



Pontificia Universidad  
Católica del Ecuador

SEDE  
ESMERALDAS

# **ESCUELA DE GESTIÓN AMBIENTAL**

## **TESIS DE GRADO**

### **ANÁLISIS CARTOGRÁFICO DE LOS RÍOS ATACAMES Y SÚA, APLICANDO LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) Y LA TELEDETECCIÓN**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DE TÍTULO DE  
INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

#### **AUTORA**

**CUMANDÁ MARÍA RODAS LUQUE**

#### **ASESOR**

**MGT. JAIME SAYAGO HEREDIA.**

**Esmeraldas – Noviembre, 2018**

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de grado de la PUCESE previo a la obtención del título de INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL.

Presidente Tribunal de Graduación

**Lector 1**

Mgt. Lucía Vernaza Quiñónez

**Lector 2**

PhD. Jon Molinero Ortiz

**Coordinador de la Escuela de Gestión Ambiental**

PhD. Jorge Velazco Vargas

**Director de Tesis**

Mgt. Jaime Sayago Heredia

Esmeraldas,..... de..... de 2018

## **AUTORÍA**

Yo CUMANDÁ MARÍA RODAS LUQUE, declaro que la presente investigación enmarcada en el trabajo de tesis es absolutamente original, auténtica y personal.

En virtud que el contenido de ésta investigación es de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor y de la PUCESE.

---

Cumandá María Rodas Luque

C.I. 0804374403

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento se dirige a quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto, a Dios, el único que guía el destino de mi vida.

Te lo agradezco infinitamente, Padre Celestial.

## **DEDICATORIA**

Dedico de manera especial a cada una de las personas que creyeron en mí, pues fueron personas claves para el crecimiento de mi vida profesional, reuniendo las bases de responsabilidad y deseos de superación, en ellos tengo el espejo en el que quiero reflejar sus virtudes infinitas y su gran corazón que me llevan a admirarlos cada día más.

Gracias a Dios por concederme conocer a las personas más maravillosas de este mundo.

A mi familia, quien me ha brindado lo mejor, con mucho esfuerzo y sacrificio.

# ÍNDICE

AUTORÍA .....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DEDICATORIA .....	v
ABREVIATURAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE TABLAS.....	x
LISTA DE FOTOGRAFÍAS.....	xi
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS .....	7
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
4. RESULTADOS.....	15
4.1. Procesamiento de Imágenes Vectoriales.....	15
4.1.1. Descripción Agrícola.....	15
4.1.2. Aptitud Agrícola.....	17
4.1.3. Descriptivo Ecológico .....	18
4.1.4. Estado Geomorfológico: Macrorelieve.....	18
4.1.5. Estado Geomorfológico: Mesorelieve .....	19
4.1.6. Isoyetas.....	20
4.1.7. Isotermas .....	21
4.1.8. Taxonomía del Suelo .....	22
4.1.9. Textura del Suelo.....	23
4.1.10. Poblado.....	24
4.1.11. Cobertura del Uso del Suelo: Cultivos.....	26
4.2. Procesamiento de Imágenes Ráster.....	27
4.2.1. Clasificación Supervisada.....	27
4.2.2. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) .....	28
5. DISCUSIÓN .....	30
6. CONCLUSIONES .....	33
7. RECOMENDACIONES .....	34

8. BIBLIOGRAFÍA.....	35
ANEXOS .....	40

## **ABREVIATURAS**

**SIG:** Sistemas de Información Geográfica

**IDE:** Infraestructura de Datos Espaciales

**GADMA:** Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio de Atacames

**MIMO:** Map in – Map out

**CGIS:** Canadian Geographic Information System

**ESRI:** Enviromental Systems Research Institute

**MDE:** Modelo Digital de Elevación

**NDVI:** Índice de Vegetación Diferencial Normalizado

**IGM:** Instituto Geográfico Militar

**MAGAP:** Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca

**GADPE:** Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Esmeraldas

**CONAFOR:** Comisión Nacional Forestal

**SEMARNAT:** Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales

**WMS:** Web Map Service

**NID:** Reflectividad en el infrarrojo cercano

**RED:** Reflectividad en el rojo

**GPS:** Global Positioning System

## **LISTA DE FIGURAS**

**Figura 1.** Subcuencas Atacames y Súa

**Figura 2.** Descripción Agrícola

**Figura 3.** Aptitud Agrícola

**Figura 4.** Descriptivo Ecológico

**Figura 5.** Estado Geomorfológico: Macrorelieve

**Figura 6.** Estado Geomorfológico: Mesorelieve

**Figura 7.** Isoyetas

**Figura 8.** Isotermas

**Figura 9.** Taxonomía del Suelo

**Figura 10.** Textura del Suelo

**Figura 11.** Poblado

**Figura 12.** Cobertura de Uso de Suelo: Cultivos

**Figura 13.** Clasificación Supervisada Año 1999

**Figura 14.** Clasificación Supervisada Año 2016

**Figura 15.** NDVI Landsat \_7\_1999

**Figura 16.** NDVI Landsat\_8\_2016

## **LISTA DE TABLAS**

**Tabla 1:** Operacionalización de la Variable

**Tabla 2.** Descripción de Softwares

**Tabla 3.** Áreas de Entrenamiento

**Tabla 4.** Variables relacionadas con el área de estudio. Descripción Agrícola

**Tabla 5.** Variables relacionadas con el área de estudio. Aptitud Agrícola

**Tabla 6.** Variables relacionadas con el área de estudio. Descriptivo Ecológico

**Tabla 7.** Variables relacionadas con el área de estudio. Macrorelieve

**Tabla 8.** Variables relacionadas con el área de estudio. Mesorelieve

**Tabla 9.** Variables relacionadas con el área de estudio. Isoyetas

**Tabla 10.** Variables relacionadas con el área de estudio. Isotermas

**Tabla 11.** Variables relacionadas con el área de estudio. Taxonomía

**Tabla 12.** Variables relacionadas con el área de estudio. Textura

**Tabla 13.** Distribución de las Poblaciones

**Tabla 14.** Variables relacionadas con el área de estudio. Cobertura Uso del Suelo: Nivel 4

**Tabla 15.** Campos de entrenamiento

**Tabla 16:** Valores NDVI asociados a las imágenes ráster

## **LISTA DE FOTOGRAFÍAS**

**Fotografías 1 y 2.** Área de Estudio Atacames

**Fotografía 3.** Área de Estudio Súa

## RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo aplicar los SIG y la Teledetección para el análisis cartográfico de las cuencas de Atacames y Súa. Estas herramientas agrupan distintos programas para el procesamiento de imágenes, como vectoriales y ráster, que permiten identificar y conocer los problemas que se presentan, aplicando comparaciones multitemporales lo que permitirá planificar acciones o tomar decisiones. Para realizar el análisis de las imágenes vectoriales se obtuvo una gran cantidad de información (capas) del año 2011, disponibles en las instituciones públicas, las cuales fueron adaptadas al área de estudio para su análisis respectivo a través de los softwares GvSIG y QGIS, seleccionando la información básica para el cumplimiento del objetivo planteado, que incluyen características del suelo y cobertura vegetal; entre ellas descripción y aptitud agrícola, cobertura del uso del suelo y taxonomía del suelo. Para llevar a cabo el procesamiento de imágenes ráster se utiliza el software ArcGIS mediante los cálculos de Clasificación Supervisada y NDVI, al realizar esta investigación se utilizaron las imágenes ráster Landsat 7 y Landsat 8 correspondiente a los años 1999 y 2016. Los resultados obtenidos del procesamiento de ambas imágenes revelaron que las cuencas poseen una vegetación vigorosa, a pesar de que las actividades se ejecutan sin ninguna técnica y en el área de Atacames existen más que en la de Súa.

**Palabras claves:** SIG, Imágenes vectoriales y ráster, Cobertura Vegetal, Software, Cuencas

## **ABSTRACT**

The objective of this study was to apply GIS and Remote Sensing for the cartographic analysis of the Atacames and Súa basins. These tools group different programs for the processing of images, such as vectors and raster, that allow identifying and knowing the problems that arise, applying multitemporal comparisons, which will allow planning actions or making decisions. To perform the analysis of vector images, a large amount of information (layers) was obtained in 2011, available in public institutions, which were adapted to the study area for their respective analysis through the GvSIG and QGIS softwares, selecting the basic information for the fulfillment of the proposed objective, which include soil characteristics and vegetation cover; such as description and agricultural aptitude, land use coverage and soil taxonomy. In order to carry out the processing of raster images, the ArcGIS software is used by means of the Supervised Classification and NDVI calculations. In doing this research, the Landsat 7 and Landsat 8 raster images corresponding to the years 1999 and 2016 were used. The results obtained from the processing of both images, revealed that the middle part of the Atacames basin has greater vegetation coverage than the basin of the Súa river.

**Key Words:** GIS, Vector and Raster Images, Vegetable Coverage, Software, Basin

# 1. INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la Teledetección, son herramientas de gran utilidad en la actualidad, ya que permiten el análisis de los principales actores que perturban a los elementos del ecosistema, mediante el reflejo de las imágenes escaneadas de la superficie terrestre a través de los objetos colocados en los satélites de las plataformas espaciales. Estas imágenes pueden revelar las afectaciones más grandes existentes a nivel global, una de ellas es el incremento exponencial poblacional, el cual ha originado altas tasas de contaminación, afectando a los recursos: aire (principalmente por la gran cantidad de vehículos), agua (falta de un buen sistema de evacuación de aguas negras) y suelo (deforestación y explotación).

Tal es el caso de Ecuador, país en el que hoy en día recién se está profundizando en el tema de las herramientas SIG, especialmente en las empresas que optan por sistematizar sus procesos para mejorar resultados y optimizar recursos, para ello han establecido un proyecto formado por un sistema denominado IDE (Infraestructura de Datos Espaciales), en el cual las herramientas permiten el funcionamiento y generación de información geo referenciadas. Las instituciones que han desarrollado este proyecto son la Universidad de Cuenca, la Escuela Politécnica del Chimborazo, la Universidad Técnica Particular de Loja y la Universidad Regional Autónoma de los Andes, que posee extensiones en Pastaza, Santo Domingo, Imbabura, Carchi, Los Ríos y Chimborazo (Ulloa, Orozco, F., Orozco J y Carrera, 2017, 3).

En Ecuador las herramientas SIG y la Teledetección no han sido la fuente principal para determinar los problemas que subyacen en los ecosistemas, pero la tesis de Manuel Mas Monsonis expresa que esta herramienta es un medio confiable, ágil seguro y rápido para establecerlos (2017, 98). Ecuador es un país megadiverso por su altísima diversidad biológica originado por una múltiple combinación entre ubicación geográfica y geopolítica, características geológicas y topográficas, climáticas, de precipitación y temperatura, factores biológicos y evolutivos, además se divide geográficamente en cuatro regiones naturales; Región Costa, Región Sierra, Región Amazónica y Región Insular (Mena, 2014, 9).

Este país recibe la influencia de las corrientes marinas frías de Humboldt al sur del país y cálida del Niño al norte, así como los vientos alisios que combinados generan una gran variedad de regímenes climáticos, los cuales marcan la pluviosidad e influyen en la precipitación. Todas estas características juntas originan una diversificación de vegetación y

ecosistemas, a los cuales la flora y la fauna se adaptaron por miles de generaciones, dando lugar a la especiación, endemismo y concentración actual de especies animales y vegetales (Baquero et al., 2004, 6); a pesar de todas esas cualidades que caracterizan a Ecuador, según la propuesta de Gobierno N° 32 “Revolución Ecológica”, propiedad del Movimiento País, existen grandes problemas referente al ambiente, ocasionando graves daños a los ecosistemas que posee, siendo las principales razones las necesidades de abastecimiento local y los conflictos permanentes por la sobreutilización (Puentestar, 2015, 79).

Los problemas relacionados con el agua se traducen en la calidad y cantidad del recurso y su forma de distribución. Respecto a los usos según el Atlas de la República en 2013, afirma que el 70% va destinado a la agricultura, el 20% a la industria y el 10% al consumo doméstico. Expuestos los usos, se arrojaron diversas causas de un severo daño en el ambiente, entre ellos altos índices de contaminación por descargas de efluentes industriales y domésticos, la mayoría de los municipios no cuentan con un tratamiento de aguas servidas, deforestación en exceso, presencia de desechos sólidos y uso de plaguicidas, fertilizantes y pesticidas, provocando que el 70% de los ríos del país se contaminen, disminuyan sus caudales superficiales, se deterioren las condiciones físico-químico-biológicas, y exista un alto contenido de nitratos y fosfatos (Puentestar, 2015, p80-82).

Respecto al recurso aire en términos generales, se puede afirmar que el país no cumple con todos los criterios de calidad. Por ejemplo en cuanto a las emisiones de dióxido de carbono, se redujeron aproximadamente el 0.15% mediante proyectos de mecanismo de desarrollo limpio, sin embargo las emisiones de monóxido de carbono de fuentes fijas crecieron cerca del 5% al año y las móviles 15% al año entre 2006 y 2010 y el consumo total de sustancias agotadoras de la capa de ozono se incrementaron a partir del año 2007, cuyas causas radican en el incremento del parque automotriz, el aumento exponencial de la población, la quema, las actividades de extracción a cielo abierto (canteras), las emisiones industriales, los combustibles de mala calidad y el uso de plaguicidas y fertilizantes. Como resultado se eleva el costo económico por contaminación del aire, ascendiendo a 34 millones de dólares hasta el año 2000 (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013, 70)

El suelo, es el último recurso en cuestión, el cual se ve degradado principalmente por procesos erosivos y por la pérdida de calidad del suelo por acción contaminante. La degradación del suelo puede deberse a tres causas: la sobreutilización, la subutilización o el cambio de uso, alterando las propiedades físicas, químicas o biológicas. Las causas residen en el uso de

sustancias o elementos que alteran la composición original del suelo como los fertilizantes y plaguicidas, la presencia acumulada de metales, el uso de aguas contaminadas, las malas prácticas pecuarias, los cultivos de ciclo corto, las épocas de barbecho, residuos y deforestación, estas causas fueron planteadas en la Campaña del 2014 en el Documento País, por Manrique durante los años 2004 y 2005 (Puentestar, 2015, 93).

Un lugar específico en Ecuador es Atacames, cantón perteneciente a la provincia de Esmeraldas (ver anexo 1), cuyo relieve se identifica en zonas planas costeras y montañas de hasta 400 msnm, y las unidades de suelo corresponden a Alfisol, Alfisol-Entisol, Inceptisol, Mollisol-Alfisol-Entisol, encontradas principalmente en los ríos Tonsupa, Atacames, Tonchigüe, Súa, San Francisco y Bilsa, como lo describe el Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio de Atacames en el año 2017 (en adelante GADMA). Además la mayor parte de sus suelos están cubiertos por pastos cultivados y cobertura vegetal natural, representada por el bosque húmedo poco alterado (27).

El área de estudio corresponde a las cuencas hidrográficas de Atacames y Súa, seleccionadas por su morfología similar, ya que son depresiones territoriales por las que fluyen los ríos que drenan las aguas del área desde las partes más altas hacia la salida al mar. Atacames y Súa, además de ser denominadas cuencas, son también parroquias pertenecientes al cantón en cuestión, cuya población realiza actividades como agricultura, ganadería, turismo, silvicultura y pesca, además de afrontar varios problemas como la inexistencia de una planta procesadora de desechos sólidos, una mínima cobertura del sistema de alcantarillado sanitario, una deficiente cobertura de la vigilancia policial en épocas bajas y altas (GADMA, 2017, 155). Sin embargo, ambas tienen sus propias características.

Por un lado, la parroquia Atacames tiene afectaciones en tres recursos: fauna, flora y agua. El primer recurso es fauna, el cual presenta disminución de biodiversidad, debido a la pérdida en los ecosistemas. El recurso flora es afectado por la deforestación, tala indiscriminada, degradación y cambio de uso agrícola, ampliaciones de la frontera agrícola – ganadera – acuícola. Y el último recurso, agua, es contaminado por los agroquímicos, los desechos sólidos y las aguas residuales, las cuales están expuestas ante un sistema parcial de alcantarillado sanitario (GADMA, 2017, 47).

Y la parroquia Súa, menciona a la producción agrícola como un problema ambiental, el cual degrada los ecosistemas de bosque que alberga biodiversidad de flora y fauna. La causa de éste se debe a varias actividades antrópicas como la extracción de especies madereras,

ocasionando la pérdida de biodiversidad y extinción de especies. Otra afectación se origina por la recepción total de las aguas residuales provenientes de las casas ribereñas, causado por la inexistencia de un alcantarillado sanitario y sólo el uso de pozos sépticos y letrinas (GADMA, 2017, 197).

La Teledetección y los SIG surgen al principio como tecnologías independientes, de forma que como indicio de su aparición, se proyectaron nuevos enfoques de la Cartografía, mediante obras como *Elements of Cartography* en 1953, por John K. Wright en la Sociedad Geográfica Americana, la cual fue ampliando el campo de la geografía cuantitativa, hasta que ésta se llega a nivelar con la información. Sin embargo, la primera experiencia que sobresale es de Waldo Tobber en 1959, quien define un sistema llamado MIMO (map in – map out), cuyo fin es aplicar los ordenadores al campo de la Cartografía, y se originan los principales elementos para la creación de datos geográficos, su codificación, análisis y representación dentro de un sistema informatizado (Black, M. y Cartwright., s.f.).

Los SIG son nuevas herramientas de la tecnología que se han popularizado con el paso de los años, cuyos diversos actores le han otorgado numerosas definiciones, tal como Deuker y Kjerne en 1989, quienes lo definen como “un sistema de hardware, software, datos, personas, organizaciones y convenios institucionales para la recopilación, almacenamiento, análisis y distribución de información de territorios de la tierra” (Pérez, 2011, 200). Fueron remontados formalmente en la década de los 80 por la creciente necesidad de conocer datos precisos ubicados en el espacio y en el tiempo, acuñándose el término SIG a raíz del Canadian Geographic Information System (CGIS), cuyo objetivo estaba enfocado en el manejo de áreas de Canadá, como bosques y superficies marginales mediante representaciones establecidas tales como ráster y vectorial, a través de las cuales se combinaba la cartografía con los datos que se consideraban necesarios para identificar gestiones forestales, como volúmenes de madera o explotación forestal (Domínguez, 2000, 2).

Estas representaciones dentro del análisis cartográfico tienen dos formas de describir los elementos que están en la naturaleza, los vectores, a través de formas geométricas como puntos, líneas y polígonos, y los ráster, que contienen celdillas de información, y son formas de representar el espacio. En la representación de vectores se trabaja con un formato denominado shapefile, desarrollado por Environmental Systems Research Institute (ESRI), el cual consta de varios archivos en los que se almacena de forma digital la localización de los

elementos geográficos (archivo shape \*.shp) junto con sus características (tabla dBase \*.dbf) (ESRI, 1998, 5).

Los SIG con las nuevas técnicas disponibles, se convirtió en una herramienta más agilizada para abarcar datos representativos, ya sean urbanísticos, territorial y ambiental, permitiendo obtener, almacenar, manipular y analizar datos recopilados de las diversas características de cada área, de forma que estos puedan ser capaces de manipular y analizar los datos espacio-temporales de forma integral. Los primeros datos geográficos con los que se trabajaba provenían de la digitalización de la cartografía impresa, es decir, escaneados de mapas y elementos digitales. Pero durante los últimos años las imágenes aéreas, obtenidas por satélites, han tenido grandes ventajas en los SIG para realizar comparaciones entre distintas áreas en espacios y tiempos.

Los datos geográficos constan de dos componentes, espacial y temática. El primero infiere en las observaciones respecto a su localización, presentando dos aspectos: un sistema de coordenadas denominado localización absoluta, y respecto a otras entidades que son las relaciones topológicas. Respecto a este último, por ejemplo, existe una forma de representar visualmente valores de altura con respecto a una cuenca hidrográfica, permitiendo caracterizar el relieve y los elementos que este pueda contener, denominado Modelo Digital de Elevación (MDE), el cual se encuentra contenido en celdillas de información, es decir representación tipo ráster (Fallas, 2007, 3), mientras que la componente temática considera que las características halladas de las entidades se pueden analizar considerando su estadística, localización o ambos (Escobar et al., 2004, 4).

El medio por el cual se puede descubrir o dar seguimiento el desarrollo de un fenómeno, son los satélites de observación de la tierra, ya que permiten la obtención de datos en un período menor de tiempo. Uno de los métodos más empleados para la extracción y análisis de esas imágenes son los sistemas automáticos de clasificación, en el que la dimensión de radiancia en cada banda contiene datos, identificando así el tipo de característica que se encuentra en cada imagen multiespectral. Hay dos formas utilizadas en este método, conocidas como clasificación supervisada y no supervisada. La primera, la más utilizada, se basa en el conocimiento a priori que posee; mientras que la segunda no posee conocimientos identificados.

De forma más concreta la Clasificación Supervisada consiste en un conjunto de áreas lo más homogéneas posibles de las que se conoce a priori el tipo de característica a la que pertenece, denominadas áreas de entrenamiento y que servirá para generar una marca espectral perteneciente a cada tipo de característica identificado, donde cada una de ellas tiene una muestra de reflectividad y donde la respuesta espectral de cada tipo de característica será la respuesta espectral media de sus píxeles (Vásquez, 2015, 5). Otro método para la obtención de resultados es el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, también conocido como NDVI por sus siglas en inglés, el cual es uno de los indicadores utilizados para estimar la presencia de vegetación y caracterizar su distribución en el espacio y en el tiempo (Viña, Gitelson, Roberthson y Peng, 2011, 5).

Estas imágenes son aplicadas en la Teledetección, que a diferencia de los SIG, fue ideada como una herramienta para la obtención de información ambiental con otras capas de información. Luego con las primeras imágenes de los satélites Landsat que circulaban en los años setenta, se ideó una posible integración de la información cartográfica con las imágenes de satélite, aumentando la resolución y por ende otorgando una mayor capacidad de discriminación a los objetos. Una década después a la Teledetección se la empieza a considerar como una fuente de información para un SIG (Martínez y Martín, 2010, p10-13).

Estas técnicas están regidas por la legislación nacional, cuyo ente regulador es el Instituto Geográfico Militar (IGM), entidad de derecho público y personería jurídica, autonomía administrativa y patrimonio propio, orgánica y disciplinariamente subordinado a la comandancia General del Ejército con sede en la ciudad de Quito, quien tendrá a su cargo y responsabilidad la planificación, organización, dirección, coordinación, ejecución, aprobación y control de las actividades encaminadas a la elaboración de la Cartografía Nacional y del archivo de Datos geográficos y Cartográficos del país. Art 1. (IGM, 1978, art. 1).

## **2. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Analizar cartográficamente la cobertura de suelo y estado vegetal de los ríos Atacames y Súa, aplicando los SIG y la Teledetección.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Comparar los porcentajes del procesamiento de las imágenes vectoriales para el análisis del estado vegetal y cobertura de suelo de las subcuencas Atacames y Súa.
- Determinar los cambios alcanzados de cobertura de suelo en el período comprendido entre los años 1999 y 2016, mediante un análisis multitemporal, a través de la clasificación supervisada.
- Establecer los cambios alcanzados de cobertura vegetal en el período comprendido entre los años 1999 y 2016, mediante un análisis multitemporal de las imágenes ráster de dichos años, a través del cálculo del NDVI.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

El análisis cartográfico de los ríos Atacames y Súa fue el tema de estudio, donde se utilizaron las herramientas SIG y Teledetección, para llevarlo a cabo fue necesario establecer pasos para cumplir los objetivos planteados.

Esta investigación fue de tipo aplicada, porque buscó conocer y estudiar una determinada zona (Vargas, 2009, 3), utilizando las técnicas SIG y Teledetección, realizando un análisis cartográfico de los ríos Atacames y Súa. Además estas técnicas permitieron realizar lineamientos descriptivos (Cazau, 2006, 26) que detallaron las características de ambos ríos y así permitiendo obtener detalles necesarios para realizar los mapas cartográficos y el análisis de los mismos. Además se hizo uso de la investigación cuantitativa, porque para la elaboración de estos mapas se requirió el uso de datos medibles que representaron las áreas de cobertura de suelo y estado vegetal, logrando la elaboración de los mapas de las dos cuencas y obteniendo porcentajes en las diferentes descripciones, consiguiendo un mejor panorama para su análisis.

Los métodos deductivos e inductivos tuvieron incidencia en esta investigación, ya que se procedió de los problemas de los recursos naturales del Ecuador descritos en estudios previos para identificarlos, comprobarlos o describirlos en una pequeña zona de la provincia de Esmeraldas y así se determinaron las características ya establecidas del área de estudio y se lo tomó como punto de partida para realizar comparaciones (Dávila, 2006, p 6-10).

La tabla 1 determina la variable de la investigación, establecida por ser la característica que se observa, mide y analiza. Esta variable es estado de la cobertura de suelo y estado vegetal de las subcuencas Atacames y Súa, cuyas dimensiones descripción agrícola, aptitud agrícola, taxonomía del suelo y cobertura de uso de suelo son seleccionadas por ser los elementos que la integran, logrando determinar la situación en la que se halla la problemática del área de estudio a través de los indicadores descritos.

La variable que se operacionalizó estaba estrechamente vinculado con las técnicas SIG y Teledetección, cuyos instrumentos residen en la información contenida en cada mapa aplicado en cada técnica.

**Tabla 1**  
*Operacionalización de la variable*

<b>Variable</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Estado de la cobertura de suelo y estado vegetal de las subcuencas Atacames y Súa.</b>	Se define como la situación en la que se encuentra el área de estudio respecto a su suelo y a su vegetación.	Empleo de dos técnicas: SIG, con las imágenes vectoriales, a través de la identificación de su área y la clasificación supervisada. Y la Teledetección a través del cálculo del NDVI	- Descripción agrícola - Aptitud Agrícola - Taxonomía del Suelo - Cobertura de uso de suelo	- % de Bosques - % de Cultivo - % de Pastos - % Alfisol - % Alfisol + Entisol - % Entisol - % Inceptisol - % Mollisol + Alfisol + Entisol

La técnica SIG permitió el análisis del estado vegetal y la cobertura de suelo, mediante el procesamiento de imágenes vectoriales y determinó los cambios alcanzados de cobertura de suelo en el período comprendido entre los años 1999 y 2016, mediante un análisis multitemporal, a través de la clasificación supervisada. Mientras que la técnica de Teledetección estableció los cambios alcanzados de cobertura vegetal en el período comprendido entre los años 1999 y 2016, mediante un análisis multitemporal de las imágenes ráster de dichos años, a través del cálculo del NDVI.

La población de la investigación descrita fueron las dos Subcuencas, Atacames y Súa, cuyas extensiones son de 312.24 y 69.30 Km<sup>2</sup> respectivamente, ubicadas al sur de la provincia de Esmeraldas (GADMA, 2017, 17). El período de estudio fue septiembre – diciembre del 2016, y la primera actividad para su desarrollo fue el reconocimiento del lugar y recopilación de información de las actividades que acontecían en el entorno, además de la búsqueda de las

imágenes satelitales y shapefiles para el análisis del área. Para el análisis cartográfico se utilizaron las imágenes satelitales, las cuáles fueron obtenidas en sitios web y son Landsat 7 del año 1999 y Landsat 8 del año 2016 y los shapefiles fueron obtenidos de instituciones que se rigen a un ordenamiento sistemático de forma que la información documentada publicada se torne interpretativa para quien lo lee; estas instituciones son: GADMA, MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca) y GADPE (Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia de Esmeraldas); las capas obtenidas son de escala 1:50000 del año 2011 y son las siguientes:

- 1) Descripción agrícola
- 2) Aptitud Agrícola
- 3) Descriptivo Ecológico
- 4) Estado Geomorfológico: Macrorelieve
- 5) Estado Geomorfológico: Mesorelieve
- 6) Isoyetas
- 7) Isotermas
- 8) Taxonomía del Suelo
- 9) Textura del suelo
- 10) Cobertura de uso de suelo
- 11) Poblado
- 12) Cobertura del uso del suelo: Nivel 4

Estas capas e imágenes fueron procesadas a través del uso de geotecnologías con programas de software libre: gvSIG, QGIS y ArcGIS, descritos en la Tabla 2. El procesamiento de las imágenes vectoriales se elaboró a partir de los programas gvSIG y QGIS, los cuales disponen de los algoritmos necesarios para un análisis exhaustivo de las subcuencas de los ríos Atacames y Súa (Figura 1), permitiendo identificar las características, color y posición de los datos ubicados en el espacio (Ortiz, 2002, 48). Los datos obtenidos fueron procesados en Excel, programa utilizado para hallar los porcentajes de los shapefiles ya mencionados, que ayudaron a describir el área de estudio.

Además con la aplicación de estos softwares, se procedió a generar un modelo digital de elevación (MDE) de las microcuencas de los ríos a una resolución de 30 metros el píxel<sup>1</sup>, lo

---

<sup>1</sup> Corresponde a una unidad mínima homogénea de una imagen digital y que puede ser representada en escala de grises o a colores.

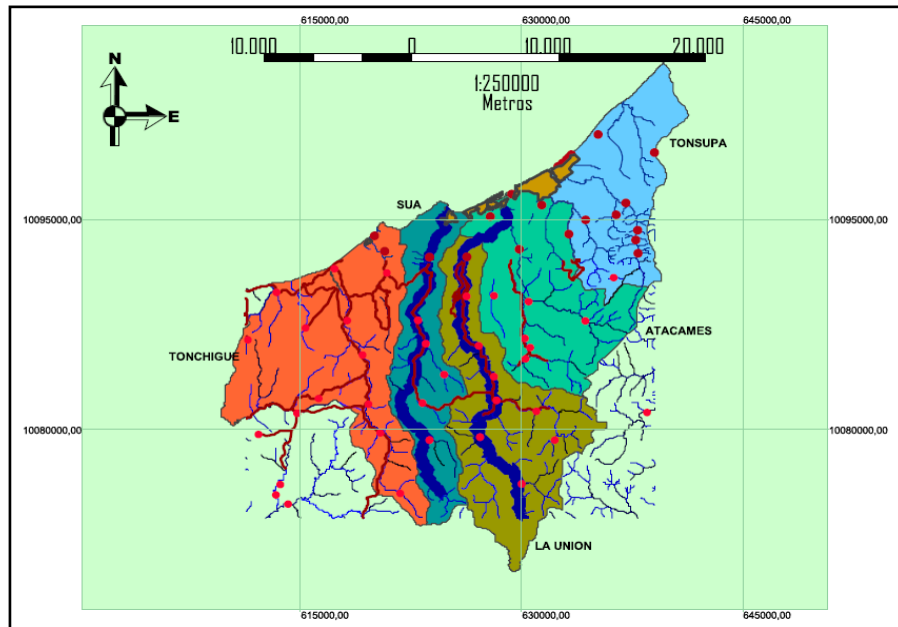
que permitió realizar una representación visual de los diferentes niveles de elevación con respecto a la cuenca, permitiendo caracterizar las formas del relieve y los elementos que se encuentren en el mismo (Fallas, 2007, 54).

**Tabla 2**  
*Descripción de Softwares*

<b>Software</b>	<b>Tipo de licencia</b>	<b>Funciones Principales</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b>gvSIG</b>	Software Libre	Surge como un proyecto supervisado por la Generalitat Valenciana, la cual a finales del año 2003 sacó a concurso un proyecto para el desarrollo de los SIG, con características específicas, simulando ser una multiplataforma (Jiménez, Aguilera y Meroño, 2005, 6). Captura, almacena y manipula la información geográfica (Anguix y Carrión, 2010, 1).	- Soporte para los formatos populares, vectoriales y ráster - Funcionalidades previstas muy completas - Totalmente en español (Jiménez, Aguilera y Meroño, 2005, 6).	- Respecto a las imágenes ráster, no tiene todas las funciones como los otros programas; comparaciones multitemporales.
<b>QGIS</b>	Software Libre	Posee una apariencia muy cuidada, además posee características interesantes como tareas con edición en topología y soporta formatos de imágenes vectoriales y ráster (Jiménez, Aguilera y Meroño, 2005, 8). Visualiza, administra, edita, analiza datos y compone mapas (Comisión Nacional Forestal y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2015, 15)	- Interfaz muy conseguida - Buen Soporte de formato de datos - Edición de topología con GRASS integrada (Jiménez, Aguilera y Meroño, 2005, 8).	- No soporta capas WMS (Web Map Service) (Jiménez, Aguilera y Meroño, 2005, 8).

**ArcGIS** Licencia Recopila, organiza, - Muy fácil de utilizar. - Licencia costosa.  
administra, analiza, - Software Completo.  
comparte y distribuye  
la información  
geográfica.

---



*Figura 1.* Subcuencas Atacames y Súa

A partir de la creación del MDE y el procesamiento de imágenes satelitarias, se realizó un análisis del estado de conservación de la cobertura vegetal y uso de suelo mediante la interpretación de imágenes satelitales digitales (Landsat) en el programa ArcGIS, utilizando la clasificación supervisada, donde se definieron las clases temáticas (áreas de entrenamiento) mediante la identificación de las firmas espectrales a través del método de máxima probabilidad, el cual es un clasificador estadístico de los más utilizados en la clasificación supervisada. En este método con la muestra de reflectividad para cada tipo de característica puede calcularse la media y la desviación típica y así usar un modelo de distribución de probabilidad, asumiendo que los datos siguen una función de distribución normal, para que se dé la probabilidad de que cualquier píxel pertenezca a las distintas características identificadas, de este modo el píxel se integrará a los rasgos que tenga mayor probabilidad de pertenencia (Alonso, 2006).

Las combinaciones de bandas para el procesamiento de imágenes ráster son claves para la descripción de áreas específicas, en este estudio se utilizaron las combinaciones 753 y 742 para las imágenes Landsat 8 y Landsat 7 correspondientemente (Viña, Gitelson, Roberthson y Peng, 2011, 6), ya que otorgan una discriminación de la cobertura vegetal.

Las categorías de la siguiente tabla son designadas según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Atacames, quienes realizaron un estudio general de la zona.

**Tabla 3**

*Áreas de Entrenamiento*

<b>Nº</b>	<b>CATEGORÍAS</b>
<b>1</b>	Nubes
<b>2</b>	Camaroneras
<b>3</b>	Cuerpos de Agua
<b>4</b>	Vegetación
<b>5</b>	Áreas Pobladas
<b>6</b>	Áreas sin Cultivo

Otro método empleado para estimar la calidad, cantidad y desarrollo de la vegetación fue el cálculo del NDVI en el software ArcGIS, medido por los sensores remotos instalados en una plataforma espacial según la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación refleja, por ejemplo una cubierta vegetal en buen estado de salud tiene una firma espectral que se caracteriza por el contraste entre la banda del rojo (entre 0.6 y 0.7  $\mu\text{m}$ ), la cual es absorbida en gran parte por las hojas, y el infrarrojo cercano (entre 0.7 y 1.1  $\mu\text{m}$ ), que es reflectada en su mayoría (Martínez, 2017, 18). Esta característica de la vegetación permite realizar una valoración cualitativa mediante la siguiente fórmula:  $\text{NDVI} = (\text{NID} - \text{RED}) / (\text{NID} + \text{RED})$ , donde NID es la reflectividad en el infrarrojo cercano y RED es la reflectividad en el rojo.

Cabe recalcar que el rango de valores de las reflexiones espectrales está entre 0 y 1, ya que la reflectividad del infrarrojo cercano y del rojo son cocientes de la radiación reflejada en cada banda espectral, por lo que el valor del NDVI estaría entre 1 y -1; tomando en cuenta que un  $\text{NDVI} < 0$  corresponde a cubiertas artificiales o zonas de agua, un NDVI entre 0 y 0.1

corresponde a suelo sin cubierta y un NDVI más elevado corresponde a zonas de vegetación (Cabrera, 2015, 25). Para saber si se originó algún cambio con las imágenes satelitales en formato digital, se procedió a realizar las respectivas comparaciones del estado en forma cronológica en el programa ArcGIS, y así se pudo observar las diferencias en los años 1999 y 2016.

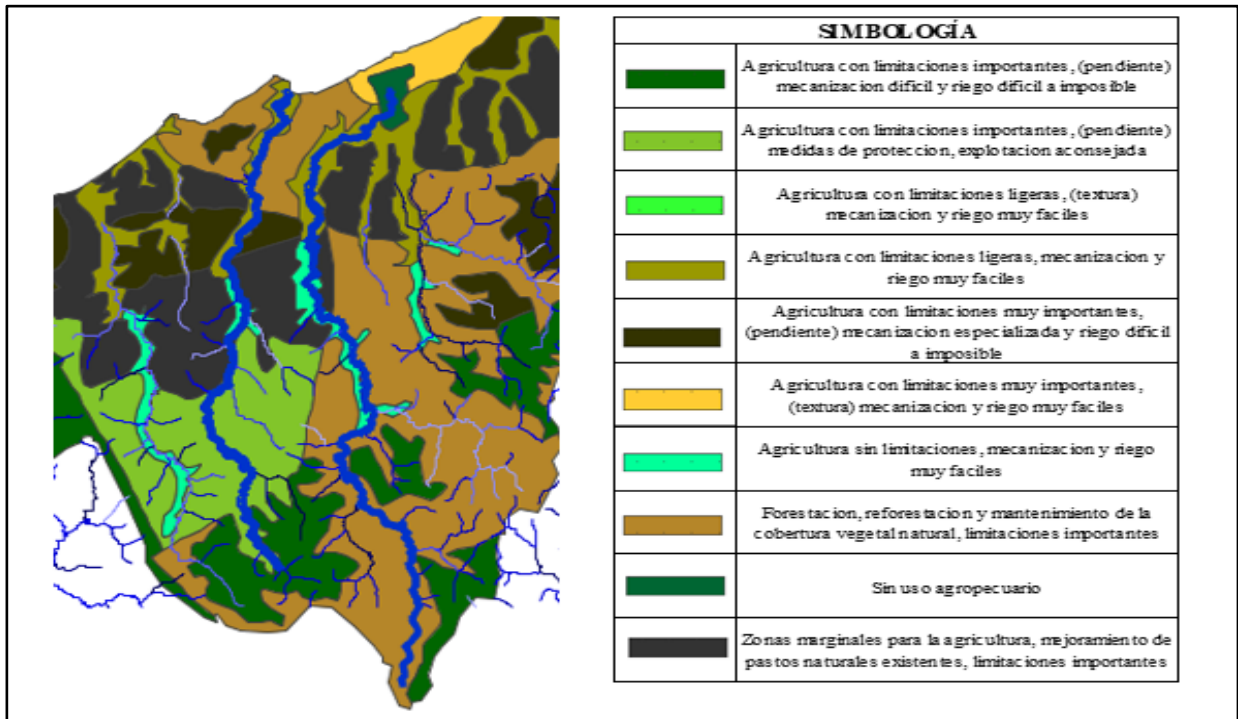
Se realizaron salidas de campo para el reconocimiento e identificación del área de estudio, en el que se tomaron puntos de control con GPS (Global Positioning System), para observar las áreas donde existan dudas con respecto a la tipificación de las firmas espectrales cuando se realizó la clasificación supervisada.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. Procesamiento de Imágenes Vectoriales**

#### **4.1.1. Descripción Agrícola**

La figura 2 describe que en la zona baja de la cuenca de Atacames hay un 0,07% de “agricultura con limitaciones muy importantes (textura) mecanización y riego muy fáciles”, en esta misma zona, esta cuenca y la de Súa presentan una “agricultura con limitaciones ligeras, mecanización y riego muy fáciles”, Atacames con un 0,29% y Súa con 0,10%. A lo largo de toda la parte alta y media de la cuenca de Atacames existe un 98,67% de “Forestación, reforestación y mantenimiento de la cobertura vegetal natural, limitaciones importantes” con una pequeña diferencia porcentual con la cuenca del río Súa, que está con un 96,91% en la parte baja. En la parte media de ambas cuencas, en cuanto a la “agricultura sin limitaciones, mecanización y riego muy fáciles” Atacames tiene 0,05% y Súa 0,03% y la “agricultura con limitaciones muy importantes (pendiente) mecanización especializada y riego difícil a imposible” Atacames presenta 0,02% y Súa 0,28%. Respecto a la parte alta de la cuenca, la “agricultura con limitaciones importantes (pendiente) mecanización difícil y riego difícil a imposible”, Atacames alcanza 0,40% y Súa 0,76% y en la parte alta y media de las cuencas Atacames y Súa, la “agricultura con limitaciones importantes (pendiente) medidas de protección, explotación aconsejada” presentan de 0,49% y 1,92% respectivamente.



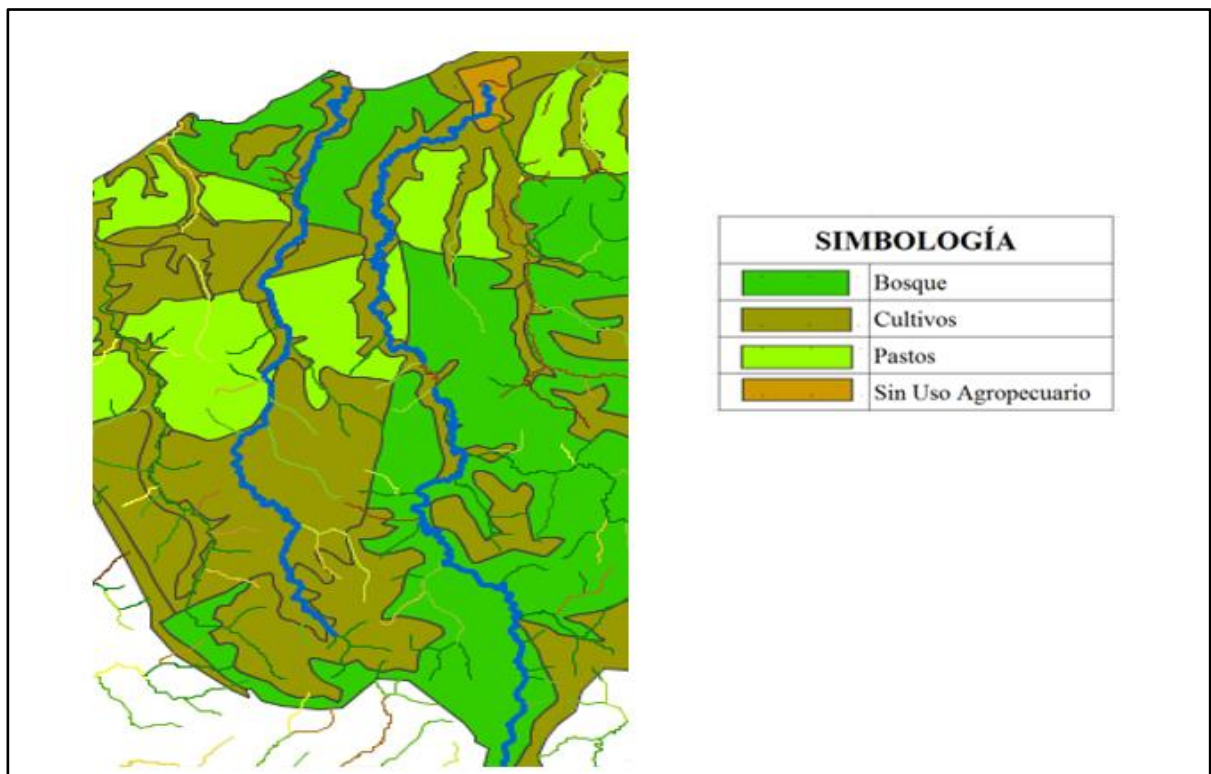
**Figura 2.** Descripción Agrícola

**Tabla 4**  
*Porcentajes de Descripción Agrícola.*

DESCRIPCIÓN AGRÍCOLA	Atacames	Súa
Agricultura con limitaciones importantes, (pendiente) mecanización difícil y riego difícil a imposible	0,40	0,76
Agricultura con limitaciones importantes, (pendiente) medidas de protección, explotación aconsejada	0,49	1,92
Agricultura con limitaciones ligeras, mecanización y riego muy fáciles	0,29	0,10
Agricultura con limitaciones muy importantes, (pendiente) mecanización especializada y riego difícil a imposible	0,02	0,28
Agricultura con limitaciones muy importantes, (textura) mecanización y riego muy fáciles	0,07	0,00
Agricultura sin limitaciones, mecanización y riego muy fáciles	0,05	0,03
Forestación, reforestación y mantenimiento de la cobertura vegetal natural, limitaciones importantes	98,67	96,91

#### 4.1.2. Aptitud Agrícola

La figura 3 determina que la parte baja de la cuenca del río Súa presenta un 98,42% de bosque, a diferencia de la cuenca del río Atacames que en la parte alta y media tiene 96,12%. Los pastos están ubicados en ambas cuencas en la parte media con 0,25% en Atacames y 0,82% en Súa. Los cultivos se encuentran a lo largo de toda la cuenca del río Súa en un 1,32% y con un 3,06% en la parte baja y media de la cuenca del río Atacames.



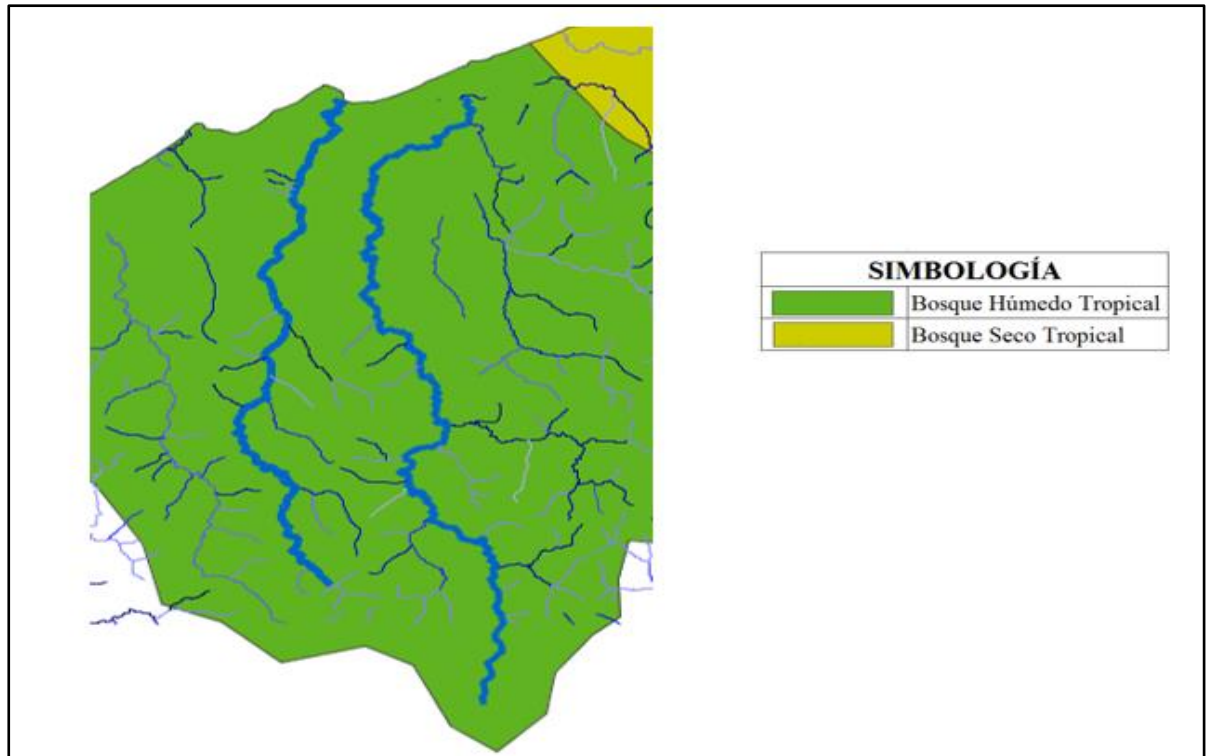
*Figura 3. Aptitud Agrícola*

**Tabla 5**  
*Porcentajes de Aptitud Agrícola*

APTITUD AGRÍCOLA	Atacames	Súa
Bosque	98,42	96,12
Cultivos	1,32	3,06
Pastos	0,25	0,82

### 4.1.3. Descriptivo Ecológico

La figura 4 expresa que el área de estudio es en su totalidad bosque húmedo tropical.



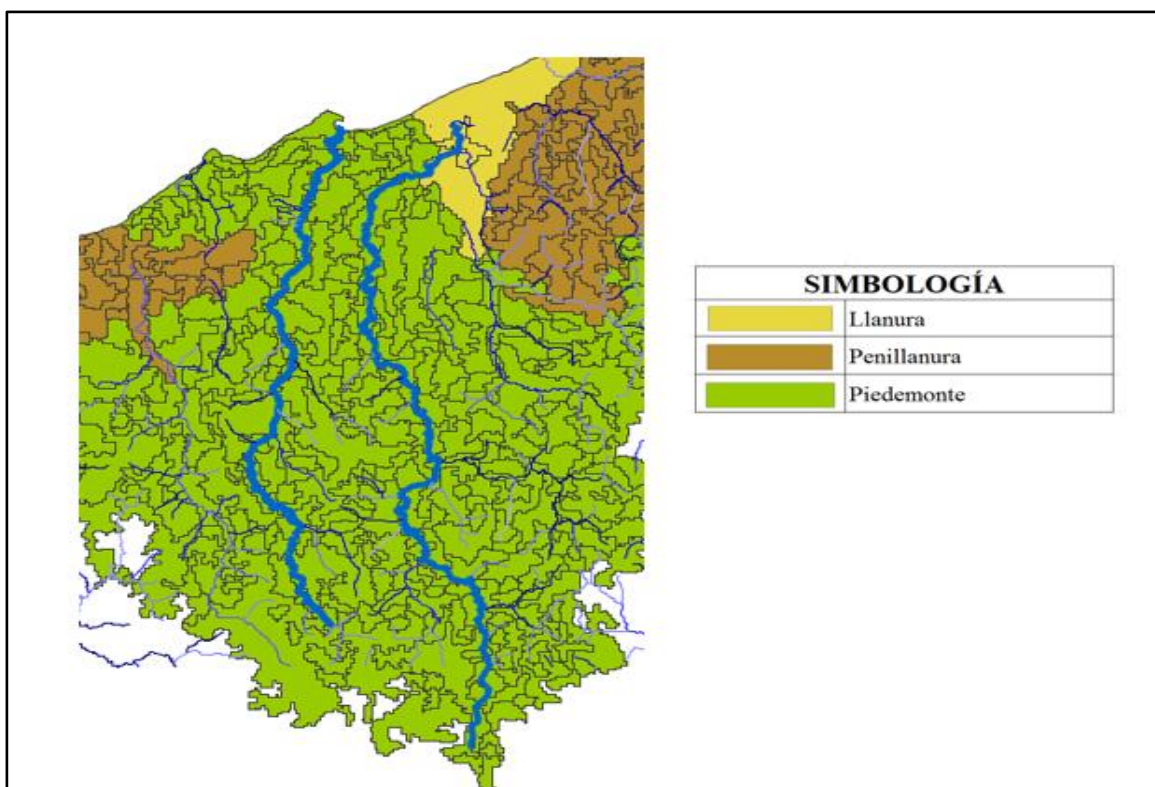
*Figura 4.* Descriptivo Ecológico

**Tabla 6**  
*Porcentajes de Descriptivo Ecológico*

DESCRIPTIVO ECOLÓGICO	Atacames	Súa
Bosque Húmedo Tropical	100	100

### 4.1.4. Estado Geomorfológico: Macrorrelieve

La figura 5 muestra que la parte baja de la cuenca del río Atacames representa el 9,79% de llanura y que a lo largo de toda el área de estudio hay un 90,21% y 100% de Piedemonte de las cuencas Atacames y Súa correspondientemente.



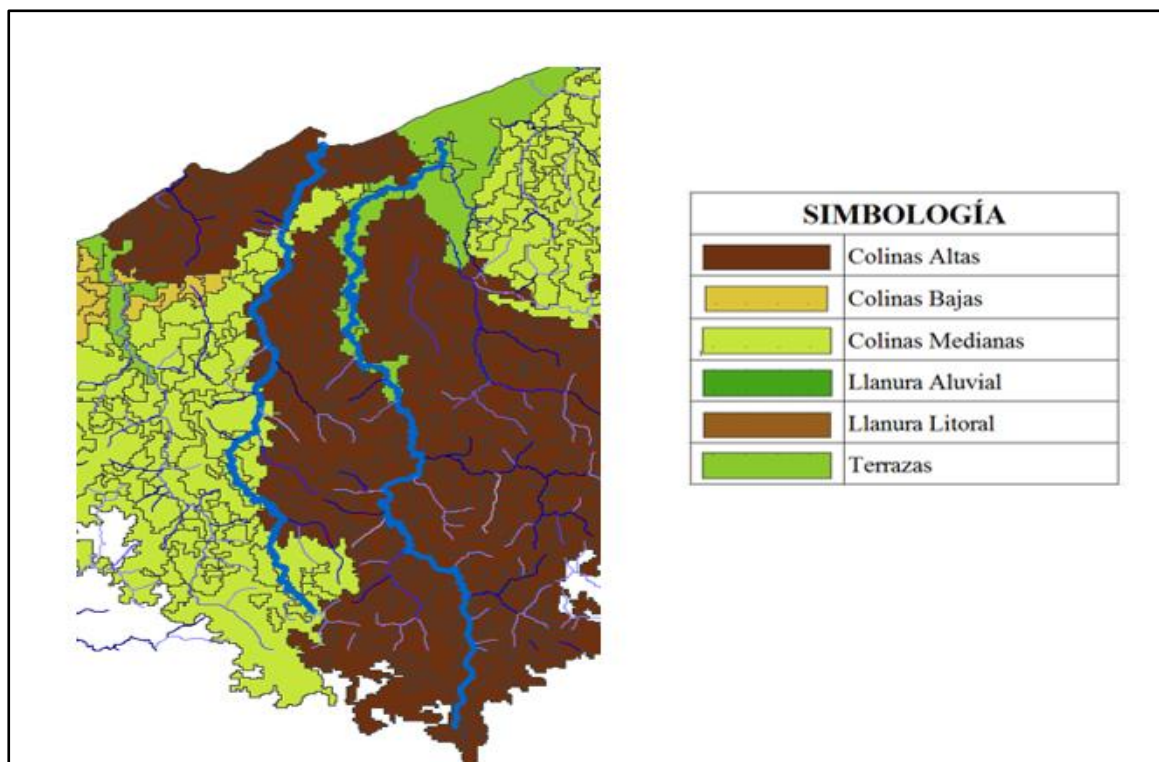
*Figura 5. Estado Geomorfológico: Macrorelieve*

**Tabla 7**  
*Porcentajes del Estado Geomorfológico: Macrorelieve*

MACRORELIEVE	Atacames	Súa
Llanura	9,79	0,00
Piedemonte	90,21	100

#### **4.1.5. Estado Geomorfológico: Mesorelieve**

La figura 6 refiere a que el 16,88 % de la variable terrazas del Mesorelieve está representado en la parte baja de la cuenca del río Atacames, por otro lado también está la parte baja y la parte media de la cuenca del río Súa con 38,98% de colinas altas y parte alta y media de la cuenca del río Atacames con 68,53%. En la cuenca del río Atacames únicamente en la parte media se encuentra un 14,59% de colinas medianas y 61,02% en las partes media y alta de la cuenca del río Súa



*Figura 6.* Estado Geomorfológico: Mesorelieve

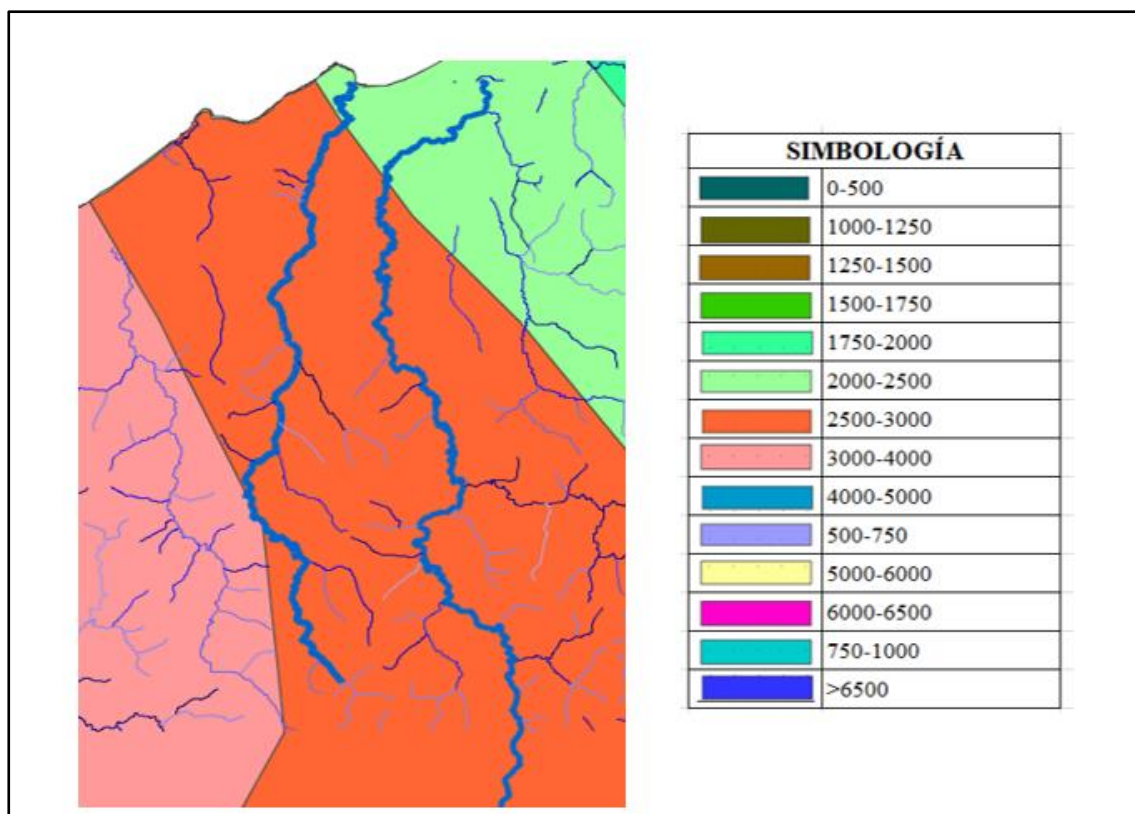
**Tabla 8**

*Porcentajes del Estado Geomorfológico: Mesorelieve*

MESORELIEVE	Atacames	Súa
Colinas Altas	68,53	38,98
Colinas Medianas	14,59	61,02
Terrazas	16,88	0,00

#### 4.1.6. Isoyetas

La figura 7 determina una precipitación de 2000-2500 en la parte baja de las cuencas de Atacames y Súa con 7,43% y 5,98% correspondientemente, Isoyetas de 2500-3000 en la parte alta y media de ambas cuencas con un 92,57% en Atacames y 91,58% en Súa y con un porcentaje de 2,44 en las Isoyetas de 3000-4000 correspondiente a la parte media de la cuenca del río Súa.



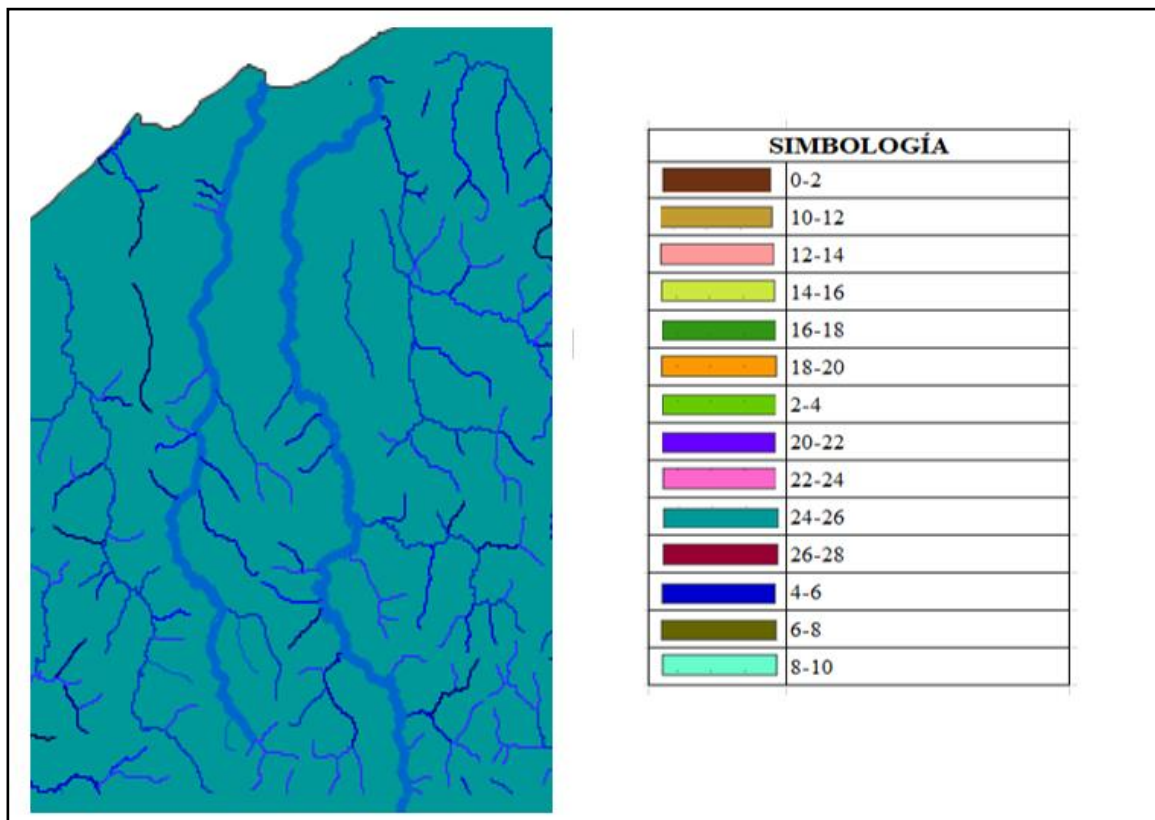
*Figura 7. Isoyetas.*

**Tabla 9**  
*Porcentajes de Isoyetas*

ISOYETAS	Atacames	Súa
2000-2500	7,43	5,98
2500-3000	92,57	91,58
3000-4000	0,00	2,44

#### 4.1.7. Isotermas

La figura 8 muestra que la temperatura del área de influencia de las cuencas de los ríos Atacames y Súa es de 24-26 grados.



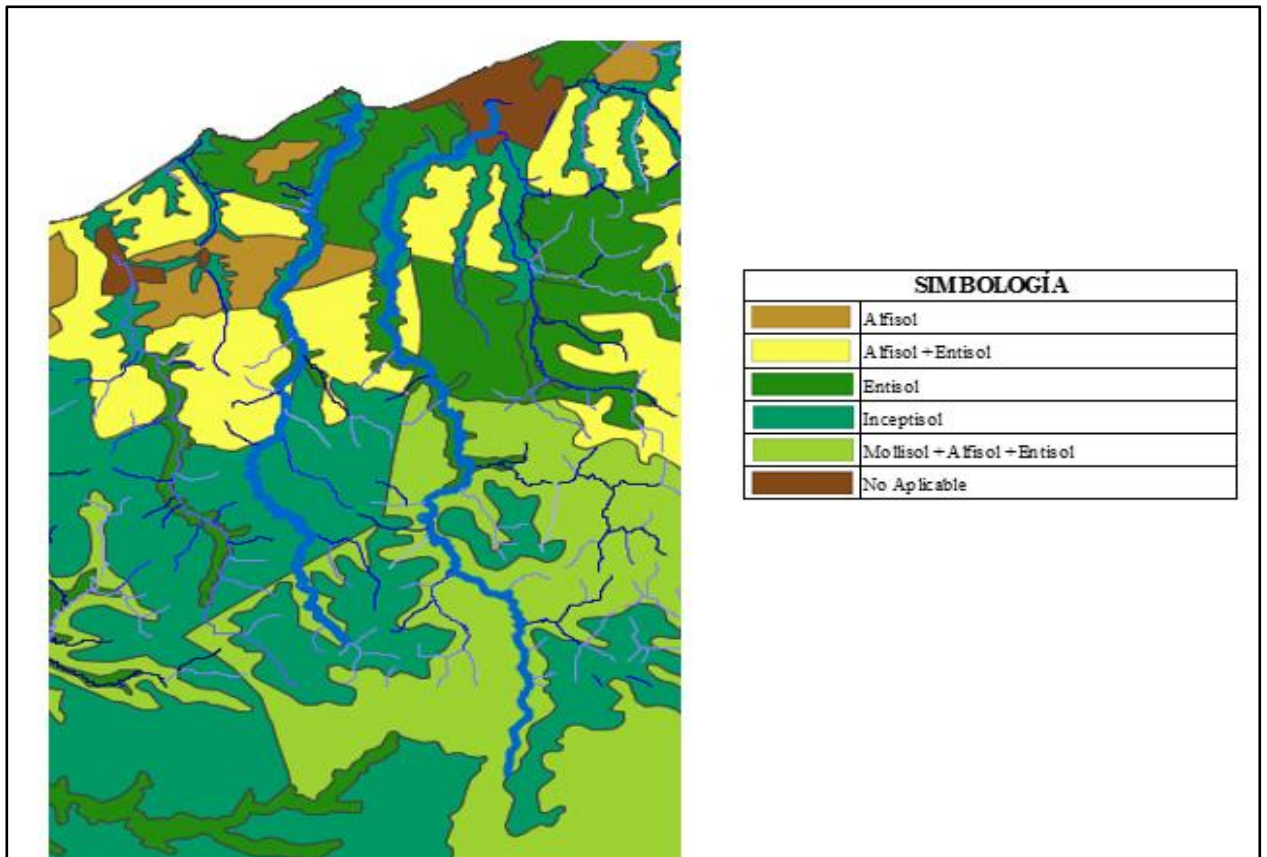
**Figura 8.** Isotermas

**Tabla 10**  
*Porcentajes de Isotermas*

ISOTERMAS	Atacames	Súa
24-26	100	100

#### 4.1.8. Taxonomía del Suelo

La figura 9 determina que la taxonomía del suelo en el área de estudio de la parte media de las cuencas Atacames y Súa es Alfisol con porcentajes de 2,18 y 11,17 correspondientemente y con porcentajes de 4,20 y 5,39 en las mismas zonas medias pero de Alfisol + Entisol. En las partes baja y media de ambas cuencas está Entisol con 60,94% en Atacames y 46,20% en Súa. Inceptisol es la única característica que está a lo largo de ambas cuencas, Atacames con un porcentaje de 27,63 y Súa de 30,76. Respecto a la parte alta de la cuenca del río Súa hay un 6,48% de Mollisol + Alfisol + Entisol, con un porcentaje de 5,05 en la parte media y alta de la cuenca del río Atacames.



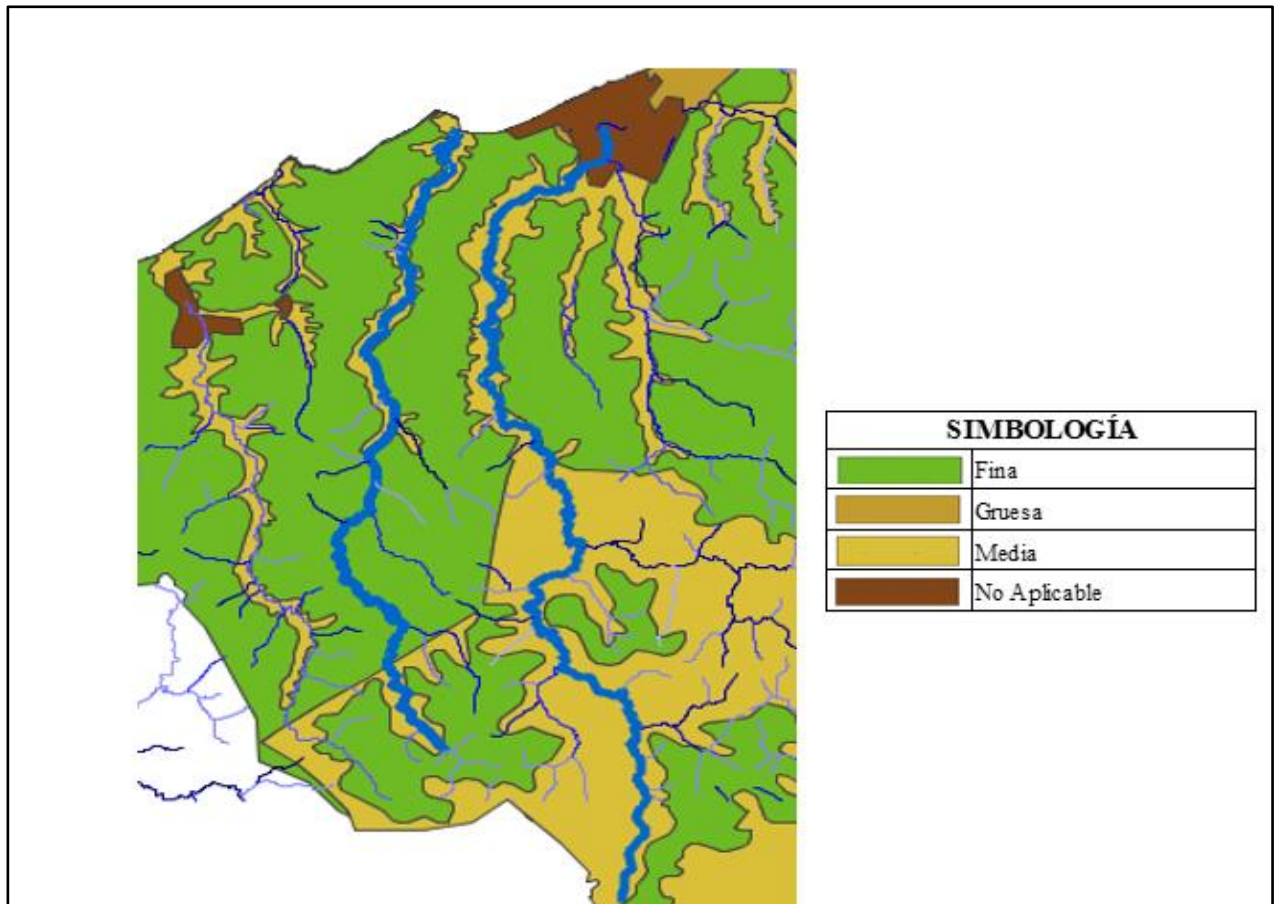
*Figura 9. Taxonomía del Suelo*

**Tabla 11**  
*Porcentajes de la Taxonomía del suelo*

TAXONOMÍA DEL SUELO	Atacames	Súa
Alfisol	2,18	11,17
Alfisol + Entisol	4,20	5,39
Entisol	60,94	46,20
Inceptisol	27,63	30,76
Mollisol + Alfisol + Entisol	5,05	6,48

#### 4.1.9. Textura del Suelo

La figura 10 establece las texturas fina con 30,77 % en Atacames y 66,67 % en Súa y textura media a lo largo de toda la cuenca de los ríos Atacames y Súa con porcentajes de 69,23 y 33,33 respectivamente



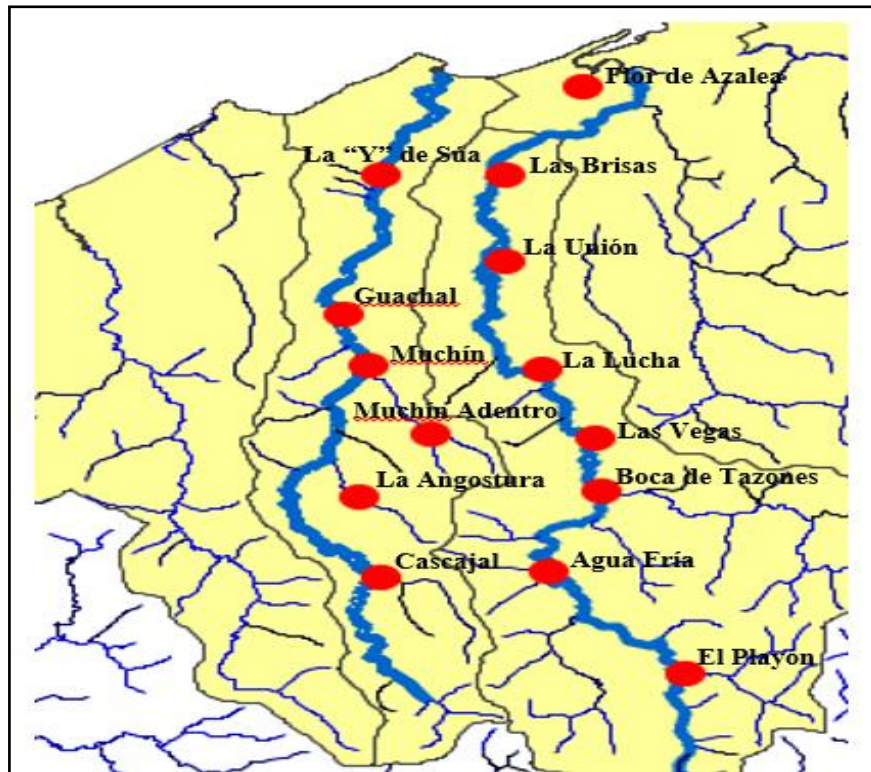
**Figura 10.** Textura del Suelo

**Tabla 12**  
*Porcentajes de la Textura del Suelo*

TEXTURA	Atacames	Súa
Fina	30,77	66,67
Media	69,23	33,33

#### 4.1.10. Poblado

La figura 11 pauta la distribución de las poblaciones establecidas a lo largo de la parte baja, media y alta de las cuencas; Atacames con 8 poblaciones y Súa con 6.



*Figura 11.* Poblado del Área de Estudio

**Tabla 13**  
*Distribución de las poblaciones*

CUENCAS	POBLADO	COORDENADAS		
		X	Y	
ATACAMES	Flor de Azalea	627838,07	95280,41	
	Las Brisas	626244,17	92415,94	
	La Unión	626212,29	89597,01	
	La Lucha	627041,12	86072,2	
	Las Vegas	628083,99	83858,96	
	Boca de Tazones	628247,93	82173,97	
	Agua Fría	627141,31	79550,86	
	El Playón	629969,35	76199,11	
	La "Y" de Súa	623707,58	92384,06	
	Guachal	622933,4	87880,15	
	SÚA	Muchín	623452,56	86217,93
		Muchín Adentro	624704,91	84009,24
La Angostura		623229,41	81973,6	
Cascajal		623707,58	79350,49	

#### 4.1.11. Cobertura del Uso del Suelo: Cultivos

La figura 12 establece la existencia del cultivo palma africana en la parte media de la cuenca del río Súa con 4,05%, a diferencia de la cuenca del río Atacames que tiene 0,64%.

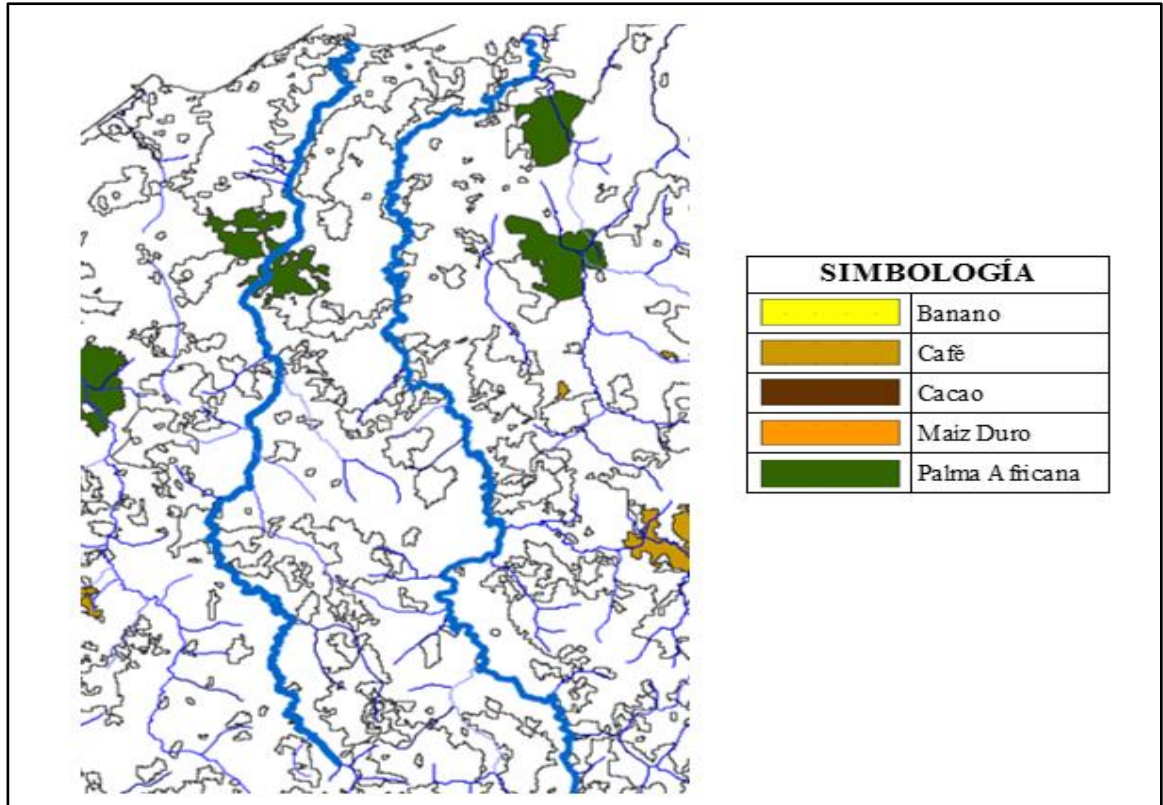


Figura 12. Cobertura del Uso del Suelo: Nivel 4.

Tabla 14

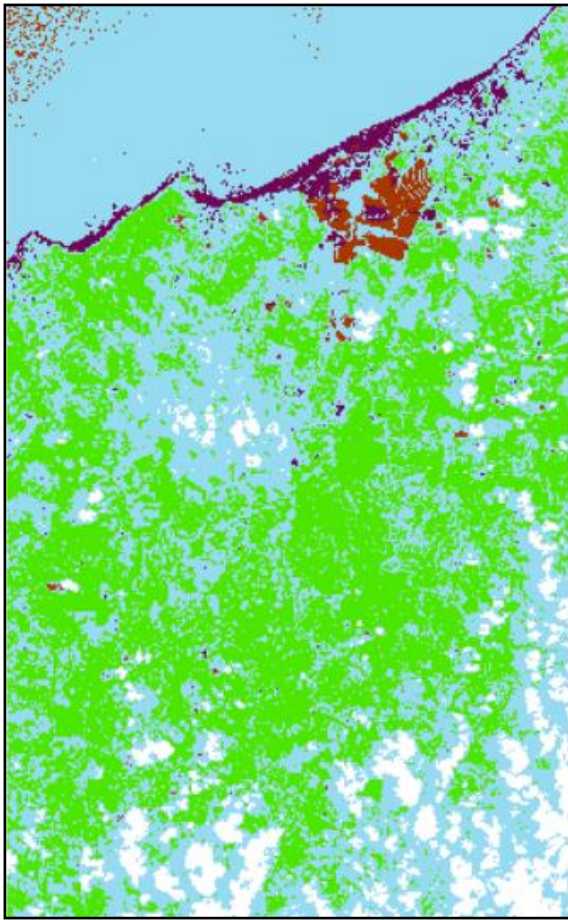
Porcentajes de la Cobertura del uso del suelo: Nivel 4

COBERTURA USO DEL SUELO: NIVEL 4	Atacames	Súa
Palma Africana	0,64	4,05

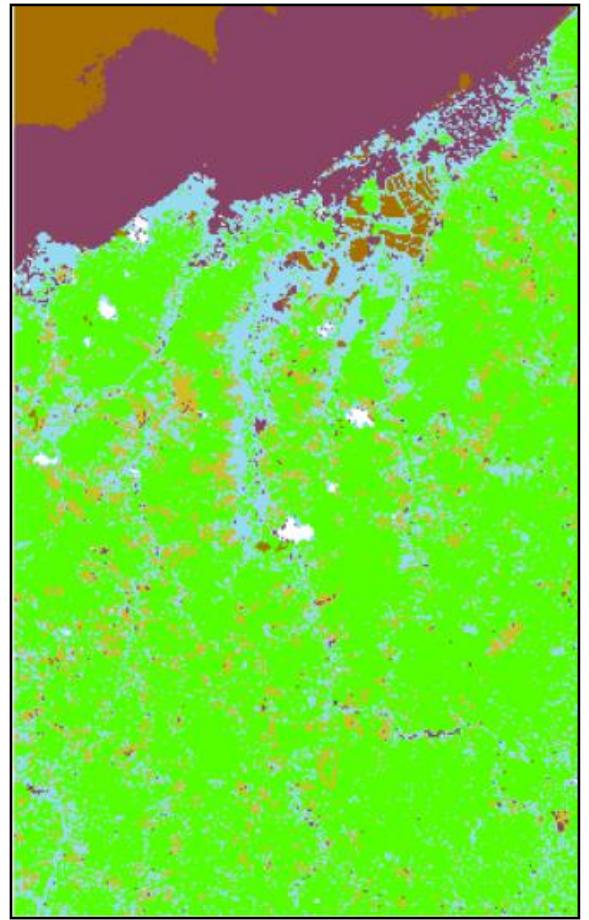
## 4.2. Procesamiento de Imágenes Ráster

### 4.2.1. Clasificación Supervisada

Las figuras 13 y 14 muestran un análisis multitemporal mediante la aplicación de las áreas de entrenamiento (Tabla 15), en las imágenes ráster de los años 1999 y 2016, a través de la clasificación supervisada. Estas imágenes, a pesar de no ser claras en su totalidad, reflejan una vegetación vigorosa, por su tono verde brillante.








*Figura 13.* Clasificación Supervisada Año 1999



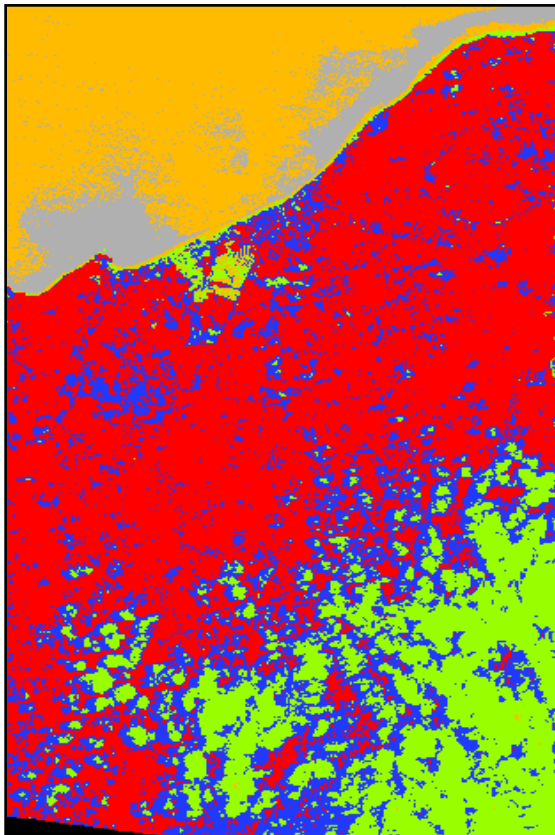
*Figura 14.* Clasificación Supervisada Año 2016

**Tabla 15**  
Campos de Entrenamiento

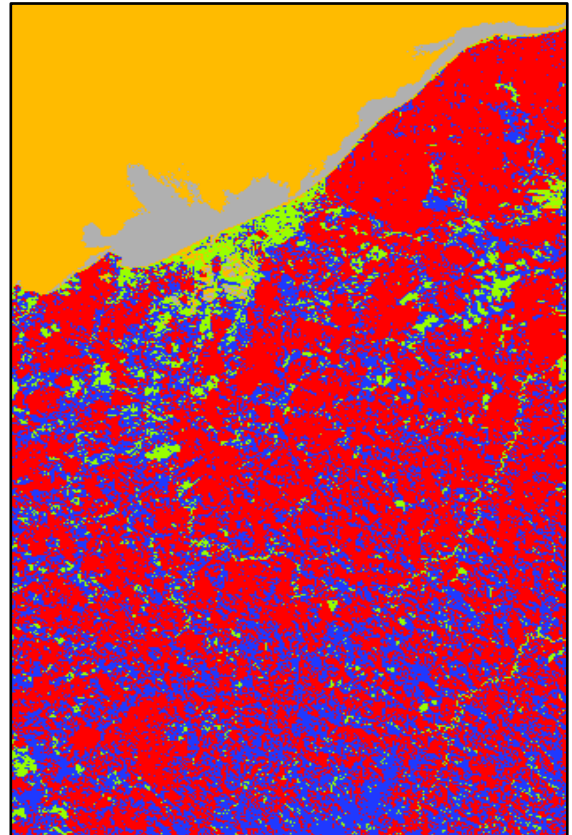
N°	CATEGORÍAS
	Nubes
	Cuerpos de Agua
	Vegetación
	Áreas Pobladas
	Áreas sin Cultivo

#### 4.2.2. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Las figuras 15 y 16 muestran los cambios en las imágenes de los años 1999 y 2016, a través del cálculo del NDVI, el cual otorga el estado fisiológico de la vegetación existente en el área de estudio, comparando cada uno con su respectiva valoración numérica descrita en la Tabla 16, mostrando que ambas imágenes tienen una buena calidad en cuanto a la vegetación, ya que el valor del NDVI que está más cerca del 1 está representado por el color rojo, descrito de forma más clara en el gráfico 1.



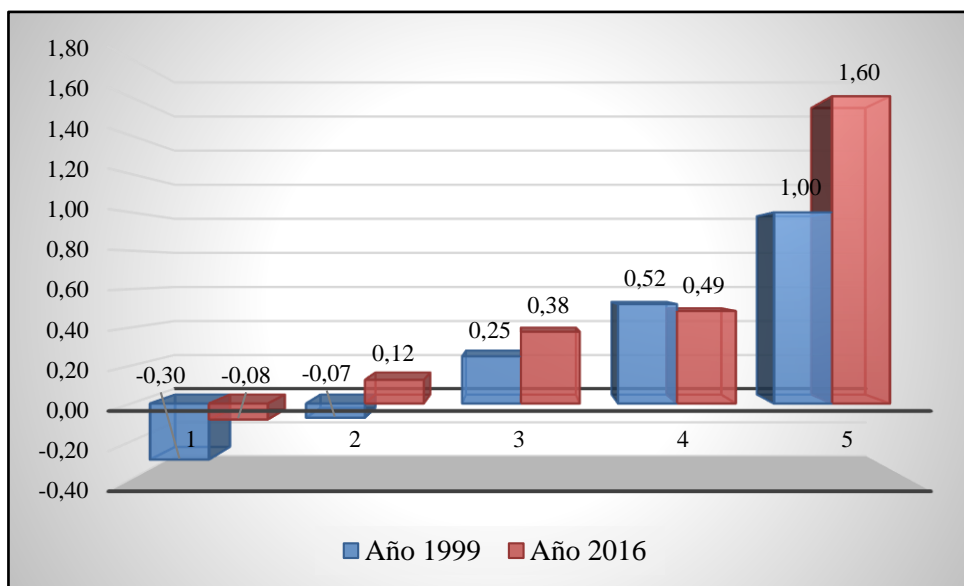
*Figura 15.* NDVI Landsat\_8\_1999



*Figura 16.* NDVI Landsat\_8\_2016

**Tabla 16**  
Valores NDVI asociados a las imágenes

Año 1999		Año 2016	
■	-0.877551019 - -0.295878351	■	-0.236089692 - -0.08449251
■	-0.295878351 - -0.074989995	■	-0.08449251 - 0.124855979
■	-0.074989995 - 0.248979592	■	0.124855979 - 0.377517949
■	0.248979592 - 0.521408564	■	0.377517949 - 0.48580165
■	0.521408564 - 1	■	0.48580165 - 1.604733229



**Gráfico 1.** Estado de vegetación de las subcuencas de Atacames y Súa, a través del cálculo del NDVI

Los resultados del procesamiento de las imágenes vectoriales, y de las imágenes ráster mediante el cálculo del NDVI y la utilización de la Clasificación Supervisada mostraron las diferentes características que poseen las cuencas de Atacames y Súa y el cambio que obtuvo durante los años 1999 y 2016.

## 5. DISCUSIÓN

La aplicación de los SIG es de gran ayuda para determinar ciertas anomalías encontradas en el espacio, en este caso en los ríos de Atacames y Súa. Estas cuencas son estimadas como un sistema compuesto por factores biofísicos como el suelo y la vegetación, y factores antrópicos como las actividades que realizan las personas próximas al área en estudio. El vínculo de estos dos factores podría acceder a la degradación de cualquier característica en el espacio, específicamente por la reacción de las actividades realizadas de la población, en el suelo o en la vegetación (Esteli, 2002, 5).

A pesar de ello, este estudio logra comprobar que dichas actividades no son impedimento para que la cuenca del río Atacames, que se esperaba que se encuentre degradada, tenga una vegetación de buena calidad, demostrándolo a través de una comparación del estado vegetal y de la cobertura del suelo entre las capas vectoriales, utilizando GvSIG.

Este software refleja que la vegetación es predominante en las partes media y alta de la cuenca del río Atacames y en la parte baja de la cuenca del río Súa, coincidiendo con los resultados obtenidos de otros autores, que expresan que las diferencias que existen en la parte media con mayor vegetación y una cobertura superior de elementos gruesos en la parte baja, es por la presencia de suelo encostrado y ausencia de vegetación, predominando en partes bajas y zonas de playa, expresado en el estudio de Hidrología de los suelos de las cuencas media y baja del río Conchos, Chihuahua, México (Desconnets, Reyes, Gómez y Delhoume, 2008, 38).

Además este estudio es representado en una situación similar al área Atacames y Súa, ya que está expuesta a una problemática con las mismas actividades antropogénicas, tales como la deforestación (cuenca alta), la ganadería (cuenca media), sobreexplotación de acuíferos (cuenca baja), contaminación y cambios de usos del suelo en toda la rivera del Conchos (Ojeda, 2006, 32).

Por otra parte, Pérez aduce en su análisis de las cuencas venezolanas, que la problemática general en las zonas altas de las cuencas hidrográficas, pueden atribuirse por una parte a sus características físico – naturales y en gran medida a su ocupación en forma anárquica, sin una organización del espacio y por ende la inexistencia de un aprovechamiento racional de los recursos naturales. Entre las causas principales de este investigador están: remoción indiscriminada de la cobertura vegetal, sobreutilización de los suelos, concentraciones inadecuadas de población y actividades económicas, no aplicación de prácticas conservacionistas en suelos de áreas vulnerables y deficiente y en algunos casos ineficiente información básica ambiental, así como de investigación necesaria (Pérez, 2014, párr. 5). Varios de esos fundamentos pueden ser atribuidos a la parte alta de la cuenca del río Súa, debido a la poca presencia de vegetación y preservación de recursos naturales.

La taxonomía del suelo, la cobertura de uso de suelo y las características agrícolas, describen el potencial de producción de cobertura vegetal determinado en el área de estudio, y puede estar directamente relacionado con los demás shapefiles analizados, los cuales reflejaron que hasta el año 2011, a pesar de las actividades agrícolas y pecuarias expuestas, gran cantidad de la cobertura vegetal se encontraba distribuida en la parte media de la cuenca de mayor extensión, Atacames, atribuyendo que esas actividades no influyen significativamente en las cuencas de los ríos.

Además, el presente estudio, al contrastar las imágenes ráster de los años 1999 y 2016, determina que la calidad de la vegetación de las cuencas del río Súa y la cuenca del río Atacames es buena, desplazando la idea de que las actividades realizadas en el sector influyen en su vigorosidad. Y esto se lo pudo comprobar mediante la creación de mapas temáticos con las técnicas de clasificación supervisada y el cálculo del NDVI.

Según Nuñez la clasificación supervisada es una técnica muy utilizada a nivel global, porque también permite identificar y supervisar la gran variedad de coberturas y usos de los suelos, incluyendo el industrial, comercial y residencial, para realizar un levantamiento cartográfico de suelos de una cuenca o área específica (Guillén, Murugan y Dávila, 2015, 12). Pero el investigador Wilkinson contradice esta teoría, y comenta que la extracción de información útil de las imágenes de satélite

(clasificación) es el problema técnico principal de la teledetección, ya que los datos obtenidos son de difícil utilización, debido a que la información espectral contenida en los píxeles no es suficiente en la mayoría de los casos como para identificar especies de vegetación o tipos de cubierta de la superficie, o porque normalmente los píxeles incluyen una mezcla radiométrica de sus vecinos y por lo tanto, pocas zonas tienen homogeneidad total (Wilkinson, 2005, 2).

La otra técnica, NDVI, tiene las ventajas de tener una gran sencillez de cálculo y de facilitar la interpretación directa de los parámetros biofísicos de la vegetación, pero posee poca capacidad de minimizar la influencia del suelo y de la atmósfera (Díaz, 2015, 42).

La elaboración de este tipo de estudios con las técnicas aplicadas, es de gran relevancia para tener un conocimiento múltiple de ciertas áreas específicas en cierta época, no solo para planes de desarrollo y ordenamiento territorial de comunidades, sino para proyectos como este, donde ayude a determinar los diferentes recursos que el área en estudio posea y las condiciones en la que se encuentre.

## 6. CONCLUSIONES

- El objetivo específico “*Comparar los porcentajes del procesamiento de las imágenes vectoriales para el análisis del estado vegetal y cobertura de suelo de las subcuencas Atacames y Súa*” se ha alcanzado a través del uso de las herramientas SIG, permitiendo realizar un análisis comparativo de las cuencas de Atacames y Súa. Los parámetros de descripción agrícola, textura del suelo y uso de la cobertura del suelo fueron de gran importancia para interpretar el comportamiento vegetativo y comprender su incidencia ante la presencia de externalidades, como son las actividades ejecutadas por la población.
- Los objetivos específicos “*Determinar los cambios alcanzados de cobertura de suelo en el período comprendido entre los años 1999 y 2016, mediante un análisis multitemporal, a través de la clasificación supervisada*” y “*Establecer los cambios alcanzados de cobertura vegetal en el período comprendido entre los años 1999 y 2016, mediante un análisis multitemporal de las imágenes ráster de dichos años, a través del cálculo del NDVI*”, determinaron que a pesar de las actividades humanas realizadas desde el 1999, existe una alta cobertura vegetal en 2016, realizando una comparación entre ambas fechas, comprobando que no ha habido un cambio significativo en cuanto a la vigorosidad de la misma.
- Por lo tanto se alcanza el objetivo principal “*Analizar cartográficamente la cobertura de suelo y estado vegetal de los ríos Atacames y Súa, aplicando los SIG y la Teledetección*”, acordando que la realización de este estudio es muy importante, porque con un conocimiento previo de las propiedades morfométricas de las cuencas hidrográficas de Atacames y Súa, obtenido a través de las capas e imágenes, se pudo obtener una descripción física espacial, permitiendo realizar comparaciones de ambas cuencas y proporcionar conclusiones preliminares sobre las características ambientales del territorio a partir de la descripción precisa de la geometría de las formas superficiales.

## **7. RECOMENDACIONES**

- Realizar un seguimiento a este estudio, de tal modo que haya un control constante de la cobertura vegetal de las cuencas de Atacames y de Súa y hacer una proyección, que permita tener una idea del grado de afectación a futuro.
- Realizar una red de comparación respecto a las cuencas a nivel nacional, para conocer las afectaciones de nuestro medio y así planificar acciones y tomar decisiones, según las novedades encontradas.
- La existencia y disponibilidad de imágenes ráster, de tal forma que sea factible realizar análisis constantes de mayor resolución para las actividades presentes y futuras que se efectúan en el área.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso. (2006). Clasificación de Imágenes. Recuperado de [www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node74\\_mn.html](http://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node74_mn.html)
- Anguix, A. y Carrión, G. (2010). Desarrollo de herramientas aplicadas a la ingeniería civil y la topografía en gvSIG. Servicios de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Universidad de Girona. Recuperado de <https://dugi-doc.udg.edu/bitstream/handle/10256/3465/a10.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Baquero, F., Sierra, R., Ordóñez, L., Tipán, M., Espinosa, L., Rivera, M.,...Soria, (2004). La Vegetación de los Andes del Ecuador. Memoria Explicativa de los Mapas de Vegetación: Potencial y Remanente a Escala 1:250.000 y del Modelamiento Predictivo con Especies Indicadoras. EcoCiencia/CESLA/Corporación EcoPar/MAG SIGAGRO/CDC – Jatun Sacha/División Geográfica – IGM. Quito. Recuperado de <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/43571.pdf>.
- Black, M. y Cartwright, W. (s.f). Web Cartography & Web-Enabled Geographic Information Systems (Gis) New Possibilities, New Challenges. School of Mathematical and Geospatial Sciences. RMIT University, GPO Box 2476V Melbourne, Victoria 3001, Australia. Recuperado de [https://icaci.org/files/documents/ICC\\_proceedings/ICC2005/htm/pdf/oral/TEMA11/Session%205/MICHAEL%20BLACK.pdf](https://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2005/htm/pdf/oral/TEMA11/Session%205/MICHAEL%20BLACK.pdf)
- Cabrera. (2015). Evaluación y Comparación de Series Temporales de NDVI de los Sensores SPOT Vegetation y Modis, en las Regiones del Desierto de Atacama, la Selva del Congo y Catalunya. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/78373/memoria.pdf>. 25.
- Cazau, (2006). *Introducción a la Investigación en Ciencias Sociales*. Buenos Aires, Argentina: Tercera Edición.
- CONAFORT y SEMARNAT. (2015). Sistemas de Información Geográfica “Software Libre”. Recuperado de [www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/3898Manual%20SIG.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/3898Manual%20SIG.pdf)

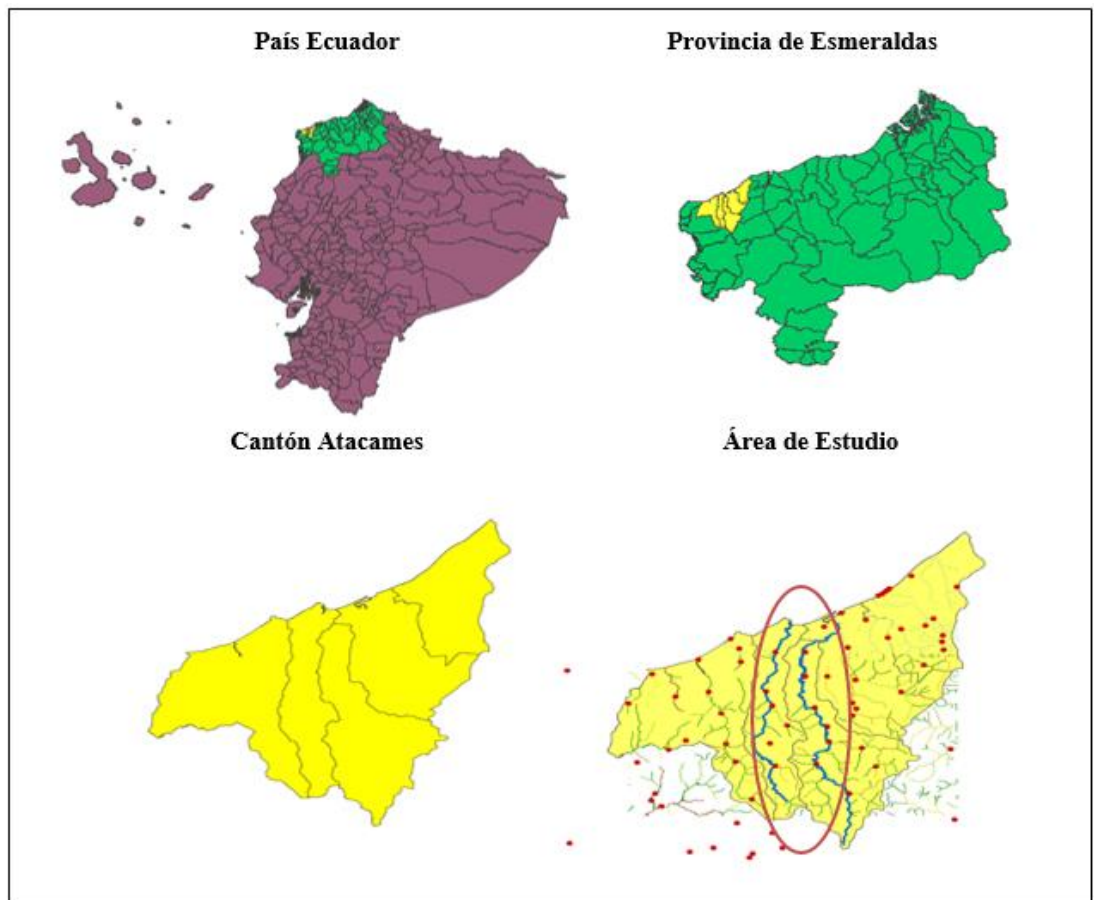
- Dávila, G. (2006). El Razonamiento Inductivo y Deductivo dentro del Proceso Investigativo en Ciencias Experimentales y Sociales. *Laurus*, 12, 180-205.
- Desconnets, M., Reyes, L., Gómez, V., y Delhoume, R. (2008). Hidrología de los Suelos de las Cuencas Media y Baja del Río Conchos, Chihuahua, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/255654154\\_Hidrologia\\_de\\_los\\_suelos\\_de\\_las\\_cuencas\\_media\\_y\\_baja\\_del\\_Rio\\_Conchos\\_Chihuahua\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/255654154_Hidrologia_de_los_suelos_de_las_cuencas_media_y_baja_del_Rio_Conchos_Chihuahua_Mexico)
- Díaz, O. (2015). Estudio de Índices de Vegetación a partir de Imágenes Aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la Agricultura de precisión. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Geografía e Historia. Recuperado de [http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM\\_Juan\\_Diaz\\_Cervignon.pdf](http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf)
- Domínguez, J., (2000). Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Editorial CIEMAT. Recuperado de [http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/38/115/38115075.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/38/115/38115075.pdf)
- Escobar, F., Assoc Hunter, G., Assoc Bishop, I., Zerger, A., Department of Geomatics y the University of Melbourne. (2004). Introducción a los SIG. Datos Geográficos. Recuperado de <http://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/IntroduccionSIG/GISModule/GISTheory.htm#top>
- Environmental Systems Research Institute. (1998). ESRI Shapefile Technical Description. Recuperado de <https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>
- Esteli, S.N., (2002). Educación Ambiental con enfoque en Manejo Cuencas y Prevención de Desastres. Manejo de Cuencas Hidrográficas y Protección de Fuentes de Agua. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente Departamento de Manejo de Cuencas y Gestión Ambiental. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/fulltext/cuencas.pdf>.

- Fallas, J. (2007). Modelos digitales de elevación: Teoría, métodos de interpolación y aplicaciones. Recuperado de [ftp://agrimensura.efn.uncor.edu/pub/trabajosfinales/Trabajo%20Final%20MARTINEZ%20GARCIA/Disco%201/09%20-%20Bibliografia/MDE/MDE\\_TEORIA\\_2007.pdf](ftp://agrimensura.efn.uncor.edu/pub/trabajosfinales/Trabajo%20Final%20MARTINEZ%20GARCIA/Disco%201/09%20-%20Bibliografia/MDE/MDE_TEORIA_2007.pdf)
- Mena, (2014). *La Biodiversidad del Ecuador*. Recuperado de <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/49914.pdf>.
- GADMA. (2017). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Atacames.
- Guillen, C., Murugan, V., y Dávila. M. (2015). Aplicación de Teledetección y SIG para el Levantamiento Cartográfico de los Suelos de la Cuenca Solani, India. *Revista Geográfica Venezolana*, 56, (2). Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/3477/347743079003.pdf>
- IGM, (1978). Ley de Cartografía Nacional. Título I
- Jiménez, J., Aguilera, M. y Meroño, J. (2005). Alternativas de Software Libre a los Sistemas de Información Geográfica Comerciales. Universidad de Córdoba, España. Recuperado de <http://cartesianos.com/geodoc/ingegraf2005/gis10.pdf>
- Martínez, J y Martín, M. (2010). Guía Didáctica de Teledetección y Medio Ambiente. Red Nacional de Teledetección Ambiental. Recuperado de [www.aet.org.es/files/guia\\_teledeteccion\\_medio-ambiente\\_pliego.pdf](http://www.aet.org.es/files/guia_teledeteccion_medio-ambiente_pliego.pdf)
- Martínez, M. (2017). Detección de Cambios en Reservorios Acuíferos Basados en el Índice Espectral de Sequía. Master en Ciencias y Trcnologías de la Computación. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sistemas Informáticos. Recuperado de [http://oa.upm.es/45195/1/TFM\\_MAYRA%20GUADALUPE\\_MARTINEZ\\_MENA.pdf](http://oa.upm.es/45195/1/TFM_MAYRA%20GUADALUPE_MARTINEZ_MENA.pdf)
- Mas, M. (2017). *Uso de la Teledetección y los SIG en la Vigilancia de la Calidad del Agua: Aplicación al Mar Menor* (tesis de pregrado). Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia.

- Ojeda, M. (2006). Hidrología de los Suelos de las Cuencas Media y Baja del Río Conchos, Chihuahua, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/255654154\\_Hidrologia\\_de\\_los\\_suelos\\_de\\_las\\_cuencas\\_media\\_y\\_baja\\_del\\_Rio\\_Conchos\\_Chihuahua\\_Mexico](https://www.researchgate.net/publication/255654154_Hidrologia_de_los_suelos_de_las_cuencas_media_y_baja_del_Rio_Conchos_Chihuahua_Mexico)
- Ortiz, F. (2002). Procesamiento Morfológico de Imágenes en Color. Aplicación a la Reconstrucción Geodésica. Escuela Politécnica Superior. Tesis Doctoral. Departamento de Física, Ingeniería en Sistemas y Teoría de la Señal. Universidad de Alicante
- Pérez, A. (2011). *Introducción a los Sistemas de Información Geográfica y Geotelemática*. Editorial UOC. Barcelona, España. Recuperado de <https://www.digitaliapublishing.com/visor/20241>
- Pérez, L. (2014). Problemática de las Cuencas Hidrográficas. Recuperado de <https://sites.google.com/site/cuencahidrografica/cuenca-hidrografica/problematika-de-las-cuencas-hidrograficas>
- Puentestar, W. (2015). La Problemática Ambiental y el Deterioro de los Recursos Naturales en el Ecuador. Una Perspectiva desde la Geografía. Requisito de Examen Complexivo según la Unidad de Titulación Especial en la Carrera de Ingeniería en Ciencias Geográficas y Desarrollo Sustentable con Mención en Ordenamiento Territorial. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Facultad de Ciencias Humanas. Escuela de Ciencias Geográficas. Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8665/LA%20PROBLEMÁTICA%20AMBIENTAL%20Y%20EL%20DETERIORO%20DE%20R.N.%20EN%20EL%20ECUADOR.%20UNA%20PERSPECTIVA%20DESDE%20LA%20GEOGRAFI.pdf?sequence=1>
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2013). Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 - 2017. Senplades. Quito, Ecuador.

- Ulloa, L., Orozco, F., Orozco, J., Carrera, F. (2017). Sistema de información geográfica para la integración de información Geo referenciada de entidades públicas y privadas en la ciudad de Santo Domingo. *UPSE*, 4(3).
- Vargas, Z. (2009). La Investigación Aplicada: Una Forma de Conocer las Realidades con Evidencia Científica. *Revista Educación*, 33(1), 155-165.
- Vásquez, R., (2015). Metodología para ajustar clasificaciones supervisadas de imágenes satelitales, una contribución a la conservación del gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*). Para la obtención del título de Ingeniero Geomático. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/7474/Tesis%20Rodrigo%20Vázquez%20de%20la%20Torre.pdf?sequence=1>
- Viña, A., Gitelson, A. A., Nguy-Robertson, A. L., y Peng, Y. (2011). Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3468-3478.
- Wilkinson, T. (2005). Aportación del NDVI y los Sistemas Expertos en la mejora de la Clasificación Temática de Imágenes Multiespectrales. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/228559895\\_Aportacion\\_del\\_NDVI\\_y\\_los\\_sistemas\\_expertos\\_en\\_la\\_mejora\\_de\\_la\\_clasificacion\\_tematica\\_de\\_imagenes\\_multiespectrales](https://www.researchgate.net/publication/228559895_Aportacion_del_NDVI_y_los_sistemas_expertos_en_la_mejora_de_la_clasificacion_tematica_de_imagenes_multiespectrales)

## ANEXOS



*Anexo 1.* Descripción del área de estudio



**Fotografías 1 y 2.** Área de Estudio. Atacames



**Fotografía 3.** Área de Estudio. Súa