

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y**  
**AMBIENTAL**



**ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE EL CAMBIO DE**  
**COBERTURA VEGETAL Y LA CANTIDAD DE AGUA**  
**1995\_2019 EN LA MICROCUENCA AMOJÚ – JAÉN**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO**  
**FORESTAL Y AMBIENTAL**

**Autoras: Bach. Amelit Del Jesus Ato Gonzales.**

**Bach. Jessenia Marissela Gonzales Quiroz.**

**Asesor: Ing. Segundo Sánchez Tello.**

**JAÉN - PERÚ, NOVIEMBRE, 2019**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

## ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 26 de noviembre del año 2019, siendo las 18:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Mg. Mario Ruiz Ramos.

Vocal: Mg. Duberli Geomar Elera Gonzales

Para evaluar la Sustentación de:

- ( ) Trabajo de Investigación  
(  ) Tesis  
( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

“ANÁLISIS DE LA RELACIÓN ENTRE EL CAMBIO DE COBERTURA VEGETAL Y LA CANTIDAD DE AGUA 1995\_2019 EN LA MICROCUENCA AMOJÚ – JAÉN”

Presentado por los Bachilleres: Amelit Del Jesus Ato Gonzales y Jessenia Marissela Gonzales Quiroz, de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal Y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

- (  ) Aprobar ( ) Desaprobar (  ) Unanimidad ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

- |                |            |        |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente   | 18, 19, 20 | ( )    |
| b) Muy bueno   | 16, 17     | ( )    |
| c) Bueno       | 14, 15     | ( 14 ) |
| d) Regular     | 13         | ( )    |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | ( )    |

Siendo las... 18:50 ...horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

  
\_\_\_\_\_  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Vocal

## ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS .....	7
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	8
ÍNDICE DE FIGURAS .....	9
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS .....	10
ÍNDICE DE MAPAS .....	11
RESUMEN .....	10
ABSTRACT .....	11
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. OBJETIVOS .....	14
2.1. Objetivo principal .....	14
2.2. Objetivos específicos .....	14
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1. Tipo y diseño de investigación empleada.....	15
3.2. Materiales .....	15
3.2.1. Equipos .....	15
3.2.2. Material cartográfico .....	15
3.2.3. Programas .....	16
3.3. Metodología.....	17
3.3.1. Ubicación del área de estudio .....	17
3.3.2. Determinación de la cobertura vegetal .....	20
3.3.3. Determinación del caudal .....	24
IV. RESULTADOS .....	26
4.1. Determinación del cambio de cobertura vegetal de la microcuenca Amojú .....	26
4.1.1. Categorías identificadas de cobertura vegetal bajo la clasificación Corine Land Cover.....	9
4.1.2. Análisis de los cambios de cobertura y uso de suelo de la microcuenca Amojú ocurridos en los periodos 1998 – 2019 .....	32
4.1.3. Variación de la cobertura del bosque denso alto de los años 1998 – 2019 .....	43
4.2. Determinación del caudal.....	45
4.3. Análisis de la relación entre el cambio de cobertura vegetal y cantidad de agua en la microcuenca Amojú 1995 - 2019 .....	48
V. DISCUSIÓN.....	51
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	52

6.1. Conclusiones .....	52
6.2. Recomendaciones .....	52
AGRACEDIMIENTO .....	55
DEDICATORIA .....	56
ANEXOS .....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Programas utilizados .....	16
Tabla 2. Datos de las imágenes descargadas .....	20
Tabla 3. Valores obtenidos de la segmentación .....	22
Tabla 4. Categorías del uso actual de la tierra identificadas en la microcuenca Amojú ....	27
Tabla 5. Matriz de confusión año 1998 .....	33
Tabla 6. Categorías obtenidas para el año 1998 .....	36
Tabla 7. Matriz de confusión año 2019 .....	38
Tabla 8. Categorías obtenidas para el año 2019 .....	41
Tabla 9. Caudal promedio de los meses de Setiembre, Octubre y Noviembre del año 2019 .....	45
Tabla 10. Caudal promedio de los años 1995; 2008; 2019 .....	45
Tabla 11: Caudal medio 1995_2019.....	46
Tabla 15: Caudal usando el Método de Lutz Scholz .....	62
Tabla 16: Caudal medio interpolación con la precipitación. ....	63

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Distribución porcentual de cobertura año 1998 .....	36
Gráfico 2. Distribución porcentual de cobertura año 2019 .....	41
Gráfico 3. Variación de la cobertura del bosque denso alto 1998-2019 .....	43
Gráfico 4. Caudal medio 1995_2019. ....	46
Gráfico 5. Caudal medio prolongado 1995_2050 .....	48
Gráfico 6. Relación cobertura vegetal - caudal .....	48
Gráfico 7. Bosque denso alto en ha.....	49
Gráfico 8. Pérdida de bosque denso alto 1995_2019 .....	50
Gráfico 9. Bosque denso en ha.....	62
Gráfico 10. Caudal con el Método de Lutz Scholz. ....	63
Gráfico 11. Interpolación del caudal medio con la precipitación.....	64
Gráfico 12. Uso del suelo 1998 y 2019 en ha. ....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del proceso de clasificación para la representación categórica. ....	21
Figura 2. Medición en cuadrantes.....	25
Figura 3. caudal del año 2008.....	60

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Tejido urbano continuo de la microcuenca Amojú.....	27
Fotografía 2. Cultivos transitorios del Sector Linderos.....	28
Fotografía 3. Mosaico de cultivos, pastos y arenas naturales del centro poblado la Corona .....	29
Fotografía 4. Mosaico de cultivos, pastos y áreas naturales del centro poblado la Virginia .....	29
Fotografía 5. Bosque abierto bajo de la provincia de Jaén.....	30
Fotografía 6. Vegetación arbustiva/ herbácea, caserío Pushura Alta. ....	31
Fotografía 7. Tierras desnudas del centro poblado Loma Santa.....	32
Fotografía 8. Medición del área de transversal. Del río. ....	57
Fotografía 9. Medición de la velocidad del agua con correntómetro. ....	57
Fotografía 10: toma de fotografías del bosque seco/ bosque abierto bajo.....	68
Fotografía 11: Mirador de la ciudad de Jaén. ....	68

## ÍNDICE DE MAPAS

Mapa N° 1. Ubicación del área de estudio .....	18
Mapa N° 2. Hidrografía del área de estudio .....	19
Mapa N° 3. Cobertura y uso de suelo año 1998 .....	37
Mapa N° 4. Cobertura y uso de suelo año 2019 .....	42
Mapa N° 5. Comparación del bosque denso alto 1998-2019 .....	44
Mapa N° 6. Cambio y no cambio del área del bosque denso alto, periodo 1998 – 2019....	65

## ANEXOS

Anexo 1. Leyenda Corine Land Cover adaptada para Perú .....	58
Anexo 2. Información Recolectada. ....	60
Anexo 3. Interpolación del caudal ideal y precipitación .....	63
Anexo 4. Comparación del uso de suelo .....	64
Anexo 5. Imágenes fotográficas .....	57

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general analizar la relación entre el cambio de cobertura vegetal y la cantidad de agua 1995\_2019 en la microcuenca Amojú–Jaén. Para determinar la variación de cobertura vegetal a través de imágenes satelitales LANDSAT, se utilizó la clasificación supervisada de los diferentes tipos de coberturas a través del Sistema de Clasificación CORINE LAND COVER (CLC). Evaluando en el Nivel III se identificaron siete categorías: tejido urbano continuo (111), cultivos transitorios (211), mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (243), bosque denso alto (313), bosque abierto bajo (312), vegetación arbustiva/ herbácea (334), y tierras desnudas (343). Para determinar la variación del caudal se utilizó los datos de los caudales recolectados (1995) y los datos obtenidos por medición propia a través el método del correntómetro (2019). Los resultados obtenidos indican una disminución de 2638.64 ha del área cubierta por bosque denso alto y una disminución del caudal de 1.50032 m<sup>3</sup>/s. Finalmente se concluyó que el cambio de cobertura vegetal analizada influyó significativamente en la variación del caudal de la microcuenca Amojú, estimándose la relación promedio de Caudal / Bosque 1:1646.582 y Bosque / Caudal. 1:0.00061

**Palabras claves:** cobertura vegetal, imágenes satelitales, clasificación supervisada, Corine Land Cover (CLC), caudal.

## ABSTRACT

This research work has as general goal to analyze the relationship between the change vegetation coverage and the amount of water 1995 2019 in the micro basin Amojú–Jaén. For determine the variation of vegetation coverage through LANDSAT satellite imagery, was used the supervised classification of the different types of coverages through the Classification System CORINE LAND COVER (CLC). Evaluating at Level III, seven categories were identified, continuous urban fabric (111), transient crops (211), crop mosaic, pastures and natural spaces (243), high dense forest (313), low open forest (312), vegetation shrub / herbaceous (334), and bare lands (343). To determine the variation of the water flow, the data of the water flows collected was used (1995) and the data obtained by own measurement through the method of the correntometer (2019). The results obtained indicate a decrease of 2638.64 ha of the area covered by high dense forest and a decrease of the flow of 1.50032 m<sup>3</sup> / s. Finally, it concluded that the change in vegetation coverage analyzed significantly influenced the variation water flow of the Amojú micro basin, estimating the average ratio Flow / Forest 1: 1646.582 and Forest / Flow 1: 0.00061.

**Keywords:** vegetation coverage, satellite images, supervised classification, Corine Land Cover (CLC), water flow.

## I. INTRODUCCIÓN

Prado y Bernal (2015), Desarrollaron su investigación con el propósito de analizar las coberturas vegetales de la cuenca de la quebrada granadillo, mediante interpretación de fotografías aéreas con el fin de verificar su influencia en la generación de caudales. Concluyendo que las variaciones de cobertura vegetal en una cuenca, tienen un impacto considerable en la generación de caudales.

De Coss (2017), realizó un estudio para conocer y determinar los impactos que tiene la cobertura vegetal, sobre el balance hídrico, el cual se basó en la elaboración de mapas de uso de suelo y vegetación (USV) para ambos años y a través de cálculos del balance hídrico. Se obtuvo como resultado que la distribución espacial del balance hídrico cambió sustancialmente por la pérdida de vegetación, aumentando la escorrentía superficial, disminuyendo la infiltración y aportación de agua al acuífero, respecto a la precipitación.

Klisman (2017), determinó que los cambios en la cobertura vegetal de la provincia de Yauyos durante el periodo 1997-2017, se han dado de manera negativa debido a que se pudo evidenciar las áreas de pérdidas de cobertura vegetal, debido a la influencia de factores físicos externos como variabilidad meteorológica y cambios de uso del suelo.

Oblitas (2017), identificó el cambio de cobertura del Bosque Tropical Estacionalmente Seco de la Cuenca Amojú, Utilizando Imágenes Satelitales, el cual se basó en un análisis de indicadores complementarios de vegetación y topográficos. Se obtuvo como resultado que el área total de la cuenca Amojú es de 42 733.2656 hectáreas, en la cual se identificaron 3 clases de cobertura y uso de la tierra según la metodología de CLC para el BTES; bosque abierto bajo 4561.782 ha (10.68 %), arbustal 324.7954 ha (0.76 %) y vegetación arbustiva / herbácea 11 679.3469 ha (27.33 %). La deforestación es de 179.3956 ha/año, sin medidas que aporten a la conservación y sin un manejo sostenible el cual podrían ocasionar sucesos tales como erosión, deslizamientos, inundación al dejar desprotegidos estos suelos, e incluso una disminución en el caudal de los ríos.

Solano (2019) determinó la disponibilidad hídrica de la cuenca del Rio Amojú aplicando el modelo Determinístico – Estocástico De Lutz Scholz. En la primera fase de la investigación determino los parámetros físicos y geomorfológicos de la cuenca, en la segunda fase de la investigación se determinó la precipitación media mensual y se calculó la evapotranspiración

mensual de la cuenca, en la tercera y última fase se aplicó el modelo determinístico - Estocástico para determinar la disponibilidad de la cuenca en caudales mensuales.

El cambio de cobertura vegetal, es un problema que durante las últimas décadas ha ido intensificándose en la microcuenca Amojú, causada directamente por la acción del hombre sobre la naturaleza, debido a las talas realizadas por la extracción selectiva de madera, así como para la habilitación de suelo para cultivos agrícolas. Este problema puede traer consigo la disminución de la cantidad del recurso hídrico.

El recurso hídrico, es la fuente para el desarrollo productivo acorde al concepto de sustentabilidad, mediante la aplicación de sistemas productivos eficientes rentables, mejorando los ingresos de las comunidades, la calidad alimentaria y el equilibrio con el ambiente. Por lo cual es necesario determinar si el cambio de cobertura vegetal influye de forma permanente el equilibrio del ecosistema y en particular la disminución del recurso hídrico. (Peña, 2016)

Este tipo de trabajo nos va a permitir analizar la relación que existe entre el cambio de cobertura vegetal y la cantidad de agua en la microcuenca Amojú, a través de la obtención de datos, imágenes satelitales y observación directa

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo principal**

Analizar la Relación entre el cambio de cobertura vegetal y la cantidad de agua 1995 - 2019 en la microcuenca Amojú – Jaén.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Determinar la variación de la cobertura vegetal de microcuenca Amojú utilizando imágenes satelitales y observación directa.
- Determinar la variación de caudal del Río Amojú entre 1995-2019

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación empleada**

Por la naturaleza de los objetivos planteados y la metodología propuesta y desarrollada, la investigación es del tipo aplicada con un nivel de investigación estadístico, descriptivo y correlacional y un diseño de investigación campo y gabinete (no experimental).

#### **3.2. Materiales**

##### **3.2.1. Equipos**

- Computadora LENOVO™ ideapad 510 Core i5, memoria RAM 12.0 GB.
- Correntómetro GLOBAL WATER, modelo FP211.
- Cámara fotográfica SONY, zoom de 20x y un sensor Exmor® R CMOS.

##### **3.2.2. Material cartográfico**

- Imágenes satelitales - landsat
- Carta nacional del Perú 1: 100 000, capa (polígono) de los distritos obtenido del gobierno regional de Cajamarca, Base de datos ZEE Cajamarca.
- Datos del caudal del Río Amojú de los años 1995 y 2008, obtenido de la Autoridad Nacional del Agua.

### 3.2.3. Programas

Tabla 1. Programas utilizados

SOFTWARE	DESCRIPCIÓN
<b>Google Earth Pro</b>	El programa fue creado bajo el nombre de EarthViewer 3D por la compañía Keyhole Inc. En la actualidad nos permite realizar descargas de imágenes satelitales en versiones gratuitas.
<b>R</b>	Es un proyecto de software libre de GNU que por una parte es un lenguaje de programación y por otra un entorno de trabajo, estando ambos orientados al cálculo estadístico y a la generación de gráficas.
<b>Programas De Procesamiento SIG</b>	softwares que visualicen, analicen, y presenten imágenes digitales, como de análisis de imágenes, clasificación multiespectral, para aplicar diversos tipos de filtros, georreferenciación de imágenes, transformación a componentes principales, cocientes de bandas y estadísticas de imagen, así como cargar con facilidad datos espaciales para ser mostrados en forma de mapas, tablas y gráficos.

Fuente: Elaboración propia.

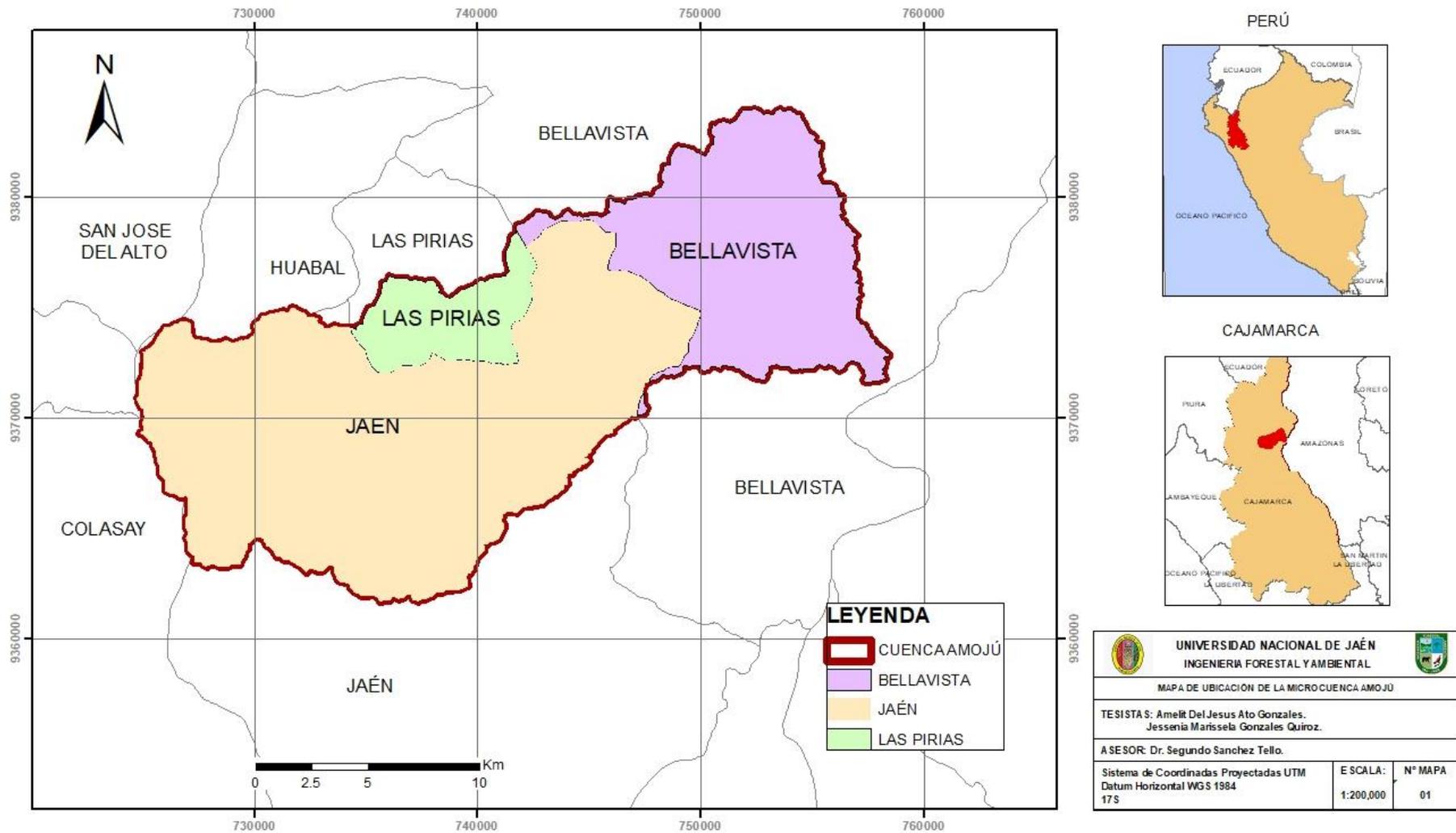
### **3.3. Metodología**

Para el proyecto denominado “Análisis de la relación entre el cambio de cobertura vegetal y la cantidad de agua 1995 - 2019 en la Microcuenca Amojú - Jaén”, los datos de caudal de los años 1995 y 2008 se obtuvieron del ANA (Autoridad Nacional del Agua) y del 2019 se obtuvo por medición propia mediante el método del correntómetro. Para la determinación de la variación de la cobertura vegetal de los años 1998 y 2019, se adquirió imágenes satelitales de landsat 5 y landsat 8, luego se trabajó en cinco etapas de clasificación como se describe en el esquema número uno (1), la clasificación se realizó con la leyenda Corine Land Cover-CLC en un nivel III, desarrollado por el Ministerio del Ambiente (MINAN, 2012)

Para la generación de los mapas temáticos de cobertura vegetal, se utilizó la metodología del Ministerio del Ambiente (MINAN, 2012)

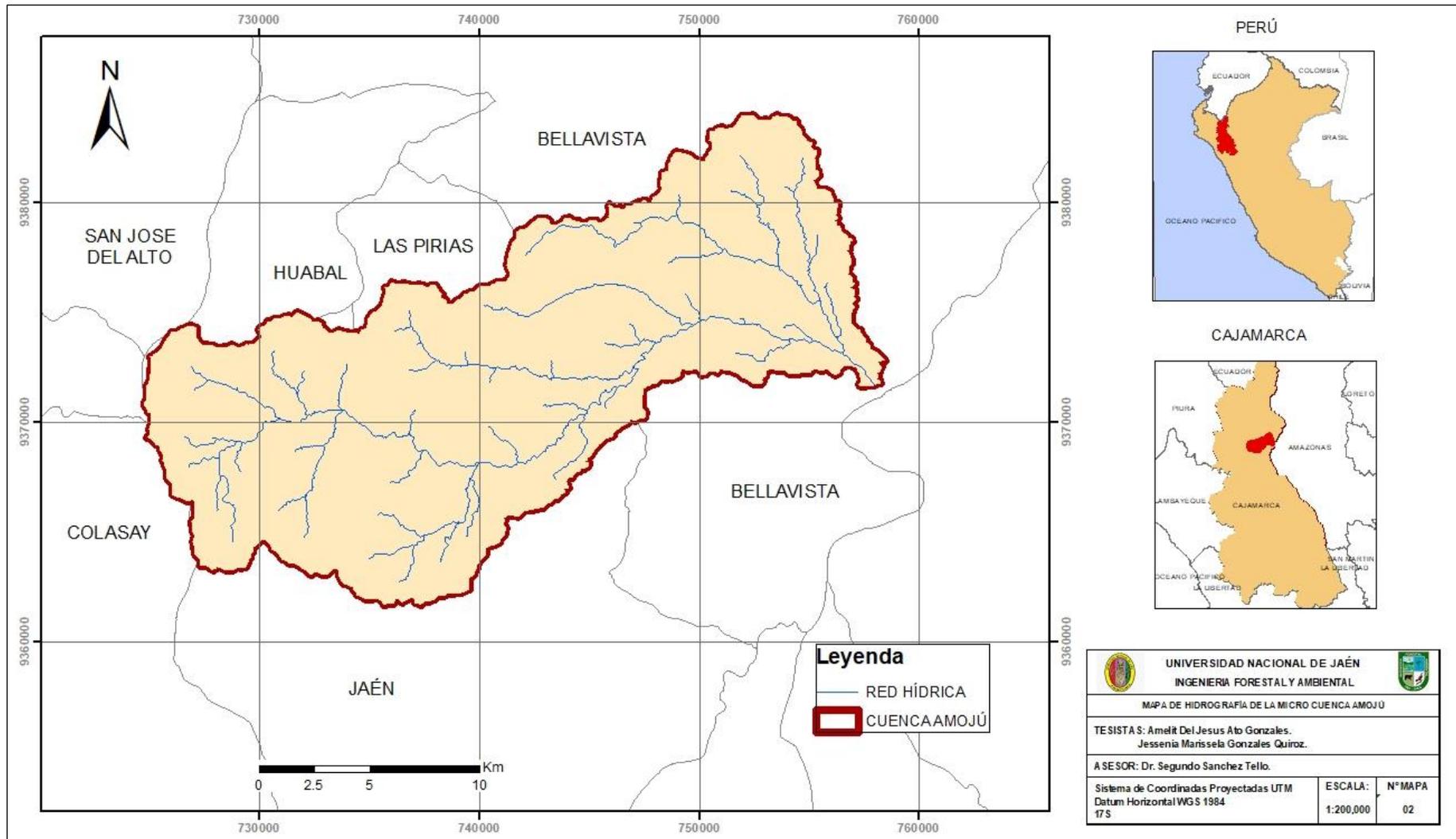
#### **3.3.1. Ubicación del área de estudio**

La microcuenca Amojú, según (Oblitas, 2017) se encuentra en los distritos de Jaén, Bellavista y las Pirias, de la provincia de Jaén, departamento Cajamarca con una extensión de 427.33 km<sup>2</sup>. El distrito de Jaén Limita por el norte con los distritos de Huabal, Las Pirias, por el sureste y sur con la provincia de Cutervo, separada por los ríos Huancabamba y Chamaya, por el oeste con los distritos de Colasay y Chontalí, por el noroeste con el distrito de San José del Alto y al noreste el distrito de Bellavista. Su capital la ciudad de Jaén está situada a 5°42' Latitud Sur y 78°42' Longitud Oeste, con una elevación de 729 msnm. (Mapa N° 1)



Mapa N° 1. Ubicación del área de estudio

Fuente: Elaboración propia.



Mapa N° 2. Hidrografía del área de estudio

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.2. Determinación de la cobertura vegetal

La cobertura vegetal de los años 1998 y 2019 se determinó en tres fases. Fase inicial de gabinete, fase de campo y fase final de gabinete.

#### a. Fase inicial de gabinete

- **Obtención de imágenes landsat**

La información utilizada para determinar la cobertura vegetal de la microcuenca Amojú corresponde a imágenes de satélite Landsat que se han obtenido de la página <http://earhtexplorer.usgs.gov/>, del cual se adquirió un total de 2 imágenes (1 imagen Landsat 5 de 1998 y una imagen Landsat 8 de 2019), teniendo en cuenta la menor nubosidad posible, puesto que reduce la información del lugar.

Tabla 2. Datos de las imágenes descargadas

ID	Satélite	Bandas	Año	Fecha
LT05_L1TP_009064_19981128_20161222_01_T1	Landsat5	7	1998	28/11/1998
LC08_L1TP_009064_20190905_20181211_01_T1	Landsat8	11	2019	05/09/2019

Fuente: Elaboración propia.

- **Clasificación de la representación categórica**

Para el proceso de clasificación de la representación categórica se realizó en 5 etapas como se muestra en la Figura 1.

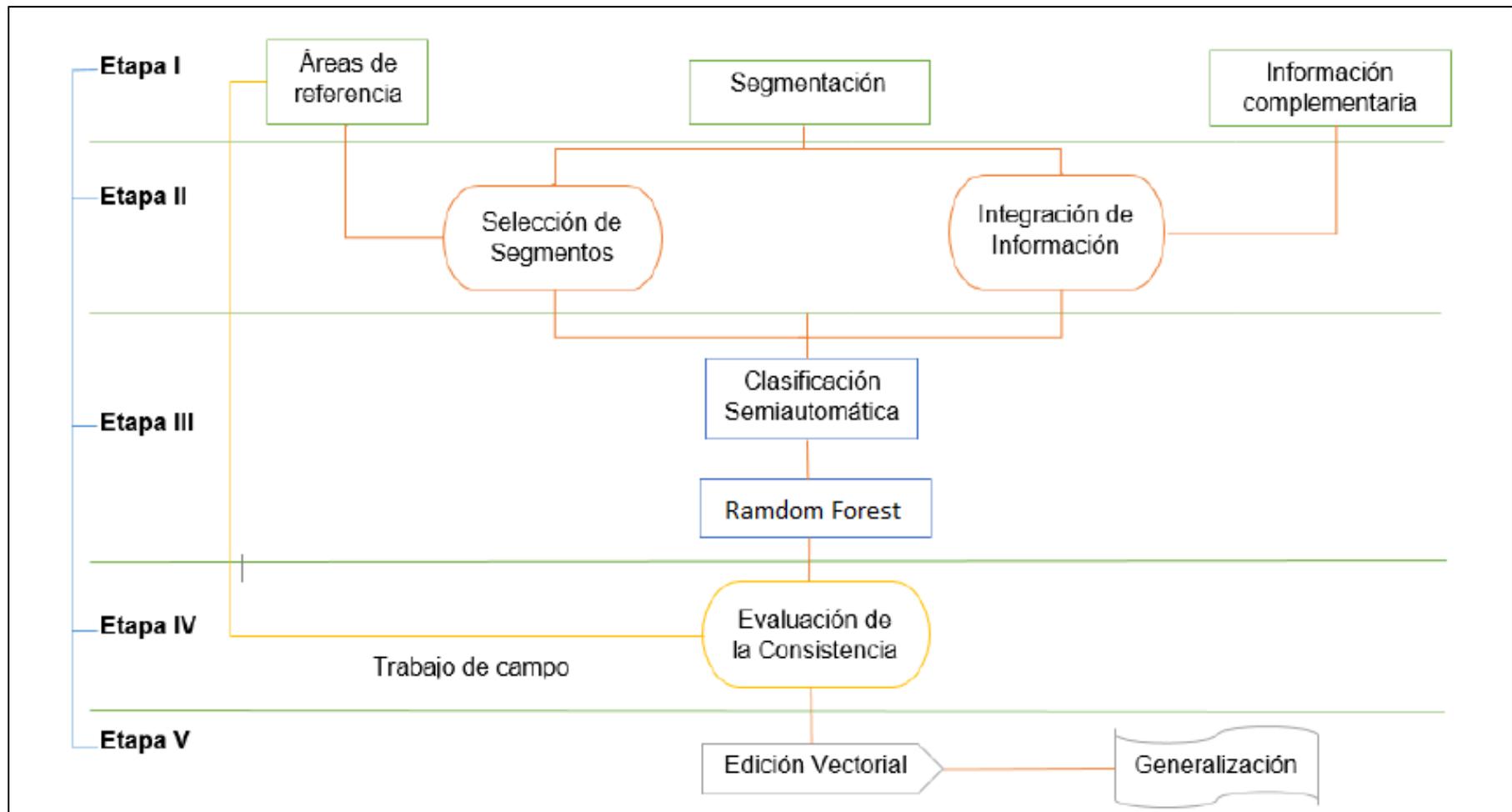


Figura 1. Esquema del proceso de clasificación para la representación categórica.

## - Etapa I

### **Proyección**

Se proyectó las imágenes satelitales LANDSAT 5 y LANDSAT 8, de Zona 17n a Zona 17s.

### **Áreas de referencia**

Se delimito el área de trabajo cortando las imágenes satelitales LANDSAT 5 y LANDSAT, utilizando un polígono de forma geométrica (rectángulo), que contiene el límite de la cuenca y se guardó todas las bandas de cada imagen en un solo archivo raster.

### **Segmentación**

El archivo raster anterior, se dividió en segmentos por medio de una agrupación de pixeles vecinos cuyas características (brillo, textura, verdor) tienen valores similares, se consideró el parámetro de Scale (Escala), el cual se utiliza para segmentar las imágenes, variando entre un rango de 0 y 100 (valores bajos genera más segmentos y valores altos genera menos segmentos) y el parámetro Merge(Unir), utilizado para integrar segmentos muy pequeños a segmentos más grandes.

*Tabla 3. Valores obtenidos de la segmentación*

<b>Segmentación</b>	<b>Landsat5-1998</b>	<b>Landsat8-2019</b>
<b>Scale</b>	30	30
<b>Merge</b>	40	40

Fuente: Elaboración propia.

### **Información complementaria**

A partir del archivo raster, se obtuvo el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Tasseled Cap (diseñada para analizar y representar cambios de vegetación y de desarrollo urbano detectados por diversos sistemas de sensor de satélite) incluyendo el Brightness (brillo) y Greenness (verdor).

Con el raster Modelo de Elevación Digital (DEM), se obtuvo las características topográficas (topographic features), incluyendo la curvatura máxima, la curvatura mínima y la pendiente (slope).

## - **Etapa II**

### **Selección de segmentos (áreas de entrenamiento)**

Se creó una capa de polígonos, diferenciando los tipos de coberturas, existentes en la micro cuenca, esto se hizo reconociendo los segmentos consistentes y homogéneos de manera supervisada. utilizando el ModelBuilder (*Herramienta SIG*), generalizamos la selección de segmentos, proceso mediante el cual se selecciona los segmentos intersectado con las áreas de entrenamiento (capa de polígonos) haciendo una interrelación entre ambos, para luego ser utilizada en el proceso de clasificación semi automatizada.

### **Integración de información**

Consistió en unir la información obtenida del raster DEM (características topográficas como curvatura máxima, curvatura mínima y la pendiente (slope) y del archivo raster (proveniente de la imagen satelital elaborada el área de referencia), como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Tasseled Cap, esta unión se obtuvo con el software R, generando información que se utilizará en la siguiente etapa.

## - **Etapa III**

En la etapa III se realizó la **Clasificación semi automatizada** obtenida con el software R. procesando la información obtenida de la integración de información (el proceso anterior) y el archivo obtenido en el proceso de ModelBuilder, en donde se genera un mapa preliminar de las 7 clasificaciones de coberturas en formato ráster .

### **Fase de campo**

## - **Etapa IV**

Se realizó la **Evaluación de la consistencia** para validar y constatar los mapas obtenidos en la fase inicial, correcciones necesarias de los mapas y las imágenes satelitales con distribución de puntos GPS al azar y anotaciones sobre los tipos de vegetación más importantes, altitud, y datos referentes al uso actual de la tierra como cultivos, herbazales, arbustales, bosque, etc.

## **b. Fase final de gabinete**

### **- Etapa V**

Esta conformada por la **Edición vectorial** que determina si la cuenca esta bien segmentada y la **Generalización** que se ha desarrollado luego de haber validado en campo los mapas obtenidos utilizando como simbología una tonalidad de color para cada uno de los tipos de cobertura.

### **3.3.3. Determinación del caudal**

El caudal del año 2019 se determinó mediante el método del correntómetro. Los datos se tomaron en un solo punto de la microcuenca Amojú: cerca al puente la corona.

#### **a. Método del correntómetro**

Con este método se mide la velocidad del agua por medio de un instrumento llamado correntómetro que mide la velocidad de desplazamientos de la masa de agua en un tramo determinado.

- **Primer paso: Selección del lugar adecuado**

Se seleccionó un tramo uniforme, sin piedras grandes, en el que el agua fluya libremente.

- **Segundo paso: Medición del área de la sección transversal**

Se midió el ancho del tramo seleccionado, luego dicha distancia se dividió en partes iguales y se midió la profundidad en cada punto.

- **Tercer paso: medición de la velocidad**

Por medio del instrumento “correntómetro” se midió la velocidad en el punto medio de cada una de las partes en que se dividió el ancho, como se ve en la figura 2.

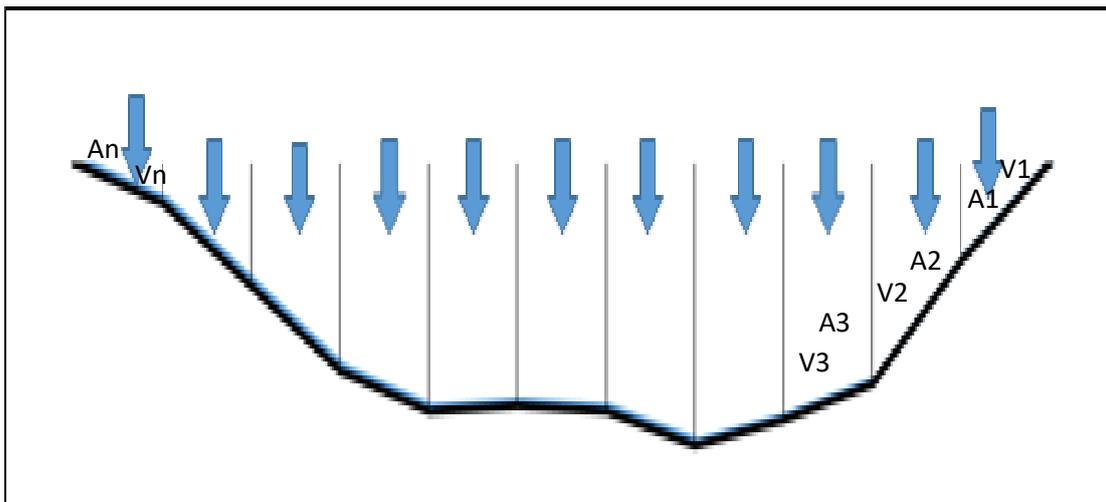


Figura 2. Medición en cuadrantes

• **Cuarto paso: Cálculo del caudal del río**

Se calculó con la siguiente ecuación:

$$Q = (A1 * V1) + (A2 * V2) + (A3 * V3) \dots \dots (An * Vn)$$

Donde:

Q: caudal

A: área

V: velocidad

- Se calculó el área de la siguiente manera:

$$A1 = \frac{D * h2}{2}$$

$$A2 = \frac{(h2 + h3)}{2} * D$$

$$A3 = \frac{(h3 + h4)}{2} * D$$

Donde:

D: medida del ancho del tramo seleccionado

h: altura o profundidad de cada punto.

- La velocidad se obtuvo de la medición con correntómetro.

## **IV. RESULTADOS**

### **4.1. Determinación del cambio de cobertura vegetal de la microcuenca Amojú**

#### **4.1.1. Categorías identificadas de cobertura vegetal bajo la clasificación Corine Land Cover**

La presente investigación se realizó en un área total de 35 372.90 hectáreas que abarca la microcuenca Amojú, al cual actualmente está siendo intervenida por las diversas actividades agrícolas y agropecuarias que se practican, siendo en la parte alta el cultivo de café y la ganadería las que predominan y en la parte baja el cultivo de arroz. La variación de la cobertura vegetal, se debe fundamentalmente a estas actividades, ya que ocasionan principalmente la pérdida de áreas boscosas de la microcuenca.

Después de realizar el análisis de las 2 imágenes satelitales utilizadas para la investigación, se obtuvieron 7 categorías de clasificación de cobertura y uso de la tierra (tejido urbano continuo, cultivos transitorios, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, bosque denso alto, bosque abierto bajo, vegetación arbustiva/ herbácea, tierras desnudas), las cuales han sido clasificadas en el Nivel III de Corine Land Cover adaptada para Perú. A partir de las categorías encontradas se realizó un análisis cuantitativo y cualitativo (análisis multi-temporal) en la microcuenca Amojú. En la tabla 4 se muestra las categorías obtenidas de la clasificación:

Tabla 4. Categorías del uso actual de la tierra identificadas en la microcuenca Amojú

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	PATRON
<b>1. Áreas artificializadas</b>	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	
<b>2. Áreas agrícolas</b>	2.1. Cultivos transitorios	2.1.1. Cultivos transitorios.	
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.3. Mosaico de Cultivos, pastos y espacios naturales	
<b>3. Bosque y áreas mayormente naturales</b>	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque abierto Bajo	
		3.1.3. Bosque denso alto	
	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.4. Vegetación arbustiva/ herbácea	
	3.4. Áreas sin o con poco vegetación	3.4.3. Tierras desnudas	

Fuente: Elaboración propia.

#### a. Tejido urbano continuo

Son espacios conformados por edificaciones, áreas verdes en una baja proporción y por redes de comunicación asociadas con ellas. (Fotografía N° 1)



Fotografía 1. Tejido urbano continuo de la microcuenca Amojú

## **b. Cultivos transitorios**

Son aquellos cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año; es decir que después de la cosecha es necesario volver a sembrar para seguir produciendo, por ejemplo, tubérculos, leguminosas, cereales y algunas hortalizas.

En el área de estudio se encuentran los siguientes cultivos: cultivo de maíz (*Zea mays*) y arroz (*Oryza sativa*) en su mayoría. (fotografía N° 2)



*Fotografía 2. Cultivos transitorios del Sector Linderos*

## **c. Mosaico de cultivos, pastos y áreas naturales**

Son aquellas superficies ocupadas por cultivos y pastos en combinación con coberturas naturales. Las áreas de cultivos y pastos ocupan entre el 30 % y el 70 % de la superficie total de la unidad. Los espacios naturales están conformados por las áreas ocupadas por relictos de bosque natural, arbustales, bosque de galería o riparios, vegetación secundaria o en transición, pantanos u otras áreas no intervenidas o poco transformadas, que, debido a limitaciones de uso, o por sus características biofísicas permanecen en estado natural o casi natural. (fotografía N° 3 y 4)



*Fotografía 3. Mosaico de cultivos, pastos y arenas naturales del centro poblado la Corona*



*Fotografía 4. Mosaico de cultivos, pastos y áreas naturales del centro poblado la Virginia*

#### **d. Bosque abierto bajo**

Es aquella superficie constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo, con altura del dosel superior a cinco metros e inferior a 15 metros.

En esta categoría se encuentran los bosques secos que rodean la ciudad de Jaén, con la presencia de árboles como el tunsho (*Ceiba pentandra*), guayacán (*Tabebuia billberg*), iguaguana (*Cordia iguaguana*), catahua (*Hura crepitans*), faique (*Acacia macracantha*), frejolillo (*Cojoba arbórea*), etc. (Fotografía N° 5)



*Fotografía 5. Bosque abierto bajo de la provincia de Jaén*

#### **e. Bosque denso alto**

Constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbóreos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) más o menos continuo, y que en promedio presentan una altura del dosel superior a los 15 metros.

En esta categoría de bosque denso alto se han reportado especies como cedro (*Cedrela odorata*), romerillo rojo (*Prumnopitys harsmsiana*), romerillo blanco (*Nageia rospigliosii*), higuérón (*Ficus caspiensis*), etc. (fotografía N° 6)



Fotografía N° 6: Bosque Huamantanga

**f. Vegetación arbustiva /herbácea**

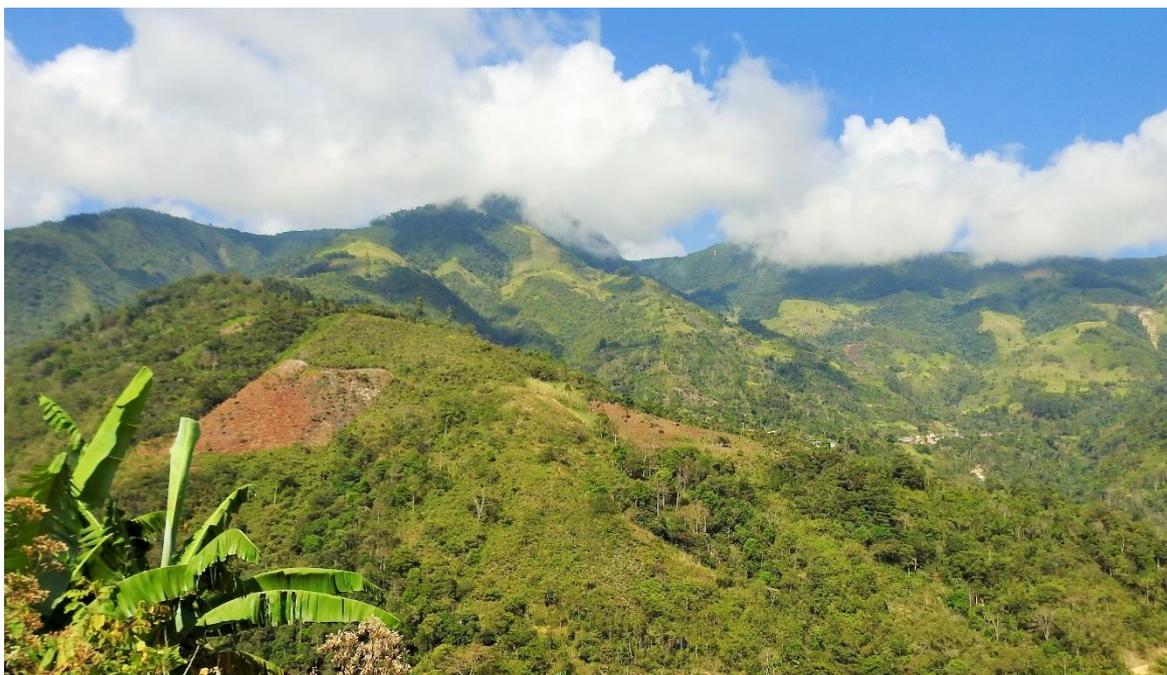
Son aquellos territorios cubiertos por una mezcla de vegetación arbustiva y herbácea, desarrolladas en forma natural en diferentes densidades y sustratos. (Fotografía N° 7)



*Fotografía 6. Vegetación arbustiva/ herbácea, caserío Pushura Alta.*

**g. Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)**

Corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema y/o condiciones climáticas extremas. (fotografía N° 8)



*Fotografía 7. Tierras desnudas del centro poblado Loma Santa*

**4.1.2. Análisis de los cambios de cobertura y uso de suelo de la microcuenca Amojú ocurridos en los periodos 1998 – 2019**

De las imágenes de satélite procesadas, se obtuvieron los mapas de distribución espacial, de cada clase de cobertura vegetal y uso de suelo, de los años 1998 - 2019, como se describe a continuación:

**a. Cobertura y uso de suelo para el año 1998**

• **Matriz de confusión**

Para obtener la fiabilidad del productor y la fiabilidad del usuario, se generó la siguiente matriz de confusión para el año 1998:

Tabla 5. Matriz de confusión año 1998

CATEGORIAS ASIGNADAS EN LA IMAGEN SATELITAL LANDSAT 5										
RESULTADOS DE LA CLASIFICACIÓN	CATEGORIAS	111	211	243	312	313	334	343	TOTAL	F. PRODUCTOR (Esperados) %
	111	35	2	0	0	0	0	0	37	94.59
	211	1	13	0	0	0	0	1	15	86.67
	243	0	0	25	0	0	0	0	25	100.00
	312	0	0	0	15	0	0	0	15	100.00
	313	0	0	0	0	92	0	0	92	100.00
	334	0	0	0	0	0	15	0	15	100.00
	343	0	1	0	0	0	0	9	10	90.00
	TOTAL	36	16	25	15	92	15	10	209	F. Global 97.6
	F.USUARIO (Observados)%	97.22	81.25	100	100	100	100	90		

Fuente: Elaboración propia.

- **En las filas se muestra la fiabilidad de las áreas de entrenamiento digitalizadas por el usuario:**

En la tercera fila (categoría 111) se digitalizaron 35 áreas de entrenamiento que pertenecen a tejido urbano continuo, de las cuales 2 fueron confundidas con la cuarta columna (211) de cultivos transitorios, dando como resultado un equivalente a una fiabilidad del usuario de 94.59%.

En la cuarta fila (categoría 211) se digitalizaron 13 áreas de entrenamiento que pertenecen a cultivos transitorios, de las cuales 1 fue confundida con la tercera columna (111) de tejido urbano continuo y 1 con la novena columna (343) de tierras desnudas, dando como resultado un equivalente a una fiabilidad del usuario de 86.67%.

En la quinta fila (categoría 243) se digitalizaron 25 áreas de entrenamiento que pertenecen a mosaicos de cultivos, pastos y áreas naturales, de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la sexta fila (categoría 312) se digitalizaron 15 áreas de entrenamiento que pertenecen a bosque abierto bajo, de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la séptima fila (categoría 313) se digitalizaron 92 áreas de entrenamiento que pertenecen a bosque denso alto, de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la octava fila (categoría 334) se digitalizaron 15 áreas de entrenamiento que pertenecen a bosque denso alto, de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la novena fila (categoría 343) se digitalizaron 9 áreas de entrenamiento que pertenecen a tierras desnudas, de las cuales 1 fue confundida con la cuarta columna (211) de cultivos transitorios, dando como resultado un equivalente a una fiabilidad del usuario de 90%.

- **En la columna se muestra el acierto de la clasificación en el terreno por categoría:**

En la tercera columna (categoría 111) se digitalizaron 35 áreas de entrenamiento que pertenecen a tejido urbano continuo, de las cuales 2 fueron confundidas con la cuarta fila (211) de cultivos transitorios, dando como resultado un equivalente a una fiabilidad del usuario de 97.22%.

En la cuarta columna (categoría 211) se digitalizaron 13 áreas de entrenamiento que pertenecen a cultivos transitorios, de las cuales 1 fue confundida con la tercera fila (111) de tejido urbano continuo y 1 con la novena columna (343) de tierras desnudas, dando como resultado un equivalente a una fiabilidad del usuario de 81.25%.

En la quinta columna (categoría 243) se digitalizaron 25 áreas de entrenamiento que pertenecen a mosaicos de cultivos, pastos y áreas naturales, de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la sexta columna (categoría 312) se digitalizaron 15 áreas de entrenamiento que pertenecen a bosque abierto bajo, de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la séptima columna (categoría 313) se digitalizaron 92 áreas de entrenamiento que pertenecen a bosque denso alto, de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la octava columna (categoría 334) se digitalizaron 15 áreas de entrenamiento que pertenecen a bosque denso alto, de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la novena columna (categoría 343) se digitalizaron 9 áreas de entrenamiento que pertenecen a tierras desnudas, de las cuales 1 fue confundida con la cuarta fila (211) de cultivos transitorios, dando como resultado un equivalente a una fiabilidad del usuario de 90%.

- **Índice Kappa**

- **Cálculo del Índice Kappa para el año 1998**

$$P_o = \frac{35 + 13 + 25 + 15 + 92 + 15 + 9}{209} = 0.976$$

$$P_e = \frac{(36 * 37) + (16 * 15) + (25 * 25) + (15 * 15) + (92 * 92) + (15 * 15) + (10 * 10)}{(209 * 209)}$$

$$P_e = 0.257$$

$$K = \frac{0.976 - 0.257}{1 - 0.257} = 0.97$$

Se obtuvo como resultado del cálculo de Índice Kappa 0.97 que según la fuerza de concordancia es casi perfecto.

- **Porcentaje correctamente clasificado**

El porcentaje correctamente clasificado para el año 1998 es de 97.6 %

- **Categorías encontradas en el año 1998**

Las principales categorías de cobertura vegetal encontrados en 1998 (Tabla 6) fueron:

Tabla 6. Categorías obtenidas para el año 1998

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	PATRON	HA	%
<b>1. Áreas artificializadas</b>	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo		428.486203	1.21134044
<b>2. Áreas agrícolas</b>	2.1. Cultivos transitorios	2.1.1. Cultivos transitorios.		3672.81572	10.3831353
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.3. Mosaico de Cultivos, pastos y espacios naturales		10960.11	30.9844854
<b>3. Bosque y áreas mayormente naturales</b>	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque abierto Bajo		11803.6281	33.3691306
		3.1.3. Bosque denso alto		5368.26853	15.1762198
	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.4. Vegetación arbustiva/ herbácea		1728.10585	4.88539536
	3.4. Áreas sin o con poco vegetación	3.4.3. Tierras desnudas		1411.48228	3.99029318
<b>TOTAL</b>				35372.90	100.00

Fuente: Elaboración propia.

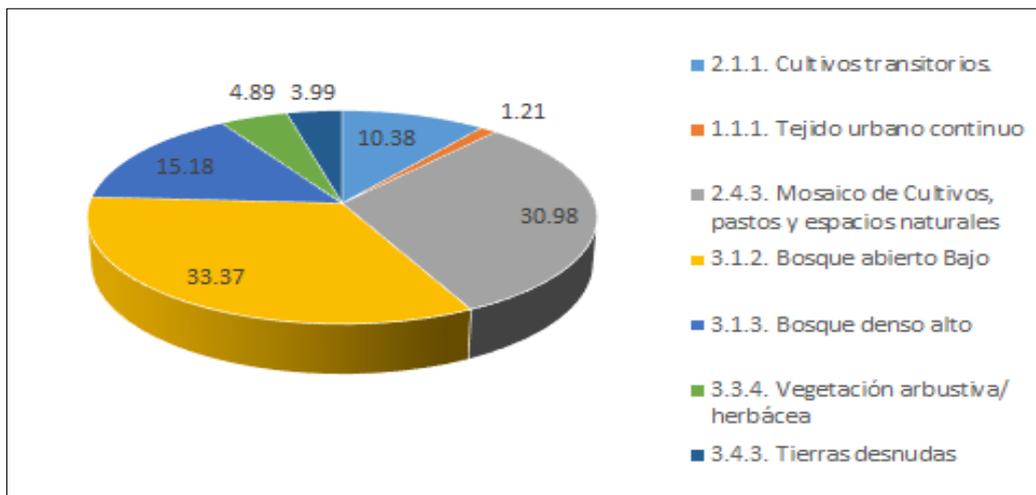
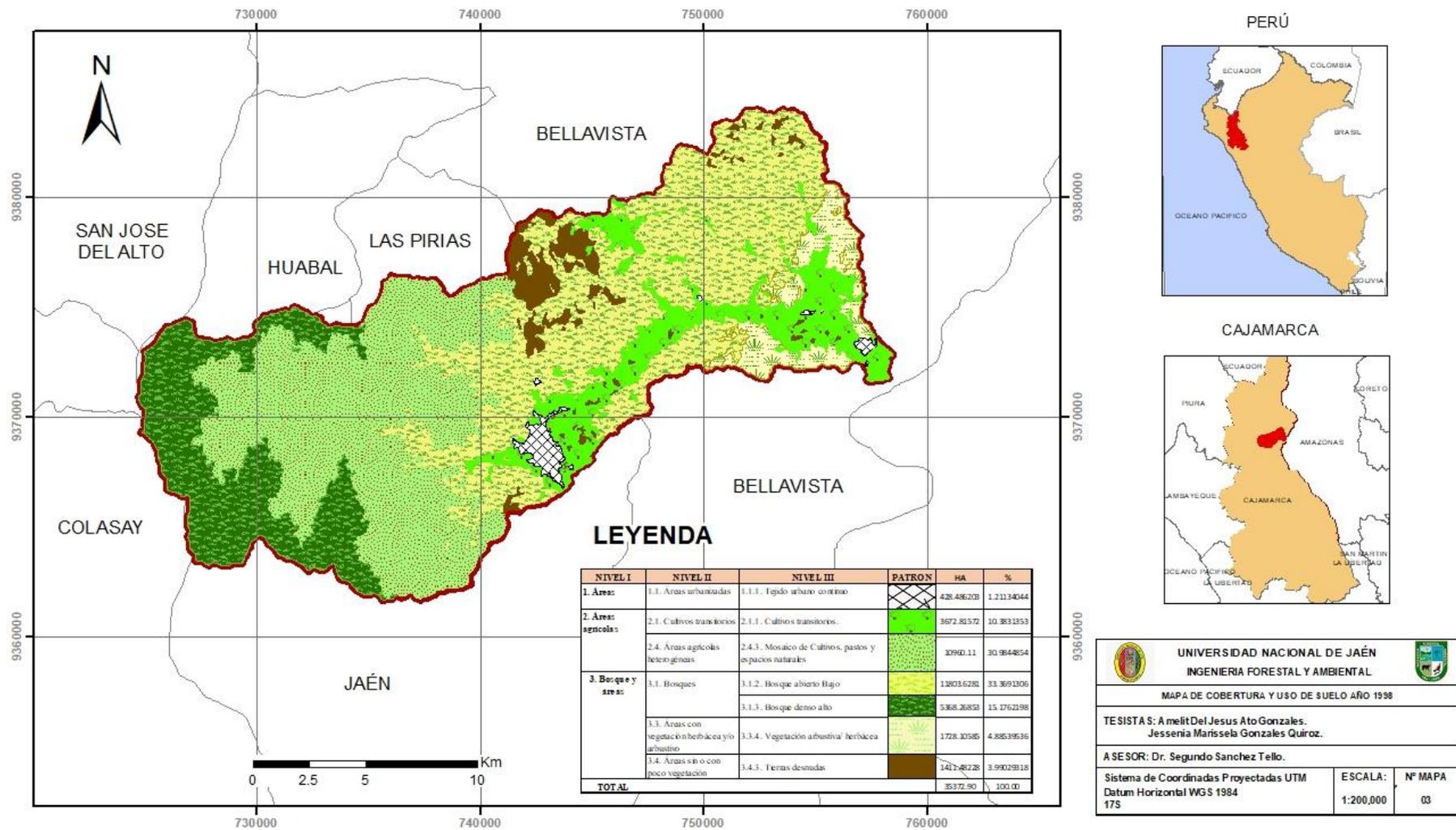


Gráfico 1. Distribución porcentual de cobertura año 1998

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 1, se aprecia que el tipo de cobertura que predomina en la microcuenca Amojú es el bosque abierto bajo (312) abarcando el 33.37%, seguido se encuentra el mosaico de cultivos, pastos y áreas naturales (243) con un 30.98%, luego el bosque denso alto (313) abarcando el 15.18%, seguido con el 10.38% están los cultivos transitorios (211) y las tres categorías que menos predominan son: Vegetación arbustiva/herbácea con el 4.89%, tierras desnudas con el 3.99% y por último el tejido urbano continuo abarcando un 1.21%.



Mapa N° 3. Cobertura y uso de suelo año 1998

Fuente: Elaboración propia

## b. Cobertura y uso de suelo para el año 2019

- **Matriz de confusión**

Para obtener la fiabilidad del productor y la fiabilidad del usuario, se generó la siguiente matriz de confusión para el año 2019:

Tabla 7. Matriz de confusión año 2019

CATEGORIA ASIGNADAS EN LA IMAGEN SATELITAL LANDSAT 8										
RESULTADOS DE CLASIFICACIÓN	CATEGORIAS	111	21	243	312	313	334	343	TOTAL	F.PRODUCTOR (Esperados)%
	111	15	0	0	0	0	0	0	15	100.0
	21	0	175	0	0	0	0	0	175	100.0
	243	0	0	639	0	3	0	0	642	99.5
	312	0	0	0	15	0	0	0	15	100.0
	313	0	0	0	0	82	0	0	82	100.0
	334	0	1	0	0	0	19	0	20	95.0
	343	0	2	4	0	0	0	9	15	60.0
	TOTAL	15	178	643	15	85	19	9	964	F. Global 98.96
	F.USUARIO (observados)%	100.0	98.3	99.4	100.0	96.5	100.0	100.0		

Fuente: Elaboración propia.

- **En las filas se muestra la fiabilidad de las áreas de entrenamiento digitalizadas por el usuario:**

En la tercera fila (categoría 111) se digitalizaron 15 áreas de entrenamiento que pertenecen a tejido urbano continuo, de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la cuarta fila (categoría 211) se digitalizaron 175 áreas de entrenamiento que pertenecen a cultivos transitorios, de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la quinta fila (categoría 243) se digitalizaron 642 áreas de entrenamiento que pertenecen a mosaicos de cultivos, pastos y áreas naturales, de las cuales 3 fueron confundidas con la séptima columna (313) bosque denso alto, dando como resultado un equivalente a una fiabilidad del usuario de 99.5%.

En la sexta fila (categoría 312) se digitalizaron 15 áreas de entrenamiento que pertenecen a bosque abierto bajo, de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la séptima fila (categoría 313) se digitalizaron 82 áreas de entrenamiento que pertenecen a bosque denso alto, de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la octava fila (categoría 334) se digitalizaron 20 áreas de entrenamiento que pertenecen a vegetación arbustiva/herbácea, de las cuales 1 fue confundida con la cuarta columna (211) de cultivos transitorios, dando como resultado un equivalente a una fiabilidad del usuario de 95%.

En la novena fila (categoría 343) se digitalizaron 15 áreas de entrenamiento que pertenecen a tierras desnudas, de las cuales 2 fueron confundidas con la cuarta columna (211) de cultivos transitorios, 4 con la quinta columna (243) de mosaicos de cultivos, pastos y áreas naturales, dando como resultado un equivalente a una fiabilidad del usuario de 60%.

- **En la columna se muestra el acierto de la clasificación en el terreno por categoría:**

En la tercera columna (categoría 111) se digitalizaron 15 áreas de entrenamiento que pertenecen a tejido urbano continuo, de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la cuarta columna (categoría 211) se digitalizaron 178 áreas de entrenamiento que pertenecen a cultivos transitorios, de las cuales 1 fue confundida con la octava fila (334) de vegetación arbustiva/herbácea y 2 con la novena columna (343) de tierras desnudas, dando como resultado un equivalente a una fiabilidad del usuario de 98.3%.

En la quinta columna (categoría 243) se digitalizaron 643 áreas de entrenamiento que pertenecen a mosaicos de cultivos, pastos y áreas naturales, de las cuales 4 fueron confundidas con la novena fila (343) de tierras desnudas, dando como resultado un equivalente a una fiabilidad del usuario de 99.4%.

En la sexta columna (categoría 312) se digitalizaron 15 áreas de entrenamiento que pertenecen a bosque abierto bajo, de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la séptima columna (categoría 313) se digitalizaron 82 áreas de entrenamiento que pertenecen a bosque denso alto, de las cuales 3 fueron confundidas con la quinta fila (343) de mosaicos de cultivos, pastos y áreas naturales, dando como resultado un equivalente a una fiabilidad del usuario de 96.5%.

En la octava columna (categoría 334) se digitalizaron 19 áreas de entrenamiento que pertenecen a bosque denso alto, de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

En la novena columna (categoría 343) se digitalizaron 9 áreas de entrenamiento que pertenecen a tierras desnudas, de las cuales todas fueron correctamente digitalizadas. Equivalente a una fiabilidad del usuario de 100.00 %.

- **Índice Kappa**

- Cálculo del Índice Kappa para el año 1998

$$P_o = \frac{15 + 175 + 639 + 15 + 82 + 19 + 9}{964} = 0.9896$$

$$P_e = \frac{(15 * 15) + (178 * 175) + (643 * 642) + (15 * 15) + (85 * 82) + (19 * 20) + (9 * 15)}{964 * 964}$$

$$Kappa = \frac{0.9896 - 0.48886}{1 - 0.48886} = 0.98$$

Se obtuvo como resultado del cálculo de Índice Kappa 0.98 que según la fuerza de concordancia es casi perfecto.

- **Categorías encontradas en el año 2019**

Las principales categorías de cobertura vegetal encontrados en noviembre 2019(Tabla N°8) fueron:

Tabla 8. Categorías obtenidas para el año 2019

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	PATRON	HA	%
1. Áreas	1.1. Áreas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo		646.301532	1.82710923
2. Áreas agrícolas	2.1. Cultivos transitorios	2.1.1. Cultivos transitorios.		4104.40967	11.6032601
	2.4. Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.3. Mosaico de Cultivos, pastos y espacios naturales		14214.7333	40.1853766
3. Bosque y áreas	3.1. Bosques	3.1.2. Bosque abierto Bajo		7524.79703	21.2727736
		3.1.3. Bosque denso alto		2729.62663	7.716717
	3.3. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.4. Vegetación arbustiva/ herbácea		4239.06807	11.9839425
	3.4. Áreas sin o con poco vegetación	3.4.3. Tierras desnudas		1913.96431	5.41082093
<b>TOTAL</b>				35372.90	100.00

Fuente: Elaboración propia

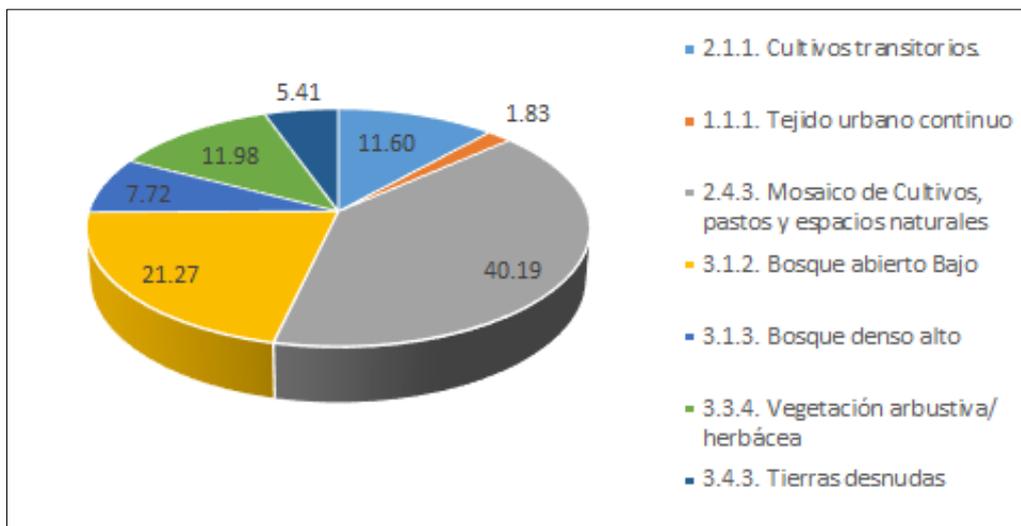
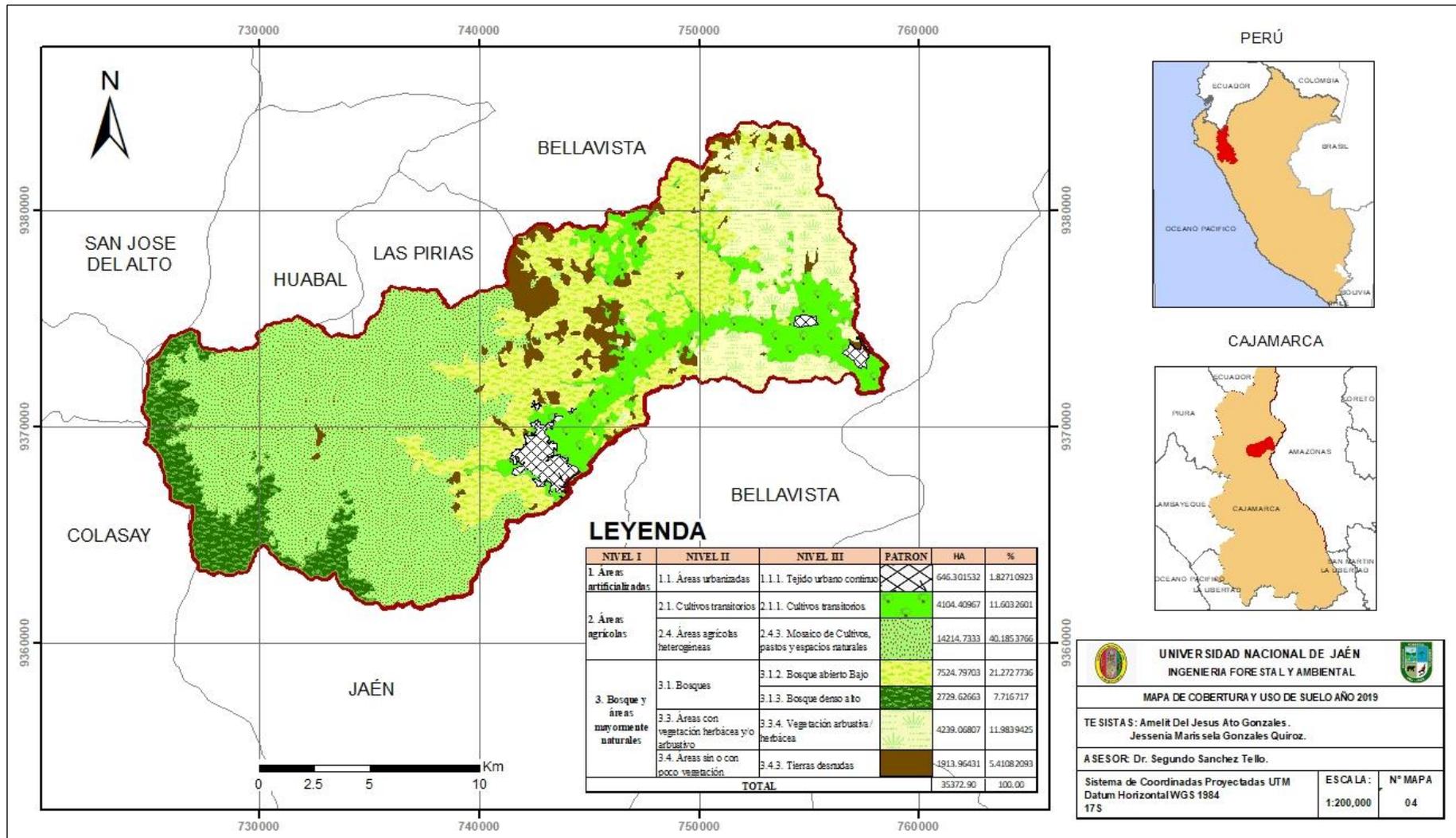


Gráfico 2. Distribución porcentual de cobertura año 2019

Fuente: Elaboración propia

El 40.19 % de la superficie de la microcuenca Amojú está cubierta por mosaicos de cultivos, pastos y áreas naturales (243), el 27.27 % está cubierta por bosque abierto bajo (312), el 11.98% está cubierta por vegetación arbustiva/arbórea (334), el 11.60% está cubierta por cultivos transitorios (211), el 7.72% está cubierta por bosque denso alto (313), el 5.41% está cubierta por tierras desnudas (343) y el 1.83 % restante está cubierta por tejido urbano continuo.



Mapa N° 4. Cobertura y uso de suelo año 2019

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3. Variación de la cobertura del bosque denso alto de los años 1998 – 2019

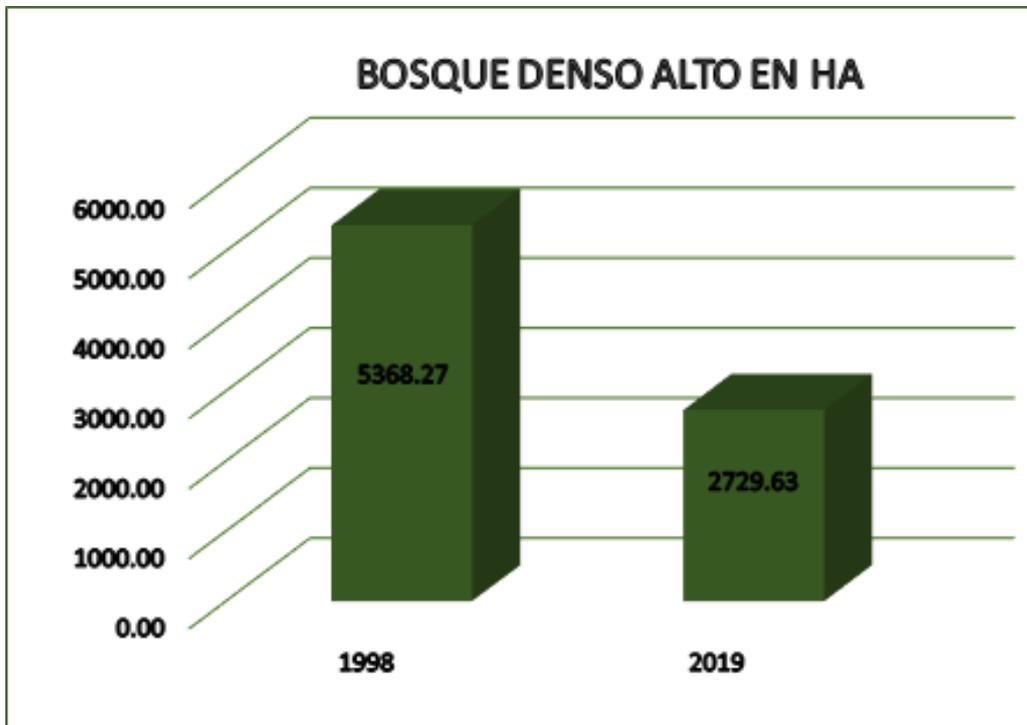
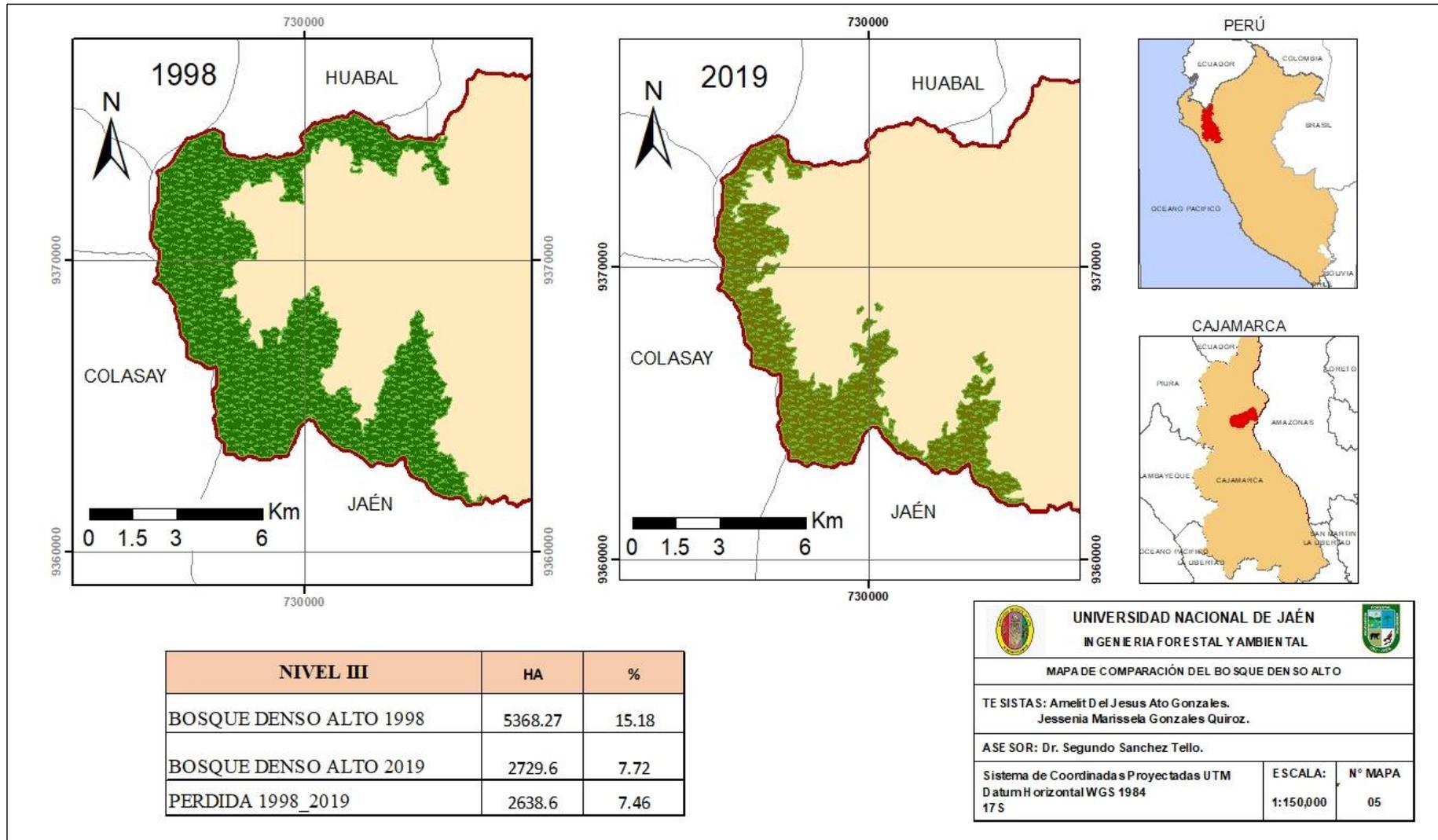


Gráfico 3. Variación de la cobertura del bosque denso alto 1998-2019

Fuente: elaboración propia

Se puede apreciar que en el periodo 1998, el bosque denso alto presentaba una superficie de 5368.27 ha, el cual para el periodo 2019 se perdieron 2638.64 ha, quedando tan solo 2729.63 ha.



Mapa N° 5. Comparación del bosque denso alto 1998-2019

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. Determinación del caudal

Tabla 9. Caudal promedio de los meses de Setiembre, Octubre y Noviembre del año 2019

CAUDAL 2019		
<b>sep-19</b>	17/09/2019	2.364
	24/09/2019	2.169
	28/09/2019	1.900
<b>oct-19</b>	03/10/2019	1.780
	10/10/2019	1.456
	15/10/2019	1.712
	23/10/1019	2.156
	29/10/2019	2.236
<b>nov-19</b>	06/11/2019	2.425
<b>Promedio</b>		2.0220

Fuente: Elaboración propia.

El caudal obtenido es el promedio de los meses de septiembre, octubre y noviembre, faltando los meses restantes, de manera que es un caudal promedio.

Tabla 10. Caudal promedio de los años 1995; 2008; 2019

CAUDAL PROMEDIO	
<b>1995</b>	3.52234922
<b>2008</b>	2.38136088
<b>2019</b>	2.02202565

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos recolectados y obtenidos, se puede determinar una pérdida de caudal de 1.50032 m<sup>3</sup>/s equivalente en 24 años y una pérdida anual promedio de 0.06251 m<sup>3</sup>/s.

Tabla 11: Caudal medio 1995\_2019

CAUDAL MEDIO 1995_2019			
1995	3.52234922	2007	2.46912921
1996	3.43458088	2008	2.38136088
1997	3.34681255	2009	2.34869404
1998	3.25904421	2010	2.3160272
1999	3.17127588	2011	2.28336036
2000	3.08350755	2012	2.25069352
2001	2.99573921	2013	2.21802668
2002	2.90797088	2014	2.18535984
2003	2.82020254	2015	2.15269300
2004	2.73243421	2016	2.12002616
2005	2.64466588	2017	2.08735932
2006	2.55689754	2018	2.05469248
		2019	2.02202565

Fuente: Elaboración propia.

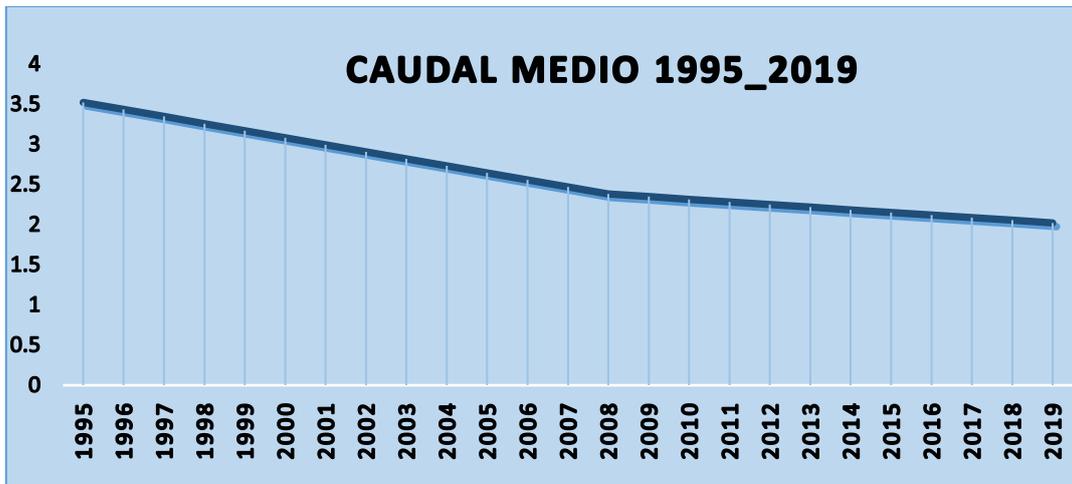


Gráfico 4. Caudal medio 1995\_2019.

Fuente: Elaboración propia.

En el Gráfico 4 llamamos caudal medio a la disminución lineal o al promedio anual lineal, es decir que cada año idealmente se disminuirá la misma cantidad, mientras que los caudales de los años 1995, 2008 y 2019 son los llamados caudales reales, porque han sido registros tomados directamente.

Tabla 12. Caudal proyectado

CAUDAL MEDIO PROYECTADA			
1995	3.52234922	2023	1.88869231
1996	3.39714284	2024	1.85535898
1997	3.28053216	2025	1.82202565
1998	3.17166137	2026	1.78869231
1999	3.06978466	2027	1.75535898
2000	2.974249	2028	1.72202565
2001	2.88448027	2029	1.68869231
2002	2.79997156	2030	1.65535898
2003	2.72027374	2031	1.62202565
2004	2.64498736	2032	1.58869231
2005	2.573756	2033	1.55535898
2006	2.50626066	2034	1.52202565
2007	2.4422149	2035	1.48869231
2008	2.38136088	2036	1.45535898
2009	2.3445876	2037	1.42202565
2010	2.30893276	2038	1.38869231
2011	2.27434611	2039	1.35535898
2012	2.24078035	2040	1.32202565
2013	2.20819093	2041	1.28869231
2014	2.17653587	2042	1.25535898
2015	2.14577555	2043	1.22202565
2016	2.11587257	2044	1.18869231
2017	2.08679158	2045	1.15535898
2018	2.05849914	2046	1.12202565
2019	2.02202565	2047	1.08869231
2020	1.98869231	2048	1.05535898
2021	1.95535898	2049	1.02202565
2022	1.92202565	2050	0.98869231

Fuente: Elaboración propia

Se proyectó el caudal hasta el año 2050, en el cual se estimó que habrá un caudal aproximado de 0.9887, pero habrá meses en que esta cantidad disminuya considerablemente, todo esto dependerá de la precipitación mensual y en algunos años más, se llegará a secar estacionalmente.

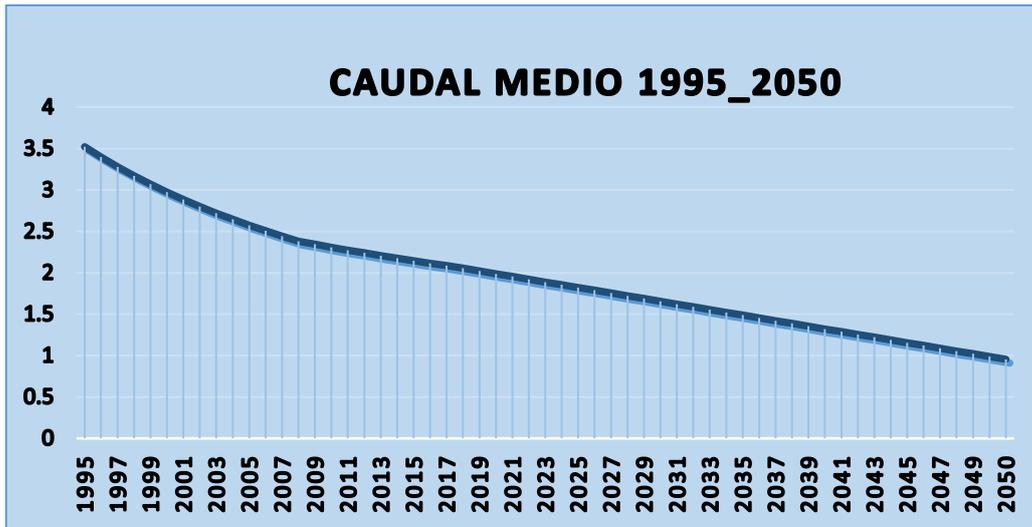


Gráfico 5. Caudal medio prolongado 1995\_2050

Fuente: Elaboración propia

En el Grafico 5 se muestra el caudal proyectado hasta el año 2050, con una disminución media anualmente.

Los caudales mostrados en estas tablas son ideales, porque existe un factor directo y muy importe en el aumento o disminución del caudal y este es la precipitación, en el anexo N°2 Se muestra el caudal medio interpolado con la precipitación, mostrando un caudal más realista.

#### 4.3. Análisis de la relación entre el cambio de cobertura vegetal y cantidad de agua en la microcuenca Amojú 1995 – 2019

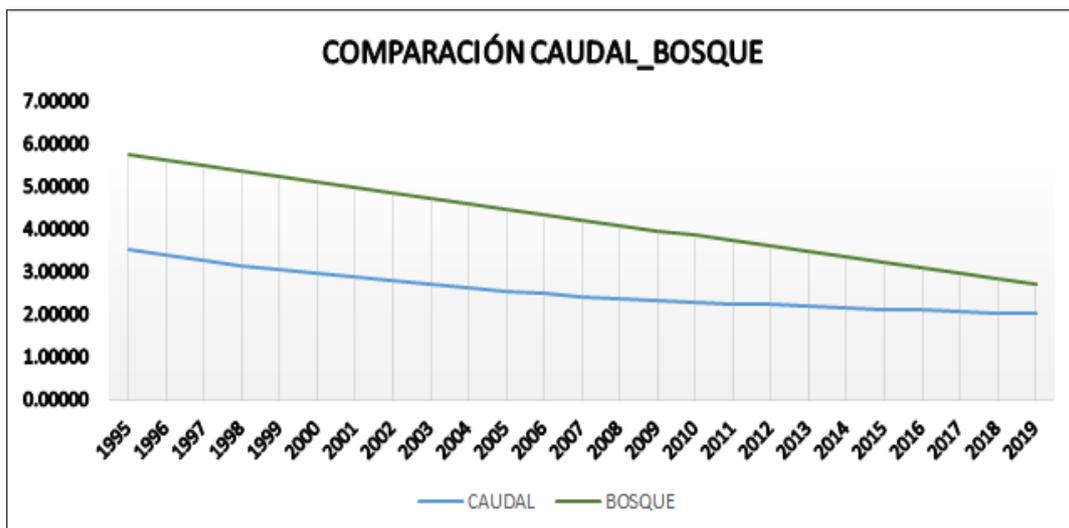


Gráfico 6. Relación cobertura vegetal - caudal

Fuente: elaboración propia

En el gráfico 6 las hectáreas del bosque se dividieron entre 1000 para tener una mejor relación cobertura - caudal y así poder realizar dicha comparación.

Se puede apreciar que a medida que disminuye el área del bosque, también va disminuyendo el caudal a través de los años.

La relación promedio de Caudal - Bosque es de 1:1646.582, es decir por cada m<sup>3</sup>/s que disminuye el caudal, se pierde aproximadamente 1646.582 ha. de bosque denso alto. La relación promedio de Bosque - Caudal es de 1:0.00061, es decir por cada hectárea de bosque denso alto que se pierde, disminuye aproximadamente 0.00061 m<sup>3</sup>/s de caudal.

Tabla 13. Comparación del bosque denso alto 1998, 2001, 2007, 2013, 2019.

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	PATRON	1998		2001		2007		2013		2019	
				ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
3. Bosque y áreas mayormente naturales	3.1. Bosques	3.1.3. Bosque denso alto		5368.27	15.18	4849.36	13.71	4431.68	12.53	4094.86	11.58	2729.63	7.72

Fuente: Elaboración propia. (Oblitas, 2017)

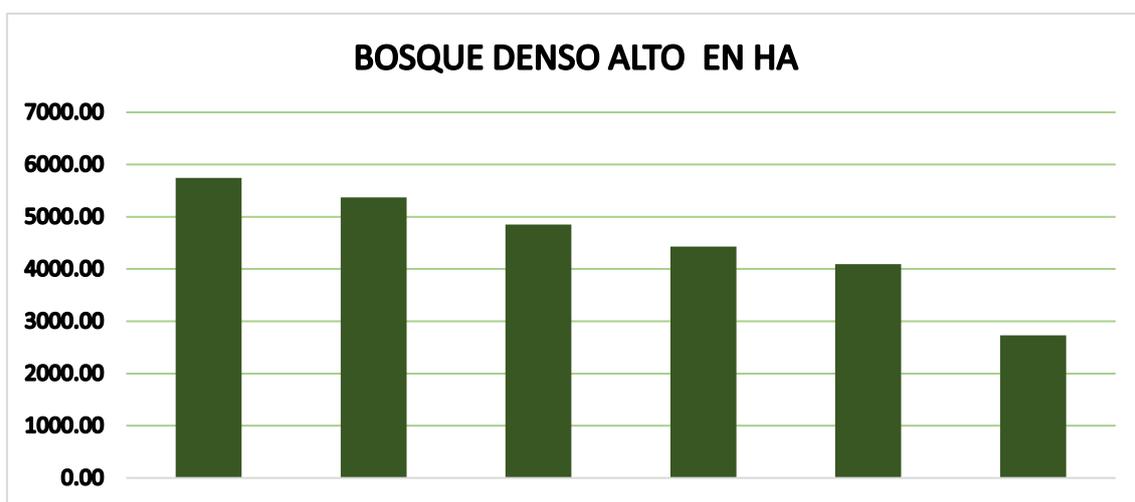


Gráfico 7. Bosque denso alto en ha

Fuente: Elaboración propia. (Oblitas, 2017)

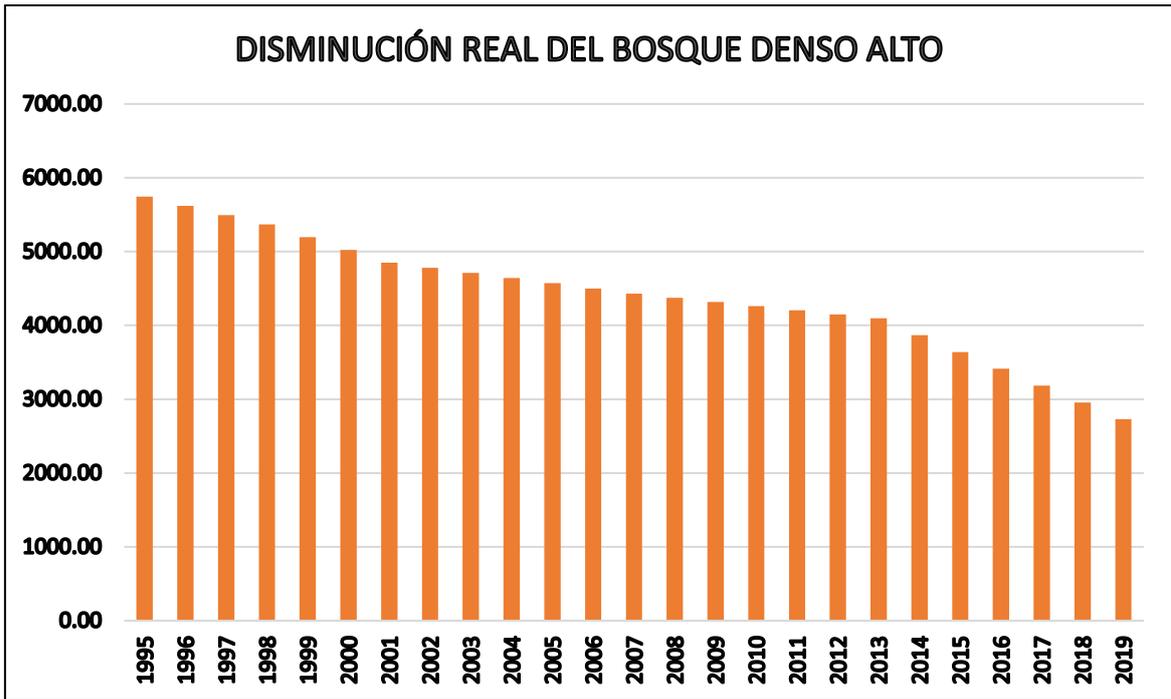


Gráfico 8. Pérdida de bosque denso alto 1995\_2019

Fuente: Elaboración propia. (Oblitas, 2017)

En el gráfico 8 se observa que durante el periodo 1995-2019 el bosque denso alto ha ido disminuyendo significativamente.

## V. DISCUSIÓN

- En el estudio realizado por Oblitas (2017), identificó el cambio de cobertura del Bosque Tropical Estacionalmente Seco de la Cuenca Amojú, Utilizando Imágenes Satelitales, basándose en un análisis de indicadores complementarios de vegetación y topografía. Obteniéndose hectáreas, en la cual se identificaron 3 clases de cobertura y uso de la tierra según la metodología de CLC (CORINE LAND COVER) para el BTES; bosque abierto bajo 4561.782 ha (10.68 %), arbustal 324.7954 ha (0.76 %) y vegetación arbustiva / herbácea 11 679.3469 ha (27.33 %). La tasa promedio de deforestación es de 179.3956 ha/año. Así mismo nuestra investigación identifico el cambio de cobertura del bosque denso alto de la micro cuenca Amojú, utilizando Imágenes Satelitales Landsat, obteniendo que área total de la micro cuenca Amojú es de 35372.90 ha. La diferencia de hectáreas de la micro cuenca, se debe a que (Oblitas 2017), incluye mayor área del bosque seco en la parte inferior de la cuenca, se identificó 7 clases de cobertura, pero se centró en el bosque denso alto, de la cabecera de cuenca, disminuido en el periodo de 1995\_2019, 3015.59 ha. perdiendo un promedio de 125.64961 ha/año.
- En el estudio realizado por Solano (2019) determinó la disponibilidad del recurso hídrico de la cuenca del río Amojú, aplicando el modelo Determinístico – Estocástico de Lutz Scholz. La primera fase determino parámetros físicos y geomorfológicos de la cuenca, en la segunda fase se determinó la precipitación media mensual y se calculó la evapotranspiración mensual. Y como tercera y última fase se aplicó el modelo determinístico -Estocástico de Lutz Schulz para determinar la disponibilidad de la cuenca en caudales mensuales. En cambio, en nuestra investigación se utilizaron caudales reales tomados directamente de río Amojú, por medio del método del correntómetro y con información complementaria se calcularon los caudales extendidos y proyectados, para determinar la cantidad de agua futura.
- En el estudio realizado por Prado y Bernal (2015) y de Coss (2017) ambos estudios determinaron los impactos que tiene la cobertura vegetal, sobre el balance hídrico, concluyendo que las variaciones de cobertura vegetal en una cuenca, tienen un impacto considerable en la generación de caudales, así mismo nosotros hemos llegado a la misma conclusión, estimando que por cada hectárea de bosque denso alto que se pierde, disminuye aproximadamente 0.00061 m<sup>3</sup>/s de caudal.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

- Se analizó bosque denso alto y la cantidad de agua entre 1995 y 2019, concluyendo que el cambio de cobertura vegetal analizada influyó significativamente en la variación del caudal, estimándose la siguiente relación promedio Caudal / Bosque 1:1646.582, es decir por cada  $\text{m}^3/\text{s}$  que disminuye el caudal, se pierde aproximadamente 1646.582 ha. de bosque denso alto, y para la relación promedio Bosque / Caudal es 1:0.00061, es decir por cada hectárea de bosque denso alto que se pierde, disminuye aproximadamente 0.00061  $\text{m}^3/\text{s}$  de caudal.
- Se estimó una disminución del caudal de 1.50032  $\text{m}^3/\text{s}$  equivalentes en 24 años entre 1995 y 2019, perdiendo anualmente un promedio de 0.06251  $\text{m}^3/\text{s}$ , proyectándose para el 2050 un caudal medio aproximado de 0.9887  $\text{m}^3/\text{s}$ .
- Se determinó que la cantidad de cobertura vegetal, perteneciente a la cabecera de cuenca, es decir el bosque denso alto, ha disminuido en el periodo de 1998-2019, 2729.27 ha. perdiendo anualmente un promedio de 125.64961 ha, proyectándose para el 2050 cantidad ideal aproximada de 1110.82 ha.

### 6.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar una investigación más compleja de la relación suelo-cobertura sobre el balance hídrico para así, determinar los usos del suelo más adecuados y llevar a cabo un mejor aprovechamiento del recurso hídrico.
- Se recomienda tener en cuenta la variación de la cobertura vegetal y su efecto en la cantidad de agua, como medio de reflexión ambiental y predicción futura de la misma.
- Se recomienda elaborar un plan de manejo ambiental de la micro cuenca Amojú, para la prevención, restauración y mejoramiento tanto social, cultural, ambiental y económico de toda la micro cuenca y sus pobladores.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avila Garcia, P. (1996). *Escasez de Agua*. Mexico.
- Cotler, H., Galindo, A., González, I. D., Pineda, R. F., & Ríos, E. (2013). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. *Sitio Argentino de Producción Animal*, 33.
- De Coss Pérez, A. J. (2017). *Impacto de la pérdida de cobertura vegetal en el balance hídrico en la microcuenca la Unión, en el municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas*. Tuxtla Gutiérrez: Instituto de Ciencias Básicas y aplicadas - Licenciatura en Ciencias de la Tierra - UNICACH.
- González, G. A., Alvarez, F. P., González, F. M., & Aguirre, M. Z. (2016). Influencia de la cobertura vegetal en los coeficientes de escorrentía de la cuenca del río Catamayo, Ecuador. *Cedamaz*, 10.
- Guerrero, A. (2014). *Sistema de Analisis de Información Geografica*. España.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). *Sistema de Información Geográfica*.
- Klisman Vladimir, A. V. (2017). “Cambios en la cobertura vegetal del suelo de la provincia de Yauyos, durante el transcurso de los años 1997 al 2017, a partir del comportamiento del desarrollo vegetal”. (Tesis de pre-grado). Universidad Cesar Vallejo, Lima.
- MINAN. (2012). *Clasificación de cobertura y uso de la tierra, utilizando imágenes satelitales*. (artículo)
- Moscuzza, C., Pérez, Carrera, A., Garaicoechea, J., & Fernández, A. (2003). Relación entre las Actividades Agropecuarias y la Escasez de Agua In la Provincia de Santiago del Estero (Argentina). *Sitio Argentino de Producción Animal*, 12.
- Oblitas, V. C. (2017). *Determinación de Cambio de Cobertura 2001 – 2013 del Bosque Tropical Estacionalmente Seco de la Cuenca Amojú- Jaén, Utilizando Imágenes Satelitales*. Jaen. (Tesis de pre-grado). Universidad Nacional de Cajamarca, Jaén.
- Peña, H. (2016). *Recursos Naturales e Infraestructura* .
- Prado Uscategui, C. A., & Bernal Nieto, S. M. (2015). *ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA COBERTURA VEGETAL EN LA GENERACIÓN DE CAUDALES DE LA CUENCA DE LA QUEBRADA GRANADILLO EN LOS AÑOS 1993 Y 2009 A PARTIR DE AEROFOTOGRAFÍAS Y CARTOGRAFÍA DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI*. Bogotá.

- Quillatupa, E. Y., & Cárdenas, B. E. (2016). *Relación Precipitación, Infiltración y Escorrentía para la Época de Lluvia en la Microcuenca Yanango-Chanchamayo*. Huancayo.
- Ramakrishna, B. (1997). *Estrategias de extensión para el manejo integrado de cuencas hidrográficas: Conceptos y Experiencias*. San Jose.
- Sánchez, P. (2012). *LA TELEDETECCIÓN ENFOCADA A LA OBTENCIÓN DE MAPAS*. Cuenca.
- Solano, C. L. (2019). *DISPONIBILIDAD HIDRICA DE LA CUENCA DEL RIO AMOJU APLICANDO EL MODELO DETERMINÍSTICO – ESTOCASTICO DE LUTZ SCHOLZ*. Jaén.
- Tarrillo Vásquez, L. M. (2019). *ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS DE COBERTURA Y USO DEL SUELO CON IMÁGENES SATELITALES DEL DISTRITO DE TACABAMBA AÑOS 2003 Y 2018*. Cajamarca.
- Universidad Autónoma de Madrid. (2011). *Tutorial (nivel básico) para la elaboración de mapas con ArcGIS*.

## **AGRACEDIMIENTO**

A Dios por guiar siempre nuestros caminos hacia el bienestar y éxitos en nuestras vidas, a nuestras familias por estar siempre a nuestro lado y apoyarnos día a día.

A la Universidad Nacional de Jaén, a todas las personas que hicieron posible la creación de nuestra alma mater.

A la carrera profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén, a cada uno de nuestros docentes por sus enseñanzas, conocimientos compartidos en las aulas para así poder afrontar el futuro tanto en lo profesional, así como en lo humano

Al Ing. Segundo Sánchez Tello, asesor de nuestra investigación, por sus enseñanzas, consejos, conocimientos que han hecho posible esta presente investigación.

Al Ing Mario De La Cruz Meléndrez colaborador externo de nuestra investigación, por sus conocimientos e información brindada que han hecho posible esta presente investigación.

## **DEDICATORIA**

A mi familia en especial a mi madre Gladys Marilé Gonzales Quiroz que, con su amor, cariño, respeto, perseverancia y apoyo que son la base de todos mis objetivos y metas a cumplir

**Amelit del Jesus Ato Gonzales.**

A mi familia en especial a mis padres Perpetua Quiroz Cubas y Juan Gonzales Cardozo que, con su amor, cariño, respeto, perseverancia, que son la base de todos mis objetivos y metas a cumplir.

**Jessenia Marissela Gonzales Quiroz.**

## **ANEXOS**

## Anexo 1. Leyenda Corine Land Cover adaptada para Perú

Nivel I	Nivel II	Nivel III
<b>1. Areas Artificializadas</b>	1.1. Areas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo
	1.2. Areas industriales e infraestructura	1.2.1. Áreas industriales o comerciales
		1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados
		1.2.3. Áreas portuarias
		1.2.4. Aeropuertos
		1.2.5. Obras hidráulicas
		1.2.6. Infraestructura petrolera
	1.3. Areas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1. Areas de extracción de minería e hidrocarburos
		1.3.2. Areas de disposición de residuos
	1.4. Áreas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4.1 Áreas verdes urbanas
		1.4.2 Instalaciones recreativas
	<b>2. Areas Agrícolas</b>	2.1 Cultivos transitorios
2.1.2 Cereales		
2.1.3 Olaginosas y leguminosas		
2.1.4 Hortalizas		
2.1.5 Tubérculos		
2.2 Cultivos permanentes	2.2.1 Cultivos permanentes herbáceos	
	2.2.2 Cultivos permanentes arbustivos	
	2.2.3 Cultivos permanentes arbóreos	
	2.2.4 Cultivos agroforestales	
	2.2.5 Cultivos confinados	
2.3 Pastos		
2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Mosaico de Cultivos	
	2.4.2. Mosaico de Pastos y Cultivos	
	2.4.3. Mosaico de Cultivos, pastos y espacios naturales	
	2.4.4. Mosaico de pastos con espacios naturales	
	2.4.5. Mosaico de cultivos con espacios naturales	
<b>3. Bosques y áreas mayormente naturales</b>	3.1. Bosques	3.1.1. Bosque denso bajo
		3.1.2. Bosque abierto bajo
		3.1.3. Bosque denso alto
		3.1.4. Bosque abierto alto
		3.1.5. Bosque fragmentado

		3.1.6 Bosque Ripario
	3.2 Bosques plantados	3.2.1 Plantación Forestal
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1 Herbazal
		3.3.2 Arbustal
		3.3.3 Vegetación secundaria o en transición
		3.3.4 Vegetación arbustiva / herbácea
		3.3.5 Arbustal / área intervenida
		3.3.6 Herbazal / área intervenida
		3.3.7 Arbustal-Herbazal/área intervenida
	3.4 Áreas sin o con poca vegetación	3.4.1. Áreas arenosas naturales
		3.4.2 Afloramientos rocosos
		3.4.3 Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)
		3.4.4 Áreas quemadas
		3.4.5 Glaciares
		3.4.6 Salares
<b>4. Áreas húmedas</b>	4.1. Áreas húmedas continentales	4.1.1. Áreas Pantanosas
		4.1.2. Turberas y bofedales
		4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
	4.2 Áreas húmedas costeras	4.2.1. Pantanos costeros
		4.2.2. Salitral
		4.2.3. Sustratos y sedimentos expuestos en bajamar
<b>5. Superficies de Agua</b>	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos (50 m)
		5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes
		5.1.3. Lagunas, lagos y ciénagas naturales estacionales
		5.1.4. Canales
		5.1.5. Cuerpos de agua artificiales
	5.2 Aguas costeras	5.2.1. Lagunas costeras
		5.2.2. Mares y océanos
		5.2.3. Estanques para acuicultura marina

Fuente: MINAM

## Anexo 2. Información Recolectada.

Quebrada Jaén y/o Amojú				INSTRUMENTO: CORRECTOMETRO MARCA SEBA							
Elaborado Ing. Jose. O. Olivera Dávila				HELICE: N° 250.249							
				SERIE: 277							
JULIO		AGOSTO		SETIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEM		DICIEM	
Fecha	Q(m3/seg)	Fecha	Q(m3/seg)	Fecha	Q(m3/seg)	Fecha	Q(m3/seg)	Fecha	Q(m3/seg)	Fecha	Q(m3/seg)
1/07/2008	2.826	2/08/2008	2.557	2/09/2008	1.460	3/10/2008	1.505	11/11/2008	2.104	17/12/2008	1.938
3/07/2008	2.783	4/08/2008	2.385	4/09/2008	1.638	7/10/2008	1.496	14/11/2008	3.124	19/12/2008	1.936
5/07/2008	2.755	6/08/2008	1.909	8/09/2008	2.161	11/10/2008	1.418	17/11/2008	1.893		
7/07/2008	2.371	8/08/2008	2.812	12/09/2008	1.462	14/10/2008	1.658	18/11/2008	1.791		
18/07/2008	3.108	11/08/2008	2.919	15/09/2008	1.731	20/10/2008	1.461	19/11/2008	1.761		
21/07/2008	2.768	13/08/2008	3.270	18/09/2008	1.661	24/10/2008	1.700				
22/07/2008	2.806	15/08/2008	2.918	24/09/2008	1.641						
24/07/2008	3.363	19/08/2008	2.950	29/09/2008	1.514						
26/07/2008	3.186	23/08/2008	2.751								
29/07/2008	3.102	30/08/2008	1.786								
31/07/2008	3.100										
	2.92		2.63		1.66		1.54		2.13		1.94

Figura 3. Caudal del año 2008.

Fuente: Autoridad Nacional del Agua

Tabla 14. Caudal del año 1995

CAUDAL DE LA MICRO CUENCA AMOJÚ 1995		
mar-95	3.202	m <sup>3</sup> /s
may-95	3.956	m <sup>3</sup> /s
jun-95	4.051	m <sup>3</sup> /s
jul-95	3.628	m <sup>3</sup> /s
sep-95	3.056	m <sup>3</sup> /s
oct-95	3.239	m <sup>3</sup> /s
	3.522	m <sup>3</sup> /s

Fuente: Elaboración propia (Autoridad Nacional del Agua)

Tabla 15. Precipitación anual

Precipitación Anual			
1995	363.78	2007	445.80
1996	347.50	2008	393.30
1997	397.50	2009	504.30
1998	464.20	2010	309.40
1999	530.00	2011	481.50
2000	463.90	2012	454.50
2001	445.50	2013	391.20
2002	398.80	2014	436.71
2003	382.80	2015	443.27
2004	403.40	2016	344.66
2005	416.70	2017	461.44
2006	468.00	2018	407.51
		2019	429.15

Fuente: Elaboración propia (SENAHMI.)

Tabla 16: Bosque denso alto de los años 2001, 2007, 2013

BOSQUE DENSO ALTO EN HA.					
2001		2007		2013	
ha	%	ha	%	ha	%
4849.36	13.71	4431.68	12.53	4094.86	11.58

Fuente: Elaboración propia (Oblitas, 2017)

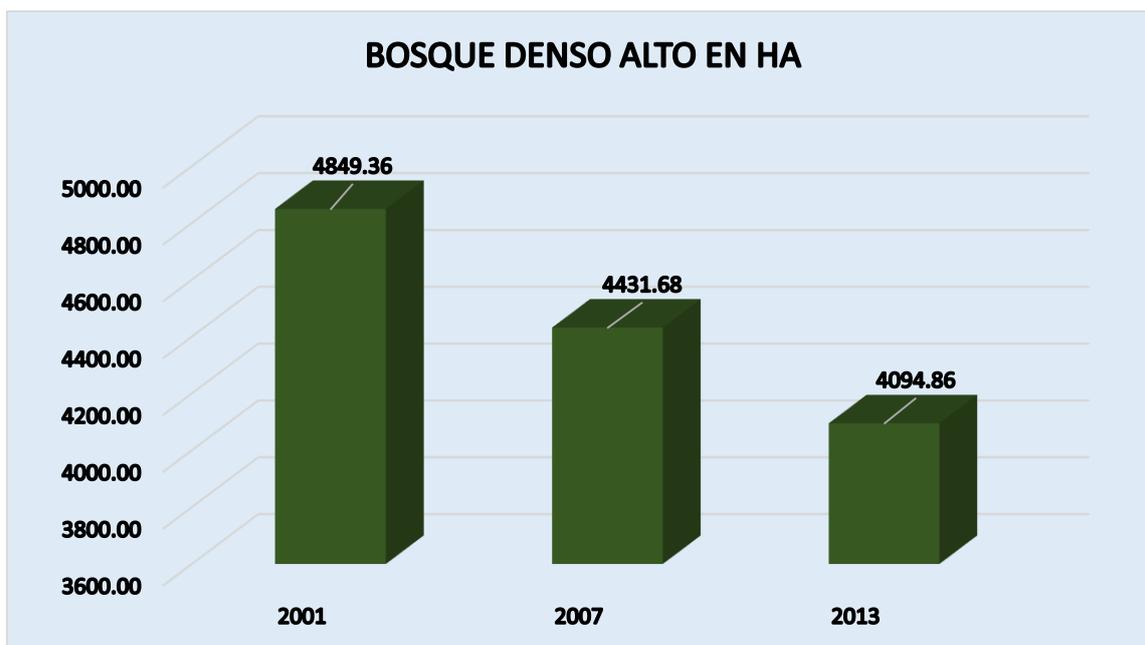


Gráfico 9. Bosque denso en ha

Fuente: Elaboración propia (Oblitas, 2017)

Tabla 17: Caudal usando el Método de Lutz Scholz

CAUDAL USANDO EL MÉTODO DE LUTZ SCHOLZ			
1993	3.5350	2006	2.0558
1996	1.6767	2007	2.6108
1997	2.3608	2008	2.3350
1998	2.5042	2009	2.7483
1999	3.3808	2010	1.6125
2000	2.3508	2011	2.4858
2001	2.1858	2012	2.6492
2002	2.3717	2013	2.1033
2003	2.0817	2014	2.7333
2004	2.0592	2015	2.7650
2005	2.2300	2018	2.5592

Fuente: Elaboración propia (Solano, 2019)

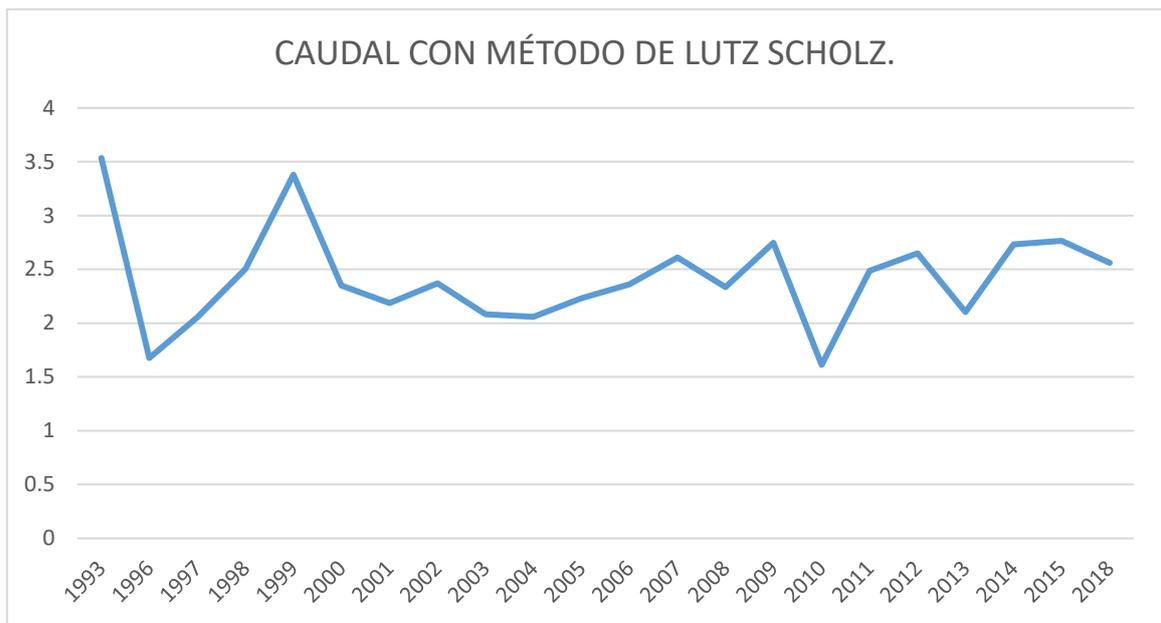


Gráfico 10. Caudal con el Método de Lutz Scholz.

Fuente: Elaboración propia (Solano, 2019)

### Anexo 3. Interpolación del caudal medio y precipitación

Tabla 18: Caudal medio interpolación con la precipitación.

CAUDAL/ PRECITACIÓN			
1995	3.52234922	2007	2.77518975
1996	3.20934148	2008	2.38136088
1997	3.51031613	2009	2.97280679
1998	3.92864909	2010	1.7773676
1999	4.30762403	2011	2.69781657
2000	3.6276859	2012	2.48581167
2001	3.35776185	2013	2.0902163
2002	2.90167911	2014	2.28119846
2003	2.69278482	2015	2.26531035
2004	2.74725154	2016	1.72434743
2005	2.75090062	2017	2.26153846
2006	2.9985072	2018	1.95768513
		2019	2.02202564

Fuente: Elaboración propia.

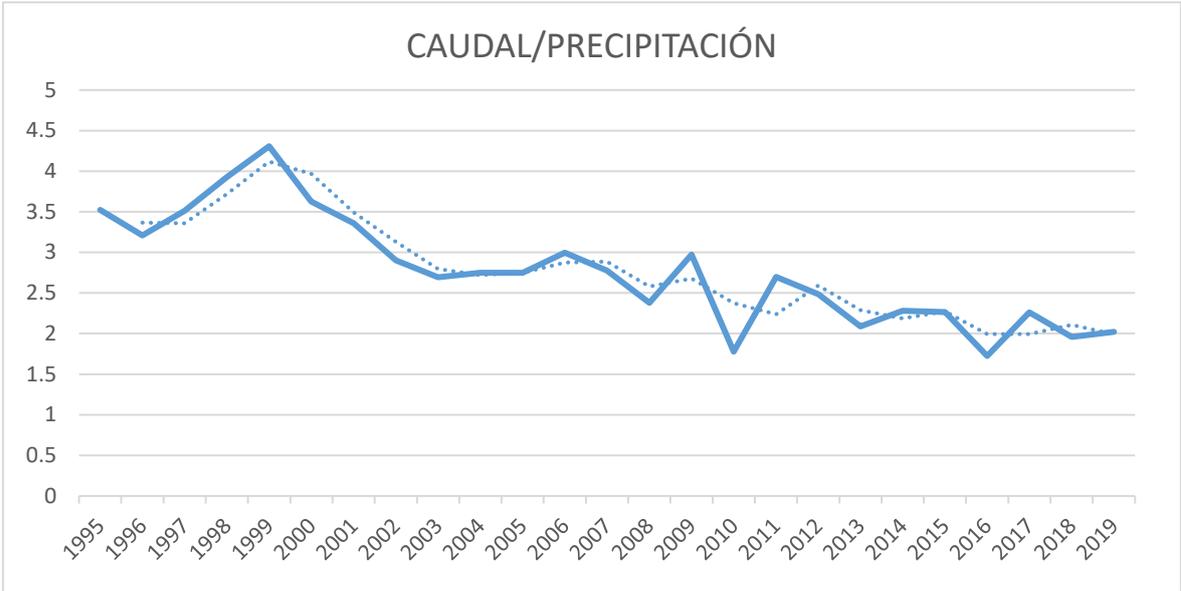


Gráfico 11. Interpolación del caudal medio con la precipitación.

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 4. Comparación del uso de suelo**

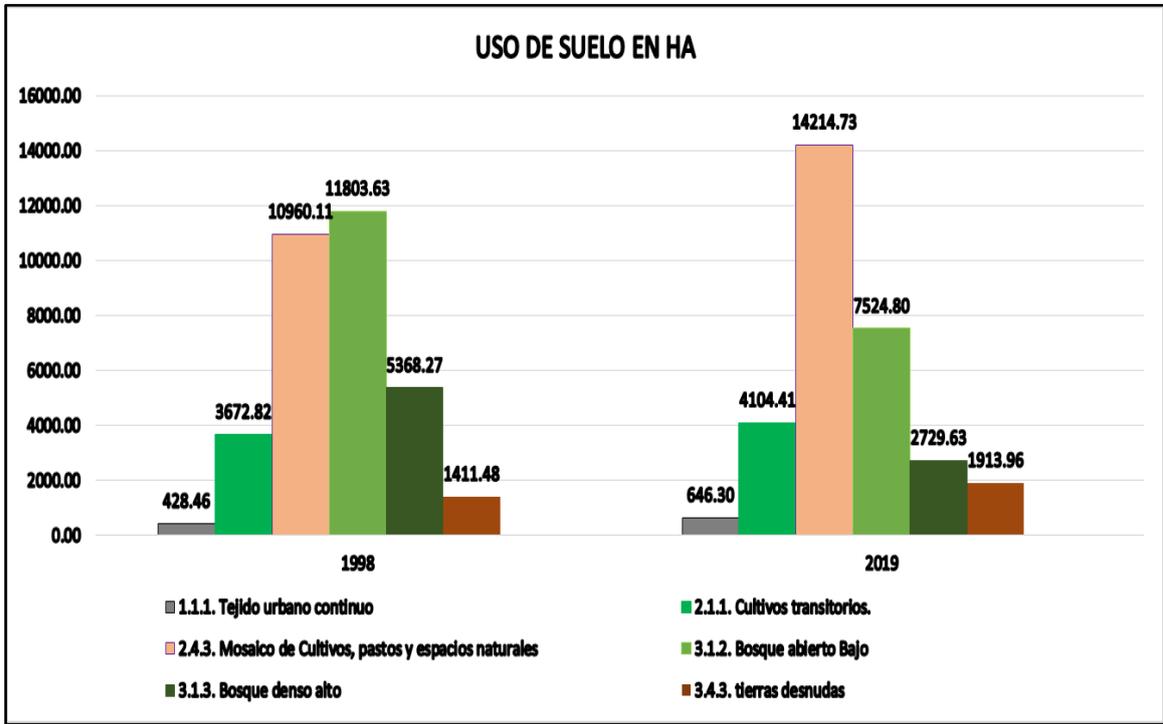
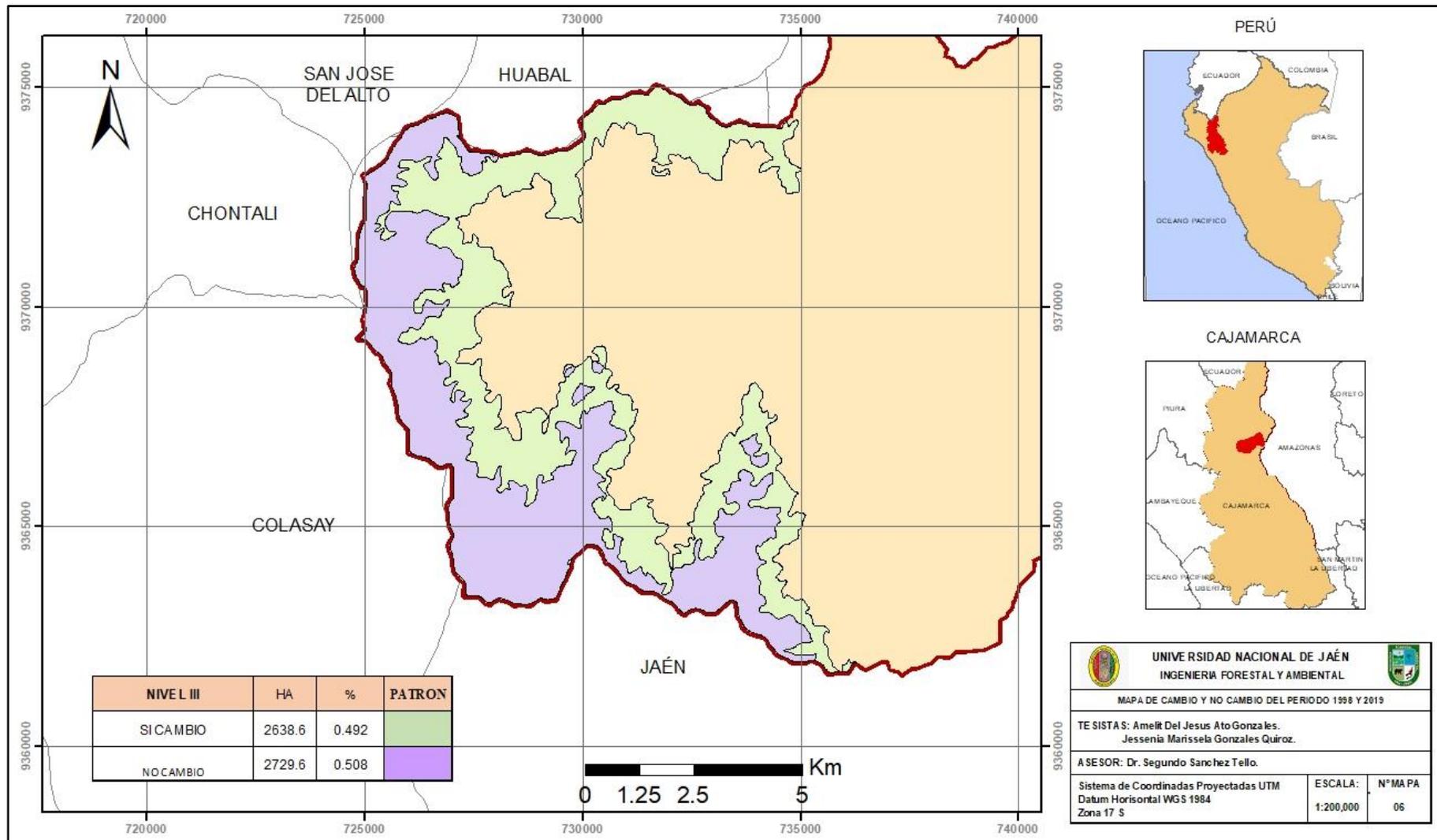


Gráfico 12. Uso del suelo 1998 y 2019 en ha.

Fuente: Elaboración propia



Mapa N° 6. Cambio y no cambio del área del bosque denso alto, periodo 1998 y 2019

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 5. Imágenes fotográficas**



*Fotografía 8. Medición del área de transversal. Del río.*



*Fotografía 9. Medición de la velocidad del agua con correntómetro.*



*Fotografía 10: toma de fotografías del bosque seco/ bosque abierto bajo.*



*Fotografía 11: Mirador de la ciudad de Jaén*