursos del río del mismo nombre hacia el túnel Kovire y deja pasar los excedentes hacia la captación donde se inicia el Proyecto Vilavilani (Bocatoma Vilachauillani – Por ejecutar),

la plataforma del Canal Calachaca Chuapalca - Tramo I; Canal Chuapalca – Uchusuma Tramo II; las Represa Paucarani, Casiri, Condorpico, la Bocatoma y Canal Queñuta; Pozos El Ayro; y finalmente la Bocatoma y Canal Uchusuma – Huaylillas Sur.

Bocatoma Ancoaque

Es una estructura de captación, el cual tiene por objetivo derivar el recurso hídrico proveniente del río Ancoaque hacia el túnel Kovire con una capacidad de captación de solo 5 m³/s dejando pasar el resto de caudal para su captación y conducción por el proyecto Vilavilani a través de la bocatoma Vilachauillani y el canal de Calachaca. La bocatoma fue construida en el año 1980.

Túnel Kovire

La estructura del Túnel Kovire, corresponde a una estructura de trasvase de los recursos hídricos en avenidas del Maure hacia la cuenca del río Sama, se ubica en el cerro Kovire, tiene una longitud total de 8,5 km., presenta una sección tipo baúl con capacidad de conducción de hasta 12 m³/s (sección mínima constructiva): Esta obra fue construida entre los años de 1990 y 1995.

Canal Calachaca – Chuapalca – Uchusuma

Tramo I: El Canal Calachaca – Chuapalca se desarrolla desde la captación del río Maure, hasta el empalme con la planta de bombeo que llega de la represa Chuapalca. Tiene una capacidad de conducción de 1,00 m³/s y una longitud de 45,6 km. Este tramo aún no concluido, está compuesto por una bocatoma en el sector Vilachauillani, conducto cubierto en toda su longitud, encontrándose parcialmente ejecutado el terraplén de la plataforma.

Tramo II: El Canal Chuapalca–Uchusuma, que se desarrolla desde la descarga de la tubería de impulsión de la planta de bombeo de la represa Chuapalca hasta su entrega a

la bocatoma de Uchusuma. Este tramo tiene una longitud de 48,08 km y una capacidad hidráulica máxima de 3,5 m³/s, la sección es de forma trapezoidal, revestido en concreto ciclópeo más 30% de piedras medianas. Este tramo se encuentra actualmente en construcción, estando operativo el resto del canal hasta su empalme con el canal Uchusuma – Huaylillas Sur.

Represa Casiri – Canal Patapujo

La represa de Casiri tiene una máxima capacidad de embalse útil de 1,9 millones de metros cúbicos (MMC); los aportes de la presa Casiri así como los de su micro cuenca, son captados en la cuenca Chungara mediante la bocatoma del mismo nombre; donde empieza el canal Patapujo, el cual capta las aguas de la quebrada Iñuma y Casillaco a lo largo de su recorrido y fue construido en 1968.

El Canal Patapujo presenta dos tramos:

Tramo I: Se desarrolla desde la captación de Chungara hasta la tubería de empalme (1,3 km) con el canal Calachaca en Murmutane, donde entrega parte de sus aguas al canal Calachaca; la longitud de este primer tramo es de 29 km.

Tramo II: El Canal continúa desarrollándose desde la tubería de empalme con el canal Calachaca hasta entregar sus aguas a la bocatoma de Uchusuma, la longitud de este segundo tramo es de 23 km.

Represa Paucarani

La represa Paucarani se puso en operación en el año 1986, siendo el volumen máximo de inundación de 9 MMC. En el año 2007 el Proyecto Especial Tacna realizó el encimado de la presa, aumentando su capacidad de almacenamiento en 1,5 MMC; estas aguas son actualmente derivadas a la cuenca del río Uchusuma, para finalmente ser captadas en la bocatoma Uchusuma.

Bocatoma y canal Queñuta

Comprende la captación de los recursos hídricos que discurren por la quebrada Queñuta, a través de una bocatoma y su conducción mediante un canal de concreto con capacidad máxima de 0,2 m³/s y longitud de 2,5 km de longitud, el cual trasvasa las aguas al río Uchusuma, para finalmente ser captadas por la bocatoma Uchusuma.

Bocatoma Uchusuma y canal Uchusuma – Huaylillas Sur

La bocatoma Uchusuma tiene una máxima capacidad hidráulica de 4,5 m³/s; capta las aguas de la cuenca del río del mismo nombre, derivándolas al canal Uchusuma – Huaylillas Sur.

El canal Calachaca – Huaylillas Sur, tiene una longitud de 49,40 km y una capacidad hidráulica de conducción máxima de 4,5 m³/s, el cual descarga sus aguas en la quebrada de Vilavilani.

Obras viales:**Carretera Tacna – Tarata - Mazocruz (Gobierno Regional de Tacna, 2016)**

Tiene una longitud de 229 km la cual está afirmada, el tramo Tarata Challapalca Mazocruz ha entrado en rehabilitación y mejoramiento. Un pequeño tramo de 30 km cruzan por la cuenca del Maure desde Livini hacia Challapalca.

En el año 2012, los trabajos de mantenimiento rutinario se ejecutaron por administración directa a través de la Unidad Zonal de Provías de Puno, con un presupuesto asignado de S/. 500 000,00

Carretera Tacna - Collpa - La Paz (UNASUR, 2016)

El objetivo de esta vía es mejorar las condiciones de transitabilidad y la seguridad vial en la Carretera Tacna – Collpa – La Paz, en el tramo peruano Tacna – Collpa (209 Km.), a

fin de fortalecer la integración entre Perú y Bolivia y para que esta vía se constituya en una importante ruta para el comercio bilateral y de tránsito de personas y vehículos hacia el Océano Pacífico.

El proyecto consiste en asfaltar el tramo km. 43,67 – Palca – Collpa de 143,8 Km. de longitud a nivel de carpeta asfáltica, así mismo, dotar a la vía de señalización adecuada y estabilización de taludes.

Población:

La cuenca del Maure abarca los distritos de Palca, Tarata, Ticaco y Susapaya, en el que se encuentran asentamientos humanos, caseríos, centros poblados y estancias. Principalmente, la población se dedica a la crianza de camélidos sudamericanos domésticos, por lo que se construyen viviendas rústicas al costado de establos ganaderos para el descanso y pernocte. Asimismo, se observa una gran cantidad de caminos rurales transitados principalmente por motocicletas.

2.3. Definición de términos básicos

Ecosistemas:

Los ecosistemas son un “complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional que proporcionan importantes servicios ecosistémicos, tales como, provisión de alimentos y agua, regulación climática, regulación hídrica, belleza escénica y valores espirituales, para el desarrollo sostenible de las personas y de la sociedad en su conjunto (MINAM, 2018).

Cobertura vegetal:

Unidades espaciales definidas y clasificadas en base a criterios geográficos, fisonómicos, condición de humedad y excepcionalmente florísticos. La memoria descriptiva del mapa muestra la distribución geográfica, superficie y características biofísicas generales de los diversos tipos de cobertura vegetal que cubren el país, como por ejemplo los bosques lluviosos y los palmerales pantanosos (aguajales) de la selva baja, los bosques lluviosos de la selva alta, los bosques secos del noroeste, los bosques relictos andinos, los herbazales altoandinos (pajonales, bofedales), los matorrales andinos, etc. (MINAM, 2015).

Paisaje:

El término Paisaje usado en ecología ha tenido diversos conceptos: i) una extensión de terreno compuesta de una agregación de componentes que interactúan y que se repiten a través del espacio (Forman y Godron, 1986). ii) El total de entidades físicas, ecológicas y geográficas que integran todos los patrones naturales y humano (Naveh y Lieberman, 1984). iii) Es un complejo de sistemas que simultáneamente forman una extensión de terreno reconocible, formada y mantenida por acción mutua de factores abióticos, bióticos y humanos (Zonneveld, 1995). iv) es una escala espacial adecuada a la cual se pueden investigar procesos ecológicos (Farina, 2004).

Fragmentación del paisaje:

La fragmentación ha sido descrita tradicionalmente como la división progresiva de un hábitat a priori relativamente continuo en un conjunto de fragmentos aislados y de menor tamaño, que quedan embebidos en una matriz de hábitat degradado, cualitativamente muy diferente al original (Saunders, Hobbs, Margules, 1991).

Actividad antropogénica:

El término antropogénico se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas, a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Formulación de la hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

Los cambios en la fragmentación de los ecosistemas ocasionada por actividad antropogénica en tres temporalidades (1975, 2012 y 2020) son de forma creciente, generando diversas implicancias en la cuenca del Maure de la Región Tacna.

3.1.2. Hipótesis específicas

1. La distribución geográfica del paisaje en la cuenca del Maure, de la Región Tacna, se representó adecuadamente por la cobertura vegetal.
2. La estructura y distribución geográfica de las actividades antropogénicas se ha incrementado en las tres temporalidades de estudio.
3. Los valores de las métricas del paisaje calculados se fueron incrementando durante las tres temporalidades de estudio.
4. Existe una variación en el nivel de fragmentación del paisaje, por el cual se presentan distintas implicancias en la cuenca del Maure.

3.2. Operacionalización de variables e indicadores

Tabla 2.

Operacionalización de las variables e indicadores.

Variable	Tipo	Operacionalización	Categorización o dimensiones	Definición	Indicador	Nivel de medición	Unidad de medida	Índice	Valor
Variable independiente									
Actividad antropogénica en el paisaje	Cuantitativa	Se refiere al conjunto de actividades antropogénicas por cada temporalidad que ha reemplazado a la cobertura vegetal natural, formando una nueva estructura y distribución geográfica del paisaje.	Red de actividad antrópica.	Es la infraestructura instalada por las actividades antropogénicas en cada temporalidad.	Estructura y distribución geográfica	Ordinales	Hectárea	Superficie	8,000 a 30,000
								Perímetro	1,000 a 2,000
			Paisaje.	Una configuración topográfica, con un patrón de cobertura de vegetación y de uso del suelo, que delimita con coherencia procesos naturales y actividades antropogénicas	Estructura y distribución geográfica	Ordinales	Hectárea	Superficie	170,500.00
								Perímetro	323,659.00
								Forma	0-1
								Borde	0-1
								Densidad, tamaño y variabilidad	0-1
Diversidad	0-1								
Variable dependiente									
Variación de la fragmentación del paisaje en tres temporalidades	Cualitativa	Se refiere a la interpretación de los valores de las métricas del paisaje en cada temporalidad.	Variabilidad de los índices de fragmentación o métricas del paisaje a calcular.	Es la calificación asignada de acuerdo al nivel de variabilidad.	Grado de variación en escenarios temporales	De razón	Alto Medio Bajo	Grado de variación	0-2

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Tipo y diseño de investigación

3.3.1. Tipo de investigación

Investigación no experimental.

3.3.2. Diseño de la investigación

Diseño longitudinal de tendencia

3.4. Población y muestra de la investigación:

3.4.1. Población

El presente estudio de investigación analizó la variación de la fragmentación en el total (100%) del territorio definido como el paisaje de estudio: La cuenca del Maure, de la Región Tacna.

Asimismo, se trabajó con el total (100%) de actividades antropogénicas que producen un determinado grado de fragmentación en las tres temporalidades de estudio.

3.4.2. Muestra

No se tomó muestras en la presente investigación debido a que se está trabajando con todas las actividades antropogénicas en toda la superficie de la cuenca del Maure de la Región Tacna.

3.4.3. Distribución muestral

No se tomó muestras en la presente investigación.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

Tabla 3.

Técnicas de Instrumentos de Recolección de Datos

Variable	Tipo	Categorización o dimensiones	Definición	Indicadores	Instrumento
Actividad antropogénica en el paisaje	Independiente	Red de actividad antrópica.	Es la infraestructura instalada por las actividades antropogénicas en cada temporalidad.	Estructura y distribución geográfica	Revisión de bases cartográficas de instituciones en donde se encuentren el punto, línea o polígono de la actividad antrópica en cada temporalidad.
		Paisaje.	Una configuración topográfica, con un patrón de cobertura de vegetación y de uso del suelo, que delimita con coherencia procesos naturales y actividades antropogénicas	Estructura y distribución geográfica Métricas del paisaje	Clasificación supervisada de imagen satelital Patch Analyst del ArcGIS 10.2
Variación de la fragmentación del paisaje en los tres temporalidades	Dependiente	Variabilidad de los índices	Es la calificación asignada de acuerdo al nivel de variabilidad.	Grado de variación por temporalidad	Cuadro de análisis de las métricas del paisaje.

Fuente: Elaboración propia.

3.5.1. Descripción de instrumentos

Distribución geográfica del paisaje en la cuenca del Maure.

a) Delimitación de la cuenca del Maure en ArcGIS 10.3:

Se recopiló información pública oficial (documentaria y cartográfica) de los diferentes organismos estatales que trabajaron y vienen trabajando a nivel regional y nacional en diversos proyectos y obras, como es el caso del Gobierno Regional de Tacna, Ministerio de Transportes, Proyecto Especial Tacna, Ministerio de Agricultura, entre otras. La delimitación de las cuencas hidrográficas de la Región Tacna es un insumo cartográfico del estudio de Zonificación Ecológica y Económica (ZEE) realizado desde el año 2003 hasta el 2012 y que estuvo a cargo del Gobierno Regional de Tacna. Para poder editarlo y trabajarlo fue necesario cargar el archivo vectorial (shape) a la herramienta ArcMAP del ArcGIS 10.3 (Pucha, Frías, Cánovas, Oñate, Gonzales y Pucha, 2017) quedando como se observa en la Figura 2:

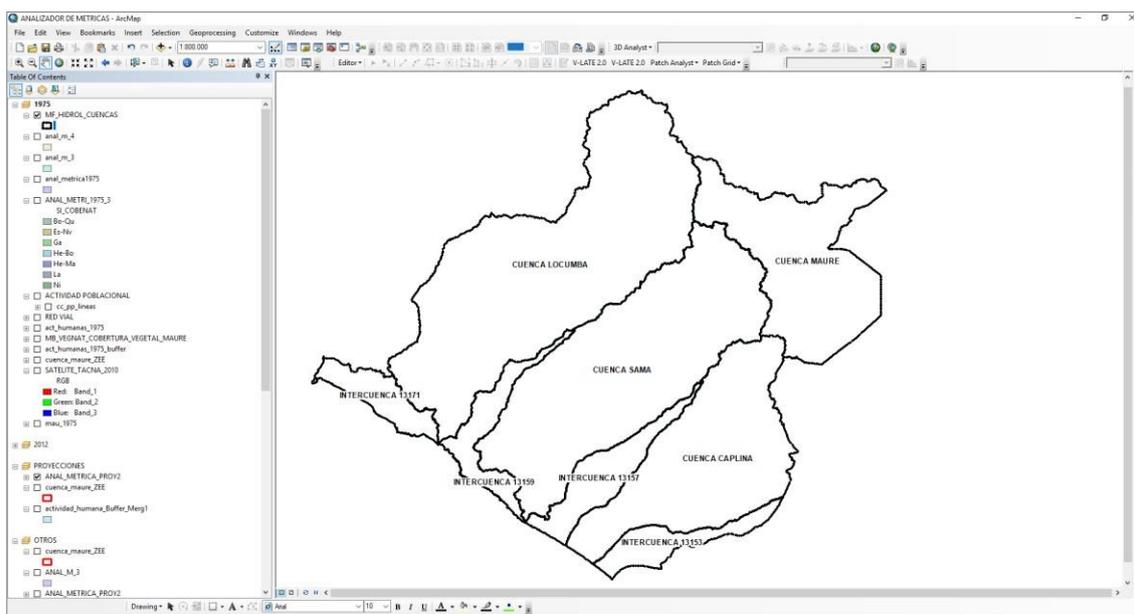


Figura 2. Archivo en formato shape de las cuencas hidrográficas de Tacna.
Fuente: Elaboración propia.

De las cuatro cuencas hidrográficas de Tacna, sólo tres desembocan en el Océano Pacífico como son Locumba, Sama y Caplina, mientras que la cuenca del Maure desemboca y ocupa superficie de los vecinos países de Chile y Bolivia. Se seleccionó la cuenca de estudio a través de la herramienta *Select By Attributes* como se observa en la Figura 3 para separarla a través de la exportación de datos seleccionados del menú *Data – Export Data* (Pucha et al, 2017) quedando como se observa en la Figura 4.

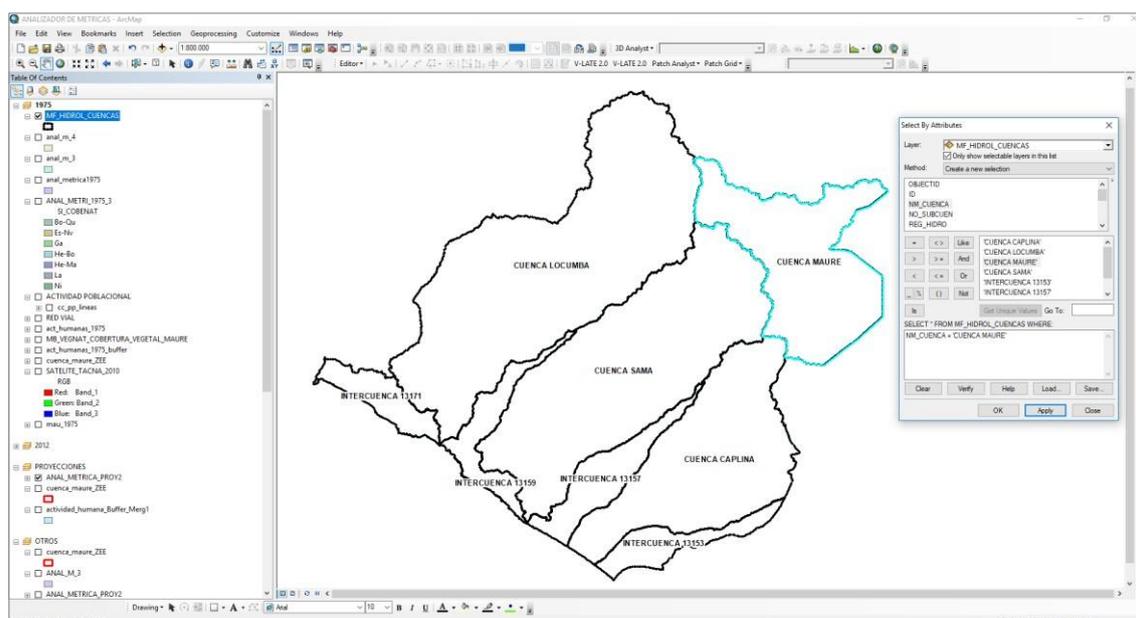


Figura 3. Selección de la cuenca del Maure
Fuente: Elaboración propia.

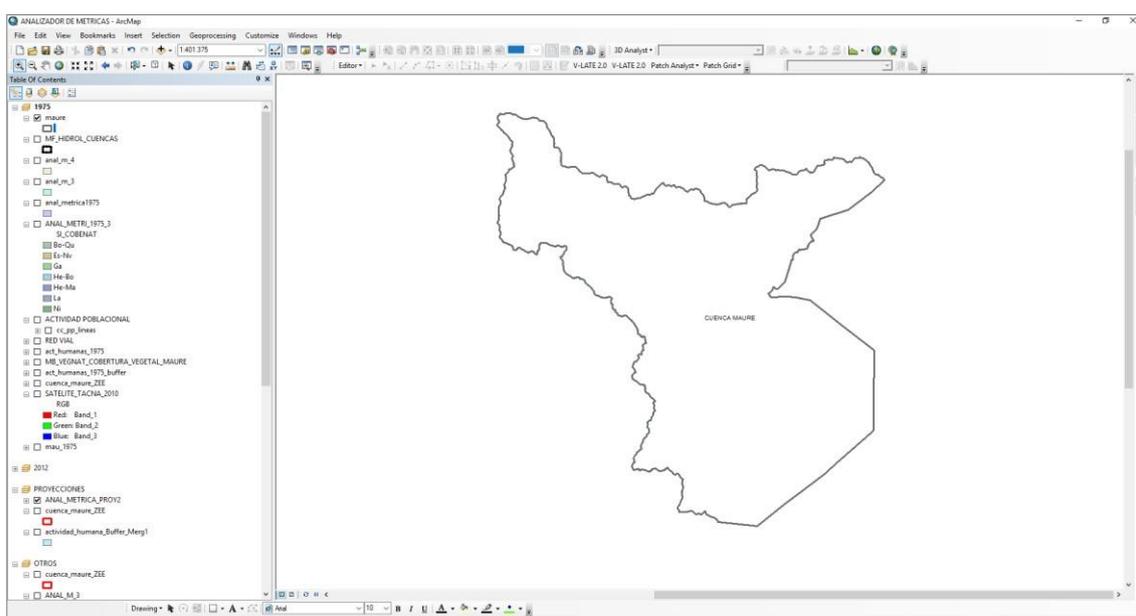


Figura 4. Extracción del polígono de la cuenca del Maure de la capa de cuencas hidrográficas de la ZEE de Tacna.
Fuente: Elaboración propia.

La cuenca del Maure ocupa también superficie territorial de Chile y Bolivia, por lo que se realizó el geoprocesamiento con la herramienta *Clip* para limitar nuestro paisaje exclusivamente a la superficie regional (Pucha et al, 2017), para esto se ha utilizado la imagen satelital descargada y georreferenciada de la Región Tacna, para el proceso de corte de la cuenca del Maure tal como se observa en las Figuras 5 y 6.

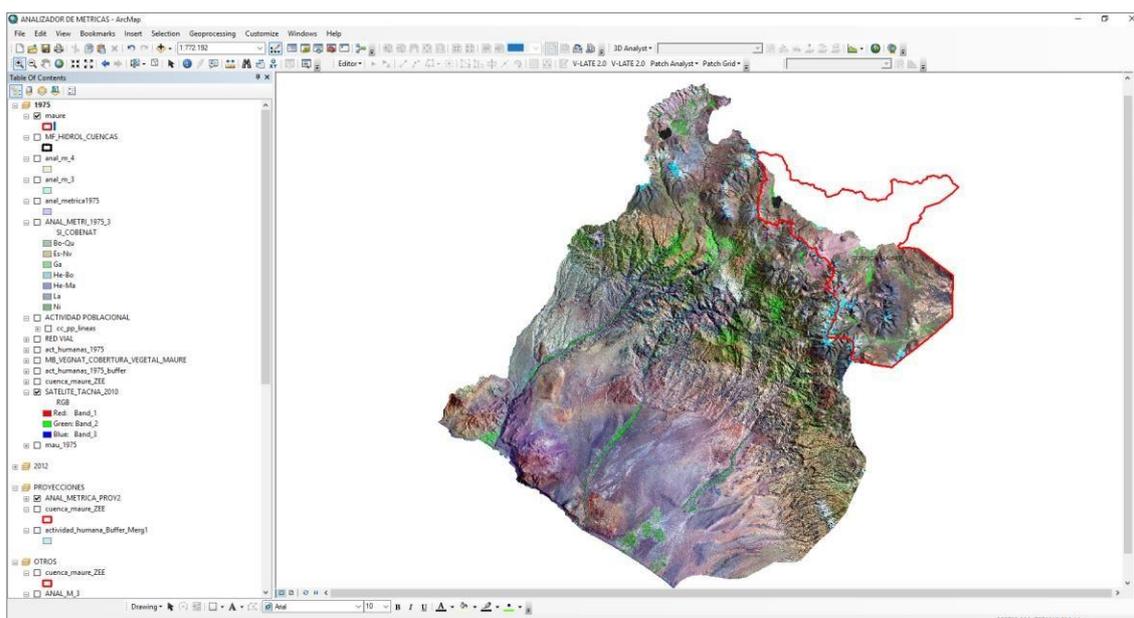


Figura 5. Cuenca del Maure superpuesta a la imagen satelital de Tacna, la cual servirá para ajustar la superficie.
Fuente: Elaboración propia.

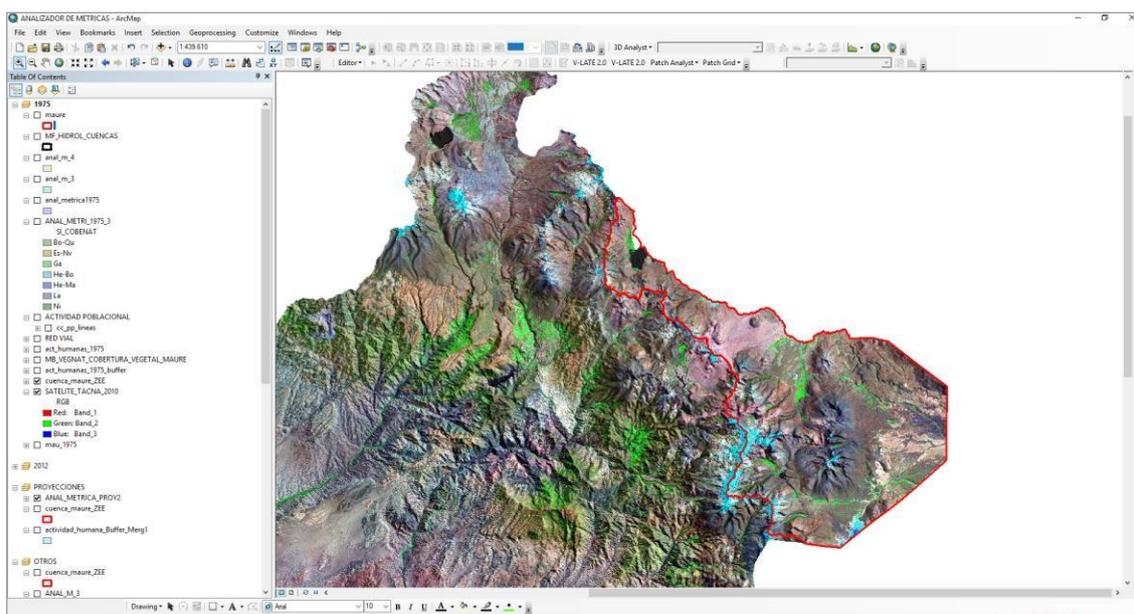


Figura 6. Cuenca del Maure de la Región Tacna.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 7 se observa el procedimiento de *Extract By Mask*, el mismo que extrajo de la imagen satelital, el espacio territorial de los límites de la cuenca del Maure que se ubica en nuestra región. El raster obtenido de la Figura 8 podrá ser clasificado por unidades territoriales más específicas, en este caso por el de cobertura vegetal. (Pucha et al, 2017)

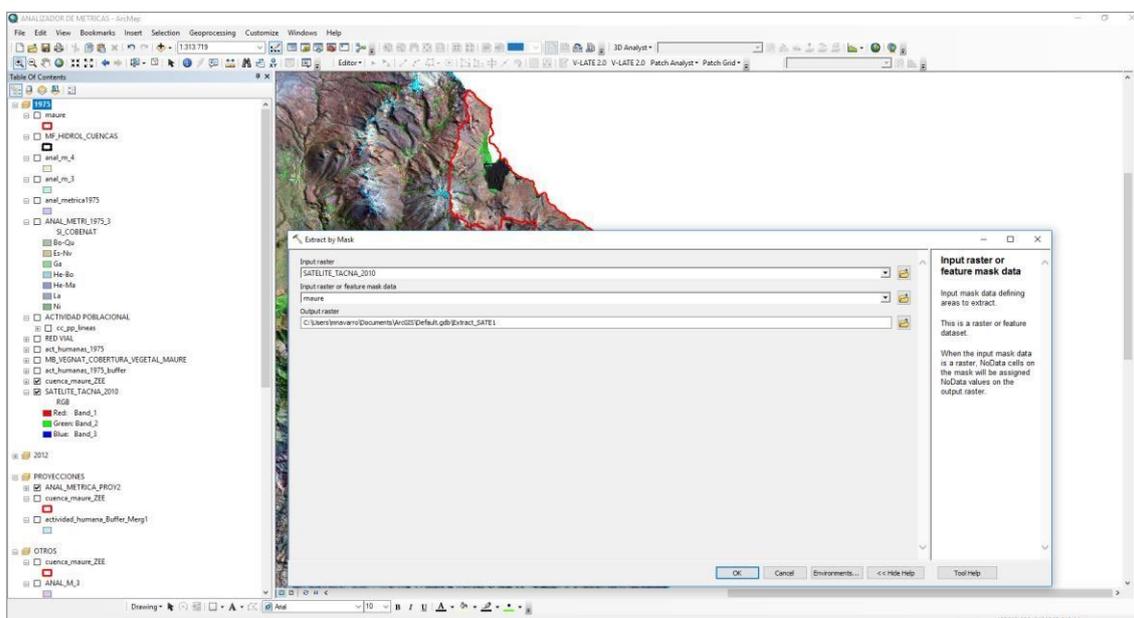


Figura 7. Extracción de la imagen satelital de Tacna en los límites de la cuenca del Maure.

Fuente: Elaboración propia.

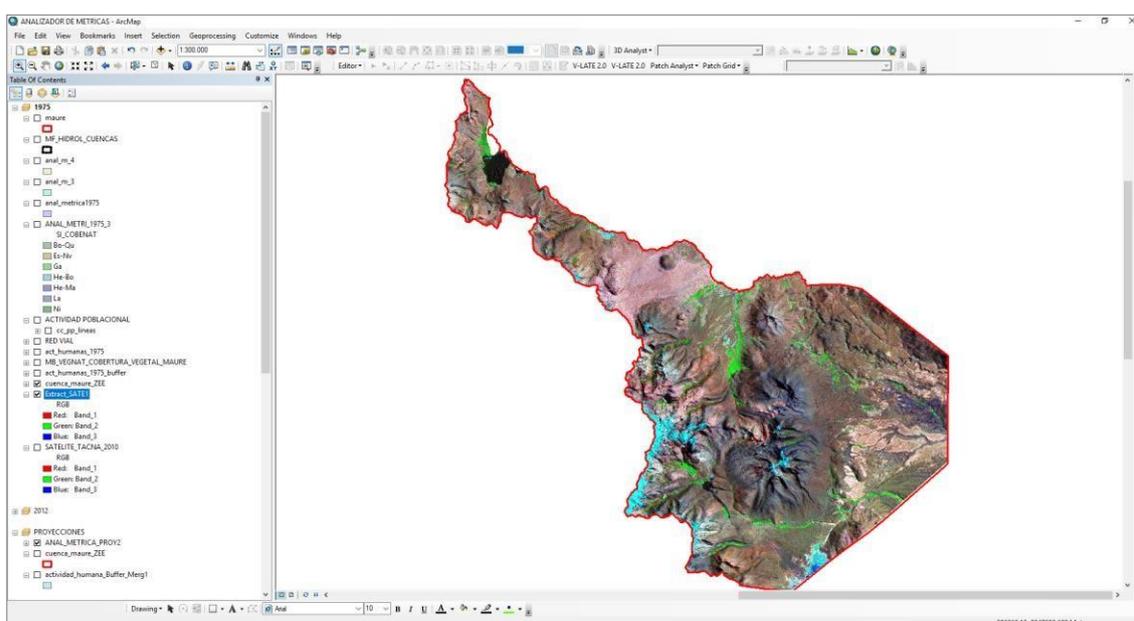


Figura 8. Cuenca del Maure en formato Raster.

Fuente: Elaboración propia.

b) Determinación de cobertura vegetal del paisaje:

Se descargó la imagen satelital Landsat de la página web <http://glovis.usgs.gov/>, a la cual un especialista en Sistemas de Información Geográfica realizó un proceso de georreferenciación, limpieza y ortorectificación. Una vez lista la imagen satelital Landsat de la cuenca del Maure y con ayuda del ArcMAP y la herramienta *reclass* del menú *Spatial Analyst Tools* del *Arctoolbox*, se realizó una clasificación supervisada (Pucha et al, 2017) de la cobertura vegetal tal como se observa en la Figura 9. Los puntos de control fueron los datos espaciales generados por la ZEE de Tacna en el shape o capa de cobertura vegetal del año 2012.

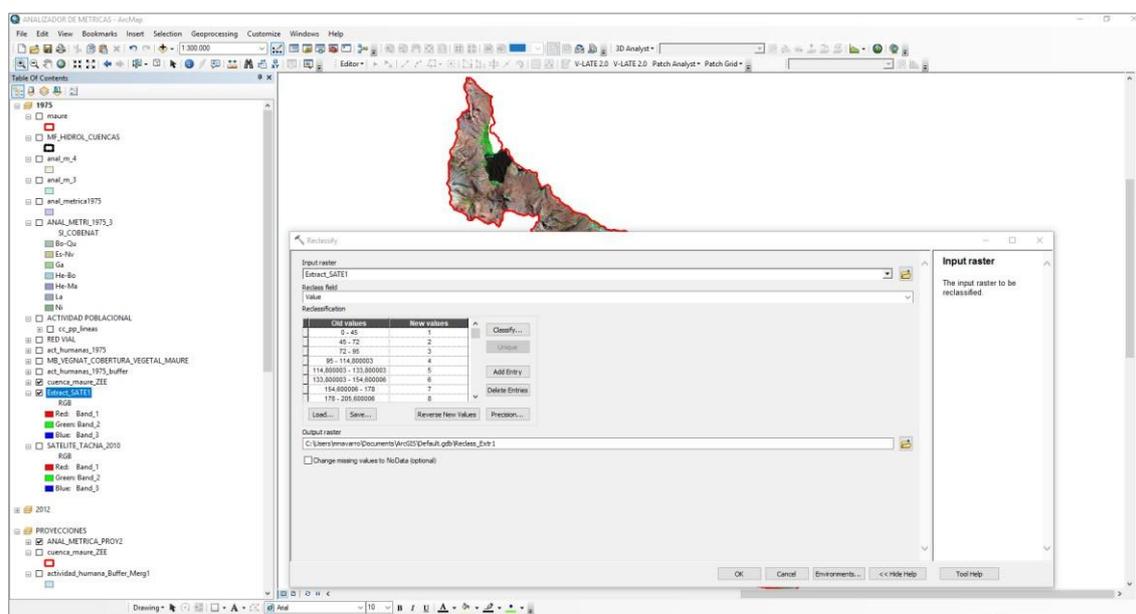


Figura 9. Reclasificación de imagen satelital en polígonos de cobertura vegetal.
Fuente: Elaboración propia.

Con esto, se obtuvo un archivo vectorial, shape o capa geográfica a la que se nombró **MB_VEGNAT_COBERTURA_VEGETAL_MAURE.shp** que representa a la distribución espacial más exacta de cobertura vegetal, Figura 10, y al que fue posible medirle los valores iniciales de los fragmentos naturales dentro del paisaje, considerándolo como un nivel natural de fragmentación, es decir sin presencia de actividad antropogénica.

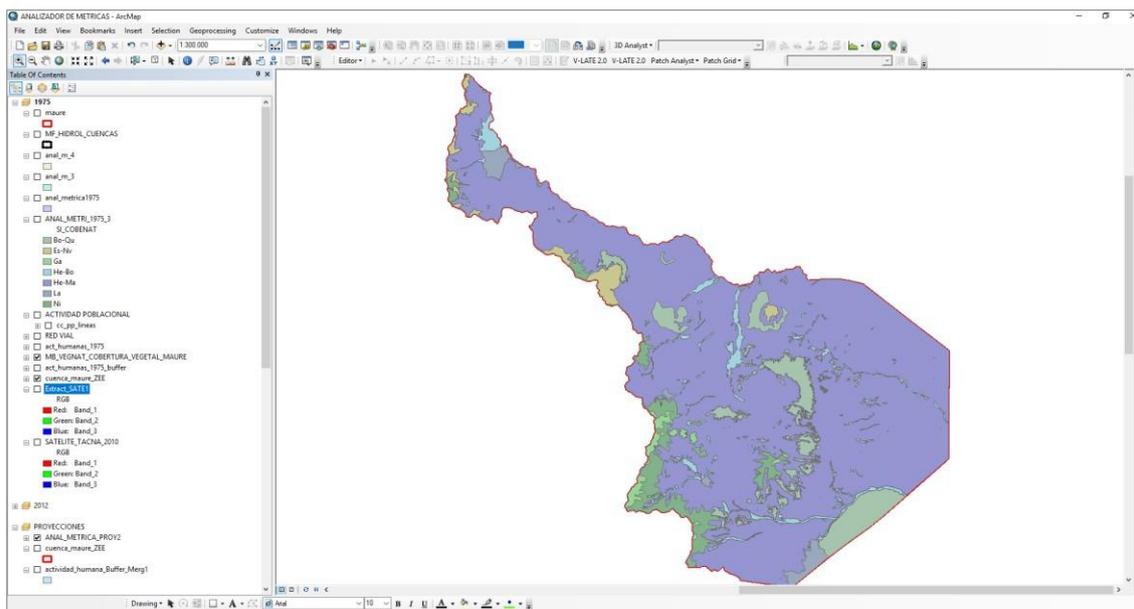


Figura 10. Cobertura vegetal de la cuenca del Maure en formato vectorial o shape.
Fuente: Elaboración propia.

Distribución geográfica de las actividades antropogénicas en tres temporalidades:

a) Definición de temporalidades:

Primera temporalidad - Año 1975: Se realizó una revisión bibliográfica completa para determinar las actividades antropogénicas desarrolladas al interior de la cuenca del Maure hasta este año, para elaborar el shape o capa en forma de red espacial de fragmentación de los ecosistemas de la cuenca del Maure.

Segunda temporalidad - Año 2012: Se realizó la revisión completa de la base cartográfica de la ZEE de Tacna aprobada en el año 2012, en el que se encuentran identificadas y georreferenciadas todas las actividades antropogénicas desarrolladas al interior de la cuenca del Maure.

Tercera temporalidad – Año 2020: Se solicitó información cartográfica del Proyecto Especial Tacna, respecto a los nuevos proyectos hídricos a implementar en la Región Tacna. Asimismo, se descargó la base cartográfica más actualizada de las vías terrestres del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para seleccionar aquellas que se

encuentren al interior de la cuenca del Maure y no hayan sido consideradas en las temporalidades anteriores. Se realizó un corte del paisaje utilizando la herramienta *Clip* del menú *Geoprocessing* del ArcMAP. Culminada la identificación y georreferenciación de todas las actividades antropogénicas por temporalidad, se unió las capas a través de la herramienta *Merge* del menú *Geoprocessing* (Pucha et al, 2017) y se utilizaron los siguientes nombres para los archivos vectoriales resultantes:

- *actividades_antropogénicas_1975.shp*.
- *actividades_antropogénicas_2012.shp*.
- *actividades_antropogénicas_2020.shp*.

b) Salidas de campo:

Se realizaron diversas salidas de campo dentro del paisaje seleccionado, para realizar la evaluación visual de la fragmentación mediante la identificación de las actividades antropogénicas que se han instalado sobre la superficie original de los ecosistemas naturales de la cuenca del Maure. Durante las salidas se realizaron mediciones que brindará información importante para los cálculos.

Las métricas del paisaje para cada temporalidad

a) Elaboración de los polígonos analizadores de métricas:

Para calcular las métricas del paisaje fue necesario unir los insumos anteriores con la herramienta *Merge* del menú *Geoprocesamiento* del ArcMAP, como son el shape de la cobertura vegetal de la cuenca del Maure con cada una de los shapés de las redes de las actividades antropogénicas por cada temporalidad, para luego recortar las intersecciones con el editor de la tabla de atributos (Pucha et al, 2017).

Así, se obtuvo cuatro analizadores de métricas que permitieron calcular lo siguiente:

- *Anal_métrica_SA*: Permitió calcular los patrones de fragmentación natural de la cobertura vegetal de la cuenca del Maure, sin actividad antropogénica.
- *Anal_métrica_AA_1975*: Permitió calcular los patrones de fragmentación de la cobertura vegetal de la cuenca del Maure por actividad antropogénica al año 1975.
- *Anal_métrica_AA_2012*: Permitió calcular los patrones de fragmentación de la cobertura vegetal de la cuenca del Maure por actividad antropogénica al año 2012.
- *Anal_métrica_AA_PROY*: Permitió calcular los patrones de fragmentación de la cobertura vegetal de la cuenca del Maure por actividad antropogénica al año 2020.

b) Cálculo de las métricas del paisaje:

Con el fin de cuantificar, analizar, comparar y evaluar las diferentes características del paisaje de manera ordenada, se han desarrollado diferentes índices, denominados métricas del paisaje. Las métricas pueden ser calculadas en tres niveles, Parche, Clase y Paisaje. Los parches se agrupan en clases a partir de características similares (por ejemplo tipo de vegetación) y en el nivel de paisaje se reúnen todos los parches de cada clase existente. Todas las métricas descritas a continuación se obtuvieron a partir de archivos vectoriales mediante la extensión *Patch Analyst 5.2* y el programa *ARCGIS 10.3*. Algunas métricas de la composición del paisaje, su nombre y para que se utilizaron en la Tabla 4.

Para obtener los valores de las métricas del paisaje a partir de nuestros 4 analizadores de métricas, se activó la extensión *Patch Analyst* dándole clic a la opción *Spatial Statistics* tal como se muestra en la Figura 11. (Rempel, Kaukinen y Carr, 2012)

Tabla 4.
Métricas del paisaje utilizadas para calcular la fragmentación de la cuenca del Maure.

Métrica	Nombre	Tipo	Descripción
SDI	Índice de Diversidad de Shannon	Diversidad	Medida de diversidad relativa en los parches. Este índice es igual a cero cuando sólo hay un parche en el área de estudio. Este valor crece a medida que aumentan los parches.
SEI	Índice de Diversidad de Simpson	Diversidad	Medida de distribución de parches y su abundancia. Este índice es igual a cero cuando la distribución observada de los parches es baja, y se acerca a la unidad cuando los parches aumentan.
AWMSI	Índice ponderado por el área del promedio de la Forma	Forma	Igual a 1 cuando los parches tienden a la circularidad AWMSI, se incrementa el valor cuando tienden a ser irregulares.
MSI	Índice promedio de la forma	Forma	Relacionado con el grado de complejidad. Se calcula a partir de la división entre la suma de los perímetros de los parches de una clase y la raíz cuadrada de la suma de las áreas de los parches de la misma clase respecto al número total de parches. Si el MSI es 1 significa que todos los parches son de forma circular y a medida que el índice aumenta las formas son más irregulares.
MPAR	Promedio de la tasa perímetro-área	Forma	Sumatoria de la razón perímetro/área dividida por el número de fragmentos
MPFD	Promedio de la dimensión fractal de los parches	Forma	Otra medida para identificar la complejidad del parche. Este valor llega a 1 para perímetros simples y alcanza 2 para formas complejas.
AWMPFD	Promedio ponderado por el área de la	Forma	Calcula el grado de complejidad de cada fragmento a partir de la relación entre área y perímetro. El índice AWMPFD presenta unos

	dimensión fractal de los parches		límites teóricos que están entre 1 y 2; los valores más altos indican mayor complejidad en la forma del parche y los valores cercanos a 1 indican formas geométricas más sencillas.
TE	Borde total	Borde	Perímetro total de los parches.
ED	Densidad de bordes	Borde	Cantidad de perímetro respecto al área total del paisaje. Es la suma total de todas las longitudes de borde de una clase (TE), dividido entre el área total del paisaje.
MPS	Tamaño medio del parche	Densidad y tamaño	Representa el promedio del área de los parches contenidos en una clase. Debe analizarse conjuntamente con la desviación estándar del tamaño del parche (PSSD)
NumP	Número de parches por clase	Densidad y tamaño	Cantidad de parches que posee una determinada clase, indica el grado de subdivisión de la clase.
PSSD	Desviación estándar del tamaño del Parche	Densidad y tamaño	Desviación estándar del área de los parches. A mayor desviación mayor diversidad en el tamaño de los parches.
TLA	Área total del Paisaje	Área	Suma de las áreas de todos los parches en un paisaje
CA	Área de la "clase"	Densidad y tamaño	Medida de composición de paisaje, es el área de cada clase.

Fuente: Traducción propia basada en Rempel, Kaukinen y Carr (2012)

La extensión *Patch Analyst* es un software especializado que permite evaluar la superficie del paisaje en las diferentes métricas señaladas en la Tabla 4. Los valores de éstas se guardan en tablas Excel editables (Rempel, Kaukinen y Carr, 2012). Las métricas a evaluar y que pueden seleccionarse independientemente se muestran en la Figura 12.

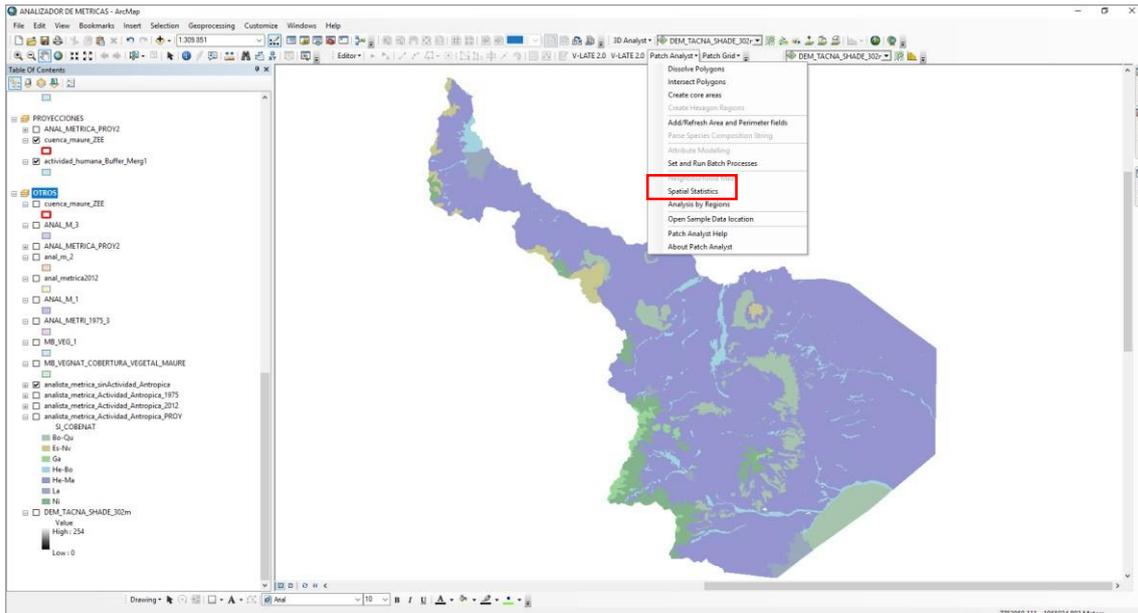


Figura 11. Inicio del cálculo de las métricas del paisaje.
Fuente: Elaboración propia.

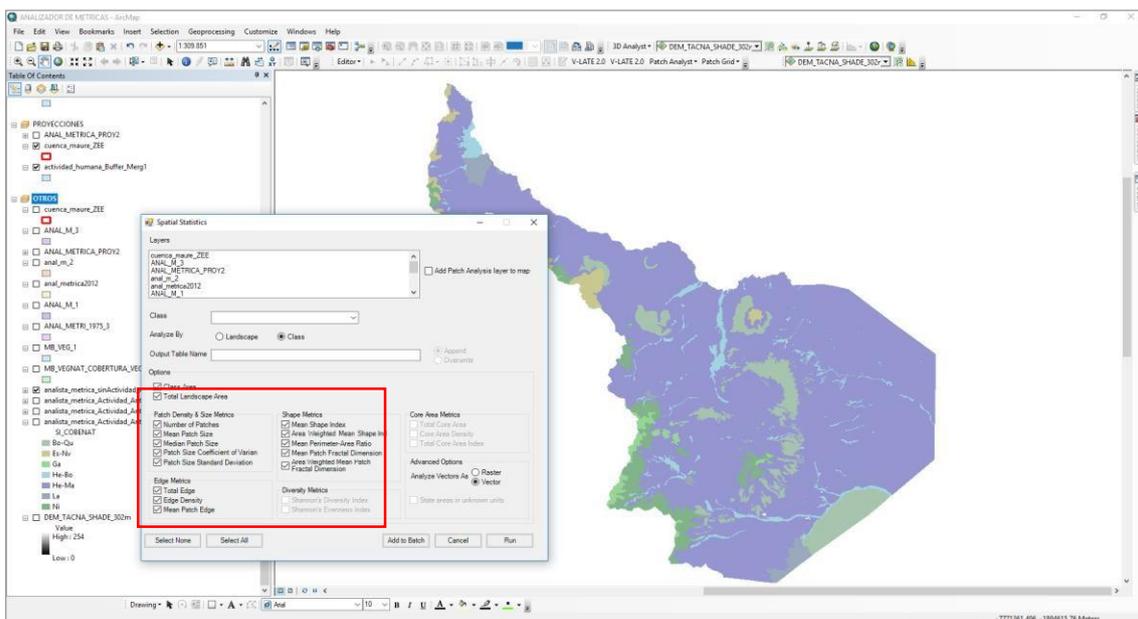


Figura 12. Métricas disponibles a medir por el software Patch Analyst.
Fuente: Elaboración propia.

Variación de la fragmentación:

Para determinar los cambios en el nivel de la fragmentación, se analizará el incremento o decremento en porcentaje, del número resultante de cada métrica entre una determinada temporalidad a otra, para luego sumarla y obtener un ponderado general.

Este valor se comparó con una escala numérica resultante del mayor valor de la tasa de deforestación a nivel mundial, que corresponde a Malasia con 14,4% y la más baja tasa de deforestación a nivel mundial ocurrida entre los años 2010 al 2015, como es el 0,8%.

Los valores y su interpretación se presentan en la tabla 5.

Tabla 5.
Escala de fragmentación según tasas altas y bajas de deforestación a nivel mundial.

Tasa de deforestación	Nivel
14,4%	Alta
13,6%	Alta
12,8%	Alta
12%	Alta
11,2%	Alta
10,4%	Alta
9,6%	Media
8,8%	Media
8%	Media
7,2%	Media
6,4%	Media
5,6%	Media
4,8%	Baja
4%	Baja
3,2%	Baja
2,4%	Baja
1,6%	Baja
0,8%	Baja

Fuente: Elaboración propia

3.5.2. Validación y fiabilidad de instrumentos:

Zaragozí, B., Rabasa, A., Rodríguez-Sala, J.J., Navarro, J.T., Belda, A. y Ramón, A.(2015) indican que el Patch Analyst (Rempel, 2008) es la herramienta más reciente, desarrollada sobre la base de ArcGIS y como V-Late es una extensión programada en Visual Basic 6.0 (VB6). Patch Analyst calcula métricas del paisaje utilizando tanto formatos vectoriales como raster. Las fórmulas raster se calculan a través de una interfaz de Fragstats. Patch Analyst proporciona otras herramientas adicionales además de las métricas del paisaje y da acceso directo a muchas capacidades de ArcGIS. Además, los cálculos básicos funcionan mejor que V-Late cuando la cantidad de polígonos es grande.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

No aplica, en el presente trabajo de investigación no se aplicaron encuestas.

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados

4.1.1. Distribución geográfica del paisaje en la cuenca del Maure:

La cobertura vegetal presente en el paisaje de la cuenca del Maure se clasifica en siete (7) tipos, los mismos que se encuentran representados en la Figura 13. Es necesario tener una idea clara de las unidades de cobertura vegetal y como están distribuidos dentro del paisaje ya que servirán para los análisis posteriores.

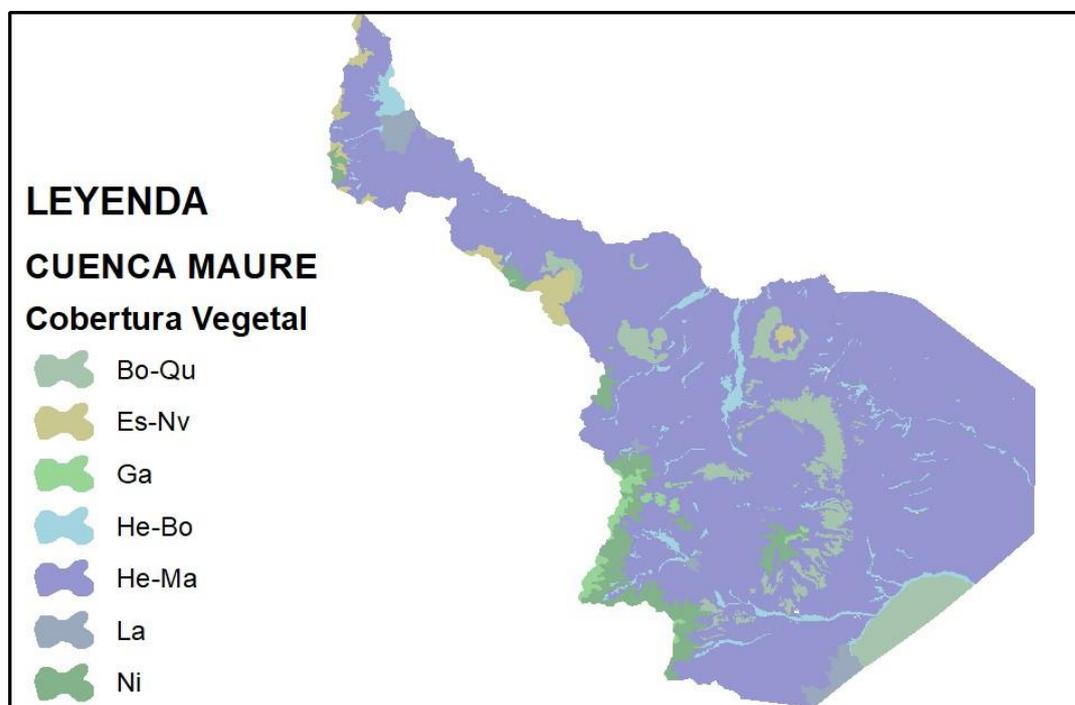


Figura 13. Cobertura vegetal de la cuenca del Maure
Fuente: Elaboración propia.

Es importante observar que existe predominancia de un tipo de cobertura, el cual le da las características particulares al paisaje y servirá en adelante para analizar cuál de ellos se habrá fragmentado más que otros. Los datos de superficie y extensión para cada una de los tipos de cobertura vegetal se detallan en la Tabla 6:

Tabla 6.
Tipos de cobertura vegetal en la cuenca del Maure.

Símbolo	Tipo de cobertura	Superficie (ha)
La	Agua	2802,57
Bo-Qu	Bosques - Queñoales-	13015,33
Es-Nv	Escasa o nula vegetación	2933,12
Ga	Glaciares	1832,93
Ni	Nival	7231,02
He-Ma	Herbazal pajonal matorral (tólar)	136896,00
He-Bo	Herbazal-bofedal	5758,13
Total		170469,10

Fuente: Elaboración propia.

El paisaje de estudio, la cuenca del Maure de la Región Tacna tiene una superficie total de 170 469,10 hectáreas dividido en siete tipos de cobertura vegetal, en el que predomina el herbazal pajonal matorral en un 80% (136 896,00 hectáreas) y el resto, es decir sólo el 20% se divide entre los otros seis grupos. El tipo de cobertura de menor extensión dentro del paisaje son los Glaciares, a las que sólo un 1% lo representa con una extensión de 1832,93 hectáreas, como se observa en la Figura 14.

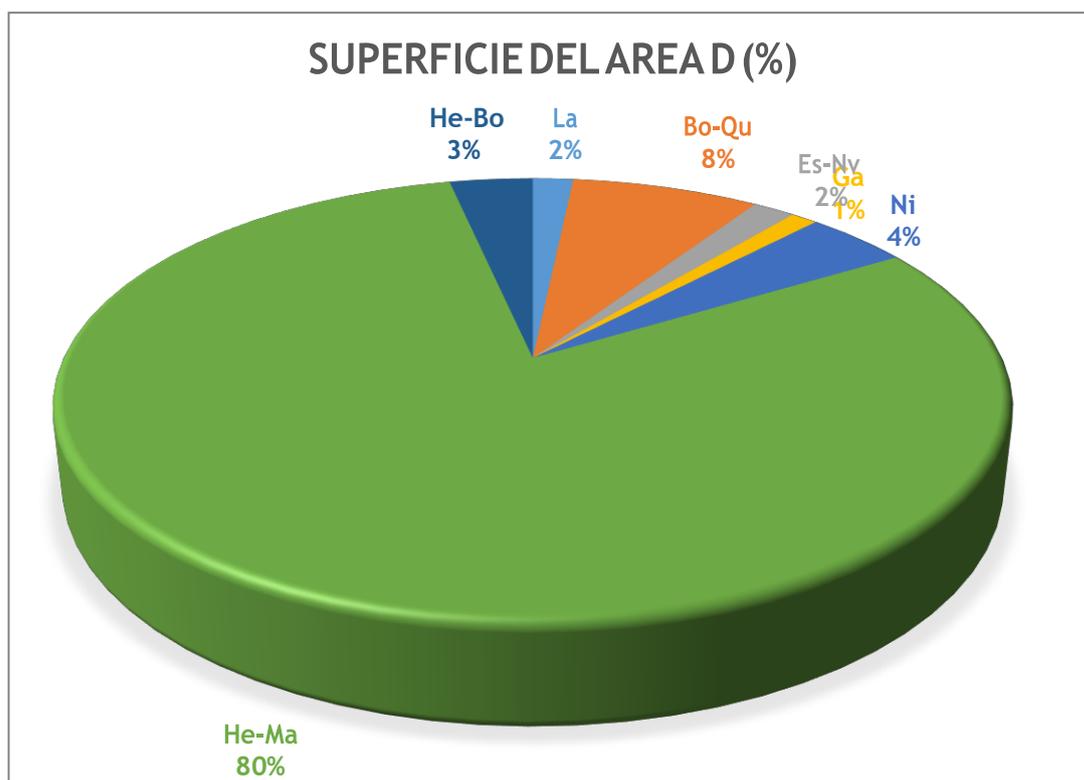


Figura 14. Distribución porcentual del paisaje según el tipo de cobertura vegetal en la cuenca del Maure
Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Distribución geográfica de las actividades antropogénicas en tres temporalidades:

Las actividades antropogénicas sucedidas a través de los años que ha sido referenciada geográficamente en diversos estudios y publicaciones, nos ha permitido construir tres escenarios, al año 1975 (Figura 15) al año 2012 (Figura 16) y una proyección al año 2020 (Figura 17). Se ha tomado en consideración obras viales, crecimientos de centros poblados, pasivos ambientales y obras para afianzamiento hídrico. La información obtenida es que para el año 1975 las actividades antropogénicas ocupaban una superficie de 7 872,55 ha y un perímetro de 1562,48 km. En el año 2012 estos valores se han incrementado a 25 592,48 ha y de perímetro 2 356,52 km. Se proyecta que para el año 2020, las actividades humanas tendrán una superficie de 29 049,77 ha y un perímetro de 2 716,199 km.

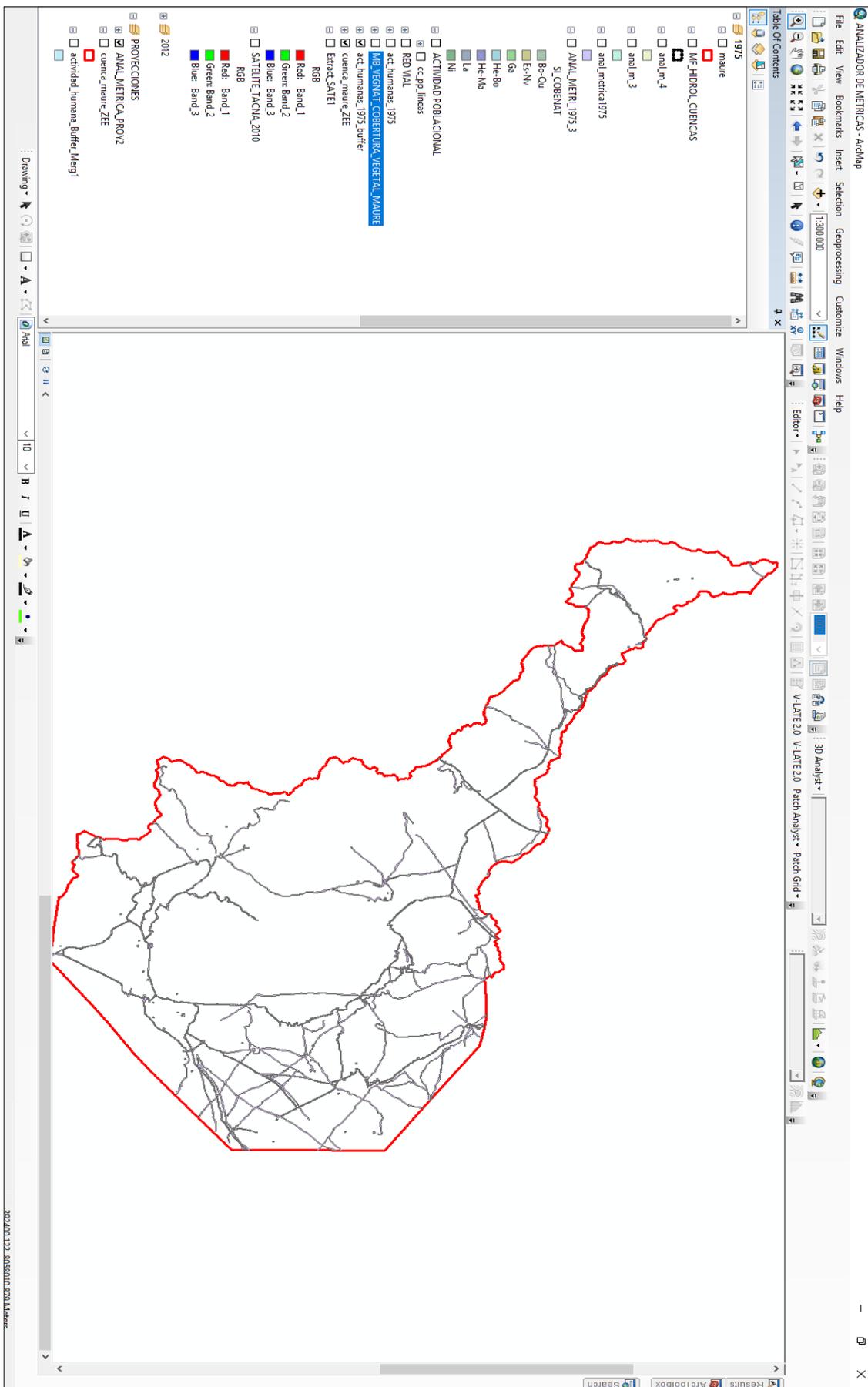


Figura 15. Actividad antropogénica en la cuenca del Maure hasta el año 1975.
Fuente: Elaboración propia.

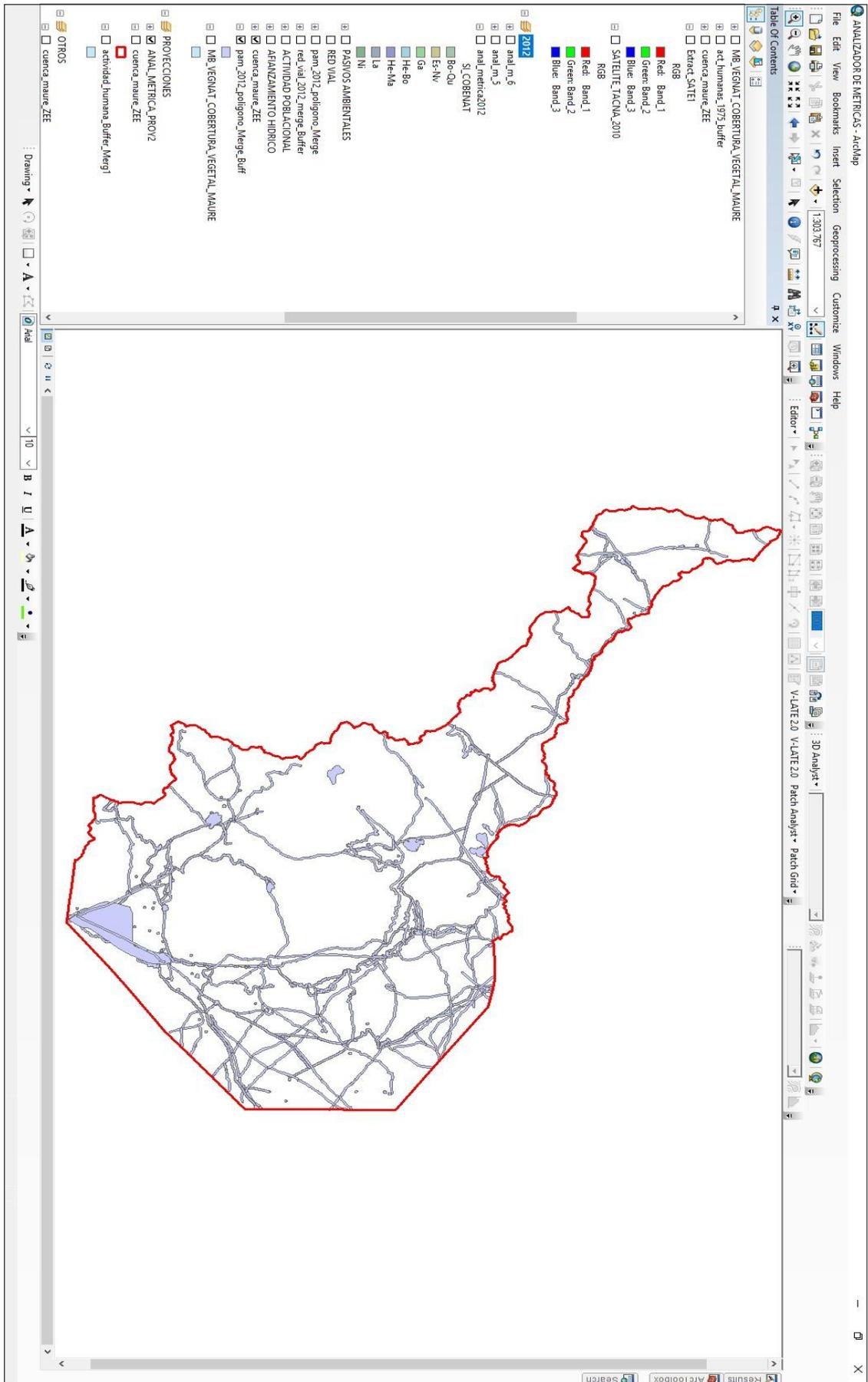


Figura 16. Actividad antropogénica en la cuenca del Maure hasta el año 2012.
Fuente: Elaboración propia.

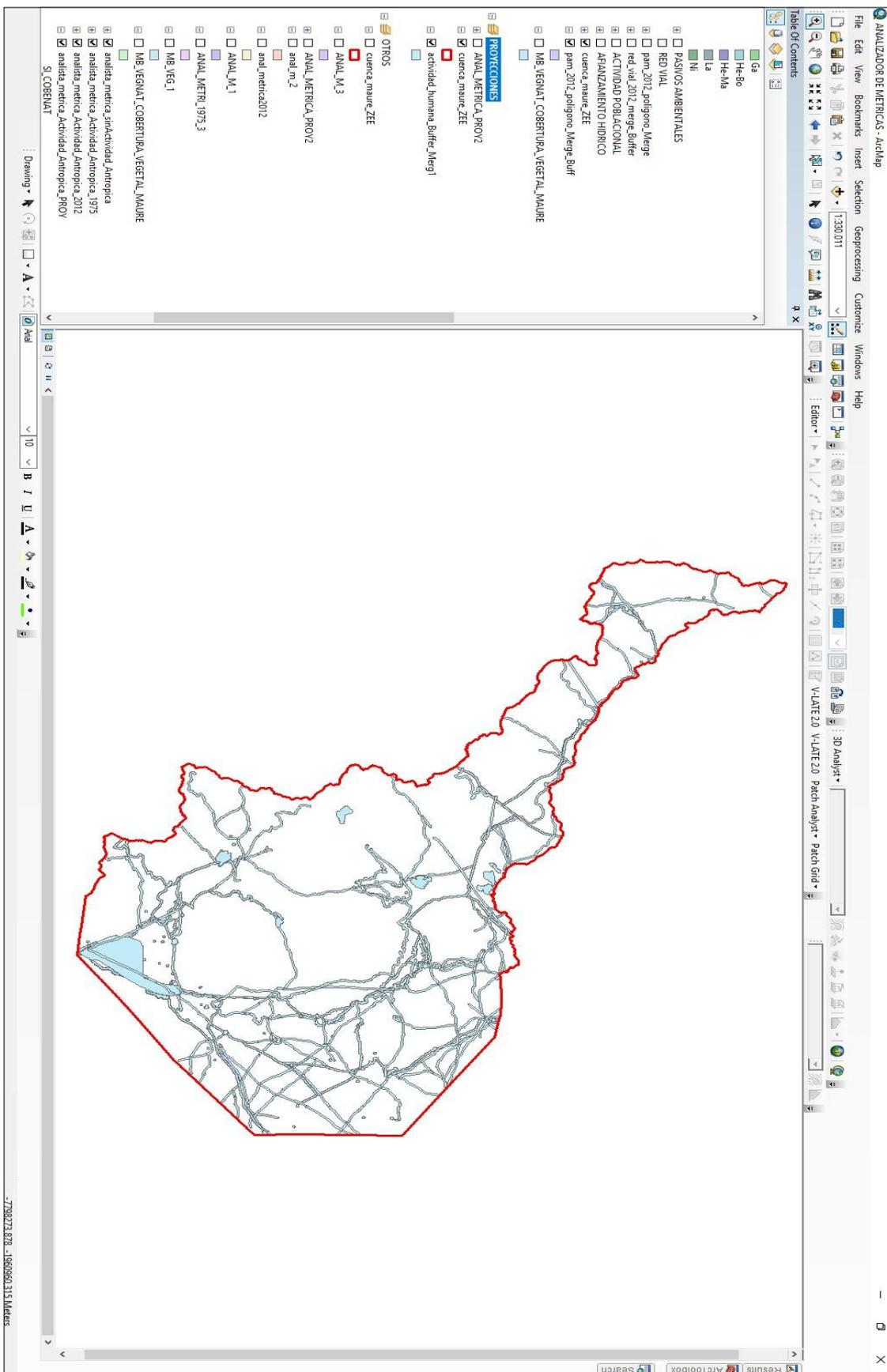


Figura 17. Actividad antropogénica en la cuenca del Mauve al año 2020.
Fuente: Elaboración propia.

Las actividades antropogénicas hasta el año 1975 fueron solamente viales y de crecimientos de los centros poblados. Para el año 2012 se identifican obras de afianzamiento hídrico que se iniciaron por los años noventa y el tema de los pasivos ambientales. Para la proyección al año 2020, se considera a la información cartográfica del proyecto de afianzamiento hídrico Vilavilani II etapa.

4.1.3. Las métricas de la cuenca del Maure:

Para analizar las métricas del paisaje en cada temporalidad se tuvieron que elaborar 4 analizadores de métricas, llamadas así a los polígonos de cobertura vegetal del paisaje a los que se les haya extraído la superficie de las actividades antropogénicas.

El primer analizador de métrica fue el polígono de la cobertura vegetal sin actividad antropogénica, el cual actuó como línea base de la fragmentación (Figura 18). Seguido de ello, se agregó la capa del polígono de la red de actividad antropogénica del año 1975 y se le extrajo la superficie que se interseca entre los dos, quedando como la Figura 19. De la misma forma se repite el procedimiento con cada polígono de actividad antropogénica del año 2012 y la del 2020, quedando la distribución del paisaje como se observa en la Figura 20 y 21 respectivamente.

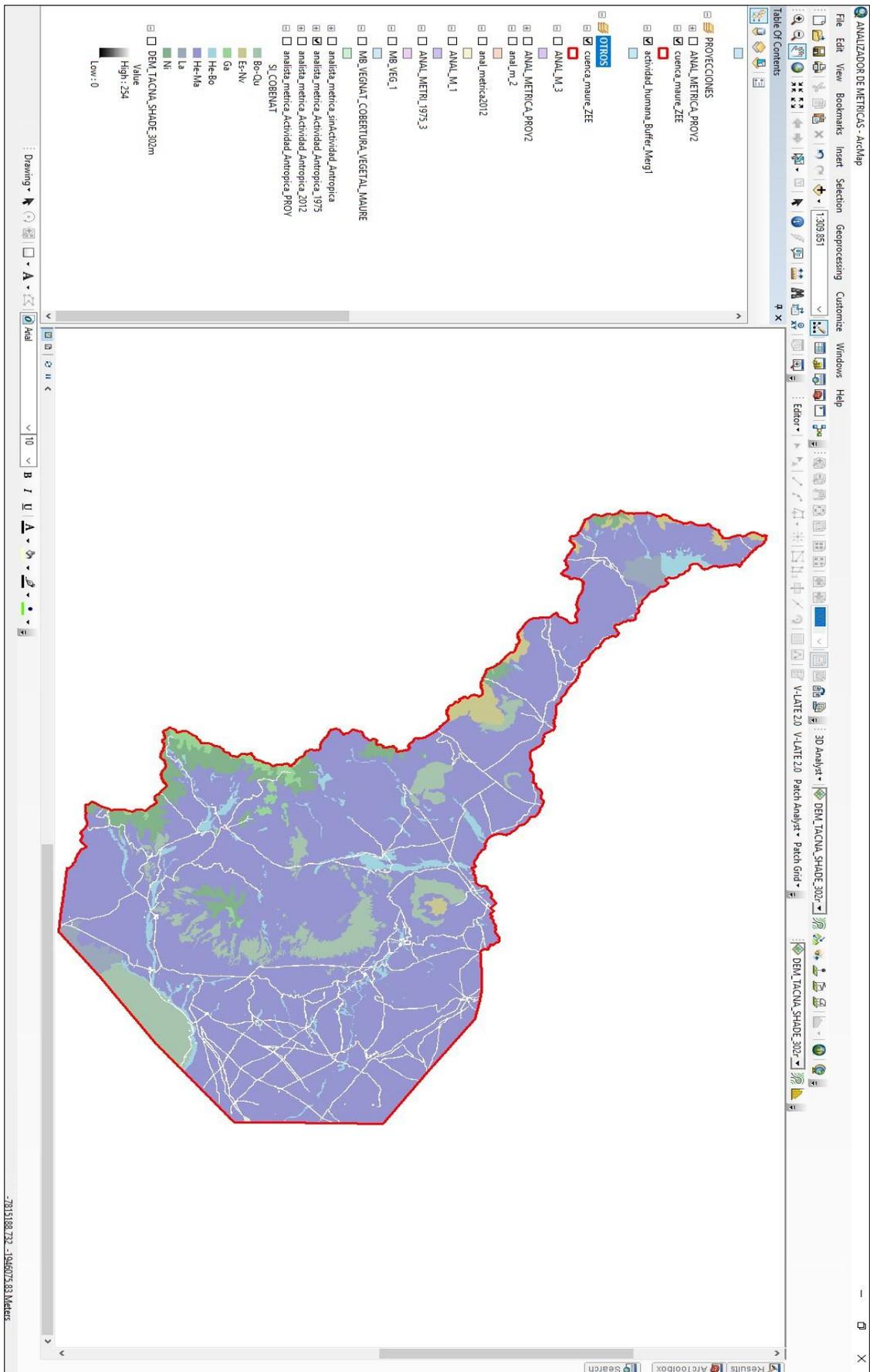


Figura 19. Analizador de métricas con actividad antropogénica del año 1975
Fuente: Elaboración propia.

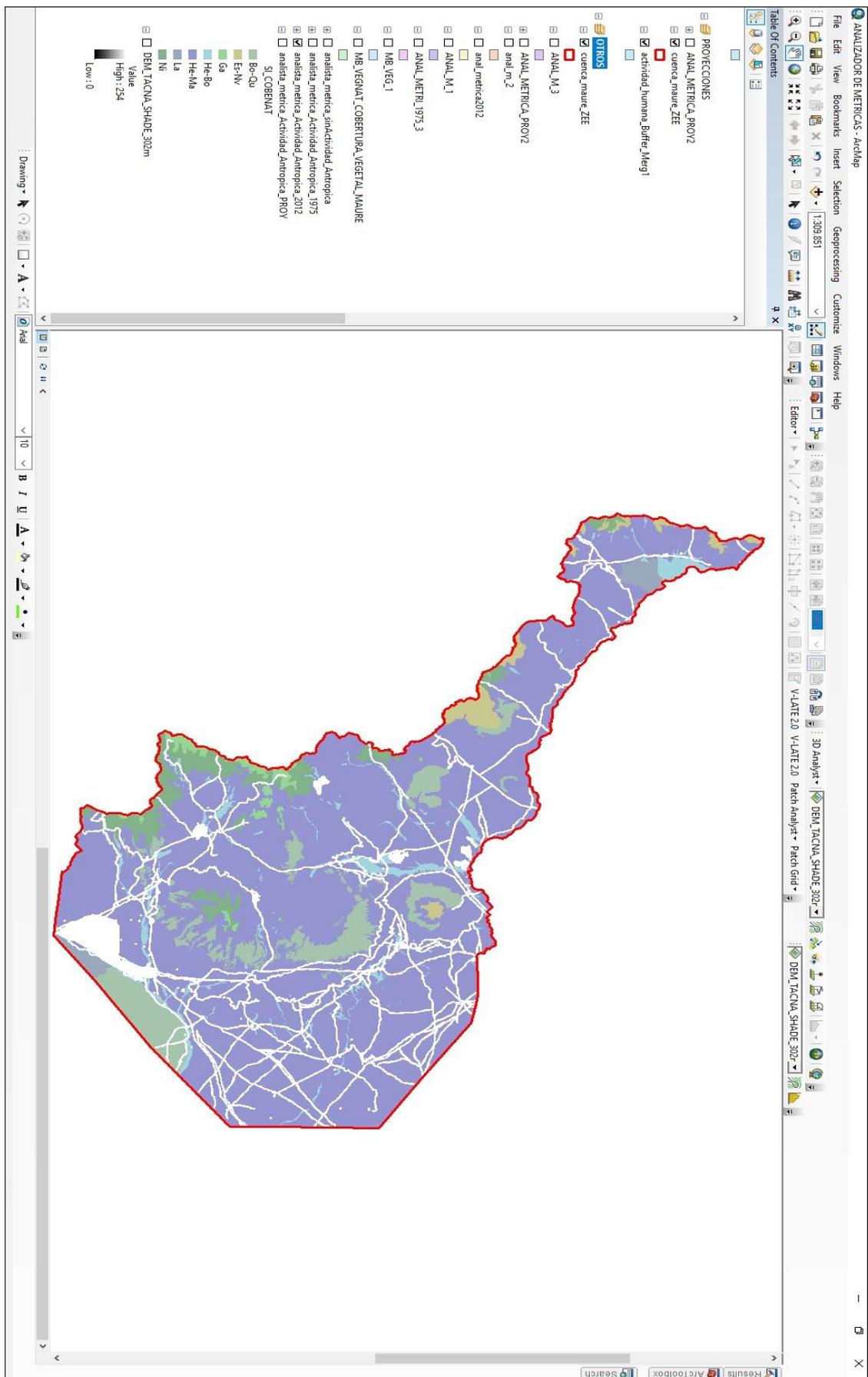


Figura 20. Analizador de métricas con actividad antropogénica al año 2012
Fuente: Elaboración propia.

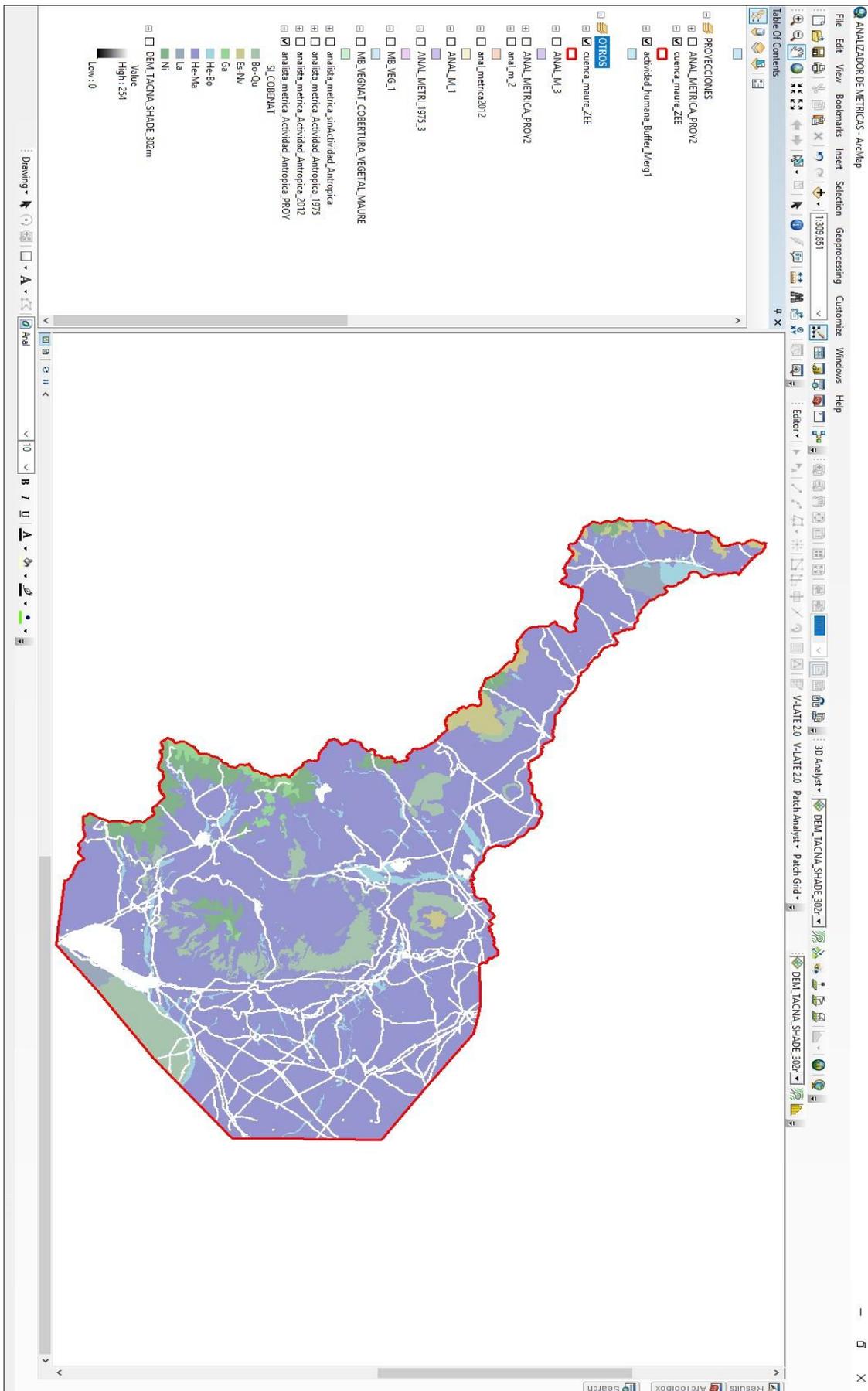


Figura 21. Analizador de métricas con actividad antropogénica al año 2020
Fuente: Elaboración propia.

Seguido de esto, se inicia el procedimiento para calcular las métricas del paisaje, utilizando el software Patch Analyst 5.2 se realizó la selección de las métricas de diversidad, de forma, de borde y de densidad y variabilidad a nivel de Paisaje (Landscape). Los resultados se presentan en las Tablas 7, 8, 9 y 10.

A partir de estos valores obtenidos, se han elaborado gráficos en los cuales se pueden determinar las tendencias de las métricas del paisaje en el transcurso del tiempo y como es que se han venido comportando en las temporalidades de estudio que fueron evaluadas.

Tabla 7.
Valores obtenidos de las Métricas de diversidad a nivel paisaje en la cuenca del Maure.

Temporalidad	Métricas de diversidad	
	SDI	SEI
Sin actividad antropogénica	0,807201790888	0,414819662295
Año 1975	0,822710164232	0,422789389649
Año 2012	0,836172319342	0,429707568845
Proyectado al 2020	0,838397700676	0,430851188624

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8.
Valores obtenidos de las Métricas de forma a nivel paisaje en la cuenca del Maure.

Temporalidad	Métricas de forma				
	AWMSI	MSI	MPAR (m/ha)	MPFD	AWMPFD
Sin actividad antropogénica	10,136928658840	2,430153841060	21177,42682120	1,411455397351	1,342659814488
Año 1975	3,739527782594	2,098904179104	14342,93910450	1,394207731343	1,275932277691
Año 2012	2,958464046133	1,991787860636	9182,40806846	1,378610097800	1,267003226092
Proyectado al 2020	2,962651775099	1,988293464755	9045,40083632	1,380379976105	1,267764861884

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.
Valores obtenidos de las Métricas de borde a nivel de paisaje en la cuenca del Maure.

Temporalidad	Métricas de borde		
	TE (m)	ED (m/ha)	MPE (m)
Sin actividad antropogénica	3236591,67	18,986383334939	10717,190946000
Año 1975	4565331,94	28,018573781966	6813,928265660
Año 2012	4562353,37	30,715471992563	5577,449111250
Proyectado al 2020	4611775,74	31,219195763141	5509,887377810

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10.
Valores obtenidos de las Métricas de densidad, tamaño y variabilidad a nivel de paisaje en la cuenca del Maure.

Temporalidad	Métricas de densidad, tamaño y variabilidad					
	MPS (ha)	NumP	MedPS (ha)	PSCoV (%)	PSSD (ha)	TLA (ha)
Sin actividad antropogénica	564,47	302,00	7,14	1394,07	7869,07	170469,10
Año 1975	243,19	670,00	6,49	487,30	1185,08	162939,48
Año 2012	181,58	818,00	5,89	429,58	780,05	148536,00
Proyectado al 2020	176,49	837,00	5,64	434,41	766,69	147722,44

Fuente: Elaboración propia.

Tendencias de las métricas de diversidad:

Esta métrica es exclusiva para el análisis a nivel de paisaje. El Índice de Diversidad de Shannon (SDI) se basó en todo el conjunto de fragmentos que forman parte del paisaje de la cuenca del Maure. En la Figura 22 se observa la variación del SDI durante las temporalidades de estudio.

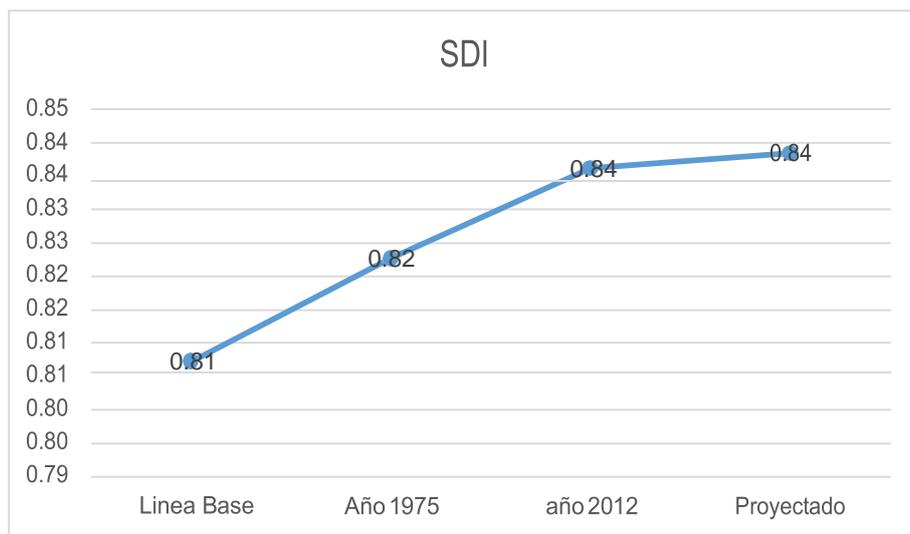


Figura 22. Índice de Diversidad de Shannon (SDI) para el paisaje de la cuenca del Maure
Fuente: Elaboración propia.

Otro índice utilizado exclusivamente a nivel de paisaje, es el Índice de Equitatividad de Shannon (SEI) que expresa la uniformidad de los valores de importancia del paisaje y en la cuenca del Maure se manifiesta de acuerdo a la Figura 23.

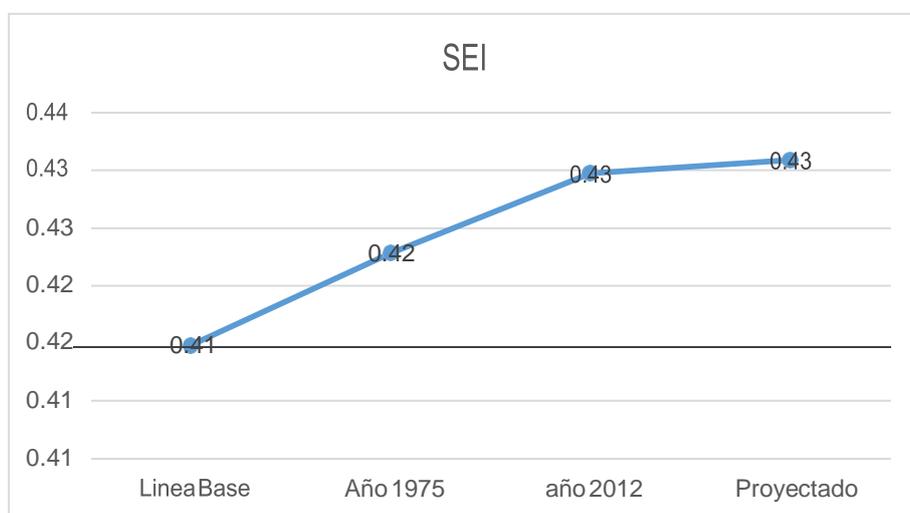


Figura 23. Índice de Equidad de Shannon (SEI) para el paisaje de la cuenca del Maure.
Fuente: Elaboración propia.

Métricas de forma:

Estas métricas han medido las características de la forma de los parches o fragmentos que constituyen el paisaje de la cuenca del Maure en cada temporalidad. Los valores de estas se han basado en la relación entre área y perímetro y han permitido la comprensión de este factor fundamental (forma) a nivel morfológico y funcional. Desde la Figura 24 hacia la 28 se muestran los resultados obtenidos en la evaluación en la cuenca del Maure.

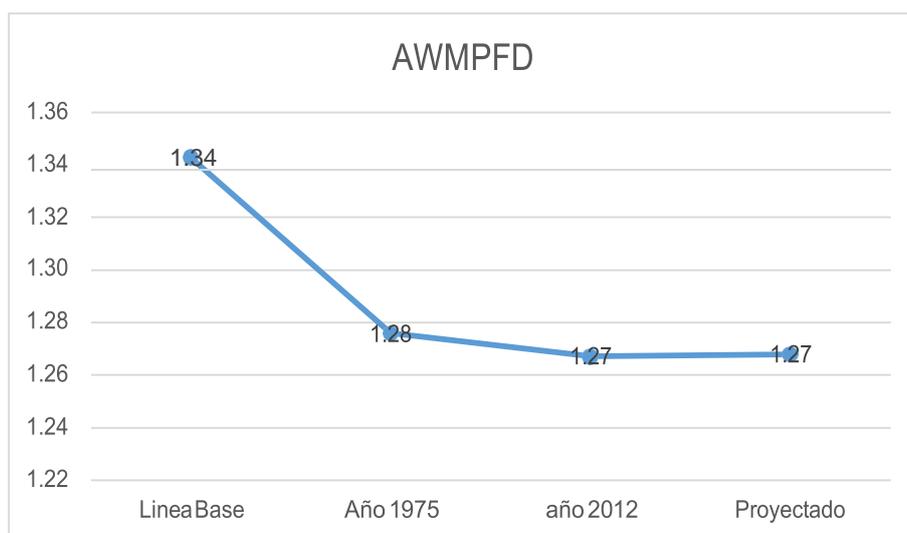


Figura 24. Variación del AWMPFD que mide el grado de complejidad de los fragmentos.
Fuente: Elaboración propia.

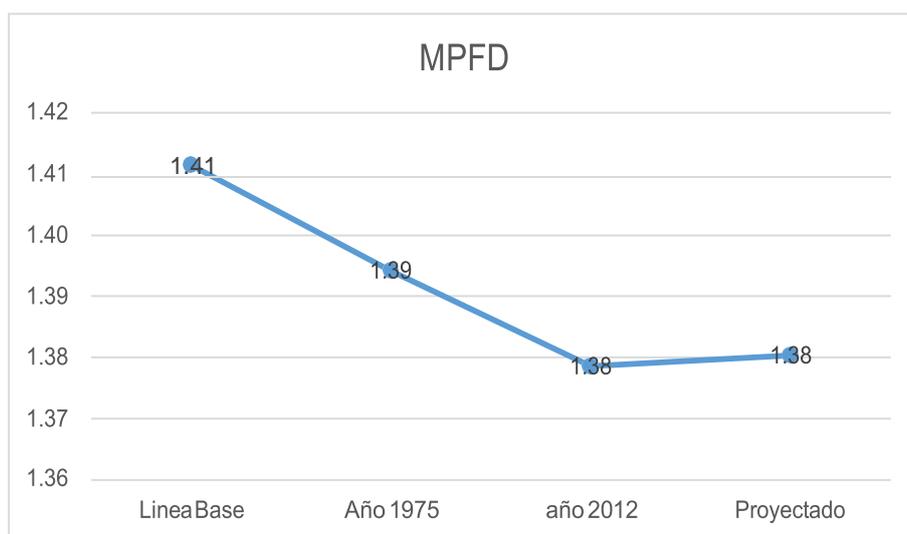


Figura 25. Variación del MPFD que también calcula la complejidad de los fragmentos.
Fuente: Elaboración propia.

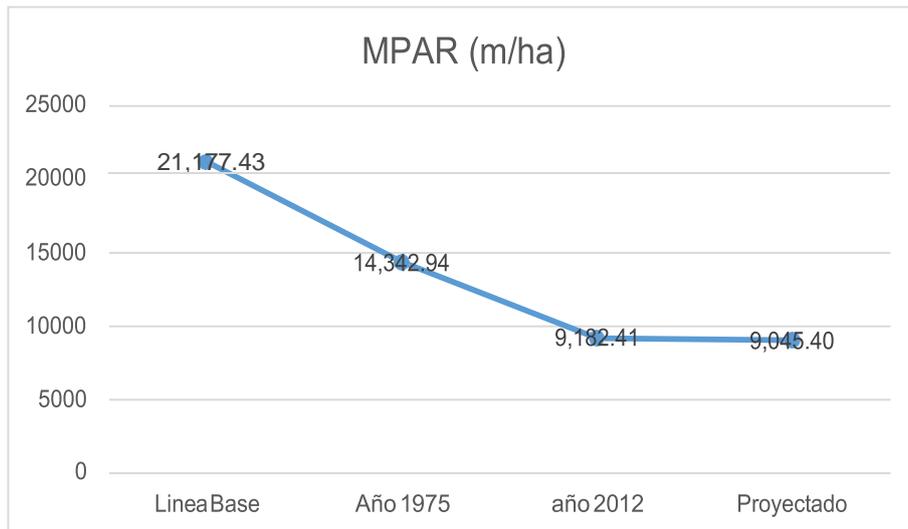


Figura 26. Variación del MPAR que es la sumatoria de la razón perímetro/área dividida por el NumP.
Fuente: Elaboración propia.

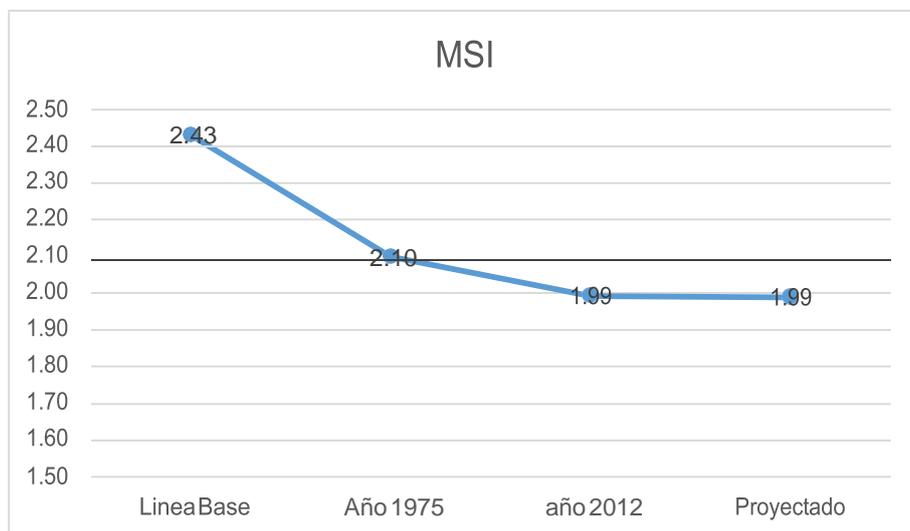


Figura 27. Variación del Índice promedio de la forma (MSI) en el paisaje de la Cuenca del Maure
Fuente: Elaboración propia.



Figura 28. Variación del Índice ponderado por el área del promedio de la forma (AWMSI) en la cuenca del Maure.
Fuente: Elaboración propia.

Métricas de densidad, tamaño y variabilidad:

Estos índices han medido las características de dimensión y el número de fragmentos que conforman el paisaje de la cuenca del Maure. Desde la Figura 29 a la 34 se presentan un conjunto de indicadores que se relacionan con el tamaño de los parches y la cantidad de borde creado para las mismas. Es una primera aproximación general a las características morfológicas de un paisaje.

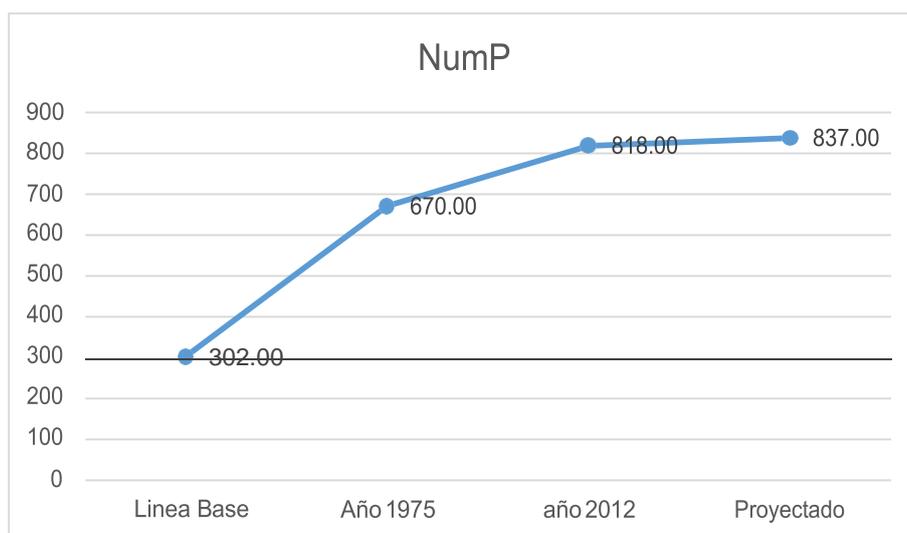


Figura 29. Incremento del número de fragmentos (NumP) en la cuenca del Maure.
Fuente: Elaboración propia.

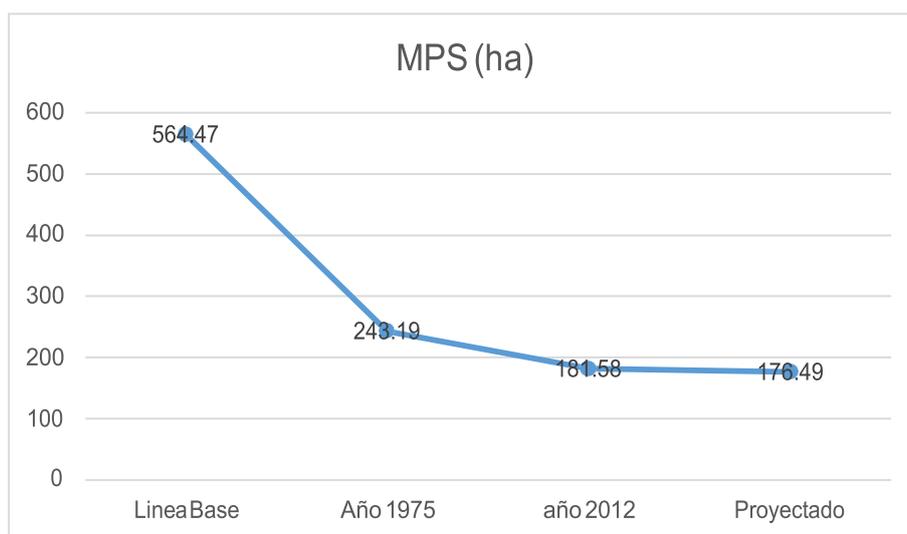


Figura 30. Variación del Tamaño medio de Parches (MPS) en la cuenca del Maure.
Fuente: Elaboración propia.

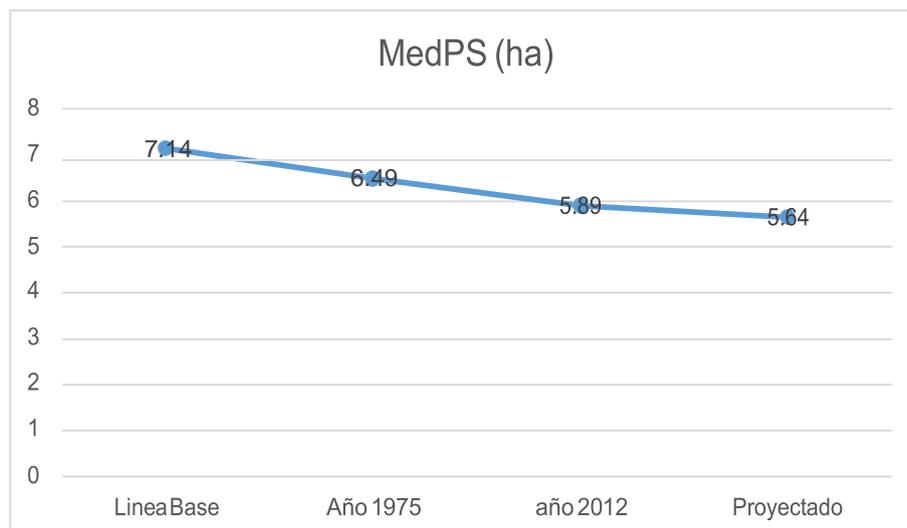


Figura 31. Variación de la mediana del tamaño del Parche (MedPS) en la cuenca del Maure.
Fuente: Elaboración propia.

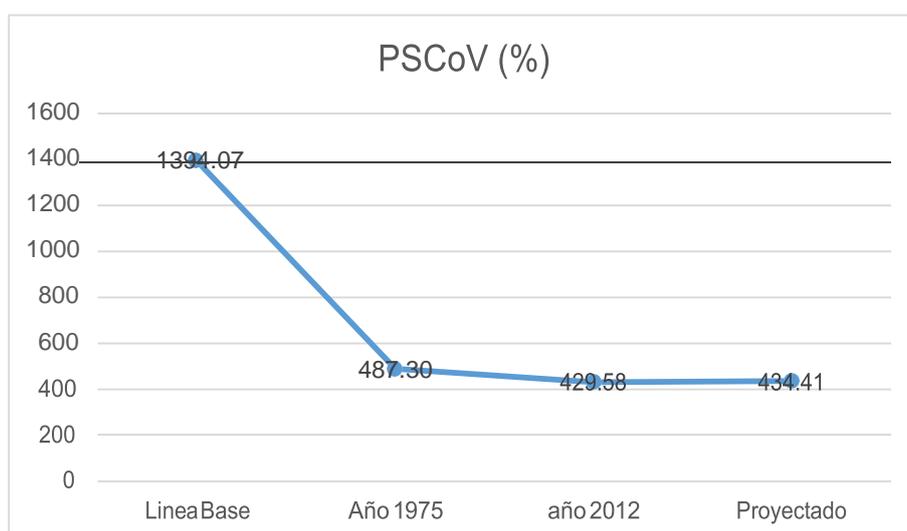


Figura 32. Coeficiente de variación del tamaño medio de los parches (PSCoV) de la cuenca del Maure.
Fuente: Elaboración propia.

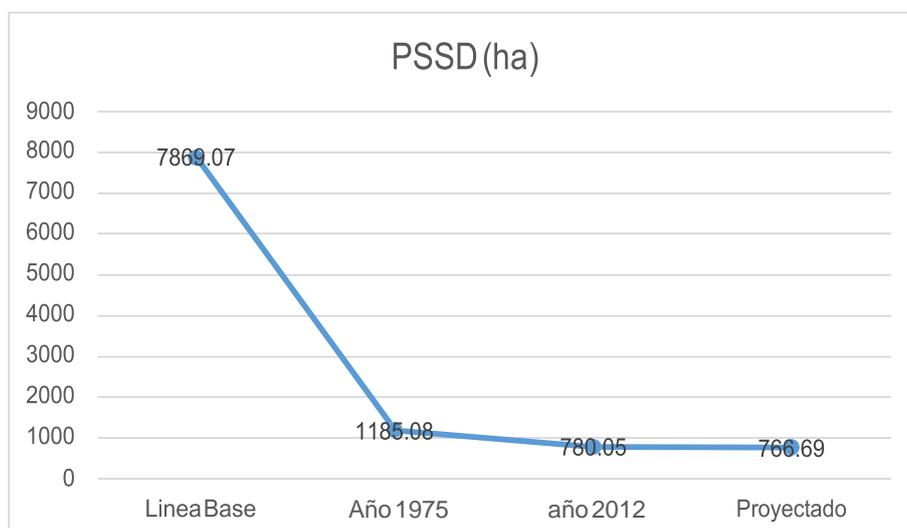


Figura 33. Variación de la Desviación estándar del área de los parches (PSSD) en la cuenca del Maure.
Fuente: Elaboración propia.

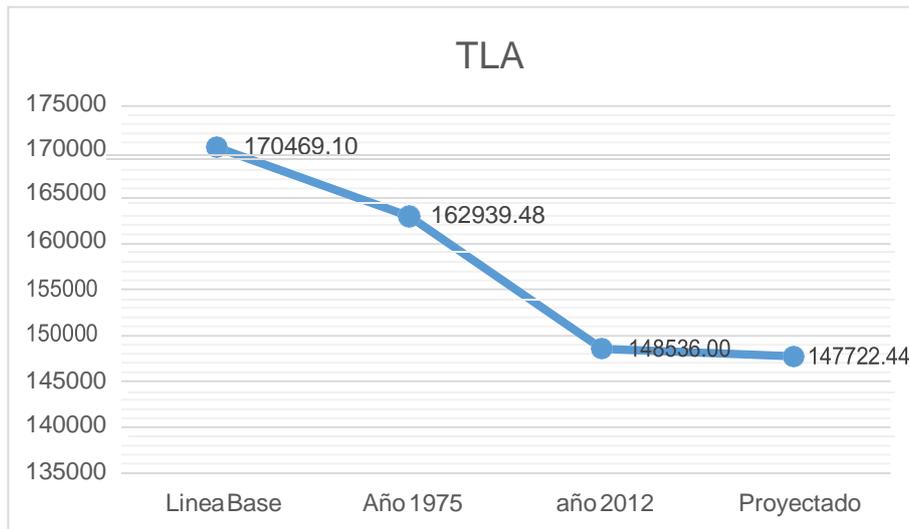


Figura 34. Variación del área total del paisaje (TLA) en la cuenca del Maure.
Fuente: Elaboración propia.

Métricas de borde:

Ha permitido realizar mediciones sobre la amplitud del borde de los parches o fragmentos de la cuenca del Maure o también conocido en ecología del paisaje como ecotono o hábitat de borde, y su relación con el hábitat interior. El número total de bordes de la cuenca del Maure se ha calculado contando los bordes entre los distintos tipos de cobertura para todo el paisaje. Los cálculos son utilizados para calcular proporciones de borde-área. En la Figura 35 hasta la 37 se presenta los resultados del paisaje, la cuenca del Maure.

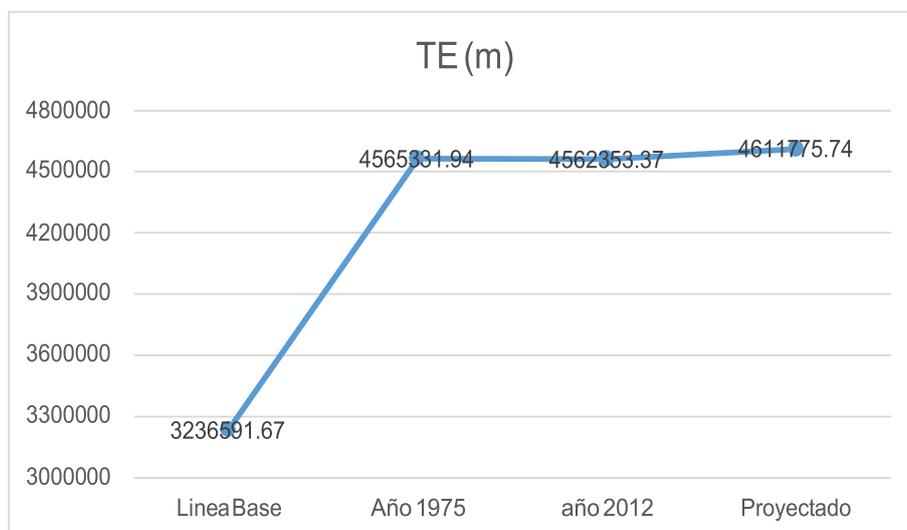


Figura 35. Variación del Perímetro total de los parches (TE) de la cuenca del Maure.
Fuente: Elaboración propia.

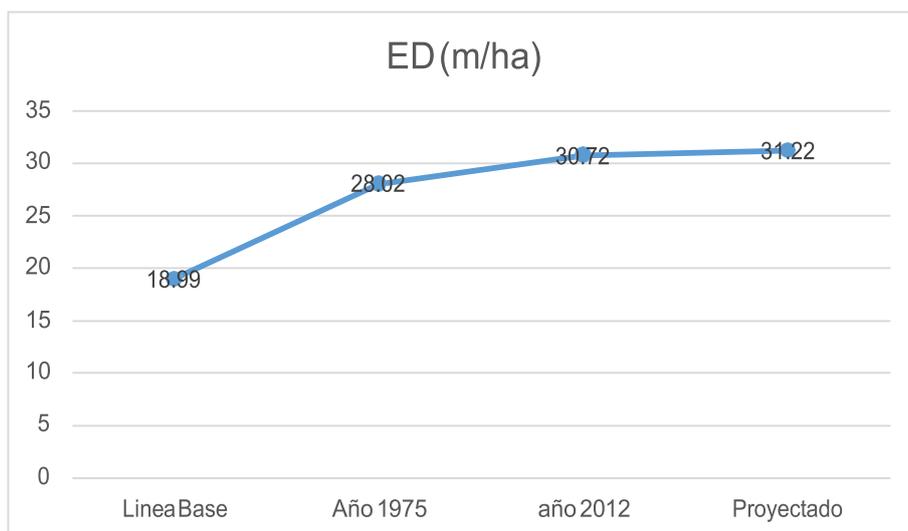


Figura 36. Variación de la cantidad de perímetro respecto al área total del paisaje (ED) de la cuenca del Maure.
Fuente: Elaboración propia.

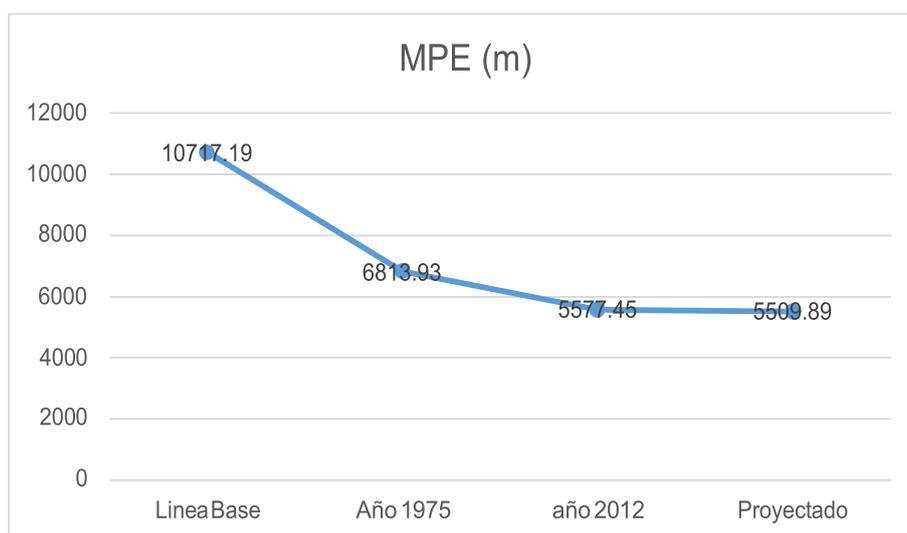


Figura 37. Variación del Promedio del borde de los parches (MPE) en la cuenca del Maure.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Variación de la fragmentación:

Para determinar la variación de la fragmentación en el tiempo, se realizó el análisis del cambio de los indicadores del paisaje para obtener el valor de pérdida de cobertura vegetal de los 40 años que se realiza la presente tesis, para luego ser comparada con el rango de deforestación mundial y evaluar si esta es alta, media o baja.

El cálculo se realizó con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Deforestación} = \frac{(TLA_{base} - TLA_{2020}) \times 100}{\square\square\square\square\square\square}$$

Donde:

% Deforestación= La degradación del paisaje de la cuenca del Maure por actividad antrópica desde la línea base al año 2020.

TLA_{BASE} = El área total del paisaje sin actividad antrópica.

TLA₂₀₂₀ = El área total del paisaje con actividad antrópica al año 2020.

$$\% \text{ Deforestacion} = \frac{(170\,469,10 - 147\,722,44) \times 100}{170\,469,10}$$

El resultado es de 13,34% el mismo que representa un nivel Alto dentro del rango de deforestación a nivel mundial presentado en la Tabla 5.

4.2. Discusión de resultados

Troll (1966) partió fundamentalmente de la premisa, que el paisaje es una entidad integrada (holística), es decir es mucho más que sólo la suma de los componentes biofísicos y antrópicos interactuantes (clima, litología, suelo, vegetación, actividades humanas, fauna, etc.), por tal razón concebirse y estudiarse también como tal. En la Figura 18 se muestra el paisaje de la cuenca del Maure formado por fragmentos de forma natural de distinta cobertura vegetal. La variación de las características (Métricas) de éstos que se observa desde la Figuras 22 a la 37, en función a la diversidad, cantidad, forma, borde y variabilidad de sus fragmentos, indican que existe fragmentación y esta ha venido incrementando en el transcurrir de los años, el cual fue demostrado y analizado en las temporalidades definidas por el presente estudio. Asimismo, se demuestra que existen implicancias ecológicas dentro del paisaje, como el estado de conservación de la flora y

la fauna, que representa información básica para la conservación integrada de estos paisajes.

Saunders, Hobbs and Margules (1991) señalaron que un proceso de fragmentación ecosistémica tiene como resultado un paisaje compuesto por relictos (fragmentos) de la(s) cobertura(s) vegetales originales, rodeados de otro tipo de intervenciones, produciendo alteraciones en los flujos de radiación, agua y nutrientes, y en la movilidad de las especies, evidenciándose estos efectos en el paisaje de la cuenca del Maure donde se encuentran especies en peligro de extinción como el Suri (*Rhea pennata*) a los cuales es necesario realizar estudios para determinar cómo viene afectando la fragmentación del paisaje a sus poblaciones.

Analizando el resultado de la métrica NumP, que es el número de fragmentos del paisaje presentados en la Figura 29, la actividad antropogénica primaria del año 1975 incrementa el número de fragmentos del paisaje en un 121%. Aunque este dato es importante, no necesariamente por ello, se puede concluir en que existe una gran fragmentación o mayor a la de años anteriores, ya que es necesario evaluar otras métricas (de forma o borde) que permiten comprender explicar y entender mejor aún el problema.

García y Defler (2013) determinaron un aumento del 40% del número de fragmentos de bosques al estudiar el paisaje del hábitat del *Callicebus caquetensis* entre los años 1989 al 2002 (13 años) representando el 3,07% de fragmentación anual. Según la Figura 27, la fragmentación en la cuenca del Maure incrementó entre el año 1975 al 2012 (37 años) un 22,09% haciendo 0,59% al año, pero del año 2012 al 2020, se observa un incremento de 2,32% en 8 años, lo que hace una tasa de 0,29%. Esto es subjetivo ya que solo se incorporó una nueva actividad antropogénica al análisis, que fue el proyecto Vilavilani II.

La existencia de un mayor número de fragmentos de menor tamaño puede acarrear efectos sobre las poblaciones. Generalmente, fragmentos pequeños imponen un límite sobre el tamaño poblacional haciendo a las especies vulnerables a extinciones locales (Hanski et al., 1995; Brook et al., 2002) debido a 1) estocasticidad ambiental, 2) estocasticidad demográfica 3) catástrofes naturales o antrópicas y 4) reducción de la diversidad genética. En las Figuras 30 y 31 se observa cómo disminuye la media del tamaño y la mediana respectivamente. En la Figura 32 se observa la variación del PSCV (%) que representa la homogeneidad de los tamaños de los fragmentos, que en nuestro caso, son cada vez más homogéneos.

El grado de complejidad de los parches fueron medidos por dos índices AWMSI y MSI (Figura 27 y 28 respectivamente) indica que a medida que va transcurriendo el tiempo, las áreas se volvieron menos irregulares y con formas simples.

Gascon et al (1999) indica que la reducción de los hábitats naturales o seminaturales, favorecen al incremento demográfico de especies generalistas y el descenso de las especialistas, lo que se puede evidenciar en la cuenca del Maure realizando evaluaciones poblacionales de diversidad biológica. Además, diversos autores han constatado que la homogeneización y fragmentación del paisaje provoca un mayor incremento de las especies invasoras (Rivard et al., 2000, With et al., 2002; Bakker y Wilson, 2004).

Carvajal et al., (1993) observó que fragmentos de bosque de la Amazonía Caqueteña poseen una composición florística diferente y una reducida riqueza de especies en comparación con bosques continuos. Los análisis de fragmentación deberán complementarse con parcelas de evaluación en ecosistemas con fragmentación natural y altamente fragmentados por actividad antropogénica.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se definió la distribución geográfica de los ecosistemas que conforman la cuenca del Maure a través de la cobertura vegetal, el que está conformado por siete (7) tipos como son Bofedales, Herbazal Matorral, Herbazal Pajonal, Queñoales, Laguna y Nival en una extensión de 170 469,10 ha. La metodología aplicada en este trabajo permitió medir en un lapso de 40 años el proceso de fragmentación a que son sometidas las unidades de cobertura vegetal de la cuenca del Maure pudiendo cuantificar el incremento neto en el área total de los nuevos fragmentos que se refleja en la pérdida de hábitat, disminución de la cobertura y de la heterogeneidad espacial.

Se elaboró la distribución geográfica de las actividades antropogénicas en las tres temporalidades de estudio, mediante la identificación de estas en imágenes satelitales y por recolección de información cartográfica que las instituciones públicas o privadas trabajaron en función a su desarrollo.

Se calculó las métricas de diversidad, forma, variabilidad y borde para cada temporalidad de estudio en el paisaje la cuenca del Maure, determinándose que de acuerdo a la teoría de Islas biogeográficas planteada por (MacArthur and Wilson 1967), los resultados obtenidos evidencian una alta fragmentación y baja conectividad en el paisaje de la cuenca del Maure, no solo por el incremento acelerado de número de fragmentos, sino también por la homogenización en el tamaño de estos y por la forma regular a la que se están volviendo. Las especies de flora y fauna crecen de forma natural en espacios irregulares y la fragmentación las está volviendo cada vez más regulares.

La importancia de los efectos de la fragmentación sobre la biodiversidad les confiere un papel que no puede obviarse dentro de las leyes de conservación y sus modalidades a nivel nacional. Es necesario promover la integración en la toma de decisiones de incidencia territorial con criterios de prevención y corrección de aquellas transformaciones del paisaje que causan fragmentación (EIA).

La cuenca del Maure es una de las más importantes en la provisión de recurso hídrico y su cobertura vegetal está siendo fragmentada severamente, por lo que es necesario que se tomen acciones inmediatas en la recuperación de la conectividad a través de la identificación de zonas de circulación de fauna, entre otros.

5.2. Recomendaciones

Siendo la primera investigación regional sobre la fragmentación de la cobertura vegetal de una cuenca de la Región de Tacna, es necesario que las instituciones que gestionan el territorio regional conozcan y pongan mayor atención a las métricas evaluadas en la presente investigación y programen actividades de seguimiento.

Es necesario que se establezcan políticas eficientes de conservación, con énfasis en áreas gravemente impactadas dentro del paisaje de estudio, para desarrollar un “sistema” de regeneración de los ecosistemas que hayan sido afectados por las actividades antropogénicas, teniendo en cuenta la sostenibilidad antrópica de los habitantes de la cuenca del Maure, siendo necesario y complementario el desarrollo de investigaciones antropológicas, específicamente en el uso cultural de la biodiversidad.

Al no existir sistemas para la retribución del aprovechamiento de los servicios ecosistémicos ofrecidos por los ecosistemas naturales, es necesario generar mecanismos para el reconocimiento de la biodiversidad y su recuperación.

Se propone comparar los datos obtenidos con datos reportados en los estudios de impacto ambiental, además de incorporar indicadores que evidencien el comportamiento de la biodiversidad directamente. Asimismo, en dentro de los mecanismos para la recuperación y conservación de los ecosistemas naturales es necesario considerar la participación de la comunidad y la aplicación de la normatividad ambiental vigente, por lo tanto se recomienda que se desarrollen actividades en donde la comunidad reconozca y se apropie de la diversidad biológica de manera sostenible y que los entes gubernamentales se apropien de la administración de los recursos naturales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Autoridad Nacional del Agua.** (2015). *Modelo Hidrológico de la Cuenca del Maure - Mauri*. TACNA. Recuperado desde http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/rd_004-2015-ana-dcprh_estudio_completo.pdf
- Bakker, J. y Wilson, S.** (2004): Using ecological restoration to constrain biological invasion. *Journal of Applied Ecology* 41: 1058-1064.
- Bocco, G.** (2010). Carl Troll y la ecología del paisaje. *Investigación Ambiental*, 92-93.
- Brook, B., Tonkyn, D., O'grady, J., Frankham, R.** (2002). Contribution of inbreeding to extinction risk in threatened species. *Conservation Ecology*. 2002; 6(1):16
- Carvajal, F., Leal, R., Molina, L.** (1993) Estructura y composición florística del bosque primario y consideraciones sobre su estado actual. En: Malagon D, Diazgranados D, Saldarriaga JG, Rinaudo U, editors. *Aspectos Ambientales Para el Ordenamiento Territorial del Occidente del Departamento del Caquetá. Estudios sobre la Amazonia Colombiana*, IGAC – Fundación Tropenbos, Bogotá; 1993.p. 402-531.
- Collinge, S. K.** (1996) Ecological consequences of habitat fragmentation: implications for landscape architecture and planning. *Landscape and Urban Planning* 36, 59-77.
- Condori-Castillo, G.** (2012). Influencia de la Fragmentación en la Diversidad de la Flora Silvestre y en los Cambios de Uso de Suelo y Cobertura Vegetal en Huerta Huaraya, Puno. *Ecosistemas* 21(1-2):230-234.
- European Commission.** (1999). Estrategia Territorial Europea. Hacia un desarrollo equilibrado y sostenible del territorio de la UE, 1, 89.

- Farina, A.** (2004). Landscape structure and breeding bird distribution in a sub-Mediterranean agroecosystem, *Landscape Ecology*, nº 12, pp. 365-378.
- Forman, R.** (1995). Land Mosaics: the ecology of landscapes and regions: Land Mosaics: the ecology of landscapes and regions. Cambridge: *Cambridge University Press*, 1995.
- Forman, R. y Godron, M.** (1986): *Landscape Ecology*, John Wiley and Sons, Nueva York.
- García, J. y Defler, T.** (2013). Análisis preliminar de la pérdida y fragmentación del hábitat de *Callicebus caquetensis*. Libro *Primates colombianos en peligro de extinción*. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/264158171>.
- Gascon C., T.E. Lovejoy, R.O. Bierregaard, J.R. Malcom, P.C. Stouffer, H.L. Vasconcelos, W.F. Laurance, B. Zimmerman, M. Tocher y S. Borges.** (1999). Matrix-habitat and species richness in tropical forest remnants. *Biological Conservation* 90: 1-7.
- Gobierno Regional de Tacna.** (2011). *Plan Maestro del Área de Conservación Regional Vilacota* *Maure*. Retrieved from siar.regiontacna.gob.pe/admdocumento.php?accion=bajar&docadjunt=175
- Gobierno Regional de Tacna.** (2016). *Plan de Desarrollo Regional Concertado Tacna hacia el 2021*. Tacna. Retrieved from <http://www.regiontacna.gob.pe/pagina/grt/doc/2011/personal/PDRC-2021.pdf>
- Hanski, I., Poyry, J., Pakkala, T., Kuussaari, M.** (1995) Multiple equilibria in metapopulation dynamics. *Nature*. 1995; 396:618-621.

Lara, B. y Gandini, M. (2014) Análisis de la fragmentación de pastizales en la pampa deprimida (Argentina) *Semiarida*. Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam Vol 24(1):21-30 . ISSN 2362-4337 (impreso) 6300 Santa Rosa - Argentina.

MacArthur, R. H., y Wilson, E. O. (2001). *The theory of island biogeography*. Princeton University Press. Retrieved from https://books.google.com.pe/books/about/The_Theory_of_Island_Biogeography.html?id=a10cdkywhVgC&redir_esc=y

Martín, B. (2006). *Estudio sobre la fragmentación de los hábitat de la Red Natura 2000 afectados por el PEIT (Plan Estratégico de Infraestructuras y Transporte)*, 222.

McGarigal, Kevin; Marks, B. J. (1995). *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure*. Retrieved from <http://lterdev.fsl.orst.edu/lter/pubs/pdf/pub1538.pdf>

Ministerio de Agricultura. (2002). *Evaluación y ordenamiento de los recursos hídricos en las cuencas de los ríos Caplina y Uchusuma*. Estudio Hidrológico.

Ministerio del Ambiente. (2014). *Estrategia Nacional de Diversidad Biológica*. MINAM. Lima, Perú.

Ministerio del Ambiente (2015). *Mapa nacional de cobertura vegetal: Memoria descriptiva* / Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. -- Lima : MINAM, 2015. 100 : il. col., maps., tbls.

Ministerio del Ambiente (2018). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú: memoria descriptiva* / Ministerio del Ambiente -- Lima : MINAM, 2018.

- Montes, C., y Sala, O.** (2007). La evaluación de los ecosistemas del milenio. Las relaciones entre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. *Ecosistemas*, 16(3), 137–147. <https://doi.org/10.7818/re.2014.16-3.00>
- Navarro, M.** (2015) *El Reto de la Conservación en Tacna*. Primera Edición. SERNANP-PROFONANPE. Tacna, Perú.
- Naveh, Z. Ç., Lieberman, A. S.** (1984): *Landscape Ecology. Theory and Applications*. New York. Springer-Verlag. 356 pp.
- Pucha,-C., Fries, A., Cánovas-García, F., Oñate, F., González, F., Pucha, D.,** (2017). *Fundamentos de SIG: Aplicaciones con ArcGIS*. Editorial Ediloja Cia. Ltda. Loja, España. 101p.
- Reid, W. V., Mooney, H. A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K., Zurek, M. B.** (2005). *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio Informe de Síntesis*. World Resource Institute. Washington DC, 1–43. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Evaluaci?n+de+Los+Ecosistemas+del+Milenio+Informe+de+S?ntesis#4>
- Rempel, R.S.** (2008). *Patch analyst 4 – history*. Available from: http://flash.lakeheadu.ca/~rrempel/patch/whats_new.html.
- Rempel, R.S., Kaukinen, D. y Carr, A.** (2012). Patch Analyst and Patch Grid. Ontario Ministry of Natural Resources. Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario, Canada.
- Rivard, D. H. , J. Poitevin, D. Plasse, M. Carleton and D. J. Currie.** (2000). Species richness and changes in species composition in Canada's national parks: With-in

park habitat and the regional context. *Conservation Biology*. 14:1099-1110.

Rutledge, D. (2003). Landscape indices as measures of the effects of fragmentation: can pattern reflect process? Retrieved from <http://www.doc.govt.nz>

Saunders, D, Hobbs, R., Margules, C. (1991). Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. *Conservation Biology* 5:18-32.

Troll, C. (1966). *Landscape Ecology*. 1sr. Int. Seminar on Int. Surveys ITC-UNESCO, Delft.

Turner, M. Gardner, R. O'Neill, R. (2001). *Landscape Ecology in Theory and Practice*. Primera Edición. Editorial Springer-Verlag New York, EEUU.

UNASUR. (2016). *Ficha de proyecto. Carretera Tarata - Capazo - Mazocruz*. Disponible en <https://docplayer.es/11385751-Ayuda-memoria-departamento-de-tacna.html>

Velásquez F. (2017). Caracterización de la Estructura del Paisaje y su Estado de Conservación en las Cuencas de Cabecera de Medellín, (Trabajo de Grado, Especialización en Sistemas de Información Geográfica), Facultad de Ingenierías, Universidad de San Buenaventura, Facultad de Ingenierías, Medellín, Colombia.

With, KA, Pavuk, DM, Worchuk, JL, Oates, RK & Fisher, JL (2002) Threshold effects of landscape structure on biological control in agroecosystems. *Ecological Applications*, 12, 52-65.

Zaragozí, B., Rabasa, A., Rodríguez-Sala, J.J., Navarro, J.T., Belda, A. y Ramón, A. (2015) Modelling farmland abandonment: A study combining GIS and data mining techniques *Agriculture, Ecosystems & Environment* 155, 124-132

Zonneveld, I. S. (1995). *Land ecology: An introduction to landscape ecology as a base for land evaluation, land management and conservation*. Amsterdam: SPB Academic Pub. 199p.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	MUESTRA	DISEÑO	INSTRUMENTO	ESTADÍGRAFO
<p>GENERAL ¿Cómo ha variado la fragmentación del paisaje ocasionada por actividad antropogénica de tres temporalidades en la cuenca del Maure de la Región de Tacna?</p> <p>ESPECÍFICOS i. ¿Cuál es la estructura y distribución geográfica del paisaje en la cuenca del Maure de la Región de Tacna? ii. ¿Cómo se distribuyen geográficamente las actividades antropogénicas en las tres temporalidades de estudio?</p>	<p>GENERAL Determinar la variación de la fragmentación del paisaje ocasionada por actividad antropogénica en tres temporalidades y sus implicancias en la cuenca del Maure de la Región de Tacna.</p> <p>ESPECÍFICOS i. Definir la estructura y distribución geográfica del paisaje en la cuenca del Maure de la Región de Tacna. ii. Elaborar cartográficamente la distribución geográfica de las actividades antrópicas en las tres temporalidades de estudio.</p>	<p>GENERAL La variación de la fragmentación del paisaje ocasionada por actividad antropogénica de tres temporalidades ha sido de forma creciente generando diversas implicancias en la cuenca del Maure de la Región de Tacna.</p> <p>ESPECÍFICOS 1. La estructura y distribución geográfica del paisaje en la cuenca del Maure de la Región de Tacna está representada por la cobertura vegetal. 2. La estructura y distribución geográfica de las actividades antrópicas ha variado en las temporalidades de estudio. 3. Los valores de las métricas del paisaje</p>	<p>Actividad antropogénica en el paisaje</p> <p>Variación de la fragmentación del paisaje en las tres temporalidades</p>	<p>Estructura y distribución geográfica</p> <p>Estructura y distribución geográfica</p> <p>Métricas del paisaje</p> <p>Grado de variación de la fragmentación en cada temporalidad</p>	No aplica	Diseño longitudinal de evolución	ArcMAP del software ArcGIS	Patch Analyst V- late

<p>iii. ¿Cuáles son los valores de las métricas del paisaje en cada temporalidad de estudio?</p> <p>iv. ¿En cuánto ha variado la fragmentación del paisaje y que implicancias se han generado?</p>	<p>iii. Calcular las métricas del paisaje para cada temporalidad de estudio.</p> <p>iv. Analizar e interpretar la variación de la fragmentación y de sus implicancias.</p>	<p>calculadas difieren en cada temporalidad de estudio.</p> <p>4. Existe una variación en el nivel de fragmentación del paisaje, por el cual se presentan distintas implicancias en la cuenca del Maure.</p>						
--	--	--	--	--	--	--	--	--

Anexo 2: Instrumento 1

Software ArcGIS

ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Es la plataforma líder mundial para crear y utilizar Sistemas de Información Geográfica (SIG). ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. ArcGIS permite publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario encontrándose disponible en cualquier lugar a través de navegadores web, dispositivos móviles y equipos de escritorio.

El sistema ArcGIS hace posible que información geográfica autorizada creada por la comunidad SIG pueda ser aprovechada fácilmente y de forma gratuita por cualquier persona que lo desee (y con quien a su vez desee compartirla). Este sistema incluye software, una infraestructura on-line basada en la nube, herramientas profesionales, recursos configurables como plantillas de aplicación, mapas base listos para utilizar y contenido propio compartido por la comunidad de usuarios. La compatibilidad con las plataformas de servidor y de la nube posibilitan la colaboración y el uso compartido, lo que garantiza que la información vital para la planificación y la toma de decisiones están disponible de inmediato para cualquiera.

Se puede pensar en el sistema ArcGIS como en una infraestructura para elaborar mapas y poner la información geográfica a disposición de los usuarios dentro de un departamento, por toda una organización, entre varias organizaciones y comunidades de usuarios o en Internet, para cualquier usuario interesado en acceder a ella. Por ejemplo, trabajadores con dispositivos móviles pueden estar actualizando mediciones en tiempo

real sobre el terreno, mientras que los especialistas analizan esta misma información en sus equipos de escritorio y los planificadores realizan evaluaciones de impacto sobre los resultados de este análisis utilizando aplicaciones basadas en la web. Por último, los mapas y datos resultantes del proyecto pueden publicarse en internet para que cualquier persona pueda acceder a ellos desde un navegador y aplicaciones en smartphones y dispositivos Tablet. Esto permite no sólo ver los resultados del proyecto, sino también combinar la información con otros datos disponibles y así crear mapas adicionales que emplean la información geográfica de nuevas formas.

Personas de miles de organizaciones de muchos sectores diferentes emplean ArcGIS en una variedad de aplicaciones, entre las que se incluyen de planificación y análisis, administración de activos, comprensión del funcionamiento de las operaciones, operaciones de campo como inspección móvil e implementación de respuestas, investigación de mercado, administración de recursos, logística, educación y divulgación.

En general, las personas utilizan ArcGIS porque les permite:

- Resolver problemas
- Tomar mejores decisiones
- Planificar adecuadamente
- Utilizar los recursos más eficientemente
- Anticipar y administrar los cambios
- Administrar y ejecutar las operaciones de forma más eficaz
- Promocionar la colaboración entre equipos, disciplinas e instituciones
- Aumentar la comprensión y los conocimientos
- Comunicar de forma más efectiva
- Educar y motivar a otros

Anexo 3: Instrumento 2

Patch Analyst 5.2.

Es una extensión del software ArcGIS® que facilita el análisis espacial del paisaje, parches y el modelado de atributos asociados a parches. Se utiliza para el análisis de patrones espaciales, a menudo apoyando al modelado de hábitat, conservación de la biodiversidad y manejo forestal. El programa incluye capacidades para caracterizar patrones de parches y la capacidad de asignar valores de parche basados en combinaciones de parches y atributos. Está disponible en dos versiones, Patch Analyst y Patch Grid; el primero se usa con capas poligonales, mientras que la última es para capas raster (cuadrícula).

Anexo 4. Juicio de expertos

Título del proyecto de tesis	Determinación de los cambios en la fragmentación de los ecosistemas por actividad antropogénica, en tres temporalidades, en la cuenca del maure de la región tacna
Nombres y apellidos del autor	Naysha Saret Frisancho Soto
Denominación del instrumento principal	Patch Analyst 5.2 del ArcGIS 10.3

Después de haber leído los métodos y las herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica) utilizadas en la presente investigación, como son el ArcGIS 10.3 y el Patch Analyst 5.2 con las que se operativizaron las variables durante la presente investigación, lea usted las siguientes preguntas y otorgue un puntaje para su validación marcando los números que considere con un aspa de acuerdo a la escala 1 completamente en desacuerdo, 2 en desacuerdo, 3 de acuerdo y 4 completamente de acuerdo: (Valor Total Mínimo 10 y Valor Total Máximo 40):

Nº	Indicaciones /Criterios / Preguntas	1	2	3	4	Observación
1	Coherencia ¿La funcionalidad del instrumento tiene relación con las variables de la investigación?				✓	
2	Claridad ¿Los resultados que emite el instrumento se entienden claramente?			✓		
3	Metodología ¿Los instrumentos responden a los objetivos de investigación?				✓	
4	Experticia ¿El instrumento es utilizado en otras investigaciones similares?				✓	
5	Organización ¿Existe una secuencia lógica en el procedimiento y uso del instrumento?				✓	
6	Pertinencia ¿Considera Ud., que es pertinente el uso del instrumento?				✓	
7	Organización ¿Existe una secuencia lógica y ordenada en el uso del instrumento?				✓	
8	Coherencia ¿Hay coherencia entre el problema, los objetivos y la metodología para el uso del instrumento?				✓	
9	Suficiencia ¿La calidad y cantidad de operaciones y resultados del instrumento son suficientes para responder los objetivos y la pregunta de investigación?			✓		
10	Actualidad ¿El uso del instrumento permite el avance científico y tecnológico del tema y mejora				✓	
Sub total				6	32	
Total				38		

Fecha: - - -

Nombres y Apellidos del experto



Cesar Nicolás Cáceres Musa, J.A.

CESAR NICOLAS CACERES MUSA, J.A.
-BIOLOGO
C.B.P. N° 7587

Firma y Sello del experto

Título del proyecto de tesis	Determinación de los cambios en la fragmentación de los ecosistemas por actividad antropogénica, en tres temporalidades, en la cuenca del maure de la región tacna
Nombres y apellidos del autor	Naysha Saret Frisancho Soto
Denominación del instrumento principal	Patch Analyst 5.2 del ArcGIS 10.3

Después de haber leído los métodos y las herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica) utilizadas en la presente investigación, como son el ArcGIS 10.3 y el Patch Analyst 5.2 con las que se operativizaron las variables durante la presente investigación, lea usted las siguientes preguntas y otorgue un puntaje para su validación marcando los números que considere con un aspa de acuerdo a la escala 1 completamente en desacuerdo, 2 en desacuerdo, 3 de acuerdo y 4 completamente de acuerdo: (Valor Total Mínimo 10 y Valor Total Máximo 40):

Nº	Indicaciones /Criterios / Preguntas	1	2	3	4	Observación
1	Coherencia ¿La funcionalidad del instrumento tiene relación con las variables de la investigación?				X	
2	Claridad ¿Los resultados que emite el instrumento se entienden claramente?				X	
3	Metodología ¿Los instrumentos responden a los objetivos de investigación?				X	
4	Experticia ¿El instrumento es utilizado en otras investigaciones similares?				X	
5	Organización ¿Existe una secuencia lógica en el procedimiento y uso del instrumento?				X	
6	Pertinencia ¿Considera Ud., que es pertinente el uso del instrumento?				X	
7	Organización ¿Existe una secuencia lógica y ordenada en el uso del instrumento?				X	
8	Coherencia ¿Hay coherencia entre el problema, los objetivos y la metodología para el uso del instrumento?				X	
9	Suficiencia ¿La calidad y cantidad de operaciones y resultados del instrumento son suficientes para responder los objetivos y la pregunta de investigación?				X	
10	Actualidad ¿El uso del instrumento permite el avance científico y tecnológico del tema y mejora				X	
Sub total		-	-	-	40	
Total					40	

Fecha:

Nombres y Apellidos del experto



JORGE LUIS VELIZ ROJAS
BIÓLOGO - CBP: 8863

Firma y Sello del experto

Título del proyecto de tesis	Determinación de los cambios en la fragmentación de los ecosistemas por actividad antropogénica, en tres temporalidades, en la cuenca del maure de la región tacna
Nombres y apellidos del autor	Naysha Saret Frisancho Soto
Denominación del instrumento principal	Patch Analyst 5.2 del ArcGIS 10.3

Después de haber leído los métodos y las herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica) utilizadas en la presente investigación, como son el ArcGIS 10.3 y el Patch Analyst 5.2 con las que se operativizaron las variables durante la presente investigación, lea usted las siguientes preguntas y otorgue un puntaje para su validación marcando los números que considere con un aspa de acuerdo a la escala 1 completamente en desacuerdo, 2 en desacuerdo, 3 de acuerdo y 4 completamente de acuerdo: (Valor Total Mínimo 10 y Valor Total Máximo 40):

N°	Indicaciones /Criterios / Preguntas	1	2	3	4	Observación
1	Coherencia ¿La funcionalidad del instrumento tiene relación con las variables de la investigación?				/	
2	Claridad ¿Los resultados que emite el instrumento se entienden claramente?				/	
3	Metodología ¿Los instrumentos responden a los objetivos de investigación?				/	
4	Experticia ¿El instrumento es utilizado en otras investigaciones similares?				/	
5	Organización ¿Existe una secuencia lógica en el procedimiento y uso del instrumento?				/	
6	Pertinencia ¿Considera Ud., que es pertinente el uso del instrumento?				/	
7	Organización ¿Existe una secuencia lógica y ordenada en el uso del instrumento?				/	
8	Coherencia ¿Hay coherencia entre el problema, los objetivos y la metodología para el uso del instrumento?				/	
9	Suficiencia ¿La calidad y cantidad de operaciones y resultados del instrumento son suficientes para responder los objetivos y la pregunta de investigación?				/	
10	Actualidad ¿El uso del instrumento permite el avance científico y tecnológico del tema y mejora				/	
Sub total					40	
Total					40	

Fecha:

Nombres y Apellidos del experto


 Edwin William Gonzales Cotrado
 Ing. Agrónomo
 CIP 148988

Firma y Sello del experto

Anexo 5. Base de datos del trabajo de campo

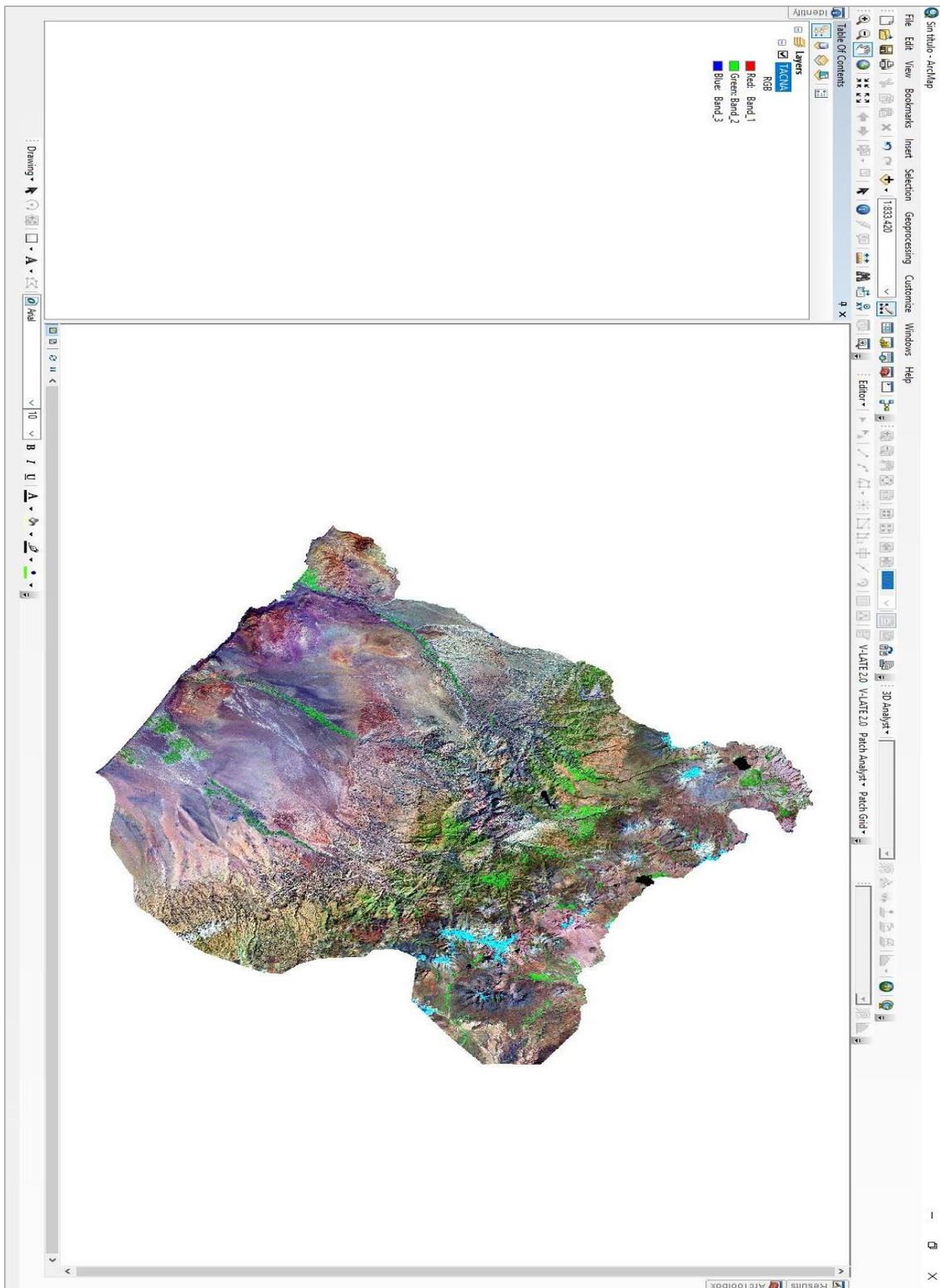


Imagen Satelital Landsat 7, utilizada para determinar algunas variables utilizadas en la presente investigación.

Anexo 6. Testimonios fotográficos (evidencias)











Anexo 7. Solicitud a la entidad para efectuar el trabajo de campo

No aplica, no se solicitó ninguna autorización para trabajo de campo.