

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

## FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



### EVALUACIÓN TEMPORAL DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RÍO PUMAHUANCA, URUBAMBA – CUSCO

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO  
PROFESIONAL DE BIÓLOGO

Presentada por:

Br. Norma Quispe Condori

Asesor:

Blgo. Percy Yanque Yucra

CUSCO – PERÚ

2017

## **AGRADECIMIENTO**

A quienes hicieron posible la realización de esta tesis porque todo trabajo de investigación requiere de la colaboración, impulso e iniciativa, en este entender al culminar, expreso mi agradecimiento a cada una de las personas e instituciones que de alguna manera colaboraron en la realización del presente trabajo.

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a todos y cada uno de los profesores de la Escuela profesional de Biología por las enseñanzas impartidas durante la etapa universitaria.

Al Blgo. Percy Yanque Yucra, por el asesoramiento del presente trabajo de investigación.

Al M.Sc. Alfredo Tupayachi Herrera por compartir el amplio conocimiento del área de estudio y la identificación de especies vegetales. Así mismo al M.Sc. Luciano Cruz Miranda por la facilitación de materiales para el trabajo de campo, de igual manera al Mg. Billy Joel Ttito Jordán por el apoyo en la parte metodológica y bibliográfica.

Al Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente, Centro Guamán Poma de Ayala, Servicio Nacional Meteorología e Hidrología, Gobierno Regional Cusco y la Universidad Nacional Agraria la Molina y las comunidades de la Cuenca Pumahuanca por la información brindada.

A todos los compañeros y amigos de la Universidad.

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	i
INTRODUCCIÓN.....	ii
JUSTIFICACIÓN.....	iii
OBJETIVOS.....	iv

### CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. GENERALIDADES.....	5
1.2.1. Cuenca.....	5
1.2.1.1. Delimitación y codificación.....	5
1.2.1.2. Tipos.....	7
1.2.1.3. Características.....	8
1.2.2. Servicios ambientales o ecosistémicos.....	8
1.2.2.1. Identificación de los servicios ambientales.....	9
1.2.2.2. Clasificación de los servicios ambientales o ecosistémicos.....	9
1.2.2.2.1. Servicios de provisión.....	9
1.2.2.2.2. Servicios de soporte.....	9
1.2.2.2.3. Servicios de regulación.....	10
1.2.2.2.4. Servicios culturales.....	10
1.2.3. Sistema climático.....	11
1.2.3.1. Tiempo y clima.....	12
1.2.3.2. Variabilidad climática.....	12
1.2.3.3. Vulnerabilidad y adaptación frente a riesgos climáticos.....	13
1.2.4. Riesgo ambiental por cambio de uso de suelos.....	13
1.2.5. Sistemas de información geográfica.....	14
1.2.6. Teledetección.....	14
1.2.6.1. Elementos de un proceso de teledetección.....	16
1.2.6.2. Plataformas satelitales.....	16
1.2.6.3. Satélite Landsat.....	19
1.2.6.4. Análisis e interpretación de imágenes.....	20
1.2.6.4.1. Combinaciones con las bandas.....	21
1.2.6.4.2. Clasificación supervisada.....	22
1.2.6.4.3. Clasificación no supervisada.....	22
1.2.7. Mapa temático.....	23
1.2.8. Enfoque ecosistémico.....	23
1.2.9. Ecología funcional.....	23
1.2.10. Desarrollo sostenible.....	23

## **CAPITULO II ÁREA DE ESTUDIO**

	<b>Pág.</b>
2.1. UBICACIÓN.....	25
2.2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	27
2.2.1. Geología.....	27
2.2.2. Geomorfología.....	28
2.2.3. Suelos.....	30
2.2.4. Recurso hídrico.....	30
2.2.5. Ecología.....	31
2.2.5.1. Características climáticas.....	31
2.2.5.2. Zonas de vida.....	33
2.2.6. Características socioeconómicas.....	35

## **CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1. MATERIALES.....	36
3.1.1. Materiales de campo.....	36
3.1.2. Insumos químicos.....	36
3.1.3. Materiales de gabinete.....	37
3.2. METODOLOGÍA.....	37
3.2.1. Delimitación de la cuenca.....	37
3.2.2. Línea base de la cuenca.....	38
3.2.2.1. Evaluación del recurso suelo.....	38
3.2.2.2. Evaluación del recurso agua.....	39
3.2.2.3. Evaluación de la cobertura vegetal.....	40
3.2.2.4. Evaluación del recurso fauna.....	42
3.2.3. Identificación de servicios ambientales.....	43
3.2.4. Evaluación de la dinámica temporal de los servicios ambientales priorizados.....	44
3.2.4.1. Servicio ambiental de regulación climática.....	44
3.2.4.1.1. Caracterización climática.....	44
3.2.4.1.2. Estimación de la tasa de cambio de uso de suelo.....	47
3.2.4.1.3. Estimación del valor de las especies arbóreas para la regulación climática.....	49
3.2.4.2. Servicio ambiental de regulación y protección hídrica.....	51
3.2.4.2.1. Determinación de la regulación hidrológica.....	51
3.2.4.2.2. Determinación de regulación hídrica por la cobertura vegetal.....	52
3.2.4.3. Estimación del servicio ambiental de retención de suelo.....	53
3.2.4.4. Caracterización de los servicios ambientales de provisión.....	57

## CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIONES

	<b>Pág.</b>
4.1. DELIMITACION DE LA CUENCA.....	58
4.2. LÍNEA BASE DE LA CUENCA.....	63
4.2.1. Recurso suelo.....	63
4.2.1.1. Capacidad de uso mayor.....	63
4.2.1.2. Uso actual del suelo.....	67
4.2.2. Recurso agua.....	71
4.2.3. Cobertura vegetal.....	73
4.2.4. Recurso fauna.....	88
4.3. SERVICIOS AMBIENTALES IDENTIFICADOS EN LA CUENCA.....	90
4.4. DINÁMICA TEMPORAL DE SERVICIOS AMBIENTALES PRIORIZADOS.....	92
4.4.1. Servicios ambientales de regulación climática.....	92
4.4.1.1. Caracterización climática.....	92
4.4.1.2. Tasa de cambio de uso de suelo.....	104
4.4.1.3. Valor de las especies arbóreas para la regulación climática.....	111
4.4.2. Servicios ambientales de regulación y protección hídrica.....	112
4.4.2.1. Regulación hidrológica.....	112
4.4.2.2. Regulación hídrica por cobertura vegetal.....	117
4.4.3. Servicio ambiental de retención del suelo.....	123
4.4.4. Servicios ambientales de provisión.....	139

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

## RESUMEN

El presente estudio se realizó en la cuenca del río Pumahuanca, Urubamba – Cusco, entre los años 2015 y 2016 con la finalidad de delimitar la cuenca, elaborar la línea base ambiental, identificar los servicios ambientales y analizar la dinámica de servicios ambientales priorizados como: regulación climática, regulación y protección hídrica, retención de suelos, provisión de principales recursos, bajo las influencias climáticas y cambios de uso de suelo. La cuenca se delimitó con el sistema Pfafstetter, la línea base elaborada con información primaria y secundaria disponible. Los servicios ambientales se identificaron en base a un marco jerárquico de principios, criterios e indicadores. Para determinar la dinámica temporal de los servicios ambientales priorizados se utilizó imágenes satelitales por décadas desde 1975 hasta 2015 e información climática correspondiente para ser relacionados utilizando la metodología de regionalización, tasa de cambio de uso de suelos y el almacenamiento de carbono en especies arbóreas, indicadores hidrológicos, modelo de balance hídrico, modelo de erosión hídrica, el bosque como proveedor de bienes a través de matrices de presión de uso y la percepción de cambios sobre los servicios ambientales mediante encuestas semiestructuradas.

El río Pumahuanca corresponde a una cuenca del nivel nueve con 4755.4 ha, entre 2835 y 5130 m de altitud. Presenta potencialidades para diferentes usos de suelo, una gradiente altitudinal que incide en la variedad de microclimas con diferentes unidades de cobertura vegetal de alta diversidad y fauna asociada. Se identificó 24 servicios ambientales clasificados en 12 servicios de provisión, 7 servicios de regulación, 4 servicios culturales y la cuenca como servicio de soporte. Su dinámica temporal describe tendencias crecientes en la temperatura con variaciones de precipitación por década, retroceso glaciar y pérdida de cobertura vegetal en la parte alta y media afectando el servicio de regulación climática global por captura de carbono, el efecto de esta cobertura junto con parámetros hidrológicos presentan buena capacidad de regulación hídrica y de retención de suelos. Los servicios de provisión expresados en presión de uso de árboles y arbustos, así como la extracción de especies medicinales con fines comerciales explican la pérdida de cobertura vegetal.

## INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, nacional y a escala local el impacto de la actividad antrópica y las tendencias climáticas podrían traducirse en cambios en la composición y funciones de los ecosistemas, sobre todo en los altoandinos. La complejidad y gravedad de esos escenarios sólo podrá documentarse por medio de un seguimiento *in situ* a mediano y largo plazo. Pero ese monitoreo para detectar dichos impactos en los ecosistemas y en los servicios que prestan constituye un proceso incipiente por lo que el establecimiento de sistemas de evaluación a través de la generación de series de datos de larga duración es importante para proponer medidas correctivas, en particular en regiones donde existe limitada información, como los andes tropicales (Cuesta *et al.*, 2012), así mismo en nuestro país y región sobre todo a nivel de cuencas, zonas de alto valor por sus servicios ecosistémicos (Hayes, 2014).

La estructura y composición de los ecosistemas proveen múltiples beneficios, los que se entienden como los *bienes ambientales*; y sus funciones son la parte dinámica entendidos como los *servicios ambientales*; de las que se obtienen beneficios a cualquier escala y la mayoría no tiene precios de mercado y no pueden ser reemplazados por algún tipo de tecnología (Costanza *et.al*, 1997). Una de las principales proveedoras de estos bienes y servicios ambientales en el distrito de Urubamba, lo constituye la cuenca del río Pumahuanca, caracterizada por la presencia de bosques de *Polylepis*, *Myrcianthes*, así como matorrales, pastizales y bofedales altoandinos que regulan procesos indispensables para su mantenimiento, como la cantidad y calidad de agua, protección de suelos, captura de carbono, provisión de recursos, etc. que pueden ser afectados por el cambio de uso de suelos y la variabilidad climática.

En tal sentido se plantea la presente investigación que tiene como objetivo evaluar la dinámica temporal de los servicios ecosistémicos como regulación climática, regulación y protección hídrica, retención de suelo y servicios de provisión de principales recursos en la cuenca frente a los efectos producidos por el cambio de uso de suelos y la variabilidad climática. Con la finalidad de contribuir en el diseño de estrategias integrales que garanticen el mantenimiento de estos servicios ambientales para las generaciones futuras.

## JUSTIFICACIÓN

La cuenca Pumahuanca constituye una fuente de servicios ambientales para el distrito de Urubamba por su belleza escénica, gran diversidad de ecosistemas, cobertura vegetal destacando especies de *Polylepis*, *Myrcianthes* y *Styloceras*, única en la zona albergando avifauna característica y patrimonio cultural con un gran potencial turístico y de desarrollo. Por ello se desarrolló la presente investigación en el que se determinó su dinámica usando los componentes agua, suelo, vegetación, clima y los cambios observados en los mismos con participación de la población asentada en ella y el uso de herramientas tecnológicas que permite generar información relacionada a los servicios ecosistémicos y su variación en el tiempo.

El análisis de la información integrada constituye una base para la implementación de acciones que permiten el mantenimiento de estos servicios, incluido aquellos que se basan en aspectos económicos como la valoración y la generación de esquemas de compensación por servicios ambientales. Además de estrategias que incidan en el fortalecimiento de instituciones que manejan los servicios ecosistémicos; condición que fomenta el diseño de estrategias integrales que permitan la mitigación y adaptación de los sistemas naturales para otorgar sus servicios de manera sostenible.



## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General:**

Evaluar la dinámica temporal de los servicios ambientales de la cuenca del río Pumahuanca, Urubamba - Cusco.

### **Objetivos Específicos:**

1. Determinar la delimitación de la cuenca del río Pumahuanca
2. Elaborar la línea base ambiental de la cuenca
3. Identificar los servicios ambientales en la cuenca.
4. Evaluar la dinámica temporal de servicios ambientales priorizados.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. ANTECEDENTES

- **Antecedentes Internacionales**

**Marcial, R. (2011).** Analiza el cambio de la cobertura vegetal y usos del suelo con la finalidad de identificar sus implicancias en los servicios ecosistémicos de corte hidrológico en una comunidad de Oaxaca, México. Generando un modelo de alteración espacial que describe las dinámicas de cambio y permanencia para determinar los posibles impactos. El análisis para el período 1995 – 2005 indica que los aspectos hidrológicos se han visto beneficiados por la estabilidad del territorio en un 95% conservando su potencial para abastecer de agua a la zona de estudio además que se han recuperado zonas importantes que superan en superficie e importancia a las zonas afectadas. Siendo la zona de captación la que más se ha visto afectada por procesos de alteración afectando la calidad y cantidad de agua al aumentar la escorrentía superficial, la erosión del suelo y partículas suspendidas en el agua.

**Pico, J. et al. (2011).** Evalúa y compara los servicios ambientales de conservación de agua, biodiversidad, almacenamiento de carbono y protección de suelo a través de índices ecológicos en sistemas agroforestales bajo certificación orgánica y otras no certificadas en la localidad de Turrialba, Costa Rica. Los análisis para los tres primeros servicios ecosistémicos indican que las fincas con y sin certificación no mostraron diferencias estadísticas significativas. Sin embargo, el cálculo del criterio conformado por los indicadores de suelo, mostraron que las fincas orgánicas aportan mejores niveles de conservación del recurso que las fincas no certificadas, mostrando mayor cobertura de suelo y menor incidencia de erosión.

**Benites, A. (2007).** Identifica y caracteriza los principales servicios ecosistémicos generados en la cuenca del río Otún, Pereira en Colombia, ubicando los proveedores y las áreas prioritarias donde se generan y las posibles estrategias de intervención para manejarlos, a partir de un enfoque más utilitario del manejo de recursos naturales desde la óptica de los actores

locales, sus percepciones e intereses; y no sólo de los atributos intrínsecos de los ecosistemas. Son 11 los servicios ecosistémicos identificados; siendo los prioritarios: mantenimiento de la calidad del agua para consumo, del aire y producción de alimento, madera y bienes no maderables. Esto implica que los actores reconocen y priorizan a los servicios ecosistémicos como elementos para su bienestar y desarrollo. Los tres servicios ecosistémicos reconocidos como prioritarios en la cuenca del río Otún, son generados en la parte alta, en forma parcial en la parte media y degradada en la parte baja, específicamente en la ciudad de Pereira. **Ibañez, M. y Damman, G. (2013)**. Realizaron un estudio sobre los cambios de la cobertura de los suelos para la elaboración de escenarios territoriales en la subcuenca del río Vilcabamba en Apurímac a través del análisis de imágenes satelitales de los años 1986, 1994, 2002 y 2009 empleando 6 categorías de ocupación de suelos. Elaboraron matrices de cambio de cobertura, aplicando el modelo de Markov proyectaron tendencias de cambio en la zona baja, media y parte alta al 2016. De otro lado, identificaron impulsores de cambio mediante la revisión bibliográfica, entrevistas y encuesta; asimismo analizaron 3 escenarios y su probabilidad de ocurrencia. Los resultados muestran el incremento de las áreas agrícolas en la parte baja y media de la subcuenca. En la parte alta la reducción drástica de los nevados. En opinión de los encuestados los cambios se deberían a 4 impulsores: la degradación de la cobertura vegetal, la reducción de las fuentes de agua, la actividad minera y los eventos climáticos. Los escenarios territoriales al 2016 exponen que las tendencias en el período 2002 y 2009 se mantendrán. De otro lado, el análisis de los 3 escenarios señala a la minería como la actividad que mayor influencia tendrá sobre el territorio.

- **Antecedentes Nacionales**

**Mindreau, M. et al. (2013)**. Realizaron un reporte sobre la aplicación de criterios y metodologías con enfoque de servicios ecosistémicos para la identificación de zonas prioritarias para la conservación de la biodiversidad en 5 regiones del norte del Perú en donde evaluaron: la provisión de bienes de los bosques, la capacidad de retención hídrica de las unidades ecosistémicas, el índice del aporte de la vegetación en la regulación de la erosión así como el cálculo del grado de conversión de las unidades ecosistémicas mediante el

concepto de vulnerabilidad ecológica, a través de los cuales han determinado que la expansión urbana no planificada y agrícola son las principales causas de la reducción de ecosistemas nativos en las cinco regiones evaluadas.

**CDC-UNALM / WWF-OPP (2003).** Analizan los patrones y tendencias en los cambios de uso de suelo, deforestación y fragmentación de bosques a través de la interpretación de imágenes satelitales Landsat de 1986, 1996 y 2001 en tres cuencas: Huallaga, Pachitea – Aguaytía y Apurímac, utilizando tres categorías, cobertura boscosa, vegetación intervenida y sin cobertura boscosa. En el área de estudio, las tres cuencas presentan dinámicas independientes pero similares. Todas influenciadas por la presencia humana en ciudades medianas y pequeñas y abundantes centros poblados, mayormente asentados en las riberas de ríos navegables conectados por carreteras principales y secundarias. Analizando el cambio del uso del suelo la cobertura boscosa incrementa su área entre 1986-1996 y una tendencia decreciente llegando en 2001 a tener una extensión de 2 129 040 ha, es decir aproximadamente 300 000 ha menos que en 1996. Indica que el 12.04% del bosque de 1996 cambió a otras clases para el año 2001. Por el contrario, la vegetación intervenida decrece en 1996 y luego incrementa hasta casi duplicar su extensión en el 2001, aumenta en aproximadamente 85% de su extensión original. Finalmente las zonas sin cobertura mantienen una tendencia con poca variación en el primer período pero disminuyen su extensión en 40 % para el último año.

- **Antecedentes Locales**

**Acasi, D. (2015).** Realizó un análisis multitemporal para la generación de escenarios futuros de la cobertura nival de la Cordillera Urubamba para los años 2020 y 2030 utilizando métodos probabilísticos e imágenes satelitales tipo Landsat a intervalos de 5 años desde 1990 a 2010. Determinó que en este período hubo una marcada disminución de superficie cubierta por glaciares en 62.76% y se esperaría un retroceso posterior del 63% al 2030 a partir del 2010.

**Gonzales, C. (2010).** Realiza una evaluación de la cobertura y cambio de uso del suelo y su impacto en los servicios ambientales de la cuenca del río Huatanay mediante el procesamiento de imágenes LandSat de los años 1988, 1997 y 2007. Utilizando nueve clases de cobertura del suelo identifica que las

áreas forestales y el suelo descubierto disminuyen claramente siendo desplazada por áreas cubiertas de pastizal y zonas de acumulación de tierra con una tendencia creciente, atribuidos sobre todo a la acción humana. Asimismo al modelar el impacto del cambio sobre la erosión y servicios de regulación de la producción de sedimentos; el modelo de la erosión del suelo permitió la identificación de áreas críticas con pérdida de suelo en la cuenca. La pérdida promedio anual estimado del suelo difirió entre los años siendo 319.5, 299.4 y 306.0 T/ha.año en 1988, 1997 y 2007 respectivamente. El cual varía fuertemente con la pendiente (mayores a 25% en las partes medias y altas), además los suelos con cultivos de temporada tienen el impacto más significativo con altas tasa de pérdida y gran proporción reside en las empinadas laderas. Respecto de La producción de sedimentos estimada en la cuenca era 1.260,37 T/km<sup>2</sup>/año en 1988, 1.201,48 ton/km<sup>2</sup>/año en 1997 y 1227.61 ton/km<sup>2</sup>/año en 2007. Los valores más altos de producción de sedimentos se registraron en las zonas aguas abajo que indican un proceso de alta sedimentación en esta área.

**Bocangel, Y. (2005).** Determina la distribución altitudinal, parámetros poblacionales y realiza el análisis de diversidad de las cactáceas y suculentas en cuatro microcuencas del Valle Sagrado: Huaran, Urquillos, Pumahuanca, Mantamay. Concluyendo que el número de individuos y especies disminuyen gradualmente con la altitud, y que las cuencas de Mantamay y Pumahuanca presentan mayor diversidad de especies debido a las características de vegetación, temperatura y humedad que Huaran y Urquillos que presentan menor cobertura vegetal y mayor exposición solar.

**Tupayachi, A. (2004).** Identifica y evalúa los recursos biofísicos y culturales de la zona altoandina del Valle Sagrado asociado a los bosques de *Polylepys* (Rosaceae) para formular una propuesta de área de conservación regional en el que incluye un enfoque de servicios ambientales y conocimientos tradicionales de las sociedades andinas respecto de los componentes forestales. Así, reporta 49 familias de especies de plantas vasculares, describe los escenarios paisajísticos, la necesidad de rescatar los conocimientos tradicionales presentando condición favorable para ser conservada.

## **1.2. GENERALIDADES**

### **1.2.1. Cuenca**

Una cuenca es el área natural o unidad de territorio delimitada por una divisoria topográfica (*divortium aquarum*), que capta la precipitación y drena el agua de escorrentía hasta un colector común, denominado río principal (Vásquez, 2000). Además, la cuenca es una unidad que posee características geográficas, físicas y biofísicas que la hacen funcionar como un ecosistema (National Research Council - NRC, 2005).

Un enfoque de cuenca se refiere al estudio de todos los elementos de una cuenca, incluyendo el territorio que drena a los ecosistemas acuáticos así como los usos del suelo, agua y demás actividades humanas que se lleven a cabo dentro del área de una cuenca (Convención Ramsar, 2010) y el manejo de cuenca, el conjunto de acciones para lograr un buen uso de recursos naturales existentes en su ámbito geográfico, con la finalidad de darle sostenibilidad en el tiempo contribuyendo al bienestar del hombre (Vásquez, 2000).

#### **1.2.1.1. Delimitación y codificación**

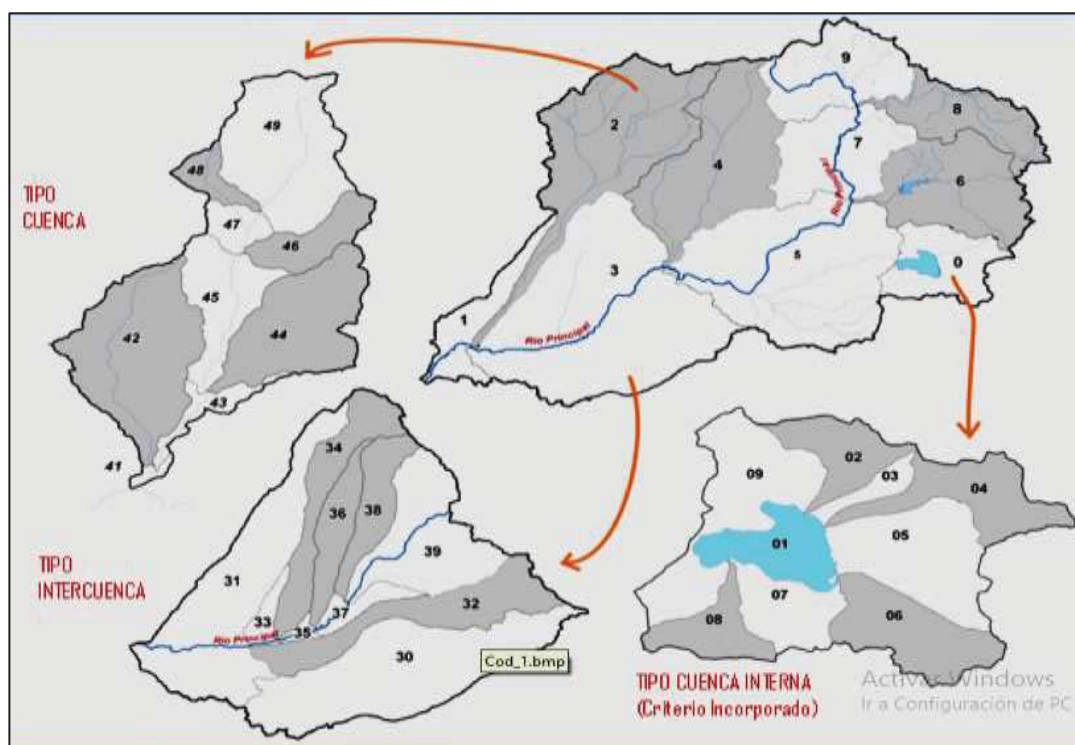
En el año 2008 la intendencia de recursos hídricos del INRENA, incorpora criterios estándares de nivel internacional para la delimitación, codificación de cuencas en nuestro país (aprobado por Resolución Ministerial 033- AG del 5 de enero 2008) desarrollado por Otto Pfafstetter en 1989, difundido por la United States Geological Survey (USGS-EEUU) en 1997. Basada en una metodología que asigna códigos a unidades de drenaje de acuerdo a la topología de la superficie del terreno bajo un sistema jerárquico (UICN, 2008).

El nivel 1 corresponde a la escala continental de unidades de drenaje, los niveles superiores (2, 3, 4, etc.) representan mosaicos cada vez más finos de la superficie del terreno en unidades de drenaje más pequeñas. A cada unidad hidrográfica se le asigna un código específico, basado en su ubicación dentro del sistema total de drenaje que ocupa (ANA, 2010).

El proceso de codificación consiste en subdividir una cuenca hidrográfica, cualquiera que sea su tamaño, determinando los cuatro mayores afluentes del

río principal. Las cuencas correspondientes a esos tributarios son enumerados con los dígitos pares (2, 4, 6 y 8), desde la desembocadura hacia la naciente del río principal. Los otros tributarios del río principal son agrupados en las áreas restantes, denominadas intercuenas, que reciben, en el mismo sentido, los dígitos impares (1, 3, 5, 7 y 9). Cada una de las cuencas e intercuenas, resultantes de esa primera subdivisión, pueden ser subdivididas de la misma manera, de modo que la subdivisión de la cuenca 4 genera las cuencas 42, 44, 46 y 48 y las intercuenas 41, 43, 45, 47 y 49. El mismo proceso se aplica a las intercuenas resultantes de la primera división, de modo que la intercuenca 3, por ejemplo, se subdivide en las cuencas 32, 34, 36, 38 y en las intercuenas 31, 33, 35, 37 y 39. Los dígitos de la subdivisión son simplemente agregados al código de la cuenca o intercuenca que está siendo dividida (ANA, 2010). Gráficamente el proceso descrito está representado en la figura 1.

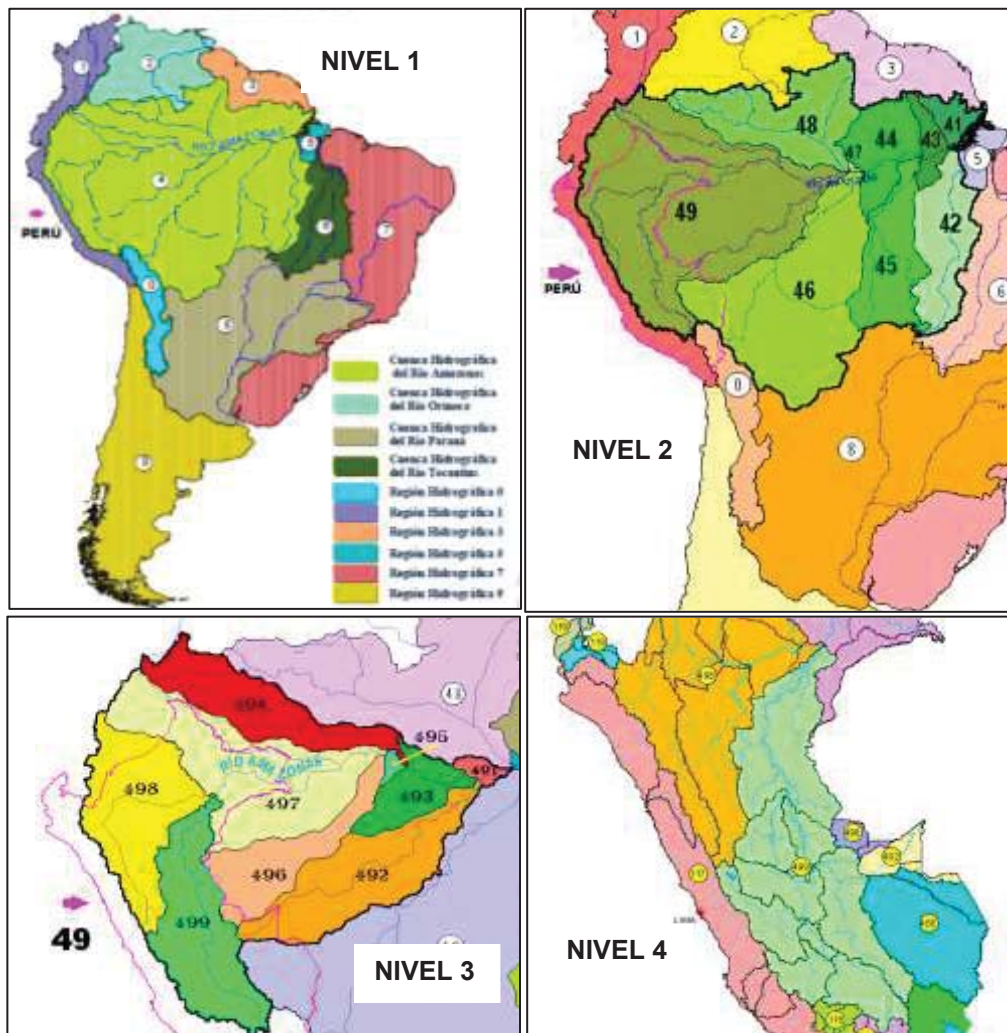
Figura 1. Codificación y delimitación de cuencas según Pfafstetter



Fuente: UICN, 2008

Para el Perú se han codificado por esta metodología hasta el nivel 5 y en algunos casos hasta el nivel 6, cuyas codificaciones a nivel de Sudamérica (nivel 1) se pueden distinguir en la figura 2 y descritos en el cuadro 1.

Figura 2. Clasificación y codificación de cuencas para Sudamérica y Perú



Fuente: Elaborado en base a UICN, 2008

Cuadro 1. Clasificación y codificación de cuencas para Sudamérica y Perú

Nivel	Denominación	Código
1	Cuenca Hidrográfica del Río Amazonas	4
2	Cuenca del Río Amazonas en el Perú	49
3	Cuenca Hidrográfica del Río Ucayali	499
4	Cuenca hidrográfica del río Urubamba	4994

Fuente: Elaborado en base a UICN, 2008 y ANA, 2010

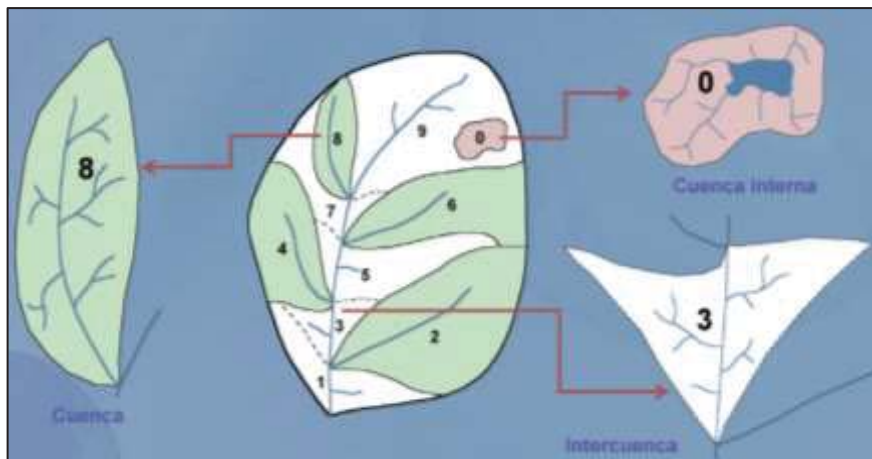
### 1.2.1.2. Tipos

De acuerdo al sistema Pfafstetter, las unidades hidrográficas son espacios geográficos limitados por líneas divisorias de aguas, relacionados espacialmente por sus códigos, donde el tamaño de sus áreas de drenaje es el único criterio de organización jerárquica; estas unidades de drenaje son divididas en 3 tipos: cuencas, inter cuencas y cuencas internas (UICN, 2008).



Una cuenca, es un área que no recibe drenaje de ninguna otra área. Una ínter cuenca, es un área que recibe drenaje de otras unidades aguas arriba. Finalmente, una cuenca interna es un área de drenaje que no contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje o cuerpo de agua, tales como un océano o lago (UICN, 2008). Como se puede distinguir en la figura 3.

Figura 3. Tipos de cuencas según O. Pfafstetter



Fuente: UICN, 2008.

### 1.2.1.3. Características

- Poseen una organización jerárquica (niveles).
- Son delimitadas desde la confluencia de los ríos.
- Se relacionan espacialmente por sus códigos (topología).
- Poseen un código único dentro del continente.
- El número de dígitos del código (nivel).
- Cubren la totalidad del territorio.

### 1.2.2. Servicios ambientales o ecosistémicos

Se refiere a la capacidad de los ecosistemas naturales y seminaturales de regular los procesos ecológicos esenciales y los sistemas que soportan la vida a través de ciclos biogeoquímicos, la transformación de energía en biomasa, mineralización de materia orgánica en suelos y sedimentos, así como la regulación del sistema climático y otros procesos (De Groot, Wilson y Boumans, 2002). Todos estos procesos regulados por la interrelación de factores abióticos con los organismos vivos a través de la evolución y

mecanismos de control (Millenium Ecosystem Assessment - MEA, 2005). Es importante señalar que debido a los beneficios indirectos estas funciones de regulación, no son reconocidos hasta que son degradados o perdidos.

La evaluación de los servicios ambientales en cuencas hidrográficas se refiere especialmente a: los beneficios por el control y regulación hídrica dentro de ellas, el control de la erosión debido a la gruesa capa de materia orgánica y de las raíces de las especies forestales, el mejoramiento de la calidad del suelo por la capa que los protege de la radiación y la fuerza de la precipitación, estabilización de los flujos hídricos, etc. (MINAM, 2015).

#### **1.2.2.1. Identificación de los servicios ambientales**

El primer paso hacia la identificación de los bienes y servicios ambientales involucra la traducción de la complejidad ecológica (estructuras y procesos) a un número limitado de funciones de los ecosistemas. Estas funciones son las que proveen de bienes y servicios que el hombre necesita para vivir y que además se pueden valorar (De Groot *et al.*, 2002).

#### **1.2.2.2. Clasificación de los servicios ambientales o ecosistémicos**

De Groot *et al.* (2002), Evaluación de Ecosistemas del Milenio (MEA, (2003) y MINAM (2015) clasifican a los bienes y servicios ambientales a partir de la función que los ecosistemas realizan en cuatro categorías.

##### **1.2.2.2.1. Servicios de provisión**

Comprenden los bienes producidos o proveídos por los ecosistemas, tales como: alimentos, bioquímicos (medicina natural y farmacéutica), recursos genéticos, madera para combustible, fibra, recursos ornamentales, agua, minerales, entre otros.

##### **1.2.2.2.2. Servicios de soporte**

Son los servicios que mantienen las condiciones de vida en la Tierra y necesarios para que se produzcan los otros servicios. La producción

primaria, producción de oxígeno, polinización, formación de suelo, ciclo de nutrientes y la provisión de hábitat son parte de ellos.

Los servicios de soporte difieren de los servicios de provisión, regulación y culturales porque su impacto en el ser humano es indirecto o bien ocurre sobre largos períodos de tiempo y escala, mientras que los cambios en los otros servicios son relativamente directos y en corto tiempo (MEA, 2003). Por ejemplo, para el servicio ambiental de soporte formación de suelo, el hombre no lo usa directamente, sin embargo, cualquier cambio sobre éste puede afectar indirectamente a la población ya que afecta al servicio ambiental de producción de alimento, como es el caso de la producción de maíz.

#### **1.2.2.2.3. Servicios de regulación**

Son los servicios del ecosistema que regulan los procesos ecológicos esenciales y los sistemas que soportan la vida a través de ciclos biogeoquímicos y otros procesos. Se dan por la interrelación de los factores abióticos con los organismos vivos a través de la evolución y mecanismos de control. Por ejemplo, el mantenimiento de la calidad del aire, la regulación climática, regulación y protección hídrica, control de la erosión, purificación de agua y residuos, regulación de enfermedades humanas, control biológico, desintoxicación, mantenimiento del hábitat y diversidad biológica, etc. Es importante señalar que debido a los beneficios indirectos de estas funciones de regulación, no son reconocidos hasta que son degradados o perdidos.

#### **1.2.2.2.4. Servicios culturales**

Son los beneficios no materiales que se obtienen del ecosistema a través del enriquecimiento espiritual, desarrollo cognitivo, reflexión, recreación y experiencia estética. Incluyen la diversidad cultural e identidad, valores espirituales y religiosos, sistemas de conocimiento (tradicional o formal), valor educacional, inspiración, valor estético, relación social, sentido de lugar, herencia cultural así como la recreación y ecoturismo.

En el cuadro 2, se pueden distinguir las categorías de servicios ecosistémicos o ambientales.

Cuadro 2. Servicios Ecosistémicos o ambientales

<b>Categoría</b>	<b>Servicios ambientales o ecosistémicos</b>
<b>Servicios de provisión</b>	Alimento Fibra Recursos genéticos Combustibles Productos bioquímicos, medicinas naturales, productos farmacéuticos Agua
<b>Servicios de regulación</b>	Regulación de la calidad del aire Regulación del clima Regulación del agua Regulación de la erosión Purificación del agua y tratamiento de aguas de desecho Regulación de enfermedades Regulación de pestes Polinización Regulación de riesgos naturales
<b>Servicios culturales</b>	Valores espirituales y religiosos Valores estéticos Recreación y ecoturismo
<b>Servicios de soporte</b>	Ciclo de nutrientes Formación de suelo Producción primaria

Fuente: Millenium Ecosystem Aassessment – MEA, 2005.

Como se ha observado, entender y evaluar los servicios ambientales provee información que puede garantizar la continuidad sostenida de dichos servicios ambientales para las generaciones futuras.

### 1.2.3. Sistema climático

El clima de la Tierra constituye un amplio sistema físico, sumamente complejo y muchas conexiones cuyo funcionamiento está dominado por los intercambios energéticos. En la estructura de este sistema, diferentes factores cósmicos, planetarios y geográficos representan las entradas, los componentes internos del sistema son la parte central, y la salida está formada por el mosaico de climas del globo. Los distintos elementos mantienen fuertes vínculos entre sí, que se articulan a través de una amplia gama temporal y espacial de procesos físicos que van desde los de pequeña dimensión, que ocurren a nuestro

alrededor, hasta aquellos que abarcan todo el planeta y duran muchos años (Cuadrat y Pita, 2011).

#### **1.2.3.1. Tiempo y clima**

El tiempo atmosférico se define como la condición de la atmósfera en un lugar determinado, en un lapso de tiempo corto. Es el elemento activo y cambiante de la acción atmosférica. Un acontecimiento particular de la naturaleza que puede observarse directamente (González, 2010).

Mientras que el clima, se define como el estado medio de la atmosfera, o bien como el promedio de los estados del tiempo en un área determinada, calculado sobre observaciones hechas durante muchos años. El período normal es de 30 años según la definición de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (Gutiérrez, 2008). Y está definido por elementos y factores climáticos; los elementos del clima son cada uno de los aspectos físicos que integran el clima: temperatura del aire, presión atmosférica, viento, humedad del aire, precipitación; y los factores son los agentes que influyen y/o modifican el comportamiento de cada uno de los elementos del clima pueden ser astronómicos, geográficos y meteorológicos (Cuadrat y Pita, 2011).

#### **1.2.3.2. Variabilidad climática**

Se considera variabilidad climática a aquellas variaciones en las condiciones climáticas medias y otras estadísticas del clima como desviaciones típicas, fenómenos extremos, etc. en todas las escalas temporales y espaciales que se extienden más allá de la escala de un fenómeno meteorológico en particular. (IPCC, 2007). La variabilidad puede deberse a procesos naturales internos que ocurren dentro del sistema climático (variabilidad interna) o variaciones en el forzamiento externo natural o antropogénico (Llosa *et al.*, 2009).

Mientras que el cambio climático es la variación estadísticamente significativa, ya sea de condiciones climáticas medias o su variabilidad, que se mantiene durante un período prolongado, generalmente decenios o más. Puede deberse a procesos naturales internos, forzamiento externo o cambios antropogenos duraderos en la composición de la atmosfera o en el uso de la tierra (IPCC,

2007). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en su primer artículo lo define como el cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial y que se añade a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (Gutiérrez, 2008).

#### **1.2.3.3. Vulnerabilidad y adaptación frente a riesgos climáticos**

La vulnerabilidad se refiere al grado de susceptibilidad de un sistema para afrontar los efectos negativos del clima, incluidos la variabilidad y los fenómenos extremos. Se da en función del carácter, dimensión e índice de variación climática a que está expuesto, su sensibilidad y capacidad de adaptación (Llosa *et al.*, 2009).

Por otro lado, la adaptación se refiere al ajuste de los sistemas humanos o naturales como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, como a sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos. Así surge el enfoque de adaptación basado en ecosistemas a través del uso de la biodiversidad y servicios ecosistémicos como parte integrada de las estrategias de adaptación para apoyar a la sociedad a adaptarse a los efectos adversos del clima (Hayes, 2014).

#### **1.2.4. Riesgo ambiental por cambio de uso de suelos**

Se considera una de las formas de degradación ambiental, que suele ser agresiva y de difícil recuperación dependiendo del ecosistema. La gravedad del impacto sobre la biodiversidad depende del tipo de uso que se tenga, desde los usos extensivos hasta los altamente intensivos. En esta escala los usos agrícolas suelen implicar cambios parciales o totales de cobertura por lo que denotan una gravedad particular desde la perspectiva de la biodiversidad (Mindreau *et al.*, 2013).

Asimismo, los ecosistemas de las partes altas de las cuencas se han visto afectadas por diferentes factores, siendo el principal la deforestación producto del cambio de uso del suelo debido a la migración de familias desde las zonas altas. Este proceso ha transformado los ecosistemas con aptitud y capacidad

de uso forestal y de protección en áreas de cultivo, cortando así el flujo de servicios ecosistémicos que naturalmente suministraban, entre los cuales destaca la provisión de agua y protección de los suelos y regulación climática (Goldman *et al.*, 2012). Sin embargo, tan importante como el impacto en términos ecológicos es el impacto en términos económicos que genera la degradación de los ecosistemas aguas abajo, que se traduce en un incremento en los costos de tratamiento y potabilización del agua.

Para estudiar el impacto del cambio de uso del suelo en la provisión de servicios se pueden usar escenarios de cobertura de uso de suelo a través de herramientas de análisis espacial como los sistemas de información geográfica y teledetección ambiental (Goldman *et al.*, 2012).

#### **1.2.5. Sistemas de información geográfica**

Un sistema de información geográfica (SIG) Es un sistema de computación que utiliza información de localización, para mapearlo así como realizar un mejor análisis de datos espaciales y temporales internamente referenciados, producir mapas temáticos, realizar procesos de información de tipo digital almacenada en plantillas o bases de datos, que tenga un componente geográfico que permita ver patrones, relaciones y tendencias, que no pueden verse en un formato de tabla o lista. Un lugar destacado dentro de dicho ámbito lo ocupan las aplicaciones SIG a estudios de carácter ambiental, referentes a planificación y protección ambiental, recursos naturales, modelización hidrológica, etc. Ofrecen numerosas ventajas a la cartografía convencional y una perspectiva totalmente nueva y dinámica de la información que contribuye a tomar mejores decisiones (Conesa, 2004).

#### **1.2.6. Teledetección**

Sin duda, el mayor impulso dado en relación con el seguimiento y control de problemas ambientales, a distintas escalas territoriales, se debe al extraordinario avance experimentado por las técnicas de análisis espacial.

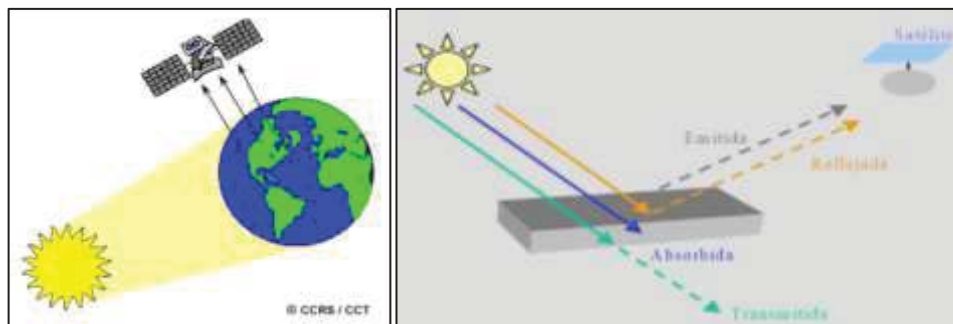
La teledetección se define como aquella técnica que permite obtener información a distancia de los objetos situados sobre la superficie terrestre a

través de sensores remotos (Chuvienco, 2010). La detección y grabación de la energía emitida o reflejada, se puede procesar, analizar y aplicar para muchos propósitos. Las imágenes obtenidas a partir de plataformas espaciales constituyen una fuente muy importante de información sobre los recursos naturales y del ambiente. Proveen una visión sinóptica de grandes áreas de la superficie terrestre, lo que permite una mejor comprensión de la organización espacial, y acceder a información que nuestra visión no capta, como las bandas del infrarrojo (Batelle, 2009).

Para comprender el tipo de información que se registran en los sensores remotos y cómo se extrae, es necesario conocer los fundamentos de la percepción remota.

Cuando el sol ilumina la superficie de la Tierra, una parte de la energía incidente es reflejada, otra parte es transmitida y otra absorbida; de esta última proviene la energía emitida resultado de la ganancia de temperatura. La relación entre estos tres fenómenos se presenta en la figura 4.

Figura 4. Fundamentos de la percepción remota



Fuente: Battelle, 2009

Para ello, son necesarios instrumentos capaces de registrar la radiación electromagnética procedente de la Tierra y transformarla en una señal susceptible de ser manejada analógicamente (productos fotográficos) o digitalmente (cintas magnéticas compatibles con ordenador). Con los que se puede recopilar y conjuntar información sobre el medio ambiente y los recursos naturales para ayudar en la toma de decisiones comunitarias, sobre todo los cambios de uso de suelo (Conesa, 2004).

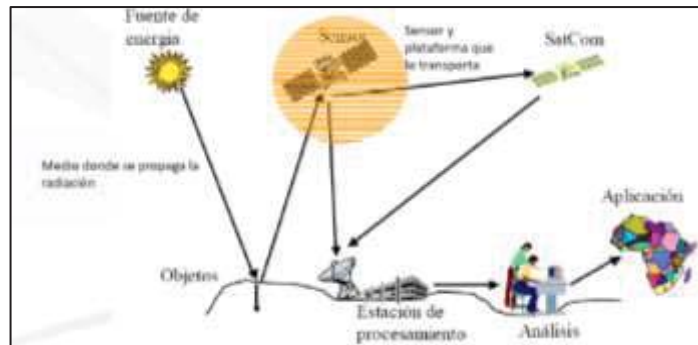


### 1.2.6.1. Elementos de un proceso de teledetección

Existen cuatro componentes básicos en los sistemas de teledetección:

- Fuente de energía
- Objeto observado
- Medio de transmisión
- Sensor

Figura 5. Sistema de teledetección



Fuente: Batelle, 2009.

La posibilidad de adquirir información a distancia se basa en la interacción entre la radiación electromagnética y la materia como se aprecia en la figura 5. Todos los objetos tienen una respuesta espectral propia y además esta combinación espectral es similar a la que presentan otros objetos o superficies de las mismas características u homogeneidad. La teledetección consiste en la identificación de los objetos a partir de las diferencias en la energía reflejada (Fernández y Herrero, 2004).

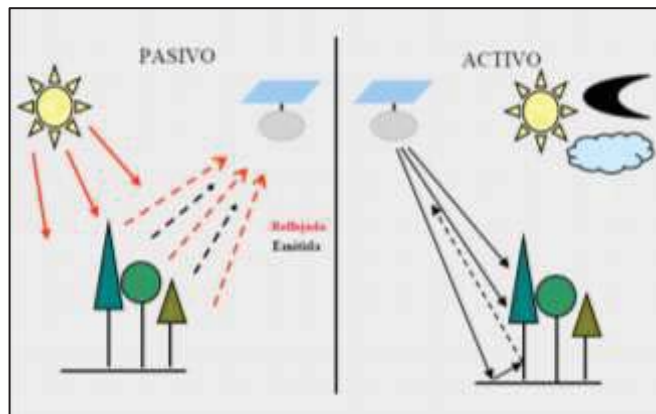
El objetivo fundamental de la teledetección es analizar las características de la radiación de la superficie terrestre, y es captada posteriormente por un sensor situado en un satélite, para determinar, a partir de estas características, que elementos y factores ambientales las han producido.

### 1.2.6.2. Plataformas satelitales

#### A. Tipos de sensores remotos.

Los sensores remotos pueden clasificarse como pasivos o activos, según el tipo de fuente de energía electromagnética que utilicen (ver Figura 6).

Figura 6. Tipos de sensores remotos



Fuente: Batelle, 2009

**Los sensores pasivos** miden la radiación electromagnética procedente de las coberturas terrestres, ya sea reflejada por los rayos solares o emitida a través de ondas termales. Operan gracias a una fuente externa de energía electromagnética, por tanto son dependientes de la energía solar, operan únicamente de día, con excepción de aquellos sensores que captan radiaciones en el rango del infrarrojo térmico.

**Los sensores activos** se caracterizan por su capacidad de emitir un haz energético que tras su reflexión sobre la superficie observada es captado y registrado por el mismo sistema. No son afectados por condiciones atmosféricas que inciden en las ondas más cortas. Pueden operar con nubes, niebla o bruma. Como poseen su propia fuente de energía, pueden operar tanto de día como de noche (Chuvieco, 2010).

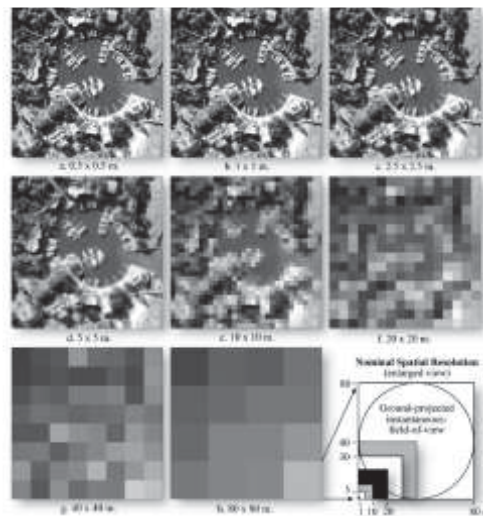
## B. Características de los sensores

Los sensores poseen características propias para una aplicación dada, alguno de ellos son más apropiado que otros. La habilidad de un sistema sensor de discriminar información de detalle se denomina resolución e implica diversas manifestaciones (Chuvieco, 2010), las más comunes en la literatura especializada son:

- **Resolución espacial:** Hace referencia al objeto más pequeño que puede ser detectado por el sensor, es decir, equivalente al píxel (Figura 7). El tamaño del píxel varía según los sensores y tiene un rol muy importante en

la interpretación, puesto que determina el nivel de detalle, varía de 1 a 1.000 metros.

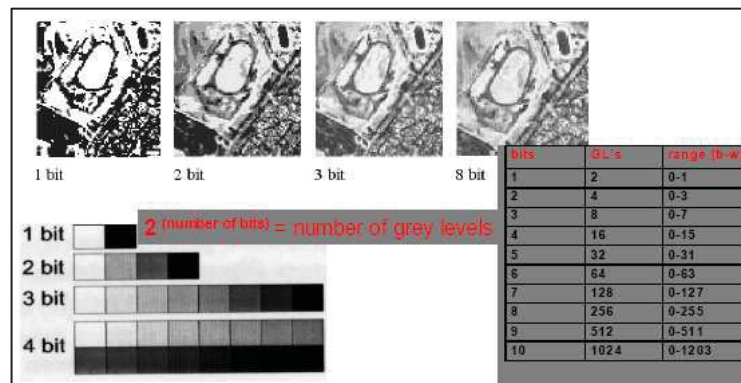
Figura 7. Pixel y resolución espacial.



Fuente: Jensen, 2007

- **Resolución espectral:** Se refiere al número y al ancho de las bandas espectrales que puede discriminar el sensor. A mayor cantidad de bandas y menor ancho de éstas, aumenta la resolución espectral. El satélite Landsat comprende 7 bandas diferentes, incluyendo varias del espectro infrarrojo, de los 0,07  $\mu\text{m}$  a los 2,1  $\mu\text{m}$ .
- **Resolución radiométrica:** es la sensibilidad del sensor para detectar variaciones en la intensidad de radiación recibida, expresada en bits (figura 8). Por ejemplo, de 8 a 14 bits, corresponde a los 256 niveles de una escala de grises, y puede llegar a 16.384 intensidades de color en cada banda.

Figura 8. Resolución radiométrica

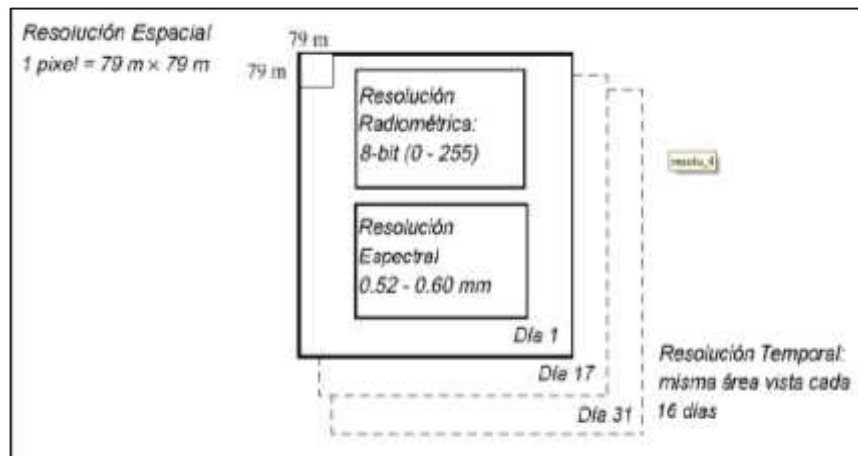


Fuente: Jensen, 2007

- **Resolución temporal o periodicidad:** es la frecuencia con la que el sensor adquiere imágenes de la misma porción de la superficie terrestre, importantes en investigaciones sobre el efecto del paso del tiempo, como en la monitorización de las deforestaciones, etc.

Esas características han sido agrupadas en el esquema de la figura 9 denominadas resoluciones del sensor: espacial, espectral, radiométrica y temporal.

Figura 9. Resoluciones de un sensor



Fuente: Batelle, 2009.

### 1.2.6.3. Satélite Landsat

Se trata de una serie de satélites construidos por la NASA dedicados específicamente a la evaluación de recursos naturales, dotado de sensores empleados en teledetección, con el fin de obtener datos de los recursos terrestres. La serie de satélites Landsat: 1 al 7, desde el año 1972 dan una de las mejores series históricas de la evolución del planeta. Este sensor es el más empleado en aplicaciones agrícolas, forestales, usos del suelo, hidrología, recursos costeros y monitoreo ambiental (Chuvieco, 2010).

Los tres primeros Landsat incorporaban el sensor MSS (Multispectral Scanner), que es un equipo de barrido óptico electrónico; pero a partir del Landsat 4, una nueva generación de la serie, ya incorpora al barredor multispectral un nuevo sensor denominado TM (Thematic Mapper). Este nuevo sensor provee datos en 7 bandas espectrales, junto a un mejoramiento de la resolución espectral, espacial y radiométrica. El Landsat 7 mejora este sensor pudiendo registrar hasta 8 bandas espectrales con el sensor ETM+

(Enhanced Thematic Mapper Plus). Y desde el 2013 aparece Landsat 8 que registra 11 bandas. Las características de las bandas del satélite Landsat 7 se detallan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Características de las bandas espectrales Landsat 7

<b>Banda</b>	<b>Longitud del espectro (<math>\mu</math>)</b>	<b>Descripción</b>	<b>Resolución espacial (m)</b>	<b>Ancho de barrido</b>
<b>1</b>	0.45 - 0.52	azul	30	183 km
<b>2</b>	0.52 - 0.60	verde	30	183 km
<b>3</b>	0.63 - 0.69	rojo	30	183 km
<b>4</b>	0.76 - 0.90	infra-rojo próximo	30	183 km
<b>5</b>	1.55 - 1.75	infra-rojo promedio	30	183 km
<b>6</b>	10.40 - 12.50	infra-rojo termal	60	183 km
<b>7</b>	2.08 - 2.35	infra-rojo distante	30	183 km
<b>8</b>	0.52 - 0.90	pancromático	15	183 km

**Fuente:** Elaborado en base a Fernández y Herrero, 2004.

La resolución temporal de LandSat 7 corresponde a 16 días, menor que el resto de satélites; lo que podría significar un número de imágenes significativo por año para cada punto de la corteza terrestre desde su inicio en 1972. Sin embargo, la interferencia de nubes hace que muchas imágenes no sean útiles para determinados propósitos.

#### **1.2.6.4. Análisis e interpretación de imágenes**

Para el análisis visual de las imágenes se emplea tres bandas del sensor, coincidiendo con la capacidad de los monitores utilizados en informática, los monitores RGB que corresponden con los tres colores básicos: rojo, verde y azul (red/green/blue) con los que por combinación se construyen los demás colores y tonos. Los que sirven para el análisis visual de las imágenes por combinación de bandas y un primer acercamiento a su contenido (Fernández & Herrero, 2004).

La combinación de colores permite discriminar coberturas en una zona determinada, pero además se requiere examinar imágenes consecutivas, análisis multitemporal y contextual previo conocimiento de la zona cubierta por la imagen.

#### 1.2.6.4.1. Combinaciones con las bandas

##### a. Combinación en color natural: RGB bandas 3, 2, 1

Constituye la combinación más próxima a la percepción de la Tierra con nuestros ojos desde el espacio, es el color verdadero. Las bandas visibles dan respuesta a la luz que ha penetrado más profundamente, sirven para discriminar el agua poco profunda y distinguir aguas turbias, corrientes, batimetría y zonas con sedimentos (Fernández & Herrero, 2004).

##### b. Combinación en falso color: RGB bandas 4, 3, 2

- **Rojo – magenta:** Vegetación vigorosa, cultivos regados, prados de montaña o bosques de caducifolias en imágenes de verano y cultivos herbáceos de secano en imágenes de primavera.
- **Rosa:** Áreas vegetales menos densas y / o vegetación en temprano estado de crecimiento. Las áreas residenciales suburbanas en torno a las grandes ciudades, con sus pequeños jardines y árboles diseminados, aparecen a veces en este color.
- **Blanco:** Áreas de escasa o nula vegetación pero de máxima reflectividad: nubes, arenas, depósitos salinos, canteras y suelos desnudos.
- **Azul oscuro a negro:** Superficies cubiertas total o parcialmente por el agua: ríos, canales, lagos y embalses. En zonas volcánicas los tonos negros pueden asimismo identificar flujos de lava.
- **Gris a azul metálico:** Ciudades o áreas pobladas, si bien puede asimismo tratarse de roquedo desnudo.
- **Marrón:** Vegetación arbustiva muy variable en función de la densidad y del tono del sustrato. Los tonos más oscuros indican presencia de materiales paleozoicos (pizarras), mientras los materiales calcícolos, menos densos normalmente, ofrecen una coloración más clara.
- **Beige – dorado:** Identifica zonas de transición: prados secos frecuentemente asociados con el matorral ralo.

### **c. Combinación en falso color: RGB Bandas 4, 5, 3**

Realza con gran detalle los límites entre el agua y la tierra. Los diferentes tipos de vegetación se muestran en colores marrones, verdes y naranjas. Destaca las diferencias de humedad en el suelo y vegetación, el suelo húmedo aparece más oscuro (Fernández y Herrero, 2004).

La interpretación visual de imágenes se refiere a la habilidad de relacionar colores o patrones en una imagen con características del mundo real, a través de la digitalización y el uso de recursos geométrico y datos temáticos relevantes para la construcción de mapas, generando información espacial como los mapas de uso de suelos, mapas catastrales, etc. (Chuvieco, 2010).

Sin embargo, esta interpretación requiere de un proceso de clasificación digital de las imágenes en el que un operador instruye al ordenador para que realice una interpretación de acuerdo a ciertas condiciones predefinidas. Se conocen dos métodos de clasificación que la mayoría de veces son complementarias.

#### **1.2.6.4.2. Clasificación supervisada**

Parte de un cierto conocimiento de la zona de estudio, adquirido por experiencia previa o de campo. Esta familiaridad con el área de interés permite al intérprete delimitar sobre la imagen áreas suficientemente representativas de cada una de las categorías (áreas de entrenamiento), a partir de las cuales se caracterizan cada una de las clases. Posteriormente, el resto de los píxeles de la imagen se asigna a una de esas categorías en función de la similitud de sus ND (niveles digitales) con los extraídos como referencia (Chuvieco, 2010).

#### **1.2.6.4.3. Clasificación no supervisada**

No implica ningún conocimiento del área de estudio, por lo que la intervención humana se centra más en la interpretación que en la consecución de los resultados. En este caso, se asume que los ND de la imagen forman una serie de agrupaciones más o menos nítidas según los casos. Estos grupos equivaldrían a píxeles con un comportamiento espectral homogéneo y deberían definir clases temáticas de interés; sin embargo no siempre garantizan las

clases informacionales que el usuario pretende deducir, por lo que tiene que interpretar el significado temático de esas categorías (Chuvieco, 2010).

### **1.2.7. Mapa temático**

Es la representación de características socioespaciales de interés, representadas en un mapa base topográfico, con el objeto de expresar sus relaciones funcionales. Hacen referencia a la representación de ciertas características de distribución, relación, densidad o regionalización de objetos reales (vegetación, suelos, geología, etc.). En el diseño de estos mapas se debe identificar el contenido informático de la variable geográfica a ser representada, definir su objetivo como instrumento de comunicación y elegir la simbología que refleje el contenido sustancial del mensaje que se requiere transmitir (Buzzai, 2008).

### **1.2.8. Enfoque ecosistémico**

Es una estrategia para la gestión integrada de tierras aguas y recursos vivos que promueven la conservación y utilización sostenible de modo equitativo. Se basa en la aplicación de metodologías científicas apropiadas que se concentran en niveles de organización biológica que abarcan los procesos, funciones e interacciones entre organismos esenciales y su medio ambiente. Reconoce que el hombre, así como su diversidad cultural es un componente integrante de los ecosistemas (CATIE, 2006).

### **1.2.9. Ecología funcional**

Hooper y Vitousek (1997) indican que el funcionamiento ecosistémico no depende del número de las especies presentes, si no de los rasgos funcionales o las características de las especies y su potencial diferenciado para generar servicios ambientales de estas especies. Además, aparte de los factores abióticos y la forma de uso de la tierra, la diversidad funcional es el factor más influyente en el funcionamiento de un ecosistema. Precisamente, éstas serían las ventajas para preferir la ecología funcional en estudios de ecología aplicada, donde los rasgos funcionales de las especies son más importantes que su clasificación estrictamente taxonómica.



La diversidad funcional se define por el valor y la abundancia relativa de los rasgos funcionales presentes en una comunidad mientras, los rasgos funcionales son característicos de las especies, relacionadas con factores o procesos de funcionamiento de un ecosistema dado.

En ecología funcional, las especies pueden ser agrupadas (o diferenciadas) en tipos ecológicos funcionales con base a sus rasgos funcionales, de diferentes formas dependiendo de los objetivos de cada estudio. Por ejemplo, los tipos de especies con madera de baja densidad muestran ciclos bio-geoquímicos y respuestas a la perturbación y competencia más rápidas que los tipos de especies con madera de densidad alta (CATIE, 2006).

En la presente investigación, interesan los rasgos funcionales más relevantes para caracterizar las especies arbóreas, por su efecto en la provisión de servicios ambientales de secuestro de carbono como medio para la regulación climática.

#### **1.2.10. Desarrollo sostenible**

En el informe Brundtland se define el desarrollo sostenible como aquel que busca satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades. En esta definición está implícito el concepto de equidad en dos formas: inter e intra generacional. El aspecto de equidad intergeneracional contenido en esta definición, es decir la necesidad de proteger los derechos de las generaciones futuras a su propio desarrollo, exige que el desarrollo económico se asocie a la protección del medio ambiente y a formas de uso de los recursos naturales que aseguren el acceso a estos por las generaciones futuras. Desde el punto de vista intra generacional, en el informe se destaca la importancia de la erradicación de la pobreza y la relación circular entre pobreza y degradación ambiental.

## CAPITULO II

### ÁREA DE ESTUDIO

#### 2.1. UBICACIÓN

Políticamente la cuenca de Pumahuanca se encuentra en:

Distrito:	Urubamba
Provincia:	Urubamba
Región:	Cusco

Este río es tributario de la cuenca media del Vilcanota en el Valle Sagrado. El punto más bajo se ubica en su desembocadura a 2835 m y su mayor elevación a 5130 m en el nevado del mismo nombre. Abarca las comunidades y sectores de Sutoq-Paqchac, Palccaraqui y Media Luna.

Geográficamente se ubica en las siguientes coordenadas:

- **Coordenadas UTM**

809235.37 – 816937.38 E

8527199.08 – 8540116.45 N

- **Límites**

Por el norte : Con el distrito de Lares - Calca

Por el sur : Río Vilcanota

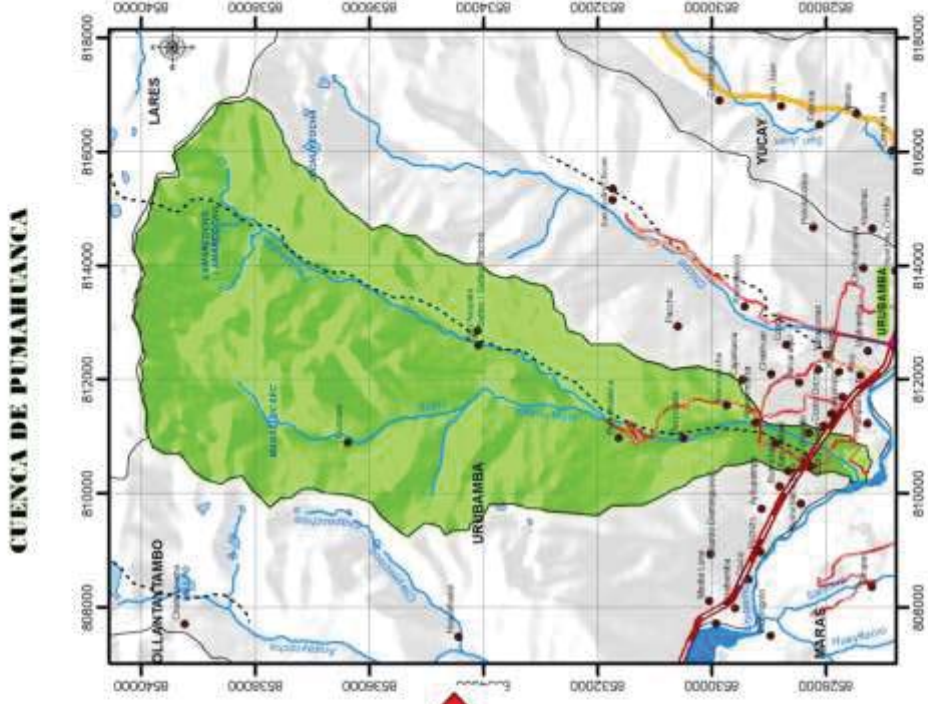
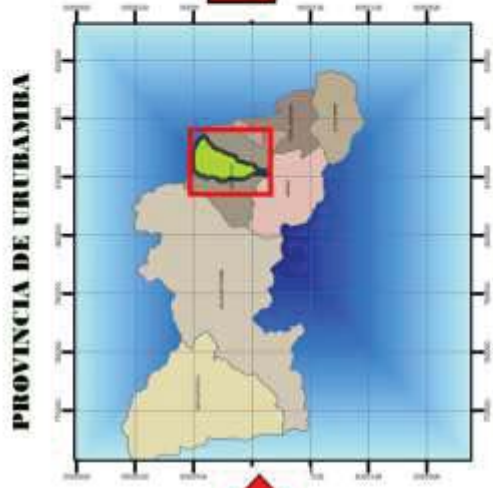
Por el este : Intercuenca Chicón

Por el oeste : Cuenca alta Mantamay e Intercuenca Yanahuara

- **Accesibilidad**

Para arribar a la cuenca se toma la carretera asfaltada Cusco – Urubamba o Cusco – Calca – Urubamba. De allí, el traslado es por trocha carrozable hasta el punto de unión de los dos grandes tributarios donde empieza una gran longitud de recorrido tortuoso de 5 a 6 horas de caminata.

# UBICACIÓN DE LA CUENCA DE PUMAHUANCA



## **2.2. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO**

La cuenca de Pumahuanca ocupa un área superficial de 4755.4 hectáreas. Por la configuración del perfil longitudinal propio de la zona andina, se caracteriza por presentar fuertes pendientes y desniveles en su cauce adquiriendo altas velocidades de flujo (Guamán Poma de Ayala – Proyecto Especial Plan COPESCO, 2011). El cauce se va ampliando en su recorrido presentando pendientes bajas con flujo lento donde surgen los procesos de sedimentación.

### **2.2.1. Geología**

El aspecto geológico se refiere al modo en que se disponen las rocas que definen la estabilidad o inestabilidad de los terrenos en la superficie terrestre, a partir del cual también se identifican las unidades litológicas que por procesos de meteorización e intemperismo han dado origen a diversos tipos de suelo. A continuación, se describen las diferentes formaciones geológicas en la cuenca de acuerdo a Carlotto, *et al.* (1996).

- **Rocas intrusivas**

Está representado por granito de gran variedad, esta intrusión granítica se extiende desde los 3500 m hasta por encima de la línea de nieves, que alcanza los 4800 m de altitud.

- **Grupo Mitu**

Aflora en gran parte de la cuenca entre los 3000 y 3600 m. Este grupo está constituido por brechas y colados volcánicos de basaltos, riolitas, intercalados con conglomerados, las rocas se caracterizan por su color rojo violáceo.

- **Formación Huancané**

Reposa directamente sobre el grupo mitu, es más evidente en dos partes de la cuenca, el más bajo está en la desembocadura, y entre los 3700 a 3800 m en su segmento medio. Está constituida por conglomerados, areniscas conglomeradas y areniscas cuarzosas de color blanco.

- **Formación Maras**

Aflora en la margen izquierda de la parte baja de la cuenca, formando con las rocas de la formación Huancané y del grupo san Jerónimo la desembocadura de la Cuenca en el Río Urubamba. Subyace a las rocas de la formación Huancané.

- **Depósitos recientes o cuaternarios**

Los depósitos glaciares se presentan en la parte media entre los 3100 hasta los 3500 m aproximadamente. Está formado por abundantes guijarros y cantos de granito, acumulados en el barro glacial y sedimentos fluvio – glaciares que se encuentran en el fondo de la cuenca, iguales depósitos se tienen en el fondo de la quebrada Sutoq y parte de la quebrada Paqchac.

Los depósitos aluviales se encuentran en el fondo de la cuenca, desde los 2800 hasta los 3100 m formados por clastos y bloques de granito, rocas volcánicas en una matriz arenosa, los cuales forman un enorme cono aluvial en su desembocadura en el río Urubamba.

### **2.2.2. Geomorfología**

La cuenca de Pumahuanca como parte de la cordillera oriental distingue formaciones importantes en su relieve que describen su relación con los fenómenos naturales y las actividades humanas:

- **Piso de valle**

El piso de valle comprende la parte baja de la cuenca con una morfología de pendientes que varían de plana a ligeramente inclinada y la presencia de conos aluviales en su desembocadura al río Vilcanota. En esta unidad se localizan las mayores extensiones de áreas de cultivo en las llanuras del río, donde también se asientan las poblaciones de los diferentes sectores.

- **Laderas**

Las laderas bajas son espacios que empiezan desde el piso de valle de ambas márgenes, presentan una morfología mayormente con pendientes muy empinadas (+50%) y en menor proporción pendientes moderadamente

empinadas (15-25%) a empinadas (25-50%), hasta aproximadamente los 3300 a 3400 m de altitud. Dominadas por una vegetación de tipo matorral bajo espinoso, son pedregosas y alternan con áreas de cultivo de cebada en seco. Las laderas medias llegan hasta los 4200 m de altitud, donde los relieves son menos abruptos que en las laderas bajas. Sin embargo los desniveles del terreno favorecen la formación de cárcavas.

- **Montañas**

Se encuentran ubicados hacia el norte de la cuenca presentan relieves muy escarpados, con pendientes mayores a 50% y con elevaciones que sobrepasan los 5000 m de altitud. En esta unidad se ubican los nevados, lagunas de origen superficial y glaciar. Aquí se originan los riachuelos y ríos que descienden por las quebradas y suministran el agua para las actividades en el piso de valle. La cobertura vegetal sobresaliente está compuesta por “queuñales”, asociados con matorrales de la puna húmeda y pastos, de gran valor por la presencia de picos nevados, “Apus”, lagunas, tanto para el turismo ecológico, místico y por la diversidad biológica que encierran.

- **Nevados**

Los nevados Pumahuanca y Capacsaya se ubican hacia el Norte de la cuenca, ocupando 2.12 y 1.35 km<sup>2</sup> respectivamente. En las inmediaciones del Nevado Capacsaya se encuentran lagunas y parches boscosos de *Polylepis* interactuando con flora y fauna muchas de las cuales endémicas de la zona como *Polylepis subsericans*. El nevado del Pumahuanca surge desde los 5025 hasta el 5130 m de altitud en su punto más alto, desarrollado sobre rocas intrusivas y rocas volcánicas del grupo Mitu, con laderas relativamente empinadas.

- **Quebradas**

La cuenca del Pumahuanca es de origen glaciar, con un perfil transversal en “U”, con un ancho promedio de 400 m y una longitud de 3 km, hasta la confluencia con las quebradas Paqchac y Sutoq. En la parte media va en dirección de norte a sur, con una ligera inflexión al noreste en su parte alta. La quebrada de Sutoq que significa gotear aludiendo al goteo de las montañas del

Pumahuanca en la estación seca y de cascadas en la temporada lluviosa con cerca de 6.5 km hasta sus nacientes. Y la quebrada de Paqchac, nombre del centro poblado que allí se asienta, presenta una “paqcha” o cascada permanente sobre rocas graníticas de aproximadamente 100 m de caída con una longitud aproximada de 8 km hasta sus nacientes (Tupayachi, 2004).

### **2.2.3. Suelos**

Los suelos de la cuenca están formados principalmente a partir de depósitos glaciares, aluviales, coluviales y material residual antiguo. Con un drenaje rápido a muy rápido en las laderas, mientras que en los humedales es lento a muy lento con profundidades variables de acuerdo a la topografía (Guamán Poma de Ayala – Proyecto Especial Plan COPESCO, 2011)

Las mayores extensiones del área en la parte alta son tierras de protección que no reúnen las condiciones ecológicas requeridas para cultivos debido a las pronunciadas pendientes con un mínimo horizonte A producto principalmente de la erosión glaciaria. Sin embargo en las pequeñas hondonadas, bordes de lagunas, riachuelos y laderas próximas al bosque de “queuñas”, el horizonte B es de poca presencia., pero permite buenas condiciones edáficas y topográficas para la agricultura de tubérculos; mientras que en la zona media y baja, las condiciones edáficas van mejorando permitiendo la ocupación de diferentes formaciones vegetales, con mayores aptitudes para desarrollo de cultivos variados (Guamán Poma de Ayala – Proyecto Especial Plan COPESCO, 2011).

### **2.2.4. Recurso hídrico**

Las partes altas se reconocen como importantes generadoras de agua dulce que utilizan actualmente las poblaciones, desde los nevados, lagunas, ríos, cascadas y bofedales, vinculadas a las actividades de las comunidades así como para la flora y fauna, prestando diferentes servicios ambientales. Se encuentran también pequeñas lagunas de origen glaciario que ocupan las depresiones morrénicas en la base de las masas de nieve.

El río principal se forma de la confluencia de dos cursos de agua, Paqchac que reúne las aguas de pequeñas lagunas permanentes y temporales producto del

deshielo y de la quebrada de Sutoq originado por el deshielo del nevado de Pumahuanca, pasando por las lagunas de Lamarcocha y Manallucsec.

### **2.2.5. Ecología**

En el área de estudio se encuentran fragmentos de bosque relictos de *Polylepis* por encima de los 3800 m. ubicados entre los bordes rocosos al pie los glaciares, en las formaciones morrénicas, en laderas rocosas, quebradas y a lo largo de los riachuelos. Asimismo en la parte media se encuentra vegetación densa y húmeda con especies como la “unca” *Myrcianthes oreophila*, el “aliso” *Alnus acuminata*, el “huaman quero” *Styloceras laurifolia*, el “chalanque” *Myrsine pellucida* y otras, asociadas a plantaciones de eucaliptos; continúa luego con un bosque ribereño que cada vez se enralece por la intensa actividad antrópica en las partes proximales del cono aluvial.

En la base de las montañas de Pumahuanca y Capacsaya, existen bosques húmedos dispersos de “queuñas” a manera de parches las que delimitan a los pajonales de laderas intercaladas con formaciones rocosas; mientras que en los valles colgantes están presentes numerosas lagunas de origen glaciar rodeadas de bosques de “queuñales”; los bofedales de Paqchac, mantienen una flora hidrófita, constituyendo el piso forrajero, que sustenta a la ganadería de camélidos y ovinos criollos (Tupayachi, 2004).

#### **2.2.5.1. Características climáticas**

En la cuenca baja, formando parte del valle del Urubamba se presenta una sequedad casi todo el año; mientras que en la cumbre está frecuentemente cubierta de nubes y neblina. Esta condición explica la existencia de bosque altoandinos de *Polylepis* tupidos y siempre verdes por encima de los 3800 m.

De acuerdo a la gradiente térmica, en el área de estudio, los climas van de templado en el fondo de valle hasta el gélido en su límite más elevado. Este escalonamiento climático da lugar a una variedad de paisajes fitogeográficos y agrícolas.



La precipitación oscila entre 461 mm durante el año con una temperatura media de 14.54 °C según los registros promedios de 52 años que se muestran en el cuadro 4.

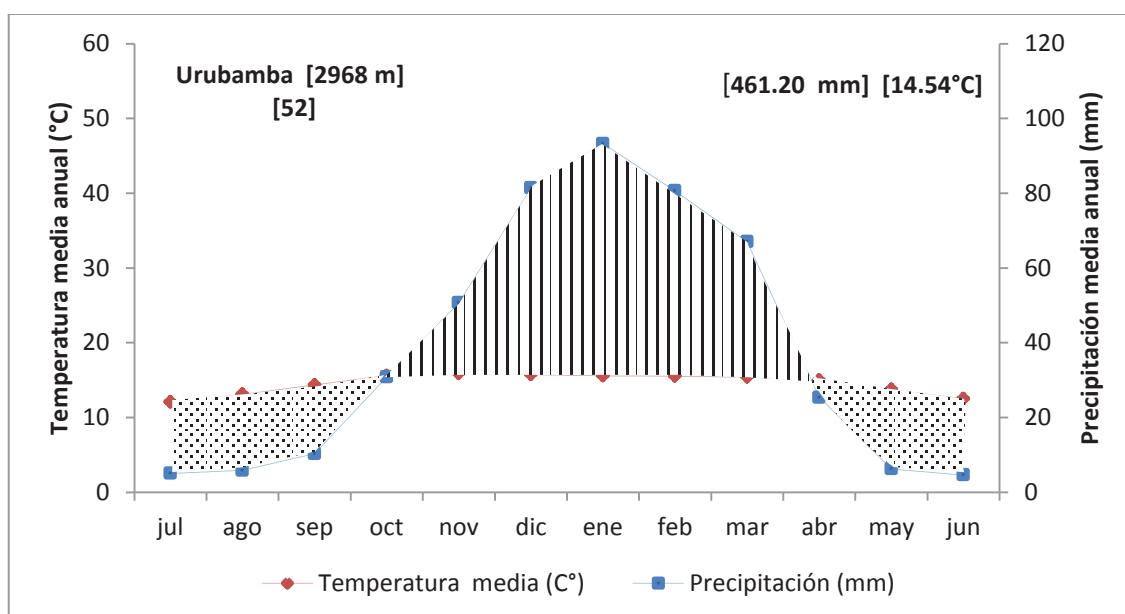
Cuadro 4. Datos Estación Meteorológica Urubamba 1964-2015

Mes	Temperatura media (C°)	Precipitación (mm)
Enero	15.58	93.23
Febrero	15.53	80.63
Marzo	15.41	67.01
Abril	14.97	25.37
Mayo	13.73	6.23
Junio	12.52	4.63
Julio	12.10	5.07
Agosto	13.10	5.84
Septiembre	14.35	10.33
Octubre	15.59	30.80
Noviembre	15.87	50.68
Diciembre	15.74	81.38
Promedio	<b>14.54</b>	-
Total	-	<b>461.20</b>

Fuente: Elaborado en base a datos de SENAMHI (2016)

Gráficamente se puede apreciar este comportamiento en el diagrama climático de la estación meteorológica de referencia ubicada en la ciudad de Urubamba a 2863 m en la figura 10.

Figura 10. Diagrama climático: Estación Meteorológica Urubamba



Fuente: Elaborado en base a datos del cuadro 4.

La figura 10 muestra que se presenta un periodo seco entre los meses de abril a octubre y un periodo húmedo de noviembre hasta el mes de marzo, con una temperatura media anual de 14.54 °C y precipitación total anual de 461.20 mm.

#### **2.2.5.2. Zonas de vida**

En el área de la cuenca desde la parte más baja según el sistema ecológico y su equivalencia en el sistema Holdridge (GRC, 2011 y Guamán Poma 2011), se tienen las siguientes zonas de vida:

- **Matorral Xérico Interandino (Estepa espinoso Montano Bajo Subtropical: ee-MBS)**

Se encuentra entre 2835 a 3200 m con suelos medianamente drenados de uso humano intensivo y ancestral; de clima templado a seco, con una biotemperatura media anual de 15.5°C y una precipitación total anual de 500 mm caracterizado por una vegetación semiárida. Por la actividad humana ancestral del cultivo de maíz, las asociaciones boscosas en el tiempo han sido reemplazadas por áreas de cultivadas y zonas urbanas.

- **Bosques bajos y arbustales altimontanos (Bosque húmedo Montano Subtropical: bh-MS)**

Entre 3200 a 3750 m con una precipitación total anual de 700 a 1000 mm, con una biotemperatura media anual de 9.0 a 12.2°C; con suelos bien drenados en quebradas y laderas subhúmedas a húmedas, comprende a la vegetación ribereña y bosques húmedos de las quebradas medias de una composición mixta de árboles con un dosel de 4 a 12 metros que contienen un sotobosque denso en arbustos y hierbas, con pendientes moderadamente empinadas a empinadas con pequeñas quebradas.

- **Bosque de *Polylepis* altoandino (Bosque muy húmedo Montano Subtropical: bmh-MS)**

Comprendido entre 3750 a 4200 m, con una precipitación total anual de 1054 a 1338 mm y una biotemperatura media anual de 6.0 a 9.0°C; continua con la vegetación ribereña con una composición mixta de arbustos. Con pendientes de 10 a 25% que permiten los cultivos en secano como papas, ollucos y otros, así como la presencia de pastizales para la ganadería sobre todo de ovinos y

camélidos a mínima escala. Los bosques de *Polylepis*, constituyen la asociación arbórea más importante de esta zona de vida caracterizado por su distribución fragmentaria y discontinua desarrollándose en áreas húmedas a menudo cubiertas por neblinas persistentes en las zonas más inaccesibles del paisaje alto andino.

- **Pajonal arbustivo altoandino y altimontano pluvial (Páramo pluvial Sub andino Subtropical: pmh-SaS)**

Esta zona de vida conocida también como puna húmeda en el Sur del Perú, está situada entre los 4200 a 4600 m de altitud, la temperatura media anual oscila entre 3.4°C a 6.0°C siendo la precipitación de 1300 a 1500 mm al año; la topografía es moderadamente empinada a muy empinada, ondulada en las laderas, los suelos son rocosos poco profundos; la flora es básicamente de gramíneas, plantas arrosetadas y almohadilladas o en cojín que alternan en suelos pedregosos donde se encuentran bosques de *Polylepis* y en las depresiones del terreno se forman los bofedales y lagunas alto andinas. Constituye áreas importantes para la ganadería de camélidos así como para la agricultura de la papa.

Esta zona de vida comprende a su vez dos formaciones vegetales muy importantes: los bofedales altoandinos de la puna húmeda y la vegetación acuática y palustre altoandina de las orillas de las lagunas permanentes o semipermanentes del piso alto andino.

- **Vegetación Geliturbada subnival de la puna húmeda (Tundra pluvial Andino Subtropical tp-AS)**

Zona de vida que comprende altitudes que limitan con el piso nival de clima gélido, los suelos mayormente rocosos por erosión de las antiguas montañas glaciares, en cuyos resquicios se encuentran una vegetación dispersa y discontinua condicionada y adaptada a las condiciones de las altas montañas.

- **Nival (Nival Subtropical: NS)**

Está formada por los glaciares ubicadas hacia el norte, ocupa la cima de las altas montañas con límites superiores a los 4850 m, de clima gélido, con un promedio de precipitación de 1700 mm y una biotemperatura media por debajo de 1.5°C.

### **2.2.6. Características socioeconómicas.**

En la cuenca del río Pumahuanca se encuentran 3 comunidades. En la cuenca alta la comunidad de Paqchac – Sutoq, constituida por 12 familias empadronadas aunque sólo residen permanentemente 6 familias, 26 personas con promedio de 4.3 personas por familia. Ellos mantienen sus linderos territoriales usufructuando los suelos de rotación siguiendo sus tradiciones ancestrales. Se dedican a la agricultura de tubérculos y crianza de ganado para autoconsumo, venta o alquiler para actividades turística y recreación.

La mayor parte de población se encuentra en la cuenca baja constituida por dos Comunidades, Palccaraqui con 443 familias, 1861 personas y un promedio de 4.2 personas por familia y Media Luna con 390 familias, 1640 habitantes y un promedio 4.2 personas por familia según el último censo nacional (INEI, 2007). Asentadas con características rural disperso y crecimiento desordenado hacia zonas urbanas, cuyas viviendas están al borde de los caminos. Se dedican a múltiples actividades productivas, como el cultivo intensivo de maíz, hortalizas con 2 a 3 cosechas por año, plantas aromáticas y frutales de fondo de valle. Asimismo en los últimos años el asentamiento de familias foráneas se ha incrementado con la adquisición de propiedades en esta parte de la cuenca.

Respecto de la educación, 31.8% son iletrados, 35,8% tiene nivel primario, 26% nivel secundario y el restante 6,4% tiene formación superior. Existen dos instituciones educativas iniciales una en Media Luna con 30 niños y otra en Palccaraqui con 54, una escuela primaria en Palccaraqui con 203 alumnos, 9 secciones y 8 docentes. Los estudiantes de las partes altas tienen que desplazarse varios kilómetros diariamente para asistir a estas instituciones. Así mismo para el acceso a los servicios de salud. Los servicios de agua, saneamiento básico y electrificación en la cuenca baja están cubiertos en su mayoría; sin embargo, en la cuenca alta no cuentan con estos servicios.

La población total de la cuenca es de 3527 habitantes, el 61% (2164) pertenecen a la población económicamente activa (PEA). De los cuales el 77.5% se dedica a actividades agrícolas, el 17.5% alternan con la actividad ganadera y el restante 5.0 % complementan con actividades comerciales, minería, carpintería, obras y otros (INEI, 2007).

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. MATERIALES**

##### **3.1.1. Materiales de campo**

- Mapa base de la cuenca impresa 1:75 000
- GPS Garmin
- Binoculares
- Cámara digital
- Grabadora
- Frascos esterilizados
- Frascos Wincler
- Cooler
- Bolsas para muestras de suelo
- Wincha y cinta métrica
- Pico y pala
- Cronómetro
- Objeto flotador
- Regla graduada
- Marcadores
- Libretas de campo
- Encuestas
- Papel periódico
- Prensa botánica
- Termómetro

##### **3.1.2. Insumos químicos**

- Solución de Sulfato manganoso
- Solución de Yoduro alcalino
- Ácido sulfúrico concentrado
- Solución de Tiosulfato de sodio
- Almidón

### 3.1.3. Materiales de gabinete

- Imágenes Landsat de los años: 1975, 1985, 1995, 2005 y 2015
- Información climática de estaciones seleccionadas desde 1964 a 2015
- Software ARC Gis 10.3, IDRISI 17.0, ERDAS 2014.
- Carta Nacional y Geológica, cuadrícula 27 – r
- Bibliografía especializada.

## 3.2. METODOLOGÍA

### 3.2.1. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA

Se adoptó la metodología de Pfafstetter para delimitar y codificar la cuenca, basada en asignar códigos a unidades de drenaje de acuerdo a la topografía de la superficie del terreno. El sistema es jerárquico y las unidades hidrográficas delimitadas desde las uniones de ríos (UICN, 2008). Para tal fin, se realizó la automatización de información SIG disponible desde el nivel 5 de la siguiente manera:

- Se procesó información digital de las Cartas Nacionales, zonas 18 y 19.
- Incorporación de la información digital de la división política a nivel distrito.
- Se delimitó la cuenca empleando las Unidades del Sistema Internacional (SI), el datum WGS84, la proyección en UTM (Universal Transverse Mercator), procesado en Arcview, según el esquema de la figura 11.

Figura 11. Procedimiento SIG para Clasificación y Codificación de Cuencas



Fuente: Autoridad Nacional del Agua, 2008

### **3.2.2. LÍNEA BASE DE LA CUENCA**

La cuenca se caracterizó de acuerdo a sus componentes físicos, biológicos, socioeconómicos y ambientales en donde se describen los principales elementos del medio natural, tales como geología, climas, uso del suelo, cobertura vegetal, flora y fauna. Basada en la compilación de datos primarios e información secundaria, los que fueron representados en mapas temáticos respectivos para el polígono del límite de la cuenca.

#### **3.2.2.1. Evaluación del recurso suelo**

Se consideró la capacidad de uso mayor de suelos y uso actual a través del diseño de mapas temáticos con el uso del sistema de posicionamiento global (GPS), observación directa del área de estudio y mapeo mediante imágenes satelitales de la cuenca, e información secundaria disponible.

##### **a. Capacidad de uso mayor de suelos**

Se tomó la clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor (sistema de clasificación de los suelos adecuado a las condiciones ecológicas del Perú) y su equivalencia en el sistema de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor modificado según DS 0062/75-AG de febrero de 1975 (ONERN, 1982) actualizado mediante Decreto Supremo 017-2009-AG del 2 de setiembre de 2009, el cual clasifica los suelos en 5 grupos, 3 clases y 6 subclases.

##### **b. Uso actual de suelos**

El uso actual se determinó por el método de observación directa y el uso de mapas temáticos.

- Los datos fueron registrados en campo a través del sistema de posicionamiento global para el establecimiento de áreas de control.
- La información se complementó con imágenes satelitales, registro fotográfico y referencias complementarias.
- Finalmente la información fue graficada en un mapa de uso actual del suelo para el área de la cuenca.

### 3.2.2.2. Evaluación del recurso agua

- Se identificaron las fuentes de agua, los mismos que fueron georeferenciados.
- La medición de caudales y se llevó a cabo mediante método Embody:

**Método Embody** o del flotador, consiste en determinar la velocidad de desplazamiento del agua usando un objeto flotante con 3 repeticiones en un tramo determinado, la medida de la sección transversal del cauce natural y la aplicación posterior de la fórmula de continuidad:

$$Q=VxAxF$$

Dónde:

Q: caudal (m<sup>3</sup>)

V: velocidad (m/s)

A: área de la sección transversal (m<sup>2</sup>)

F: factor de conversión

- **Análisis físico, químico y bacteriológico del agua**

Para la determinación de la calidad del se tomaron 5 muestras de 500 ml en frascos estériles en diferentes puntos a lo largo del cauce (cabecera de cuenca, centro poblado, ambos tributarios principales, y antes de la desembocadura) para determinar cómo varía la calidad a medida que se descende. Las muestras fueron trasladadas en cadena de frío para el análisis respectivo de los siguientes parámetros:

#### 1. Físicos

- Temperatura (medición directa)
- Conductividad eléctrica (método conductimétrico)
- Turbidez (método nefelométrico)
- Sólidos totales disueltos (método gravimétrico)

#### 2. Químicos

- pH (método del potenciómetro)
- Dureza CaCO<sub>3</sub> (método complexométrico del EDTA)
- Calcio (método complexométrico del EDTA)



- Cloruros (Método de precipitación de Mohr)
- Sulfatos (método nefelométrico)
- Bicarbonatos (método colorimétrico fenolftaleína)
- Hierro (método del potenciómetro)

**3. Bioquímicos**, para este caso las muestras se tomaron en frascos Winkler de 250ml en los puntos preestablecidos para determinar:

- Oxígeno disuelto (método Winkler modificado por Alsterberg)
- Demanda biológica de oxígeno (Bennet - Humpries)

#### **4. Bacteriológicos**

- Coliformes totales (Número más probable de coliformes totales/100ml, método de tubos múltiples CEPIS y OPS)
- Coliformes termotolerantes (Número más probable de coliformes termotolerantes/100ml, método de tubos múltiples CEPIS y OPS)

#### **3.2.2.3. Evaluación de la cobertura vegetal**

Para el mapeo de cobertura vegetal del área de estudio, se tomó como base la información cartográfica del mapa de cobertura vegetal de la región Cusco (IMA, 2009) ajustado a la escala de la cuenca a través de visitas de campo, y elaborado a partir de un sistema de clasificación basado en los siguientes criterios:

- Geográfico
- Bioclimático
- Fisonómico
- Fisiográfico

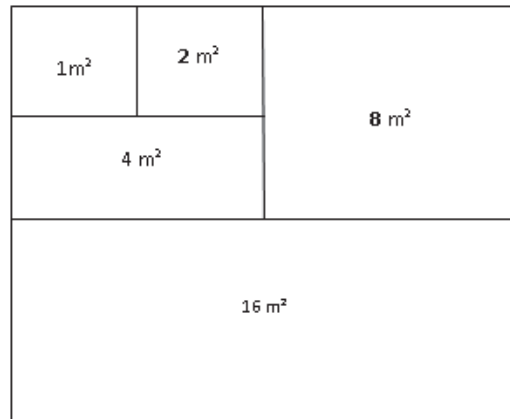
Para el registro de flora se tomaron unidades muestrales de acuerdo al tipo de vegetación, con una distribución aleatoria estratificada dividiendo la cuenca en tres zonas representativas (cuenca alta, media y baja).

- **Determinación del tamaño de unidades muestrales**

El procedimiento más difundido para determinar el área mínima, consiste en tomar una unidad muestral de 1m<sup>2</sup>, Luego se duplica la superficie extendiendo la unidad anterior y se cuenta el número de especies nuevas

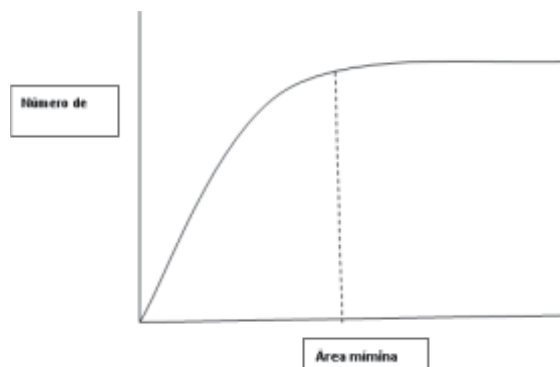
que aparecen en la unidad duplicada. Esta operación se repite hasta que el número de especies disminuye al mínimo. En las figura 12 y 13 se muestra el esquema gráfico del procedimiento para el cálculo del área mínima de muestreo.

Figura 12. Duplicado del Área



Fuente: Mateucci y Colma, 1982

Figura 13. Curva número de especies - área



Fuente: Mateucci y Colma, 1982

Para fines de estandarización se utilizó las unidades muestrales propuestas por el MINAM (2015) en la guía de inventario de flora y vegetación, para los bosques 0.1 Ha, para los matorrales 0.04 Ha y para los herbazales 0.01 ha. Las muestras colectadas se identificaron con ayuda de bibliografía especializada o por comparación con muestras del Herbario Vargas CUZ.

- **Análisis de diversidad de especies**

Se empleó el Índice de diversidad de Shannon-Wiener y de Simpson para la abundancia de especies.

El Índice de diversidad de Shannon-Wiener mide el grado promedio de incertidumbre a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar según la fórmula siguiente (Matteuci y Colma, 1982).

$$H' = -\sum p_i \text{Log}_2 P_i$$

Dónde:

H' = Diversidad (Bits/individuo).

Pi = Proporción del número de individuos de la especie respecto del total (ni/Nt).

Su valor varía entre 1 y 5; el máximo valor se alcanza cuando cada individuo registrado pertenece a una especie diferente. Valores inferiores a 2 se consideran bajos y superiores a 3 representan alta biodiversidad.

El índice de dominancia de Simpson muestra la probabilidad de que dos individuos tomados al azar correspondan a una misma especie. Considera no solo el número de especies y total de individuos, sino también la proporción del total que ocurre en cada especie. Este índice se expresa por:

$$S = \frac{1}{\sum n_i(n_i-1)} \frac{N(N-1)}{N(N-1)}$$

Dónde:

S = Índice de diversidad de Simpson.

n = Número de individuos de la especie

N = Número total de individuos

Sus valores están comprendidos entre 0 y 1. Así, una colección de especies con alta diversidad, tendrá baja dominancia y viceversa.

#### **3.2.2.4. Evaluación del recurso fauna**

En cuanto a recurso fauna para la cuenca el inventario se realizó por observación directa y entrevista a pobladores de la zona, recopilación de información de fuentes secundarias, revisión bibliográfica sobre reportes y registros en la zona.

#### **3.2.3. IDENTIFICACION DE SERVICIOS AMBIENTALES**

Se basó en la adaptación de la metodología del marco jerárquico de principios, criterios e indicadores (PCI) propuesto por Lammerts van Bueren y Blom (1997)

y el método para la validación de servicios del ecosistema (De Groot, 1992). El cual consiste en la obtención de los siguientes productos:

- Diseño de una meta superior y el estándar preliminar de PCI de los servicios ambientales (principios, criterios e indicadores) de la cuenca.
- El PCI se utilizó para la jerarquización y ordenamiento de la información colectada.
- Listado de los servicios ambientales identificados en la cuenca agrupados en categorías.

La formulación del estándar PCI se utilizó como una herramienta para la colecta de datos de campo a través de encuestas semiestructuradas y observación directa así como de gabinete mediante revisión bibliográfica y procesamiento de la información basado en los componentes del cuadro 5.

Cuadro 5. Principios, criterios, indicadores y verificadores para la identificación de los servicios ambientales de la cuenca.

<b>Meta superior</b>	La identificación participativa de los servicios ambientales de la cuenca del río Pumahuanca.		
<b>Principio</b>	El proceso de identificación de los servicios ambientales de la cuenca del río Pumahuanca promueve la conservación y uso sostenible de los recursos naturales.		
<b>Criterio</b>	Los patrones de uso de la tierra de la cuenca ofrecen condiciones favorables para el mantenimiento de las funciones y provisión de servicios ambientales en la cuenca.		
<b>Indicador</b>	Verificador	Método de verificación	Fuentes o instrumentos de información.
Composición y estructura del paisaje a escala de cuenca	Tipo de cobertura vegetal Uso actual, capacidad de uso mayor. Tipos de ecosistema.	Recopilar información Validación en campo Análisis de composición y uso del suelo en SIG	Mapas de cobertura vegetal Imágenes satelitales Software Arcview
Definición de áreas generadoras de servicios ambientales a escala local y regional.	Consultas y entrevistas a expertos Mapas de la cuenca para la ubicar espacialmente las zonas generadoras de servicios ambientales.	Recopilar Información secundaria Aplicación de encuestas a pobladores en campo Índices de diversidad y composición de especies.	Entrevista Imágenes satelitales Software Arcview Encuestas semiestructuradas Lista de inventarios

**Fuente:** Elaborado en base a Lammerts van Bueren & Blom 1997, De Groot, 1992.

Los servicios ambientales identificados se categorizaron de acuerdo a la clasificación por funciones de los ecosistemas en: servicios de provisión, servicios de regulación, servicios culturales y servicios de soporte. (De Groot *et.al.* 2002; MEA, 2003 y MINAM, 2015). Posteriormente se priorizaron los servicios ambientales evaluados en base a los siguientes criterios (Mindreau, 2013):

- Los servicios que dependen de la cobertura vegetal
- Son susceptibles a los cambios en el uso del suelo y el clima.
- Disponibilidad de series de datos e información en el tiempo
- Existencia de métodos que permitan analizar su dinámica en el tiempo

### **3.2.4. EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA TEMPORAL DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES PRIORIZADOS**

Se priorizaron cuatro servicios ambientales en la cuenca para ser evaluados a través del tiempo:

#### **3.2.4.1. Servicio ambiental de regulación climática**

La regulación climática se refiere, entre otros, a la influencia que tiene la cobertura vegetal, el uso del suelo y los procesos biológicos de mantener y regular los elementos del clima, como la temperatura y la precipitación (NRC, 2005). Para su evaluación se definió las características climáticas de la cuenca, los cambios de uso de suelo y su relación con la captura de carbono de los bosques a través de los siguientes procedimientos:

##### **3.2.4.1.1. Caracterización climática**

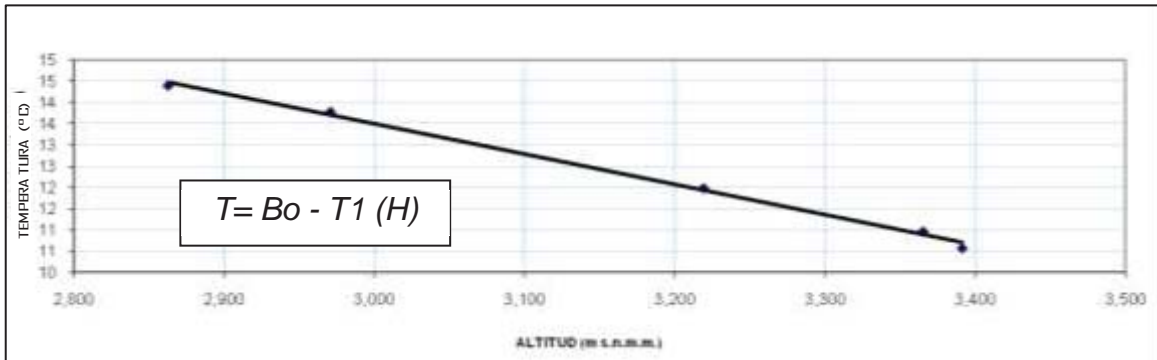
Para la caracterización climática de la cuenca se utilizó datos calculados de precipitación y temperatura y su relación con la altitud considerando la metodología de regionalización (IMA, 2009 y Walsh Perú, 2007).

- **Regionalización de temperatura**

Se consideró la relación inversamente proporcional con la altitud, es decir, mientras mayor sea ésta, menores serán las temperaturas registradas (Cuadrat & Pita, 2011). El factor de disminución de la temperatura por efecto del aumento de la altura, se determinó con datos de temperatura media anual para cada estación meteorológica considerada y su respectiva altitud sometiendo a un análisis de regresión lineal (IMA, 2009).

De esta operación se obtiene la ecuación de regresión y el nivel de ajuste de los datos así como la confiabilidad del análisis, según la figura 14.

Figura 14. Regionalización de la temperatura



Fuente: Elaborado en base a datos de temperatura y altitud

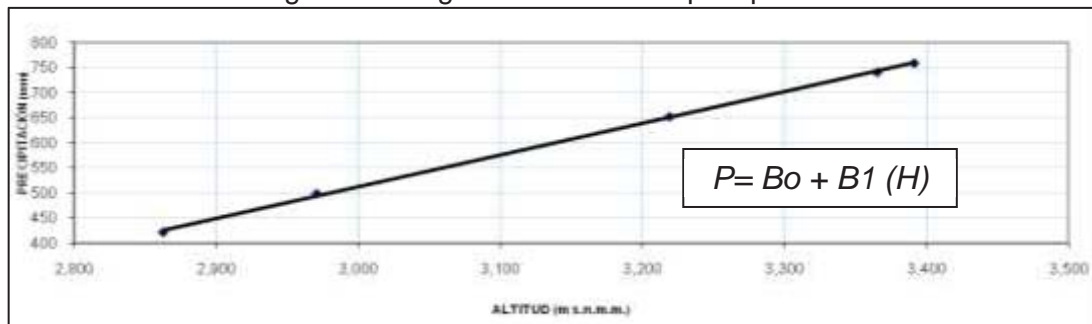
Dónde:

T: Temperatura estimada  
Bo: Coeficiente Independiente  
T1: Coeficiente Dependiente  
H: Altitud en m

### • Regionalización de precipitación

Considerando que la precipitación aumenta en relación con la altitud (IMA, 2009 y Walsh Perú, 2007), se utilizó el método de regresión entre la altitud de la estación meteorológica y su registro de precipitación determinando los factores de variación según la figura 15. La corrección de datos se realizó por el método de dobles acumulaciones en el que se ajustan los datos con la estación base para obtener registros confiables (IMA, 2009).

Figura 15. Regionalización de la precipitación



Fuente: Elaborado en base a datos de precipitación y altitud

Dónde:

P : Precipitación estimada  
Bo : Coeficiente Independiente  
B1 : Coeficiente Dependiente  
H : Altitud en m

- **Clasificación climática**

Se clasificó los tipos climáticos de acuerdo al método de Thornthwite modificado por SENAMHI (1980) a través de las siguientes ecuaciones:

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

$$i = \left( \frac{P}{t + 12.2} \right)^{10/9}$$

$$I' = \sum_{i'=1}^{12} i'$$

$$i' = \frac{9t}{20}$$

Dónde:

I = Índice anual de jerarquía de humedad  
 I' = Índice anual de jerarquía de temperatura  
 i = Índice mensual de jerarquía de humedad  
 i' = Índice mensual de jerarquía de temperatura  
 P = Precipitación promedio mensual  
 t = Temperatura promedio mensual

Con los valores de los índices de los cuadros 6 al 9 se identificó los tipos climáticos en base a una escala de valores mediante la asignación de símbolos (letras mayúsculas y minúsculas). Las jerarquías de temperaturas llevan adicionalmente una comilla que las distingue de las jerarquías de humedad.

Cuadro 6. Jerarquía de humedad

Valor del índice	Símbolo	Característica climática
128 a más	A	Muy lluvioso
64 – 127	B	Lluvioso
32 – 63	C	Semiseco
16 – 31	D	Semiárido
Menor a 16	E	Árido

Cuadro 7. Tipos de distribución de la humedad

Símbolo	Significado
R	Precipitación abundante en todas las estaciones
I	Invierno Seco
P	Primavera Seca
B	Verano Seco
O	Otoño Seco
D	Deficiencia de lluvias en todas las estaciones

Cuadro 8. Jerarquía de temperaturas

Valor del índice	Símbolo	Característica Climática
128 a más	A'	Cálido
101 – 127	B1'	Semicálido
80 - 100	B2'	Templado
64 – 79	B3'	Semifrío
32 – 63	C'	Frío
16 – 31	D'	Semifrígido
1 – 15	E'	Frígido
0	F'	Gélido

Cuadro 9. Humedad relativa media

Valores Medios anuales	Símbolo	Característica climática
25% - 40%	H1	Muy seco
41% - 56%	H2	Seco
57% - 72%	H3	* Sub húmedo
73% - 83%	H4	Húmedo
89% - 100%	H5	Muy Húmedo

Fuente: IMA, 2009; Walsh Perú, 2007

\*Característica incorporada para tipificar adecuadamente los climas del área de estudio

### 3.2.4.1.2. Estimación de la tasa de cambio de uso de suelo

Se obtuvo los usos de suelo por décadas para los años 1975, 1985, 1995, 2005 y 2015. Estimando la tasa de cambio mediante la fórmula (Velázquez et al., 2002):

$$\delta_n = \left( \frac{S_2}{S_1} \right)^{1/n} - 1$$

donde  $\delta$  es la tasa de cambio (para expresar en % hay que multiplicar por 100).

$S_1$  superficie en la fecha 1.

$S_2$  superficie en la fecha 2.

$n$  es el número de años entre las dos fechas.

Para determinar los usos de suelo en cada período se siguió el esquema metodológico propuesto por Melo y Camacho (2005) presentada en la figura 16, que contempla las siguientes etapas:

Figura 16. Modelo general de la metodología



Fuente: Elaborado en base Melo y Camacho, 2005.



- **Selección de imágenes satelitales**

Las imágenes satelitales Landsat fueron obtenidas de GLCF (Global Land Cover Facility) y de USGS (United States Geological Survey) para el área de la cuenca desde 1975 hasta 2015 como se detalla en el cuadro 10. A partir de ellos se seleccionaron las categorías de cobertura por combinación de bandas.

Cuadro 10. Imágenes Satelitales seleccionadas para el área de la Cuenca

Año de imagen	Fuente	Número de bandas	Formato de imagen
1975	USGS	5 bandas	BSQ
1985	USGS	5 bandas	BSQ
1995	USGS	6 bandas	GeoTIFF
2005	USGS	7 bandas	GeoTIFF
2015	USGS	8 bandas	GeoTIFF

**Fuente:** Elaborado a partir de los datos de las imágenes obtenidas.

- **Sistematización de imágenes**

Se realizó la clasificación digital convirtiendo la imagen continua a otra categorizada temáticamente agrupando niveles digitales espectralmente similares con el software ERDAS 2014.

Tomando las imágenes obtenidas se realizó la composición de bandas generando una imagen con colores reales. Se realizó las combinaciones de bandas para definir los tipos de cobertura del suelo, que fueron agrupados en 10 categorías por el método supervisado para mayor confiabilidad. Por este método se asignó valores a cada categoría de cobertura y se convirtió en formato vectorial (shapes) para cuantificar las áreas de interés ya en forma de polígonos. Las categorías de cobertura utilizadas se muestran en el cuadro 11.

Cuadro 11. Categorías de cobertura

N°	Tipo de cobertura
1	Zona urbana
2	Cuerpos de agua
3	Cultivos bajo riego
4	Cultivos en seco
5	Zona forestal
6	Bosque de <i>Polylepis</i>
7	Matorral mixto
8	Pastizal
9	Zona descubierta
10	Zona nival

**Fuente:** Elaborado en función de los usos del suelo.

- **Verificación de campo**

Para la verificación de campo se seleccionaron zonas piloto teniendo en cuenta la diversidad de coberturas y la más representativa de diferentes sectores del área de estudio (Posada *et al.*, 2012).

Se tomó puntos de referencia con el sistema de posicionamiento global de los tipos de cobertura del suelo para contrastar con los datos obtenidos en las imágenes satelitales obtenidas a través de una clasificación supervisada y no supervisada durante el procesamiento de las mismas.

- **Calidad de las áreas de entrenamiento**

La validación de las clasificaciones realizadas fue evaluada estadísticamente para cada área de entrenamiento, observando valores de desviación estándar, sus rangos mínimos y máximos. Además del uso de herramientas gráficas y de análisis estadístico (Posada *et al.*, 2012 y Portugal, 2011).

- **Generación de capas temáticas de uso de suelo**

Para el análisis de tasas de cambio se transformó los formatos de polígono a raster con el fin de procesarlos en el software IDRISI, en la que cada categoría de cobertura tiene un valor asignado y los píxeles agrupados en tales categorías de acuerdo a su similitud. Este mismo procedimiento se realiza para cada período, finalmente se realiza la comparación entre períodos.

### **3.2.4.1.3. Estimación del valor de las especies arbóreas para la regulación climática**

Al tratarse de vegetación arbórea, según la metodología del ICRAF (2009), se adoptó el método indirecto (no destructivo), el cual consiste en la utilización de ecuaciones alométricas que permiten relacionar algunas dimensiones básicas que pueden ser obtenidas durante el trabajo de campo sin dañar a los árboles. El carbono se estimó como una fracción de la biomasa de materia seca arriba del suelo con valores que varían entre 0.43 – 0.53, con un valor promedio convencional  $C/BM = 0.5$  (IPCC, 2003 y FAO, 2005). Para esto, se tomaron individuos con  $DAP \geq 10$  cm, como representativos de la vegetación existente

en las parcelas de muestreo. En el cuadro 12 se detallan las variables tomadas para la estimación de este servicio.

Cuadro 12. Variables para la medición de la cobertura arbórea

Variable	Método
Nombre del árbol	Identificación de las especies arbóreas con su nombre común y específico.
Diámetro a la altura de pecho (DAP) de cada eje	Medición directa con cinta diamétrica o cinta métrica
Altura total	Clinómetro, cinta métrica y por observación directa
Diámetro promedio de copa	Promedio de 1-3 diámetros con cinta métrica

**Fuente:** Elaborado en base a IPCC, 2003, FAO, 2005 & Marinidou, 2009, ICRAF, 2009

Para determinar el carbono (C) acumulado en la biomasa se aplicó el siguiente procedimiento:

- Se determinó el área basal en cada una de las unidades muestrales. El área basal (AB) es la sumatoria de las áreas transversales (área del tronco a 1,30 m de altura) de todos los árboles con un diámetro mayor a 10 cm existentes en una hectárea y se expresa en m<sup>2</sup>/ha, según la fórmula:

$$AB = \sum_{i=1}^n at_i$$

para 1 ha

$$AB = [ (DAP_{medio})^2 \times 0,7854 ]_{(m^2/arb)} \times N_{(arb/ha)}$$

*\*Cuando se trata de árboles de porte bajo y muy ramificado desde su base la medición del diámetro del tallo o tronco se hará al inicio de su ramificación y no de su DAP (IPCC, 2003, FAO, 2005 & Marinidou, 2009)*

- Luego se determinó su altura media.
- El volumen maderable se calculó a partir del área basal y la altura media; ya que el tronco no es un perfecto cilindro sino que tiene forma cónica y algunas veces el tronco no es derecho, fue necesario aplicar un factor de corrección conocido como factor de forma, cuyo valor depende de la especie. Se calculó mediante la fórmula:

$$Vol=AB*H*Fm$$

- A partir del volumen se determinó el contenido de carbono, que es el producto del volumen multiplicado por el contenido de materia seca (% MS, se consideró 50%) y por el contenido de C en la MS (% C = 50%).

$$\text{Cantidad de C} = \text{Vol.} \times 0,5 \times 0,5$$

- A esta cantidad de C se le aplicó el Factor de Extensión de la Biomasa (FEB) igual a 1,6 considerando un 60% adicional contenido en ramas y follaje (en la literatura este factor se menciona con rango entre el 60% y el 90%) y la cifra total se multiplicó por el área respectiva..

### **3.2.4.2. Servicios ambientales de regulación hidrológica y protección hídrica**

#### **3.2.4.2.1. Determinación de la regulación hidrológica**

Este servicio ambiental se refiere a la influencia que tiene la estructura de los ecosistemas para amortiguar algún cambio en su ambiente, como la protección hacia tormentas e inundaciones (NRC, 2005). Este servicio se estimó a partir de los siguientes indicadores hidrológicos:

- **Orden de corrientes**

Se utilizó el método de Strahler (1952) que es el más común, comprensible y fácil de relacionar con otros parámetros morfométricos. Se obtuvo mediante la agregación de corrientes, considerando una corriente de primer orden a aquella que no tiene afluentes, de segundo orden aquel donde se reúnen dos corrientes de primer orden, de tercer orden donde confluyen dos de segundo orden y así sucesivamente hasta encontrar el cauce de mayor orden. Se consideraron todos los cauces capaces de llevar agua, sin importar si actualmente la transportan o lo hacen de manera temporal.

- **Frecuencia de cauces**

Se utilizó la fórmula de la frecuencia absoluta de los cauces (Fc) que es igual al número total de cauces de la cuenca (Nu) entre el área de la cuenca (A) expresado km<sup>2</sup> (Campos, 1992) según la fórmula:

$$F_c = N_u / A$$

- **Densidad de drenaje**

Se consideró los atributos de cada segmento de cauces, su longitud y densidad por unidad de área que permiten conocer la capacidad que presenta la cuenca de recibir, pero sobre todo, desalojar el agua de lluvia. Para ello se determinó la longitud acumulada, expresada en kilómetros ( $\Sigma L$ ), de los segmentos de cauces existentes dentro de la cuenca dividida entre el área total de drenaje (A), de acuerdo a:

$$Dd = \Sigma L / A.$$

### **3.2.4.2.2. Determinación de la regulación hídrica por cobertura vegetal**

Se adoptó la metodología propuesta por Ordoñez (2012) basada en la cantidad de agua disponible depende del balance de humedad natural entre un período definido y está ligado con los diferentes factores principalmente precipitación, evapotranspiración y capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, en donde la cobertura vegetal es determinante. Este balance constituye un proceso global que gobierna el ciclo hidrológico y que en su concepción más simple está representado por la siguiente ecuación para el sistema cuenca:

$$P - Esc - ET - I = 0$$

\*Sin considerar la variación del almacenamiento hídrico (a largo plazo  $\geq 10$  años, cuyo valor es poco significativo o igual a cero)

**A. Evapotranspiración (ET):** Es la suma de las cantidades de agua evaporada desde el suelo y transpirada por las plantas (Ordoñez, 2012). Para su estimación se utilizó la fórmula de TURC donde se utilizó únicamente los valores de temperatura media anual (T) y de precipitación media anual (P) de acuerdo a la siguiente expresión:

$$ET = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Dónde:

$$L = 300 + 25(T) + 0.05 (T^3)$$

**B. Esguurrimiento (Esc):** Con los mapas de declives, edafológico, de uso del suelo y de cobertura vegetal se estimó los coeficientes de esguurrimiento de acuerdo a lo propuesto por TRAGSA (1994) y como se presenta en el cuadro 13.

Cuadro 13. Valores de coeficiente de esguurrimiento a partir de vegetación, pendiente y suelos.

Tipo de cobertura /Uso de suelo	Pendiente (%)	Textura del suelo		
		Gruesa	Media	Fina
Bosques/ Matorrales	0-5	0.10	0.30	0.40
	5-10	0.25	0.35	0.50
	10-30	0.30	0.40	0.60
	>30	0.32	0.42	0.63
Pastizal	0-5	0.15	0.35	0.45
	5-10	0.30	0.40	0.55
	10-30	0.35	0.45	0.65
	>30	0.37	0.47	0.68
Áreas cultivadas	0-5	0.30	0.50	0.60
	5-10	0.40	0.66	0.70
	10-30	0.50	0.70	0.80
	>30	0.53	0.74	0.84

Fuente: TRAGSA, 1994.

**C. Infiltración (I):** La fórmula empírica que se utilizó para estimar la cantidad de infiltración de agua en la cuenca de acuerdo a la metodología adoptada es:

$$I = P - ET - Esc$$

Dónde:

I es la infiltración en cualquiera de sus formas

P es la precipitación

ET la evapotranspiración

Esc el esguurrimiento

### 3.2.4.3. Estimación del servicio ambiental de retención del suelo

Este servicio se estimó a partir de las pérdidas de suelo por erosión hídrica actual y potencial utilizando la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) desarrollada por Wischmeier en 1976 (Morgan, 2005) adaptada a las condiciones de la cuenca. Con el que se definió en qué magnitud se pierde y en consecuencia se determinó la capacidad de retención.

Los valores actuales de erosión son un indicador de las pérdidas presentes, mientras que los valores potenciales son indicadores de la máxima capacidad de pérdida de suelo. La ecuación básica para el cálculo es:

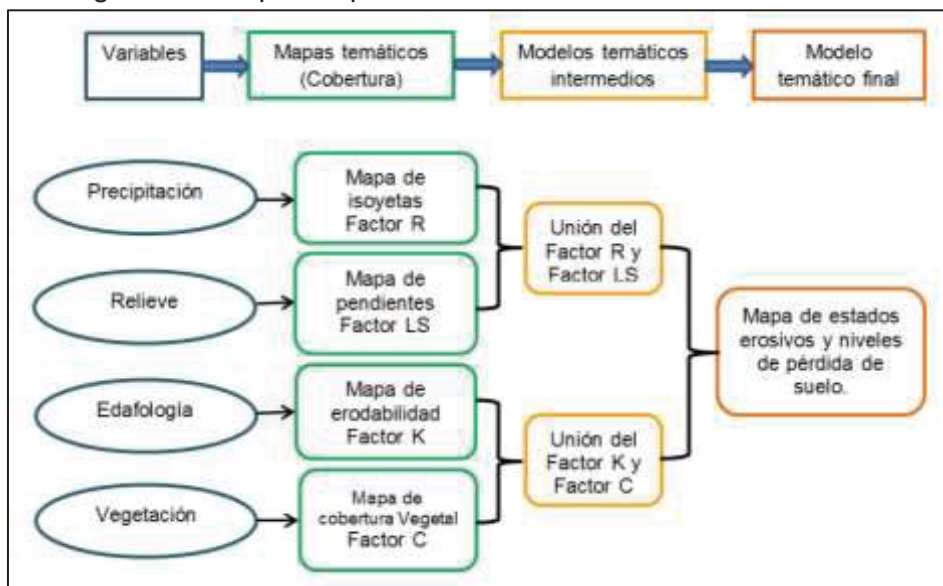
$$A = R K L S C P$$

Dónde:

- A: promedio anual de pérdida de suelo (t/ha)
- R: factor de erosividad de la lluvia (MJ mm/ha/hr)
- K: factor de erosionabilidad del suelo (tha hr/MJ mm ha)
- L: factor de longitud de la pendiente (Adimensional),
- S: factor de grado de la pendiente (Adimensional),
- C: factor de manejo y cobertura de la vegetación (Adimensional)
- P: factor de prácticas de conservación (Adimensional).

La interacción de estos factores permitió conocer los niveles de pérdida de suelo; para la obtención del modelo temático final se elaboró modelos temáticos intermedios. La secuencia e integración del procedimiento seguido se muestra en la figura 17.

Figura 17. Esquema para el modelamiento de erosión hídrica



Fuente: Elaborado en base a Mancilla, 2008.

- **Precipitación (factor R)**

Un factor fundamental de la erosión es el clima, destaca la lluvia por su capacidad de movilizar las partículas de los suelos. A mayor intensidad de la precipitación, mayores son las gotas de lluvia y con ello su erosividad aumenta (Mancilla, 2008).

Este factor se determinó aplicando el índice de Fournier modificado (IFM)

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P}$$

Dónde:

IFM: índice de Fournier modificado en mm

Pi: precipitación del mes i en mm.

P: precipitación total anual, en mm.

Cuadro 14. Clasificación del índice de Fournier

IFM	Clasificación
0 – 60	Muy bajo
60 – 90	Bajo
90 – 120	Moderado
120 – 160	Alto
> 160	Muy alto

Fuente: Mancilla, 2008

- **Erodabilidad del suelo (factor K)**

El factor K se estableció originalmente al determinar pérdidas de suelo en parcelas de erosión típicas (22,1 m de longitud, 9% de pendiente y dividir este valor con el de energía erosiva de la lluvia (R) que les dio origen). Se trata de un factor difícil de determinar y que normalmente se obtiene a partir de tablas o nomogramas empíricos (método gráfico) (Morgan, 1984). En este caso se siguió el método de la ecuación, para mayor exactitud y evitar sesgos visuales con el método tradicional (Mancilla, 2008).

$$K = 1,313 [2,1 \cdot 10^{-4} (12-a) M^{1,14} + 3,25 (b-2) + 2,5 (c-3)] / 100$$

Dónde:

M: (Factor textural): (% arena muy fina y limo) · (100 – % arcilla).

a : % de materia orgánica.

b : Código de tipo de estructura (granular muy fina = 1; granular fino = 2; granular grueso a medio = 3; bloques, laminar, masiva = 4).

c : Código del tipo de permeabilidad (rápida = 1; moderadamente rápida = 2; moderada = 3; lenta a moderada = 4; lenta = 5; muy lenta = 6).

- **Topografía: pendiente (factor S) y longitud (factor L)**

La pendiente y la longitud de las laderas también influyen sobre la tasas de erosión. Para su estimación se aplicó el concepto según el cual cuanto mayor es la pendiente de la parcela mayores volúmenes de sedimentos se recogen en



la base. Igualmente hay evidencias que demuestran que la tasa de erosión es mayor cuanto mayor es la longitud de la pendiente (Mancilla, 2008).

En el presente estudio se unificó ambos parámetros (S y L) en un único Factor Topográfico (FT), que fue posible calcular mediante la ecuación:

$$FT = L^{0.5} \cdot (0.0138 + 0.00965 S + 0.00138 S^2)$$

Dónde:

L: longitud expresada en m

S: la pendiente en %

- **Cubierta del suelo (factor C)**

El valor del factor C varía entre 0 y 1, disminuye a medida que aumenta la cobertura vegetal. Para esta cuenca se utilizó este factor como determinante en el flujo de retención del suelo, su valor aparece en el modelo como constante y se introdujo manualmente a partir del cuadro 15 propuesto por Morgan (2005), que define los valores de C para los tipos más comunes de cultivos así como las clases de cobertura más frecuentes.

Cuadro 15. Valores medios del factor “C”

Cultivo y practica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1.0
Bosque o matorral denso (alto mulch)	0.001
Pradera herbacea en buenas condiciones	0.01
Pradera sobrepastoreada	0.1
Maiz, sorgo, alto rendto., laboreo convencional	0.20 – 0.55
Maiz, sorgo, alto rendto., sin laboreo convencional	0.50 – 0.90
Maiz, sorgo, bajo rendto., laboreo minimo	0.02 – 0.10
Maiz, sorgo, alto rendto., laboreo con chisel	0.12 – 0.20
Maiz, sorgo, bajo rendto., laboreo con chisel	0.30 – 0.45
Algodón	0.40 – 0.70
Pradera herbacea	0.01 – 0.025
Soya	0.20 – 0.50
Trigo	0.10 – 0.40
Arroz	0.10 – 0.20
Cacahuate	0.30 – 0.80
Frutales con cobertura vegetal	0.01 – 0.8
Caña de azucar	0.56
Arbolado denso	0,001-0,003
Arbolado forestal clareado	0,003-0,009
Arbolado muy clareado (25-60%)	0,041
Matorral con buena cobertura	0,003-0,013
Matorral ralo y eriales	0,20-0,013
Cultivos anuales y herbáceos	0,25
Pasturas	0,15
Plantas herbáceas y matorros (100%)	0,003
Plantas herbáceas y matorros (60%)	0,035
Cubierta escasa (60%)	0,15-0,09
Cubierta inapreciable	0,45

Fuente: Morgan (2005).

### 3.2.4.4. Caracterización de los servicios ambientales de provisión

Se refieren a los que se proveen como bienes para el ser humano, en el caso de la cuenca se seleccionaron los principales bienes extraídos de las unidades ecosistémicas en términos de presión de uso.

- **El bosque como proveedor de bienes locales**

Se priorizó unidades ecosistémicas cuya cobertura vegetal aporta a la provisión de servicios locales, cuya extracción pudiera explicar la reducción de la disponibilidad o área de cobertura en el tiempo. Para su estimación de siguió el procedimiento siguiente:

- Se determinó los centros poblados presentes en un radio menor a 3 km de las unidades ecosistémicas principales de la cuenca (Mindreau, 2013).
- A través de encuestas semiestructuradas se recopiló información sobre especies vegetales más utilizadas para diversos fines y contrastadas con sus potenciales usos en fuentes secundarias.
- Se elaboró una matriz para determinar los niveles de presión de uso sobre las especies forestales o arbustivas a través de una ponderación binaria para diferentes tipos de uso. Así como un listado de las especies medicinales extraídas de uso frecuente y con fines comerciales.

Las encuestas semiestructuradas elaboradas en base al estudio de Benítez (2007), se aplicaron a una muestra representativa de la población de la cuenca. Cuyo número se calculó mediante la fórmula:

$$n = \frac{Z^2 pqN}{e^2(N-1) + Z^2 pq}$$

Dónde:

N = Tamaño de la población	= 845
p = Probabilidad de éxito	50% = 0.5
q = Probabilidad de fracaso	50% = 0.5
e = error	10% = 0.1
Z = Nivel de confianza	90% = 1.64
n = Tamaño muestral	= 63

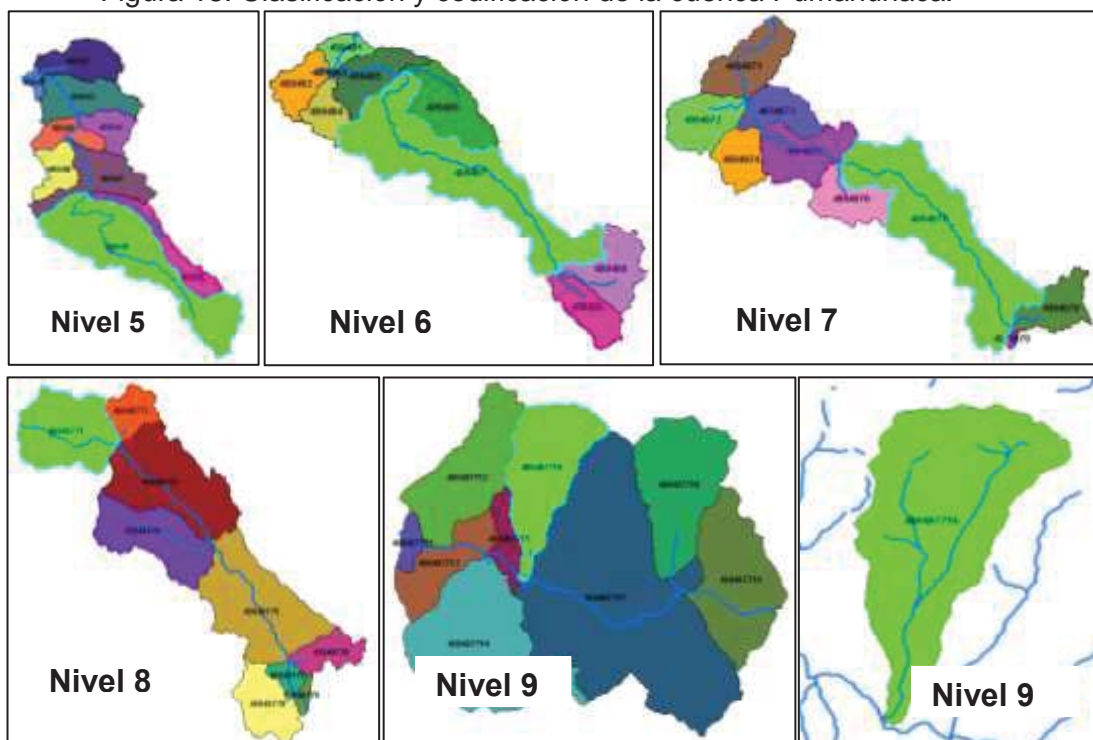
## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA

La delimitación de la cuenca, su nivel y codificación se muestran en la figura 18. A partir del cual se elaboró el mapa base de la cuenca (mapa 1).

Figura 18. Clasificación y codificación de la cuenca Pumahunaca.



**Fuente:** Elaborado en base al procedimiento de delimitación de cuencas

Cuadro 16. Clasificación y codificación de la cuenca

Nivel	Denominación	Código
1	Cuenca Hidrográfica del Río Amazonas	4
2	Cuenca del Río Amazonas en el Perú	49
3	Cuenca Hidrográfica del Río Ucayali	499
4	Cuenca hidrográfica del Río Urubamba	4994
5	Cuenca del Río Vilcanota	49949
6	Intercuenca medio Vilcanota	499497
7	Intercuenca medio alto Vilcanota	4994977
8	Intrecuenca Yanahuara – Cancha Cancha	49949771
9	Cuenca del Río Pumahunaca	499497716

**Fuente:** Elaborado en base a clasificación de cuencas según Pfafsteter.

La metodología utilizada para la clasificación y codificación de la cuenca Pumahunaca demuestra que corresponde a una cuenca (código 6) de nivel

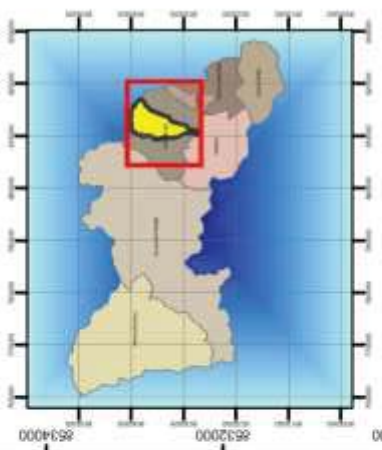
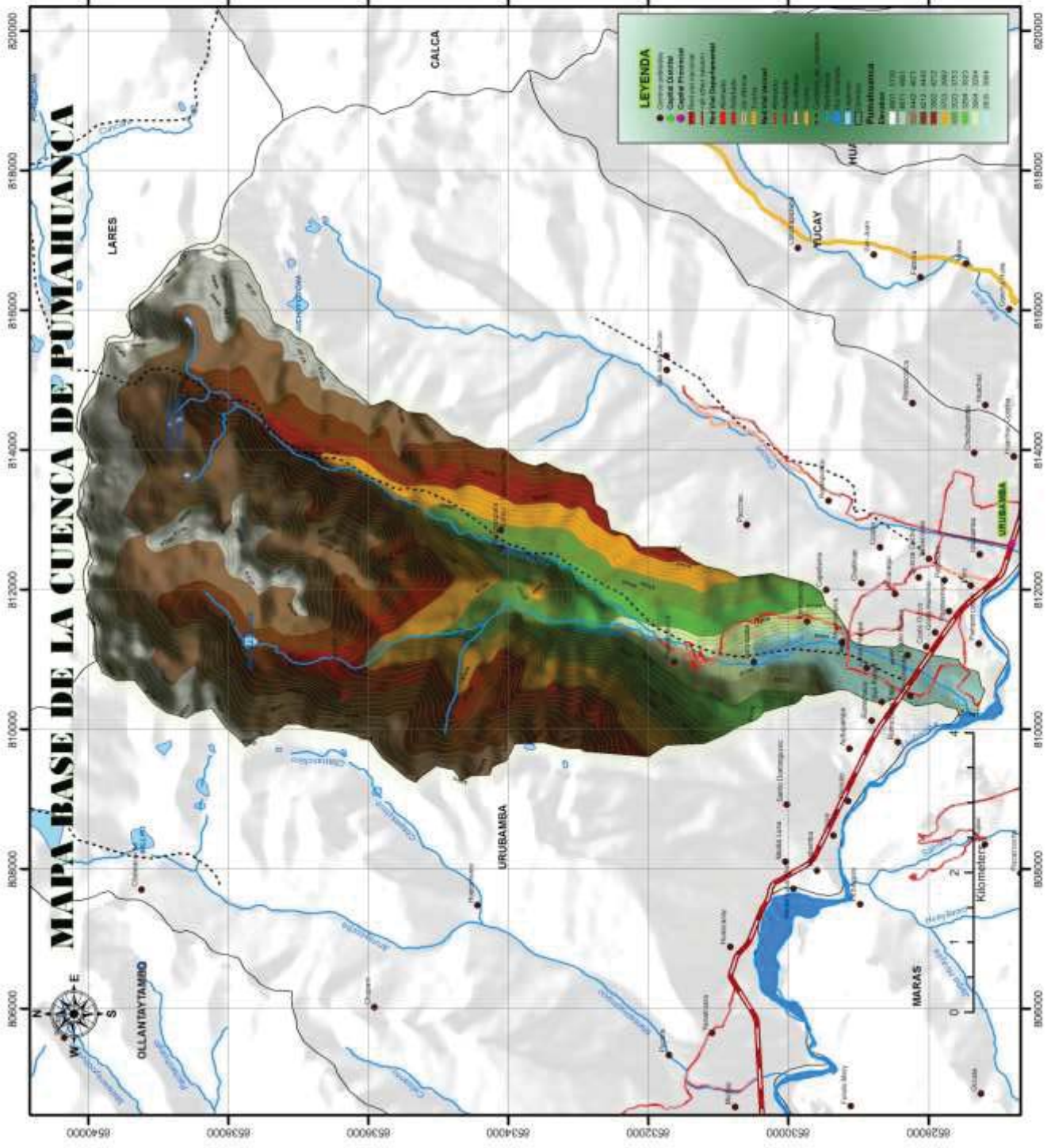
9 con una desembocadura en el río Vilcanota como se muestra en el cuadro 16. Los parámetros de cuenca se muestran en el cuadro 17.

Cuadro 17. Parámetros de la cuenca

Descripción	Unidad	Valor
<b>De la superficie</b>		
Área	ha	4755.4
Perímetro de la cuenca	km	36.3
<b>COTAS</b>		
Cota Máxima	m	5130.7
Cota mínima	m	2835.3
<b>Centroide (PSC:wgs 1984 UTM Zone 18S)</b>		
X centroide	m	812610.3
Y centroide	m	8534424.5
Z centroide	m	4118.7
<b>ALTITUD</b>		
Altitud media	m	4118.7
Altitud más frecuente	m	4461
Altitud de frecuencia media (1/2)	m	4204
<b>PENDIENTE</b>		
Pendiente promedio de la cuenca	%	25.04
<b>De la red Hídrica</b>		
Longitud del curso principal	km	10.6
Orden de la red hídrica	Und	4
Longitud de la red hídrica	km	81.4
Pendiente promedio de la red hídrica	%	2.5

**Fuente:** Elaborado en base a proceso de análisis de parámetros de cuenca

Según los parámetros del cuadro 17 el cauce de la cuenca es corto a mediano, la variación altitudinal del territorio se puede apreciar en el mapa 01, la cual incide directamente sobre su distribución térmica y por tanto en la existencia de microclimas y hábitats muy característicos de acuerdo a las condiciones locales, constituye un criterio para la variación territorial y es una base para caracterizar zonas climatológicas y ecológicas. La diferencia entre la cota más alta y la más baja son más de 2200 m, la cual está relacionada con la variedad climática y ecológica. La existencia de mayor cantidad de pisos altitudinales, hacen que pueda albergar más ecosistemas al presentarse variaciones importantes en su precipitación y temperatura.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO**  
**ABAD DEL CENCO**  
**ESCUELA DE CIENCIAS**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA

**TE 505**

**"EVALUACIÓN TEMPORAL DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RÍO PUMAHUANCA, URUBAMBA - CENCO"**

Proyecto: 01	Fecha: 1-20-2018	Autores: [Nombres]	Hoja N°: <b>01</b>
Curso: 505	Fecha: [Fecha]	Asesor: [Nombre]	Hoja Total: [Total]
Alumno: [Nombre]	Fecha: [Fecha]	Asesor: [Nombre]	Hoja Total: [Total]
Alumno: [Nombre]	Fecha: [Fecha]	Asesor: [Nombre]	Hoja Total: [Total]

Los parámetros morfométricos de la cuenca se resume en el cuadro 18.

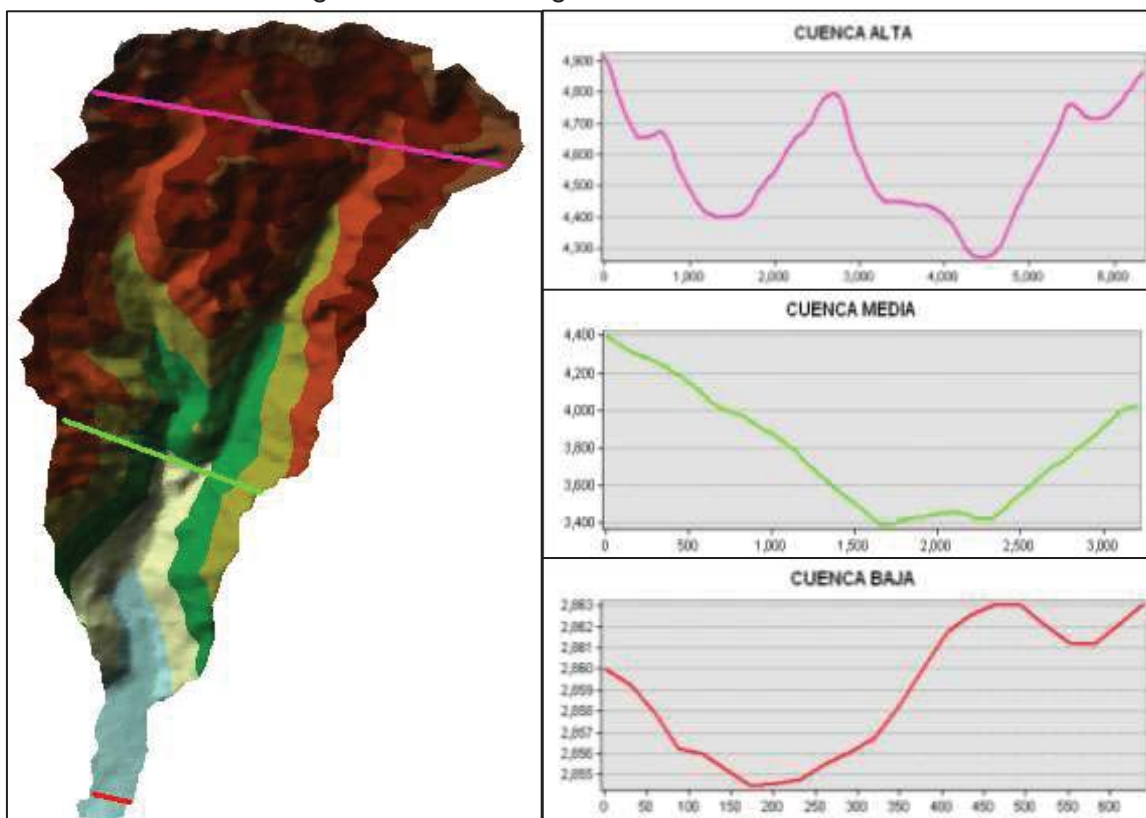
Cuadro 18. Parámetros morfométricos de la cuenca

Parámetros Generados	Valor	Clase
Factor de forma	7.07	Muy poco achatada
Compacidad	1.47	Oval redonda a oval oblonga
Índice de alargamiento	1.73	Moderadamente alargada
Coefficiente de masividad	86.6	Moderadamente montañosa
Densidad de cursos de agua	1.86	Longitud del río en Km por cada km <sup>2</sup>
Frecuencia de causas	2.30	Ríos por km <sup>2</sup>

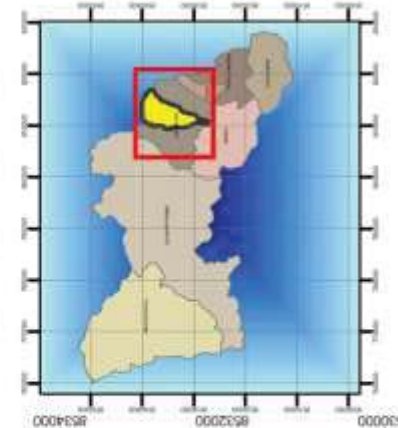
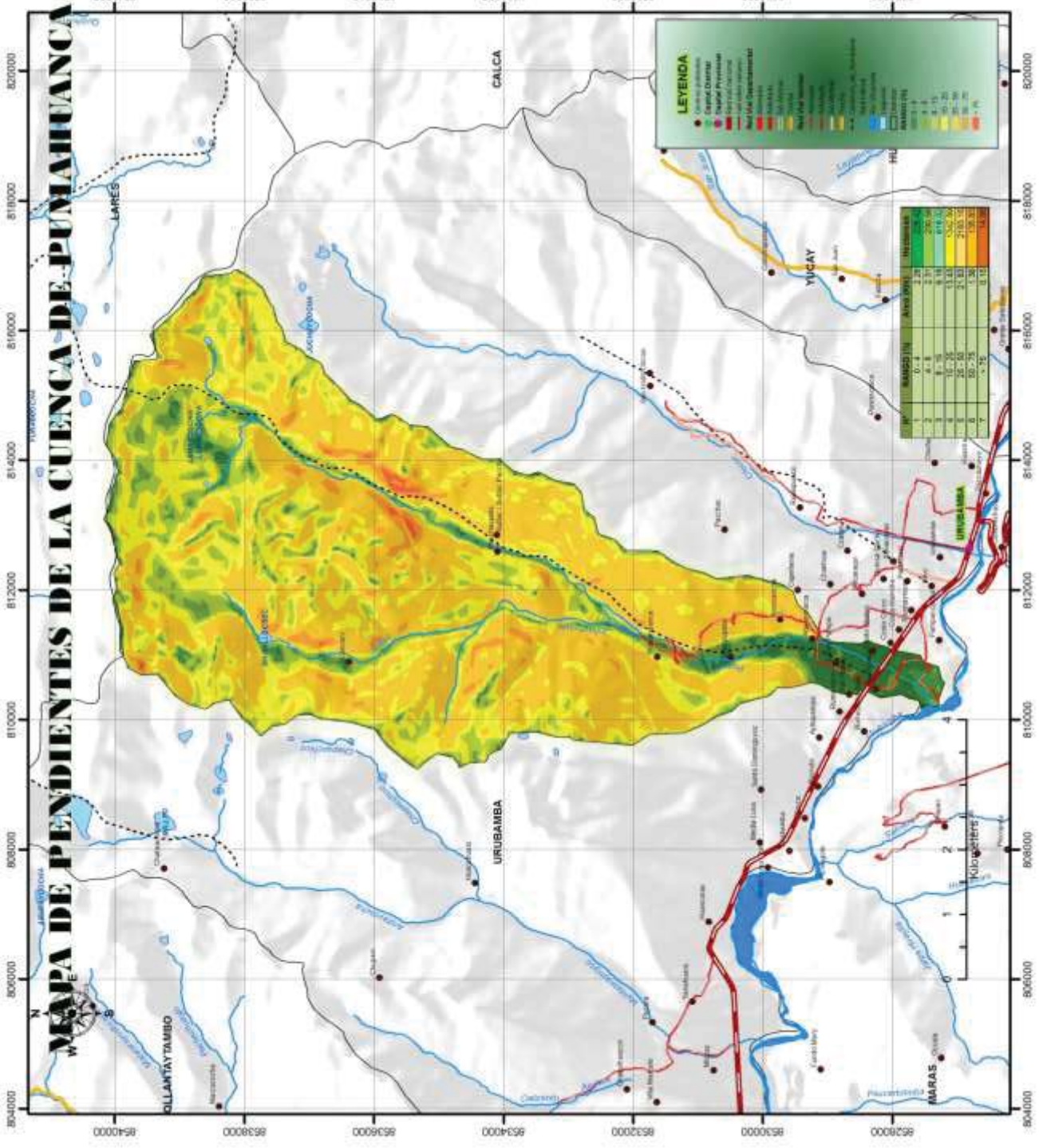
**Fuente:** Elaborado en base a resultados de los cálculos de parámetros de cuenca

El valor obtenido para el factor de forma supera la unidad, en consecuencia con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa, formando fácilmente grandes crecidas. El valor de compacidad, es próxima a la unidad e indica tendencia a concentrar grandes volúmenes de aguas de escurrimiento. El perfil longitudinal de la parte alta, media y baja de la cuenca se muestra en la figura 19, donde se distingue la configuración de la cuenca en su corte transversal y los rangos de pendientes en el mapa 02.

Figura 19. Perfil longitudinal de la cuenca



**Fuente:** Elaborado en función del mapa base de la cuenca (Mapa 1)



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
ABAD DEL CUSCO  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA**

**TEBIS:**

**"EVALUACION TEMPORAL DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES  
EN LA CUENCA DEL RIO PUMAHUANCA, URUBAMBA - CUSCO"**

Título	Autor	Fecha	Página
Trabajo de Grado	Luis Milla	2016	09
Director	Asesor	Revisor	Revisor
Dr. Víctor M. Córdova	Dr. Víctor M. Córdova	Dr. Víctor M. Córdova	Dr. Víctor M. Córdova

Clase	Área (Ha)	Porcentaje
1	0,4	2,0
2	4,1	20,0
3	11,3	56,5
4	17,7	88,2
5	25,0	125,0
6	33,3	166,5
7	50,0	250,0
8	75,0	375,0
9	100,0	500,0
10	125,0	625,0
11	150,0	750,0
12	175,0	875,0
13	200,0	1000,0
14	225,0	1125,0
15	250,0	1250,0
16	275,0	1375,0
17	300,0	1500,0
18	325,0	1625,0
19	350,0	1750,0
20	375,0	1875,0
21	400,0	2000,0
22	425,0	2125,0
23	450,0	2250,0
24	475,0	2375,0
25	500,0	2500,0

En cuanto a las pendiente en el área de la cuenca se presentan desde áreas planas en menor proporción en el piso de valle hasta zonas muy escarpadas en las partes altas, cerca de la mitad de la superficie total (45.9%) presenta pendientes empinadas entre 25 y 50%, tal como se puede observar en el cuadro 19 y gráficamente en el mapa 02.

Cuadro 19. Rangos de pendientes en la cuenca.

N°	Rango (%)	Termino descriptivo	Área (ha)	%
1	0 - 4	Plana a ligeramente inclinada	228.42	4.8
2	4 - 8	Moderadamente inclinada	230.58	4.9
3	8 - 15	Fuertemente inclinada	618.02	13.0
4	15 - 25	Moderadamente empinada	1342.89	28.3
5	25 - 50	Empinada	2183.15	45.9
6	50 - 75	Muy empinada	135.83	2.9
7	> 75	Extremadamente empinada	14.68	0.3
<b>Total</b>			<b>4755.40</b>	<b>100</b>

Fuente: Elaborado en base a Mapa 02 y Reglamento D.S. 017-2009-AG.

## 4.2. LÍNEA BASE DE LA CUENCA

### 4.2.1. Recurso suelo

#### 4.2.1.1. Capacidad de uso mayor

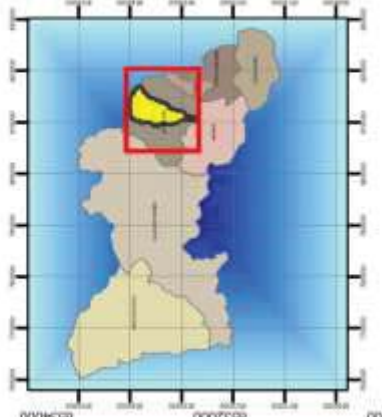
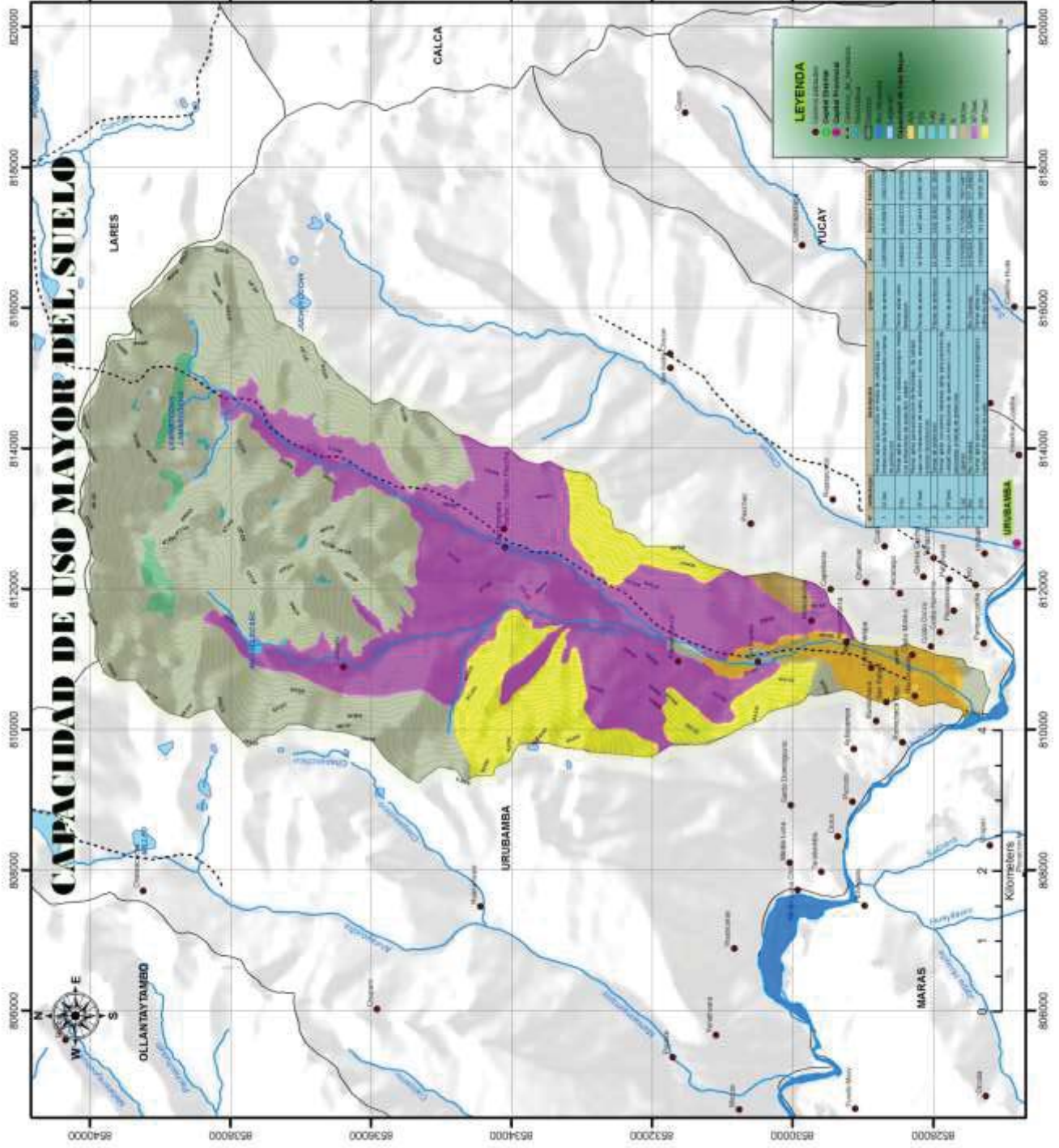
La clasificación del suelo por su capacidad de uso mayor para la cuenca se resume en el cuadro 20, representado en el mapa 03.

Cuadro 20. Capacidad de uso mayor del suelo en la cuenca

N°	Símbolo	Descripción	Grupos	Área (ha)	%
1	XA3se	Tierras aptas para cultivo en limpio de calidad agrologica baja con limitaciones de suelo y erosión asociados a tierras de protección.	Tierras de protección	29.54	0.6
2	XF3sec	Tierras aptas para producción de forestales de calidad agrologica baja con limitaciones de suelo, erosión y clima, asociados a tierras de protección	Tierras de protección	1497.04	31.5
3	X	Tierras de protección	Tierras de protección	2422.00	50.9
4	XP3sec	Tierras aptas para pastoreo de calidad baja con limitaciones de suelo, erosión y clima asociados a tierras de protección	Tierras de protección	539.19	11.3
5	F2s	Tierras aptas para forestales de calidad agrológica media con limitaciones de suelo factor edáfico	Tierras aptas para forestación	60.88	1.3
6	A2s	Tierras aptas para cultivo en limpio de calidad agrologica media con limitación de suelo	Tierras aptas para cultivo en limpio	191.31	4.0
7	Río	Río Vilcanota	Río Vilcanota	1.63	0.0
8	Lag	Lagunas	Lagunas	13.74	0.3
<b>Total</b>				<b>4755.33</b>	<b>100.0</b>

Fuente: Elaborado en base a información del Gobierno Regional Cusco, 2011.





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO**  
**ARAB DEL CUSCO**  
**PAUTAY DE CUSCO**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRICULTURA**

---

**TESIS:**  
**EVALUACION REGIONAL DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RIOS URUBAMBA, URUBAMBA - CUSCO**

Alumno:	Nombre:	Fecha de:	Página N°:
Alumno: [Nombre]	Nombre: [Nombre]	Fecha de: [Fecha]	Página N°: <b>08</b>
Curso: [Curso]	Asesorado por: [Nombre]	Fecha de: [Fecha]	
Asesorado por: [Nombre]	Asesorado por: [Nombre]	Fecha de: [Fecha]	
Asesorado por: [Nombre]	Asesorado por: [Nombre]	Fecha de: [Fecha]	

- **Tierras aptas para cultivo en limpio de calidad agrologica baja con limitaciones de suelo y erosión asociados a tierras de protección (XA3se)**

Se trata de suelos para cultivos en limpio con limitaciones de suelo y topografía asociado a suelos de protección. Ubicada en la zona climática lluvioso frío con invierno seco, correspondiente al piso ecológico Páramo muy húmedo – Sub andino Subtropical (pmh-SaS), se presenta en las laderas medias y quebradas de la cuenca. Con suelos originados de rocas sedimentarias de baja fertilidad, riesgo de erosión por el grado de pendiente, suelos superficiales a profundos, de textura moderadamente gruesa, media y fina, drenaje bueno a moderado, pendiente moderadamente empinada a empinada (15 a 50%). Donde se practica una agricultura migratoria en secano. Ocupa el 0.6% del área de la cuenca con 29.54 ha.

- **Tierras aptas para producción de forestales de calidad agrologica baja con limitaciones de suelo, erosión y clima, asociados a tierras de protección (XF3sec)**

Incluye los suelos de protección asociado a la producción forestal, comprende tierras de calidad baja para la explotación y producción forestal con limitaciones relacionadas principalmente al clima, suelo y topográfico (pendiente); es una zona de clima variado, lluvioso frío con invierno seco, semiseco semifrío con invierno seco, correspondiente al piso ecológico: Paramo muy húmedo Sub andino Subtropical (pmh-SaS) y Bosque húmedo montano Subtropical (bh-MS). Los suelos originados de rocas sedimentarias y volcánicas sedimentarias.

Agrupar a suelos de topografía irregular, con pendientes empinadas a muy empinadas (25 a + 50%), que le asignan un potencial elevado de riesgo a la erosión tomando en cuenta la profundidad y gravosidad en el perfil, de textura media, moderadamente gruesa, drenaje moderado, bueno o algo excesivo y reacción neutra, moderadamente alcalina a muy fuertemente ácidas. las que requieren prácticas adecuadas de manejo y conservación de suelo. Ocupa el 31.5 % del área de la cuenca con 1497.04 ha.

- **Tierras aptas para pastoreo de calidad baja con limitaciones de suelo, erosión y clima asociados a tierras de protección (XP3sec)**

Tierras de protección asociado al pastoreo de calidad baja, con limitaciones de suelos (fertilidad baja), topografía (erosión), clima (intensas heladas); de clima variado, lluvioso frío con invierno seco, semiseco semifrío con invierno seco y lluvioso semifrío con invierno seco, correspondiente al piso ecológico Paramo muy húmedo Sub andino Subtropical (pmh-SaS); Suelos originados de rocas sedimentarias y metamórficas). Agrupa suelos moderadamente profundos a superficiales, de textura mayormente media a moderadamente fina con drenaje natural de bueno a moderado con pendientes moderadamente empinadas a muy empinada de (20 a + 50%). Este grupo de tierras ocupa una extensión de 539.19 ha (11.3%) en la cuenca.

- **Tierras aptas para forestales de calidad agrológica media con limitaciones de suelo factor edáfico (F2s)**

Ubicada en zonas con clima variado, lluvioso frío con invierno seco, semiseco semifrío con invierno seco, correspondiente al piso ecológico Páramo muy húmedo Sub andino Subtropical (pmh-SaS) y Bosque húmedo montano Subtropical (bh-mS); con suelos originados de rocas sedimentarias, volcánicas sedimentarias y metamórficas, moderadamente profundos a superficiales de textura media a moderadamente fina, de drenaje moderado y de reacción neutra, ligeramente ácida a moderadamente alcalina; con pendiente moderadamente empinada a muy empinada de (20 a + 50%). Comprende 60.88 ha ocupado un 1.3 % del área de la cuenca.

- **Tierras aptas para cultivo en limpio de calidad agrológica media con limitación de suelo (A2s)**

Ubicada en la zona climática semiárido templado con invierno seco, correspondiente al piso ecológico bosque seco – montano bajo Subtropical (bs-MBS). Está conformada por suelos de depósitos fluviales (terrazas de

piso de valle), conos aluviales y quebradas con limitaciones de fertilidad natural media, reacción moderadamente alcalina a neutra, salinidad normal, suelos poco profundos a profundos de textura media a moderadamente gruesa, drenaje natural bueno a moderado, con pendiente que varían de plana a ligeramente inclinada (0-4%) en las terrazas fluviales y de moderada a ligeramente inclinada (4-15%). comprende 191.31 ha (4.0%)

- **Tierras de protección (X)**

Tierras de protección, las tierras de este grupo presentan limitaciones muy severas para la actividad agrícola, pecuarios y para la forestal quedando en reserva para otros usos de valor económico, como actividad minera, áreas recreacionales, paisajistas o de suministro de energía hidráulica y otros. El clima en esta zona es; Lluvioso Frío con Invierno Seco, Lluvioso Semifrigido con Invierno Seco, correspondiente al piso ecológico: Paramo muy húmedo Sub Alpino Subtropical (Pmh-SaS), Estepa-Montano Subtropical (e-MS) y Nival Subtropical (NS);

Suelos que se caracterizan por la superficialidad de la capa de suelo o por encontrarse en proceso de pérdida de cobertura de la vegetal, ya sea por las fuertes pendientes empinadas a muy empinadas (25 a + 50%) o por las actividades agrícolas desarrolladas sobre ellas o por el sobrepastoreo. A estas tierras se les denomina también eriazas no aptos para pastoreo, producción forestal; por cuanto no reúne las condiciones ecológicas mínimas requeridas para cultivos ocupa un área de 2422.00 ha que corresponde al 50.9% de la cuenca.

#### **4.2.1.2. Uso actual del suelo**

El suelo es uno de los recursos naturales más importantes para el desarrollo de las actividades humanas en el ámbito de la cuenca, tales como la agricultura, ganadería, recreación, etc. Constituye el hábitat de muchas especies de flora y fauna. En el cuadro 21 se detalla los usos a los que destinan los pobladores de la cuenca, los cuales se representan en el mapa 04:

Cuadro 21. Uso actual de suelos

<b>Tipos de uso de suelo</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>(%)</b>
Bofedal	32.90	0.69
Bosque de Queuña	215.50	4.53
Cuerpos de agua	15.37	0.32
Cultivo en secoano	37.35	0.79
Cultivos bajo riego	186.83	3.93
Matorral Mixto	618.89	13.01
Pastizal	914.12	19.22
Zona Descubierta o de Escaza vegetación	2258.98	47.50
Zona Forestal	238.78	5.02
Zona Nival	218.31	4.59
Zona Urbana	18.37	0.39
<b>TOTAL</b>	<b>4755.40</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaborado en base a los resultados del mapa 04.

- **Cultivo en secoano**

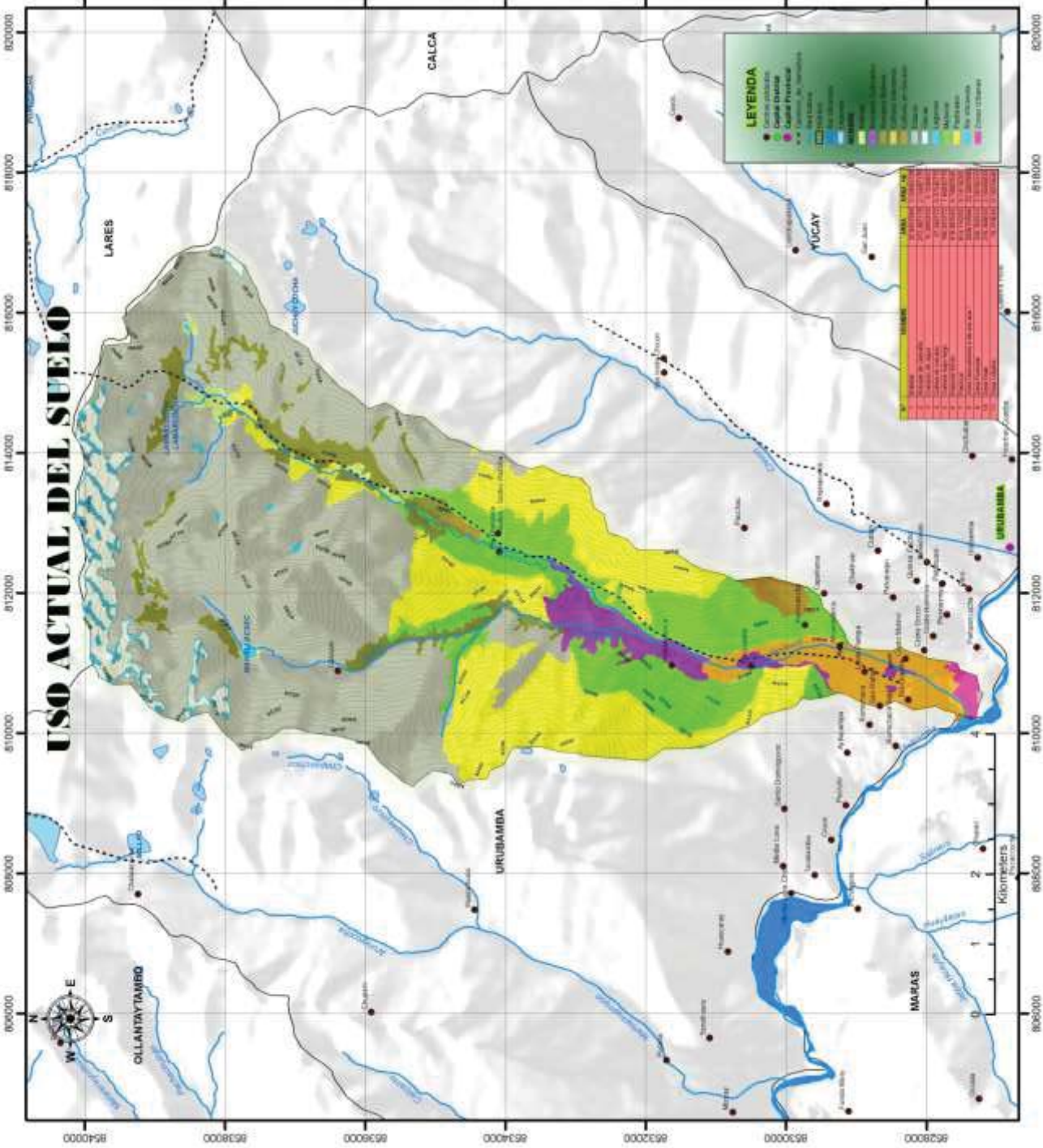
Comprende áreas que se destinan principalmente al cultivo de secoano. En la parte alta de la cuenca se cultivan sobre todo tubérculos como la papa y ollucos, así como haba y avena. Representa un 0.69% del área de estudio equivalente a 37.35 ha.

- **Cultivos bajo riego**

Corresponden a los cultivos que se realizan en el piso de valle bajo diferentes modalidades de riego, predominan los cultivos de maíz, hortalizas y frutales adecuados a la zona; ocupa 186 hectáreas (3.93%)

- **Forestal**

Por encima de los 3800 hasta los 4900 m, al pie de los nevados se presentan parches boscosos de *Polylepis sp*; mientras que en la parte media y baja de la cuenca, a lo largo de las riberas de ríos y quebradas, predominan las plantaciones de *Eucaliptus globulus* entremezclados con *Mircyanthes sp* y otros. Extendiéndose hasta las áreas de cultivo en el piso de valle, ocupando en conjunto un área total de 454.28 ha que representa el 9.55% de la cuenca.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO**  
**Ciudad del Cusco**  
**Facultad de Ciencias**  
**Escuela Profesional de Ingeniería**

**TESIS:**  
**"ESTADÍSTICA TEMPORAL DE LOS SERVIDORES AMBIENTALES**  
**EN LA CUENCA DEL RÍO PYRAMBUANCA (URUBAMBA - CUSCO)"**

Presentador (a)	David Alvarado	Año	2018
Director (a)	Dr. Raimundo	Fecha	11.11.2018
Comité Promotor (a)	Dr. Raimundo	Hoja N°	04

**LEYENDA**

- Corriente principal
- Corriente lateral
- Canal Periférico
- Límite de propiedad
- Límite de lote
- Límite de parcela
- Límite de finca
- Límite de zona
- Límite de distrito
- Límite de provincia
- Límite de departamento
- Límite de país
- Límite de zona de protección
- Límite de zona de influencia
- Límite de zona de conservación
- Límite de zona de amortiguamiento
- Límite de zona de recuperación
- Límite de zona de restauración
- Límite de zona de rehabilitación
- Límite de zona de mejoramiento
- Límite de zona de mantenimiento
- Límite de zona de preservación
- Límite de zona de protección ambiental
- Límite de zona de protección cultural
- Límite de zona de protección patrimonial
- Límite de zona de protección paisajística
- Límite de zona de protección turística
- Límite de zona de protección deportiva
- Límite de zona de protección científica
- Límite de zona de protección educativa
- Límite de zona de protección social
- Límite de zona de protección económica
- Límite de zona de protección política
- Límite de zona de protección jurídica
- Límite de zona de protección administrativa
- Límite de zona de protección judicial
- Límite de zona de protección legislativa
- Límite de zona de protección ejecutiva
- Límite de zona de protección judicial

Parcela	Superficie (Ha)	Superficie (M <sup>2</sup> )
1	100	1000000
2	200	2000000
3	300	3000000
4	400	4000000
5	500	5000000
6	600	6000000
7	700	7000000
8	800	8000000
9	900	9000000
10	1000	10000000
11	1100	11000000
12	1200	12000000
13	1300	13000000
14	1400	14000000
15	1500	15000000
16	1600	16000000
17	1700	17000000
18	1800	18000000
19	1900	19000000
20	2000	20000000
21	2100	21000000
22	2200	22000000
23	2300	23000000
24	2400	24000000
25	2500	25000000
26	2600	26000000
27	2700	27000000
28	2800	28000000
29	2900	29000000
30	3000	30000000
31	3100	31000000
32	3200	32000000
33	3300	33000000
34	3400	34000000
35	3500	35000000
36	3600	36000000
37	3700	37000000
38	3800	38000000
39	3900	39000000
40	4000	40000000
41	4100	41000000
42	4200	42000000
43	4300	43000000
44	4400	44000000
45	4500	45000000
46	4600	46000000
47	4700	47000000
48	4800	48000000
49	4900	49000000
50	5000	50000000

- **Matorrales**

Está constituido por matorral mixto sobre todo en las laderas con pendientes moderadas a empinadas representando el 13.01% del ámbito de la cuenca con un total de 618.89 ha.

- **Pastizal**

Corresponde a áreas dominadas por especies de la familia poaceae de porte reducido ubicadas sobre los 3534 m, en las partes medias y altas de la cuenca, con pendientes menores a 34% donde se desarrolla la actividad ganadera sobre todo la crianza de camélidos y ovinos en la parte alta y vacunos en la parte baja y media. Representa el 19.22 % del área cubriendo un total de 914.12 ha.

- **Zona urbana**

Constituida por las comunidades y sectores asentadas en el ámbito de la cuenca ocupando un área de 18 ha representado el 0.39 % de la cuenca.

- **Cuerpos de agua**

Representa el 0.32 % del área de estudio con 15.37 ha, constituido por las pequeñas lagunas de origen glaciar ubicadas al pie de los nevados.

- **Zona de cobertura de nieve**

Cubre un total de 218.31 ha, haciendo un 4.59 % del área desde los 4650 m en su punto más bajo hasta los 5130 m en su punto más alto.

- **Zonas descubiertas o de escasa vegetación**

Este tipo de uso incluye zonas de afloramientos rocosos, ubicadas indistintamente en las partes más altas y de pendientes pronunciadas. Y, de zonas que han sufrido erosión laminar natural, caracterizados por escasa o carencia de cobertura vegetal, con pendientes mayores a 25%, representando ambos el 47.50% del área de estudio con 2258.98 ha.

#### 4.2.2. Recurso agua

La cuenca de Pumahuanca, está constituida por una red hidrográfica con tributarios de origen glaciar y afloramiento de manantiales que en su recorrido se van juntando en quebradas para alimentar los dos tributarios mayores que forman el río principal. Asimismo se encuentran 33 lagunas de origen glaciar de diferentes tamaños que en época de lluvias contribuyen a incrementar el caudal de los ríos. En el cuadro 22 se identifican las principales fuentes permanentes de agua en el ámbito de la cuenca.

Cuadro 22. Fuentes de agua en la cuenca Pumahuanca.

Tipo de fuente	Nombre	Altitud (m)	Coordenadas (x, y)		Caudal (l/s)
Quebrada	Sutoq	3236	811336	8532020	447.11
Quebrada	Paqchac	3623	811803	8532653	502.9
Laguna	Manallocsec	4260	811261	8537690	103.00
Laguna	Sutoq	4585	815841	8538561	0.0
Laguna	Lamarcocha	4490	814359	8538835	0.0
Laguna	Accococha	4480	814426	8538706	0.0
Río Principal	Pumahuanca	3146	811212	8531400	<b>1057.15</b>

**Fuente:** Datos primarios registrados en campo.

El río principal se forma por la confluencia de los cursos de agua de Paqchac que reúne las aguas de pequeñas lagunas permanentes y temporales, aguas del deshielo y de los bosques, y de la quebrada de Sutoq originado por el deshielo del nevado de Pumahuanca, pasando por las lagunas de Lamarcocha y Manallocsec. Ambos hacen un recorrido de más de 6 kilómetros para unirse en el sector de Pumacchupa, desde donde toma el nombre de río Pumahuanca hasta unirse con el río Vilcanota.



- **Calidad de agua**

Los resultados de parámetros considerados en el presente estudio se muestran en el cuadro 23.

Cuadro 23. Parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de agua en la cuenca

Parámetro	Resultados de muestreo					ECA: D.S.015-2015	
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Cat.1-A	Cat. 3
<b>Físicos</b>							
Temperatura	0.2	1.2	1.6	1.7	4.7	-	-
Turbidez (NTU)	0.39	0.44	0.46	0.52	0.55	5	
pH	7.85	7.80	7.50	7.38	7.20	6.5-8.5	6.5-8.5
Conductividad (us/cm)	51.00	53.00	82.00	69.00	71.00	1500	≤2000
Sólidos solubles totales (ppm)	80.30	86.50	91.30	88.20	85.40	1000	
<b>Químicos</b>							
Dureza CaCO <sub>3</sub> (ppm)	35.20	36.60	56.60	47.60	49.00	500	
Calcio (ppm)	9.12	9.50	15.96	14.44	14.44		200
Cloruros (ppm)	1.40	1.22	1.74	1.36	1.40	250	
Sulfatos (ppm)	8.10	9.10	10.60	6.60	8.10	250	300
Bicarbonatos (ppm)	28.14	27.50	39.20	31.50	35.50		370
Hierro (ppm)	0.02	0.02	0.024	0.028	0.031	0.3	1
<b>Bioquímicos</b>							
Oxígeno Disuelto	7.56	7.06	8.06	8.06	9.07	≥6	≥4
Demanda biológica de oxígeno	1.2	0.9	1.0	1.4	1.9	3	15
<b>Microbiológicos</b>							
Coliformes totales (NMP/ml)	47/100	89/100	120/100	130/100	150/100	0-2000	1000
Coliformes termotolerantes (NMP/ml)	1.5x10 <sup>2</sup>	4x10 <sup>2</sup>	2x10 <sup>2</sup>	2x10 <sup>2</sup>	6x10 <sup>2</sup>	50-3000	5000

**Fuente:** Elaborado en base a los resultados de análisis de agua del anexo 2.

De acuerdo a los parámetros determinados en los 5 tramos desde la cabecera de cuenca hasta el último punto donde se usa el recurso, las características de turbidez, conductividad, dureza, calcio, bicarbonatos y hierro incrementa a medida que se desciende, excepto en el punto tres que corresponde a la quebrada de Sutoq, que durante su curso no recibe alteración perceptible ya que en su área no hay ocupación poblacional importante que pudiera generar algún tipo de contaminación.

Respecto a oxígeno disuelto, presentan valores altos que se considera como bueno según la bibliografía, así mismo los valores de la demanda biológica de oxígeno se incrementa con el descenso hacia la cuenca baja; sin embargo se encuentra dentro de niveles aceptables a óptimos.

De acuerdo a estos parámetros, el río mantiene su capacidad de autodepuración, sin embargo los parámetros microbiológicos muestran en todo los tramos presencia de coliformes, indicadores de contaminación que no sobrepasan los estándares establecidos para diferentes usos según lo establecido en el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, para diferentes usos excepto para consumo humano. Esto debido a la ausencia de servicios de saneamiento en la cuenca alta donde asienta la comunidad de Paqchac, así como la instalación de sanitarios para uso turístico en esta parte de la cuenca.

#### **4.2.3. Cobertura vegetal**

El ámbito de la cuenca posee condiciones climatológicas y topográficas que permiten el desarrollo de una cobertura vegetal diversa. Sobre los cuales se ha ejercido presión desde el período prehispánico acrecentándose en la colonia y la república; extraídos de manera selectiva para diversas actividades, la construcción de haciendas y viviendas; con la expansión de las ciudades y el incremento poblacional, se ejerció aún más la presión sobre los bosques, para la obtención de la leña y el carbón, únicas fuentes energéticas disponibles, motivando la transformación de considerables extensiones de la cobertura vegetal en espacios abiertos y con ello alterando el paisaje natural.

A pesar de esta presión aún se pueden encontrar bosques de “queuñas”, considerados como los bosques que habitan a mayor altitud a nivel mundial (Tupayachi, 2004); igualmente en las márgenes de los riachuelos y ríos que descienden torrentosos desde las cabecera, se encuentra la vegetación ribereña y bosques montanos conformados por numerosas especies nativas de composición mixta; en las laderas bajas húmedas, predominan los árboles de “chachacomo” *Escallonia resinosa*, “quishuares” *Buddleja longifolia*, *B.*

*incana*, “t’asta” *Escallonia myrtilloides*, “mayu manzana” *Hesperomeles lanuginosa*, “chyllur” *Vallea stipularis*, “huayruro urubambino” *Citharexylum dentatum*, cuyas áreas han sido transformadas en algunos casos en suelos agrícolas por la calidad de suelo.

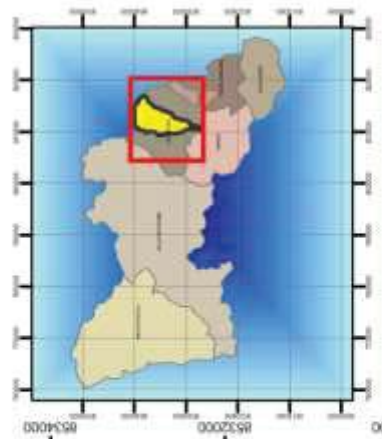
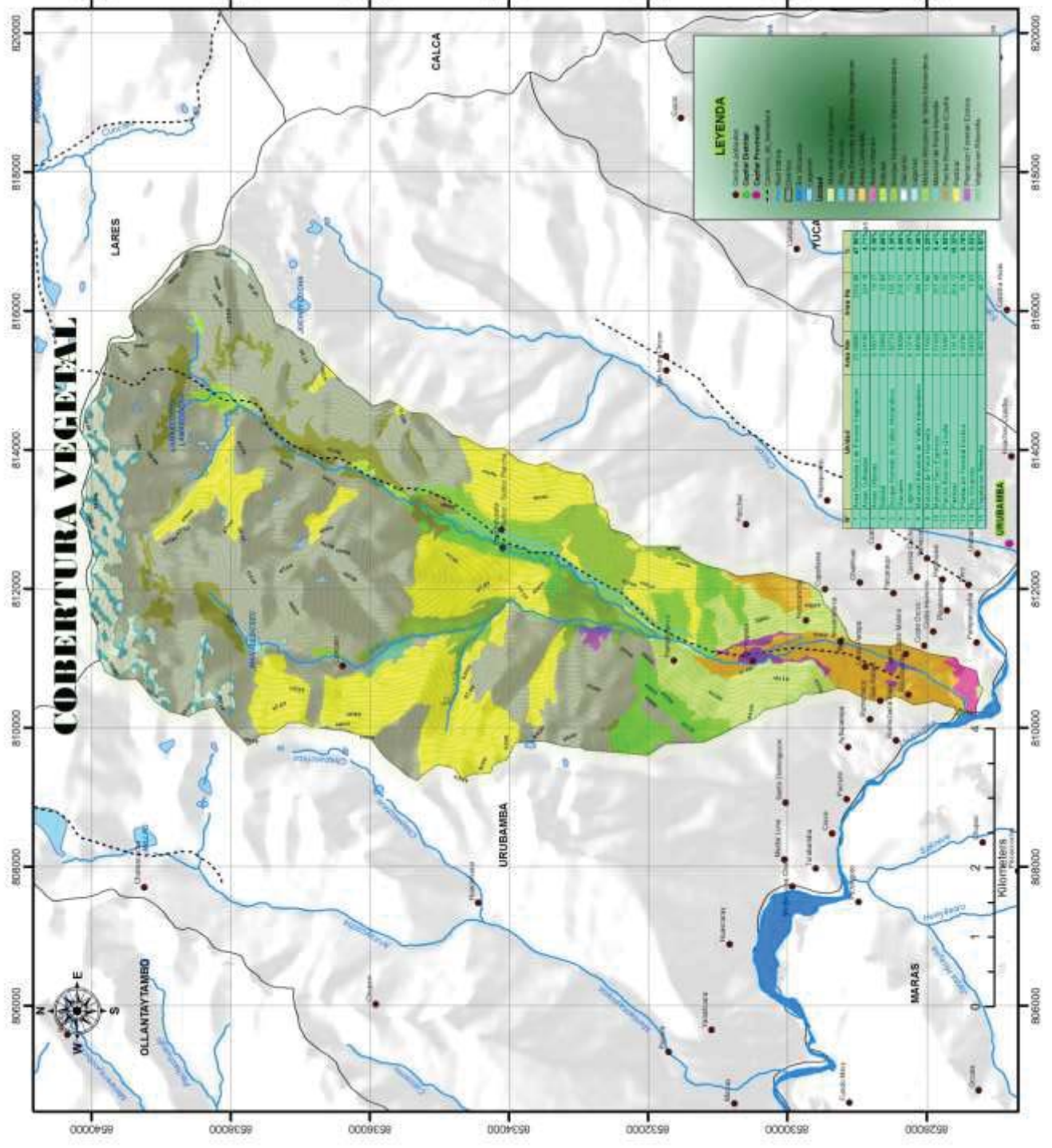
La caracterización de la cobertura vegetal, se realizó en base a unidades de vegetación predominante y para determinar su situación o estado de conservación actual, se presenta el cuadro 24 con los indicadores observados a través del tiempo y la observación en campo; considerando a los núcleos boscosos donde el impacto humano es mínimo o nunca fue alterado por agentes externos como bosques testigo para efectos de comparación. En este sentido, en base a la menor o mayor presión antrópica y el grado de conversión del espacio o superficie reducida (Mindreau, 2013), se incluyen los siguientes rangos del estado de conservación:

Cuadro 24. Rangos de estado actual de las unidades de cobertura vegetal.

Estado de conservación	Características
Bueno	- Se ubican en lugares poco accesibles y alejados de los poblados, se mantienen protegidas de las actividades antrópicas.
Medio	- Presionado en parte por “efecto de borde” de las actividades agrícolas, extracción de materiales de construcción y leña. - Buena densidad en pequeñas quebradas y borde de ríos y riachuelos, pero accesibles a la ganadería - Mantienen buena diversidad en plantas y animales silvestres especialmente en avifauna.
Bajo	- Unidades bastante presionadas para ser transformadas en áreas de cultivo, plantaciones exóticas, pastoreo, propensos a incendios, como los matorrales secos espinosos, matorrales arbustivos.
Muy bajo	- Unidades de vegetación fuertemente presionados para áreas de cultivo y/o viviendas. - Actualmente sólo existen en forma de unidades relictuales, condenados a una progresiva desaparición.

**Fuente:** Elaborado en base a lo propuesto por Mindreau, 2013.

Las unidades de cobertura vegetal más representativas se encuentran entre 2830 m en la base de la cuenca hasta los 4900 m (base del piso nival), a través de esta gradiente altitudinal se presentan diversas unidades de vegetación con una fisionomía y composición vegetal particulares, las cuales son representadas en el mapa 05 descritas de acuerdo a MINAM (2015). Las áreas ocupadas por cada unidad de cobertura se resumen en el cuadro 25.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
 FACULTAD DE CIENCIAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA

TESIS:  
 "EVALUACION TEMPORAL DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES  
 EN LA CUENCA DEL RIO URUBAMBA, URUBAMBA - CUSCO"

Presentado por: Diana Torres	Curso: 1.º SEMESTRE	Fecha: 2016	Hoja N.º: 05
Asesorado por: Ing. Juan Carlos...	Fecha de Evaluación: 15/03/2016	Nota Final: 100	
Asesorado por: Ing. Juan Carlos...	Fecha de Evaluación: 15/03/2016	Nota Final: 100	

Cuadro 25. Unidades de cobertura vegetal en la cuenca Pumahuanca

	<b>Unidades de cobertura vegetal</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porcentaje</b>
1	Área descubierta o de escasa vegetación	2259.0	50.2
2	Áreas cultivadas	224.2	5.0
3	Bofedales	32.9	0.7
4	Bosque húmedo de valles interandinos	254.6	5.7
5	Matorral arbustivo de valles interandinos	260.8	5.8
6	Matorral de puna húmeda	11.7	0.3
7	Matorral seco espinoso	257.5	5.7
8	Parches boscosos de Q`euña	215.5	4.8
9	Pastizal	905.2	20.1
10	Plantaciones forestales exóticas	35.8	0.8
11	Vegetación ribereña	46.3	1.0
<b>Total</b>		<b>4503.3</b>	<b>100.0</b>

Fuente: Elaborado en base a resultados de mapa 05.

- **Descripción de las unidades de cobertura vegetal**

- 1. Matorral seco espinoso**

Se extiende desde la línea de cultivos de piso de valle ascendiendo por laderas suaves o escarpadas hasta llegar a los roqueríos, con una cota promedio de 3300 m, cuyo ancho varía de acuerdo a la geología; ocupa 257 ha que representan el 5.7 % del área total; la vegetación es densa en las pequeñas quebradas y rala en las laderas escarpadas rocosas. Esta formación ocupa todas las laderas bajas, siendo muy extensa y sobresaliente en el paisaje.

La flora es heterogénea y se caracteriza por la presencia de especies de arbustos bajos, achaparradas adaptadas a las condiciones semiáridas con presencia mayoritaria de plantas espinosas que le dan la fisionomía de matorral espinoso, siendo las más representativas especies de los géneros *Berberis*, *Colletia*, *Acalipha*, *Schinus*, *Dasyphyllum*, entre otras. Durante la estación lluviosa toma la coloración más verdosa por la presencia de plantas anuales.

Esta formación se encuentra en estado de conservación bajo de acuerdo al cuadro 24, debido a la presión ejercida por las actividades de sobrepastoreo, extracción del recursos para fines energéticos, así como la tala y quema para la instalación de nuevas áreas destinadas a la agricultura de secano cuyas consecuencias son la pérdida de la productividad del suelo, incremento de posibles derrumbes que pone en riesgo a la población y sus propios cultivos.

## 2. Matorral arbustivo de valles interandinos

Esta unidad ocupa 260 ha que representa el 5.8 % del área total de cobertura, se encuentra en las quebradas medias de la cuenca hasta una altitud promedio de 3500 m; se encuentra en ambientes con humedad y abrigados, por tanto están recluidas por debajo de las formaciones rocosas, pequeñas quebraditas y antiguos derrumbes estabilizados.

La estructura vegetal del sistema está integrada por arbustos pequeños a medianos, más o menos densos de composición heterogénea y siempre verdes. Están relacionados por la parte inferior con los matorrales espinosos, la vegetación ribereña y por las partes superiores con el bosque montano; las especies vegetales predominantes son: *Baccharis odorata* "tayanca", *Barnadesia horrida* "llaulli", *Ambrosia arborescens* "marcju", *Citharexylum dentatum* "murmuchkuy", *Aristeguietia discolor* "vino vino", *Baccharis latifolia* "chillca", *Duranta mandonii* "t'ancar", entre otras.

Esta formación constituye una zona de refugio de la avifauna importante como del "montañez barbudo" *Oreoninpha novilis*, "canastero" *Asthenes ottonis*, "chihuaco" *Turdus chichuanco* y animales silvestres como el "zorro" *Pseudalopex culpaeus*, el "luychu" *Odocoileus peruvianus*. Además, por ser ambientes abrigados son preferidos para transformarlas en suelos agrícolas para el cultivo de papa, ollucos, habas, cebada, etc.; igualmente por la disponibilidad de pastos, son áreas de pastoreo para el ganado vacuno. Se puede decir que el estado de conservación es medio de acuerdo al cuadro 24.

## 3. Vegetación ribereña

Se encuentran bordeando las quebradas; de acuerdo a las características morfológicas, volúmenes de agua que discurren, anchura de las márgenes, etc., tiene composición vegetal diversa. En las partes medias y bajas, las especies más características, son: *Alnus acuminata*, *Myrcianthes oreophila*, *Morella pubescens*, *Vallea stipularis*, *Myrsine pellucida* entre otros que ascienden por las laderas contiguas, disminuyendo su composición y tamaño.

El área abarca 46 ha que equivale a 1 % del área de cobertura traslapándose con el matorral arbolado y bosques húmedos. Su situación actual de conservación es media según el cuadro 24 debido a la presencia de árboles de gran altura como el “aliso” *Alnus acuminata*, la “unca” *Myrcianthes oreophila* entre otros que han sido talados para la obtención de madera destinada a construcción y la evidente sustitución de la vegetación ribereña por plantaciones de eucaliptos; la tala de áreas considerables para ampliar la frontera agrícola puede conllevar a la disminución de la flora nativa y de los volúmenes hídricos, especialmente en la estación de secas.

#### **4. Matorral de la puna húmeda**

Comprende a todas las especies leñosas y hemicriptófitas agrupadas en las laderas altas y rocosas, hondonadas, borde de riachuelos de las zonas montañosas húmedas y borde de los bosques de *Polylepis*. Aproximadamente se distribuye entre los 4000 a 4800 m que corresponde a la puna húmeda, ocupando 11.7 ha que representa el 0.3 % del área de cobertura. Su composición es heterogénea, pero la mayoría presentan una morfología parecida por su aspecto resinoso como *Escallonia myrtilloides* “t’asta”, *Gynoxys nitida* “toccarhuay”. Este tipo de cobertura está relacionado con los bosques de *Polylepis* y los pastizales, siendo las familias dominantes las pertenecientes a las Asteráceas, Valerianáceas, Solanáceas, entre otras. Su máxima fenología floral es en el mes de marzo coincidiendo con la época de lluvias. Entre las especies más representativas se encuentran las “tayancas” *Baccharis odorata*, *B. tricuneata*, *B. alpina*, *B. postrata*, *Senecio spp.*, *Columellia obovata*, *Salpichroa spp.*

Los factores ambientales adversos como las heladas, granizadas y nevadas, hacen que se resequen y quemen las partes foliares dando un aspecto desolador a estos matorrales en la época seca. De otro lado, el retiro glaciario es otro factor condicionante de la falta de humedad que influye en su abundancia o escasez. Por estas condiciones el estado de conservación corresponde a un valor medio según los rangos del cuadro 24.

## **5. Bosque húmedo de valles interandinos**

Corresponde a las formaciones boscosas ubicadas entre 3500 a 3800 m ocupando las partes medias en la gradiente altitudinal. La composición arbórea y arbustiva es heterogénea, siendo la característica fundamental el epifitismo abundante en el estrato arbóreo, que mantiene la humedad de éstos ecosistemas sobre todo en época de lluvia abundante de octubre a abril. La extensión ocupada es de 254.6 ha que representa el 5.7 % del área de cobertura. Las especies que mejor lo caracterizan corresponde a *Styloceras laurifolia*, *Oreophanax ischnolobus*, *Vallea stipularis*, *Myrsine pellucida*, *Morella pubescens*, etc.

El estado de conservación es bueno según el cuadro 24, mantienen su densidad e integridad debido a las pendientes y su difícil accesibilidad; sin embargo el afán de ganar más suelos para la agricultura en laderas y utilizar los árboles nativos para leña o reemplazarlas por plantaciones de forestales exóticos vienen ocasionando un efecto de borde, es decir la destrucción y avance por los bordes inferiores de su área de ocupación. A pesar de ello, en estos bosques la regeneración natural de las especies es dinámica, debido a la escasa perturbación por el ganado doméstico que pocas veces ingresan a causa de la pedregosidad y densidad del sotobosque.

## **6. Pastizales**

Constituyen las áreas más extensas en la zona, se encuentran por lo general en las partes elevadas de las montañas y próximos a los nevados, forman también los pajonales de laderas junto a las formaciones rocosas; la extensión ocupada es de 905.2 ha que representa el 20.1 % del área total. Respecto a su composición vegetal, los pastizales no sólo están conformados por pastos (Poaceas) sino también por plantas graminiformes como las Juncáceas, Cyperaceas y numerosas especies de hierbas anuales y plantas perennes asociadas palatables para el ganado.

La presencia de los pastos en las laderas junto a los matorrales de la puna está en relación al ciclo de las lluvias, abundantes en la estación favorable, y escasas o ausentes en la estación seca. En cambio los pajonales mantienen



sus asociaciones más estables durante gran parte del año, lo que permite a los pastores hacer rotación de pastoreo según las estaciones. Las especies predominantes lo constituyen *Calamagrostis antoniana*, *C. vicunarum*, *C. glacialis*, *Stipa ichu*, *Festuca dolichophylla*, etc.

El estado de conservación según el cuadro 24 corresponde a un nivel medio debido a la presión sobre los pastos de ladera especialmente por el pisoteo de vacunos y equinos y la forma de consumo por arranque de la ganadería introducida, la pérdida de las tradiciones en el manejo de los pastos de puna, por el sistema de rotación de pastoreo. Igualmente la disminución de áreas de pastoreo para destinarlas a suelos agrícolas de cultivo.

### **7. Parche boscoso de *Polylepis spp.* (Q'euñales)**

Se encuentra entre altitudes de 3800 a 4890 m de altitud, ocupando las orillas del río y laderas escarpadas de la quebrada de Paqchac; entre las repisas de las montañas hacia las formaciones morrénicas en las nacientes de los tributarios de este río, se presentan bosques homogéneos de *Polylepis subsericans* a manera de parches a partir de los 4200 m hasta los 4780 m hacia los límites con la intercuenca Chicón. Y en los orígenes del río Sutoq limitando con la divisoria de aguas de Mantamay cerca del nevado Pumahuanca, aparece *Polylepis beseri* desde los 3900 m circundando la laguna Manallocsec ascendiendo hasta los 4200 m, por encima se presentan los parches de *Polylepis subsericans* entre las laderas rocosas y repisas de las montañas circundantes a las masas de nieve. En conjunto ocupan 215 ha que representa el 4.8% de la cubierta vegetal. Son considerados por algunos estudios como las especies que alcanzan el más alto límite altitudinal y pueden encontrarse a más 4890m (Tupayachi, 2004). Por tanto la fisiología de las especies para incrementar su biomasa y responder a los factores ambientales extremos, resulta muy importante para el mantenimiento de algunos servicios ambientales.

Su presencia es un atributo muy particular en el área ya que junto a las lagunas alto andinas, los picos nevados, los espacios rocosos delimitadas por las crestas rocosas erosionadas por derretimiento glaciario, han creado paisajes

inconfundibles en la puna húmeda, ambientes que gran parte del año presentan nubes y lluvia manteniéndose siempre verdes con una diversidad en flora y fauna silvestres, siendo las aves más frecuentes de estos bosques *Anarietes alpinus*, *Cinclodes aricomae* (Servat *et al.*, 2002) especies que se encuentran en vías de extinción.

Los bosques de ***Polylepis*** cumplen algunos servicios ambientales en evaluación en el presente estudio, tales como:

- Evitan la erosión de los suelos por interceptación de las lluvias y la humedad atmosférica a través de sus ramas y sus hojas, devolviendo esa humedad al suelo.
- Conservan los suelos por la descomposición de sus hojas, leños y ritidomas.
- Acumulan el agua de lluvia en la cobertura musgosa de sus troncos y desprenden poco a poco, considerándose reguladores de los volúmenes hídricos en las quebradas.
- Atemperan el clima manteniendo húmedas las cabeceras de la cuenca.
- Integran los escenarios paisajísticos junto a lagunas y nevados, motivos del turismo ecológico y de alta montaña.

Los “queuñales” están asociadas en el sotabosque a numerosas especies de plantas como *Gynoxys nitida* (Asterácea), *Ribes brachybotrys* (Grosulariácea), gran número de *Senecios* (Asterácea) según los reportes de Servat *et al.*, (2002), pastos, epifitas, musgos y otras especies adaptadas a crecer en ambientes húmedos del bosque. Su estado de conservación puede considerarse medio, por la presión ejercida por parte de la población aledaña para la obtención de la leña, materiales de construcción y aperos agrícolas; igualmente en estas unidades los pobladores encuentran recursos no maderables del bosque, como plantas alimenticias y medicinales y otros.

## **8. Áreas descubiertas o de escasa vegetación**

Se ubican en las altas montañas como efectos de la desglaciación y las formaciones sometidas a un intemperismo agudo, acrecentadas por la nevada, helada, granizada, vientos y la erosión, que soportan las delgadas capas de

suelo, susceptibles a escorrentía superficial producida por las lluvias que no favorecen la permanencia de suelo y por consiguiente limitan la presencia de vegetación. Grandes espacios del área están cubiertos por requeríos de diferentes formaciones geológicas que constituyen los suelos de protección y mantienen pocas especies sólo durante la estación lluviosa como algunos pastos y hierbas anuales litofitas, siendo escasas las plantas leñosas permanentes. Corresponde al 50.2 % del área con 2259 ha de la cobertura.

## **9. Bofedales**

Se encuentran rodeando las lagunas, originadas por filtración del derretimiento glaciario o de lagunas que se ubican a mayor altura, mantienen los niveles freáticos muy altos que se saturan durante la temporada lluviosa formando pequeños cuerpos de agua. En estos ecosistemas se desarrollan los mejores pastos y especies de gramíneas palatables para la ganadería de camélidos. El área ocupada por esta unidad es de 33 ha, que representa el 0.7 % del total.

Las especies más importantes de los bofedales de la puna húmeda son:

*Bromus lanatus*, *Calamagrostis ovata*, *Distichia muscoides*, *Oxycichloe andina*, etc. Su estado de conservación corresponde al nivel medio según el cuadro 24 debido que la vegetación está expuesta a un alto grado de saturación por mantener una flora conspicua fresca, palatable y en constante crecimiento para los camélidos. En gran parte del área éstas han sido manejadas con conocimientos tradicionales en épocas anteriores, sin embargo a la fecha se encuentran en retroceso debido a la sobrecarga de pastoreo, falta de rotación en las estaciones del año que puede dificultar su recuperación.

Otro factor que contribuye a la erosión de estos ecosistemas hidromórficos es la disminución de las fuentes de agua que mantienen los bofedales por la disminución constante de las masas de nieve y de las lagunas ubicadas en la cabecera, con consecuencias desfavorables sobre su diversidad vegetal y reducción de sus áreas primitivas para convertirse en suelos turbados o en áreas desecadas por invasión de especies competidoras y poco palatables.

## 10. Plantaciones forestales exóticas

El eucalipto, *Eucalyptus globulus* originario de Australia ha sido introducido con mucho éxito en los valles interandinos y mesoandinos, pudiendo encontrarse entre los 2500 hasta los 3900 m (Guamán Poma, 2011). En el área de estudio las plantaciones ocupan el piso de valle rodeando las áreas de cultivo, las laderas secas incluso de altas pendientes, demostrando su gran plasticidad de adaptación a toda clase de suelos por el desarrollo de su sistema radicular en busca del agua y nutrientes.

Las plantaciones de eucalipto en los ecosistemas andinos, tienen ventajas comparativas favorables y desfavorables respecto a los forestales nativos, la difícil descomposición de sus hojas que no permiten mejorar la calidad de los suelos y el poder erosivo de sus raíces si son plantados en suelos de fuerte pendiente, son factores que incompatibilizan respecto a las especies nativas. Sin embargo, son preferidas para reforestación por su fácil crecimiento, fuste recto para usos en construcción de viviendas, madera de aserrío, leña y su buena capacidad de rebrote. Ocupan en la cuenca 36 ha que representa el 0.75 % del área total de cobertura vegetal.

Asimismo se evidenció la práctica de actividades de agroforestería, consistente en la asociación de cultivos con especies arbustivas sobre todo con la finalidad de delimitar terrenos de cultivo.

- **Abundancia de especies en la cuenca**

Del muestreo de vegetación correspondiente a la cuenca alta, media y baja se identificaron las especies representativas y el número de individuos por especie como se detalla en el cuadro 26 de acuerdo al sistema de clasificación filogenética APG (Angiosperm Phylogeny Group) en su cuarta actualización de 2016.

Cuadro 26. Abundancia de especies vegetales en la cuenca

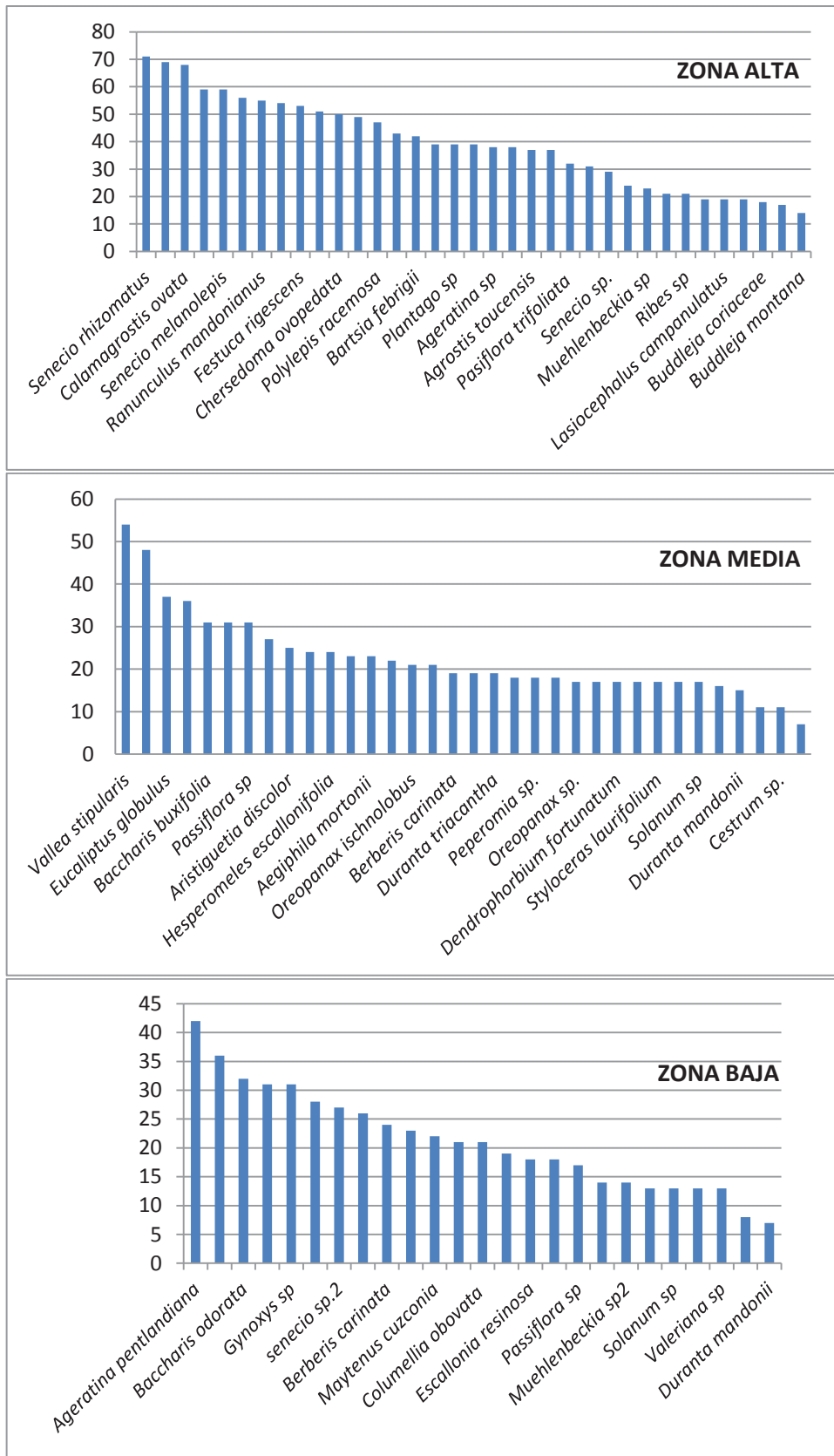
Orden	Familia	Especie	Zona Alta	Zona Media	Zona baja
Piperales	Piperaceae	<i>Peperomia sp.</i>	0	18	0
Poales	Juncaceae	<i>Distichia muscoides</i>	49	0	0
	Juncaceae	<i>Ribes sp</i>	21	0	0
	Poaceae	<i>Agrostis toucensis</i>	37	0	0
	Poaceae	<i>Calamagrostis humboldtiana</i>	56	0	0
	Poaceae	<i>Calamagrostis ovata</i>	68	0	0
	Poaceae	<i>Festuca rigescens</i>	53	0	0
	Poaceae	<i>Festuca sp</i>	37	0	0
Ranunculales	Berberidaceae	<i>Berberis carinata</i>	21	19	14
	Berberidaceae	<i>Berberis sp.</i>	0	0	22
	Berberidaceae	<i>Berberis tricuniata</i>	0	17	0
	Ranunculaceae	<i>Ranunculus mandonianus</i>	55	0	0
Buxales	Buxaceae	<i>Styloceras laurifolium</i>	0	17	0
Rosales	Rosaceae	<i>Hesperomeles escallonifolia</i>	39	24	0
	Rosaceae	<i>Hesperomeles ferruginea</i>	0	18	0
	Rosaceae	<i>Polylepis racemosa</i>	47	0	0
	Rosaceae	<i>Polylepis subsericans</i>	31	0	0
Fagales	Myricaceae	<i>Morella pubescens</i>	0	16	0
Oxalidales	Elaeocarpaceae	<i>Vallea stipularis</i>	0	54	36
Malpighiales	Passifloraceae	<i>Pasiflora trifoliata</i>	32	0	0
	Passifloraceae	<i>Passiflora sp</i>	0	31	32
Celastrales	Celastraceae	<i>Maytenus cuzconia</i>	0	11	28
	Celastraceae	<i>Maytenus jelskii</i>	0	27	18
Ericales	Myrsinaceae	<i>Myrsine pellucida</i>	0	19	0
Cariophylliales	Polygonaceae	<i>Monnina sp</i>	17	0	0
	Polygonaceae	<i>Monnina sp2</i>	0	0	13
	Polygonaceae	<i>Muehlenbeckia sp</i>	23	0	0
	Polygonaceae	<i>Muehlenbeckia sp2</i>	0	0	31
	Polygonaceae	<i>Rumex acetocella</i>	51	0	0
Myrtales	Melastomataceae	<i>Brachiotum sp</i>	19	0	0
	Myrtaceae	<i>Eucaliptus globulus</i>	0	37	13
	Myrtaceae	<i>Myrcianthes indeferens</i>	0	17	0
	Myrtaceae	<i>Myrcianthes oreophila</i>	0	36	0
	Asteraceae	<i>Ageratina pentlandiana</i>	0	17	23
	Asteraceae	<i>Ageratina sp</i>	38	0	0
	Asteraceae	<i>Aristiguetia discolor</i>	0	25	0
	Asteraceae	<i>Baccharis buxifolia</i>	0	31	17
	Asteraceae	<i>Baccharis odorata</i>	19	23	13
	Asteraceae	<i>Baccharis sp</i>	24	0	0

Asterales	Asteraceae	<i>Barnadesia horrida</i>	0	18	21
	Asteraceae	<i>Chersedoma ovopedata</i>	50	0	0
	Asteraceae	<i>Dendrophorbium fortunatum</i>	0	17	0
	Asteraceae	<i>Gynoxys nítida</i>	0	48	0
	Asteraceae	<i>Gynoxys sp</i>	0	0	21
	Asteraceae	<i>Hypochaeris sp</i>	59	0	0
	Asteraceae	<i>Jungia malvaefolia</i>	0	0	26
	Asteraceae	<i>Lasiocephalus campanulatus</i>	19	0	0
	Asteraceae	<i>Loricaria sp.</i>	43	0	0
	Asteraceae	<i>Senecio melanolepis</i>	59	0	0
	Asteraceae	<i>Senecio peruanensis</i>	38	0	0
	Asteraceae	<i>Senecio rhizomatus</i>	71	0	0
	Asteraceae	<i>Senecio sp.</i>	29	0	0
	Asteraceae	<i>senecio sp.2</i>	0	0	31
	Asteraceae	<i>senecio sp.3</i>	0	0	42
Asteraceae	<i>Werneria nubigena</i>	39	0	0	
Escalloniales	Escalloniaceae	<i>Escallonia resinosa</i>	0	24	7
Bruneales	Columelliaceae	<i>Columellia obovata</i>	0	31	8
Apiales	Araliaceae	<i>Oreopanax ischnolobus</i>	0	21	0
	Araliaceae	<i>Oreopanax sp.</i>	0	17	0
Dipsacales	Valerianaceae	<i>Valeriana sp</i>	0	0	27
	Valerianaceae	<i>Valeriana thalictroides</i>	54	0	0
Solanales	Solanaceae	<i>Cestrum conglomeratum</i>	0	22	0
	Solanaceae	<i>Cestrum sp.</i>	0	11	0
	Solanaceae	<i>Solanum naturecalvans</i>	0	7	13
	Solanaceae	<i>Solanum sp</i>	0	17	18
	Solanaceae	<i>solanum sp3</i>	0	0	24
Lamiales	Buddlejaceae	<i>Buddleja coriacea</i>	18	0	0
	Buddlejaceae	<i>Buddleja montana</i>	14	0	0
	Plantaginaceae	<i>Plantago sp</i>	39	0	0
	Scrophulariaceae	<i>Bartsia febrigii</i>	42	0	0
	Verbenaceae	<i>Aegiphila mertonii</i>	0	23	0
	Verbenaceae	<i>Citharexylum argutidentatum</i>	0	21	19
	Verbenaceae	<i>Duranta mandonii</i>	0	15	14
	Verbenaceae	<i>Duranta triacantha</i>	0	19	0
Gentianales	Gentianaceae	<i>Halenia sp.</i>	69	0	0
		<b>Total</b>	<b>1249</b>	<b>402</b>	<b>373</b>

**Fuente:** Elaborado en base a registros botánicos.

Del cuadro 26 se destacan 35 especies registradas en la parte alta correspondientes a 14 familias destacando en abundancia *Senecio rhizomatus*, *Halenia sp*, *Calamagrostis ovata* como se puede observar en la figura 20; 34 especies en la parte media agrupadas en 15 familias con

Figura 20. Abundancia de especies vegetales en la cuenca Pumahuanca



Fuente: Elaborado en base al cuadro 26

abundancia de *Vallea stipularis*, *Gynoxys nítida*, *Eucaliptus globulus*; y 25 especies en la zona baja pertenecientes a 12 familias con predominancia de *Ageratina pentlandiana*, *Baccharis buxifolia*, *Baccharis odorata*. Respecto a familias son las Asteráceas las de mayor abundancia en las tres zonas, todas registradas en época seca.

Según estudios florísticos en época lluviosa, los queuñaes de esta cuenca registran el mayor número de especies asociadas, siendo las diez más representativas según los reportes de Servat *et al.* (2002) y Tupayachi (2004) los siguientes:

*Senecio adenophyllus*  
*Senecio candolli*  
*Senecio rhizomatus*  
*Halenia bella*  
*Calamagrostis antoniana*  
*Calamagrostis longearistata*  
*Calamagrostis tricophylla*  
*Festuca dichoclada*  
*Valeriana herrerae*  
*Valeriana pygnantha*

- **Índice de diversidad**

Del análisis de diversidad de Shannon Wiener en el cuadro 27, se obtienen valores mayores a 3 que expresan un nivel alto de diversidad en la zona alta y media, ligeramente menor en la zona baja. El índice de Simpson indica que las tres zonas muestran alta diversidad y baja dominancia.

Cuadro 27. Índice de diversidad de la vegetación.

Índices	Zona Alta	Zona Media	Zona Baja
Riqueza de especies	35	34	25
Abundancia	1380	768	531
Dominancia	0.033	0.035	0.047
Simpson_1-D	0.97	0.96	0.95
Shannon_H	3.47	3.44	3.14
Menhinick	0.94	1.23	1.08
Margalef	4.70	4.97	3.83
Equitatividad_J	0.975	0.976	0.974

**Fuente:** Elaborado en base a los registros botánicos.

El índice de Margalef expresa la equidad entre las especies presentes en cada zona; en general, a lo largo del área de la cuenca se mantienen



importantes valores de diversidad de flora con una ligera tendencia a reducirse a medida que se desciende al piso de valle, por lo menos en lo que se refiere a la vegetación que permanece en época seca. Los resultados obtenidos coinciden con lo obtenido por Bocangel (2005) ya que el número de individuos y especies de cactáceas y suculentas disminuyen gradualmente con la altitud y que esta cuenca presentan mayor diversidad de especies debido a las características de vegetación, temperatura y humedad.

#### 4.2.4. Recurso fauna

El registro de fauna de vertebrados en el área de la cuenca está compuesta por una familia de anfibios con tres especies presentes, dos familias de reptiles cada una con una especie, 61 especies de aves distribuidas en 19 familias y 9 especies de mamíferos asociadas a las diferentes formaciones vegetales. Las especies registradas se enlistan de acuerdo al sistema de clasificación natural en el cuadro 28.

Cuadro 28. Especies de fauna presentes en la cuenca.

Clase	Orden	Familia	Especie
<b>Anfibia</b>	Anura	Bufonidae	<i>Bufo espinulosus</i>
			<i>Telmatobius marmoratus</i>
			<i>Gastroteca marsupiata</i>
<b>Reptilia</b>	Squamata	Colubridae	<i>Tachimenis peruviana</i>
		Gymnophthalmidae	<i>Proctoporus bolivianus</i>
<b>Aves</b>	Tinamiformes	Tinamidae	<i>Nothoprocta ornata</i> <i>Nothoprocta pentlandii</i>
	Falconiformes	Accipitridae	<i>Geranoaetus fuscescens</i> <i>Buteo poecilochrous</i> <i>Buteo polyosoma</i>
		Falconidae	<i>Falco sparverius</i> <i>Falco femoralis</i> <i>Falco boevis</i> <i>Falco mexicanus</i>
	Columbiformes	Columbidae	<i>Columba fasciata</i> <i>Columba maculosa</i> <i>Metriopelia melanoptera</i>
	Psittasiformes	Psittasidae	<i>Bolborhynchus aurifrons</i>
	Strigiformes	Strigidae	<i>Bubo virginianus</i>
	Caprimulgiformes	Caprimulgidae	<i>Caprimulgus longirostris</i>
	Apodiformes	Trochilidae	<i>Chalcostigma stanley</i> <i>Pterophanes cyanopterus</i> <i>Colibri coruscans</i> <i>Aglaeactis castelnaudii</i> <i>Oreotrochilus estellae</i> <i>Patagona gigas</i>

	Piciformes	Picidae	<i>Colaptes rupicola</i>
	Passeriformes	Furnariidae	<i>Asthenes ottonis</i> <i>Cinclodes fuscus</i> <i>Cinclodes aricomae</i> <i>Lepthasthenura xenothorax</i> <i>Lepthasthenura yanacensis</i>
		Rhinocryptidae	<i>Scytalopus magellanica</i>
		Formicariidae	<i>Grallaria andecola</i> <i>Cranioleuca albicapilla</i>
		Tyrannidae	<i>Aniretes alpinus</i> <i>Anairetes parurlus</i> <i>Ochthoeca rufipectoralis</i> <i>Ochthoeca oenanthoides</i> <i>Ochthoeca leucophrys</i> <i>Myiotheretes striaticollis</i> <i>Muscisaxicola alpina</i>
		Cotingidae	<i>Ampelium rubrocristatum</i>
		Muscicapidae	<i>Turdus chiguanco</i>
		Trogloditidae	<i>Troglodites aedon</i> <i>Diglossa brunneiventris</i>
		Hirundinidae	<i>Notiochelidon murina</i>
		Emberizidae	<i>Conirostrum cinereum</i> <i>Conirostrum ferrugineiventre</i> <i>Thraupis bonariensis</i> <i>Xenodacnis parina</i> <i>Oreomanes frasseri</i> <i>Diuca speculifera</i> <i>Phrygilus punensis</i> <i>Phrygilus unicolor</i> <i>Phrygilus plebejus</i> <i>Catamenia inornata</i> <i>Saltator aurantirostris</i> <i>Zonotrichia capensis</i>
		Fringillidae	<i>Carduelis magellanica</i> <i>Carduelis atrata</i> <i>Carduelis crassirostris</i> <i>Sicalis uropigialis</i>
		Mamífera	Artiodactyla
Carnivora	Canidae		
	Felidae		<i>Puma concolor linnaeus</i>
	Mustelidae		<i>Conepatus semistriatus</i>
Rodentia	Caviidae		<i>Cavia aperea</i>
	Chinchillidae		<i>Lagidium peruanum</i>
	Sigmodontidae		<i>Akodon subfuscus</i> <i>Phyllotis darwini</i>

**Fuente:** Elaborado en base a registros por observación directa y revisión bibliográfica de Servat (2002) y Tupayachi (2004)

El Gobierno Regional Cusco (2011) evaluó un transecto lineal de 2 km en el área de bosque mixto de la cuenca, registrando 22 especies de aves con

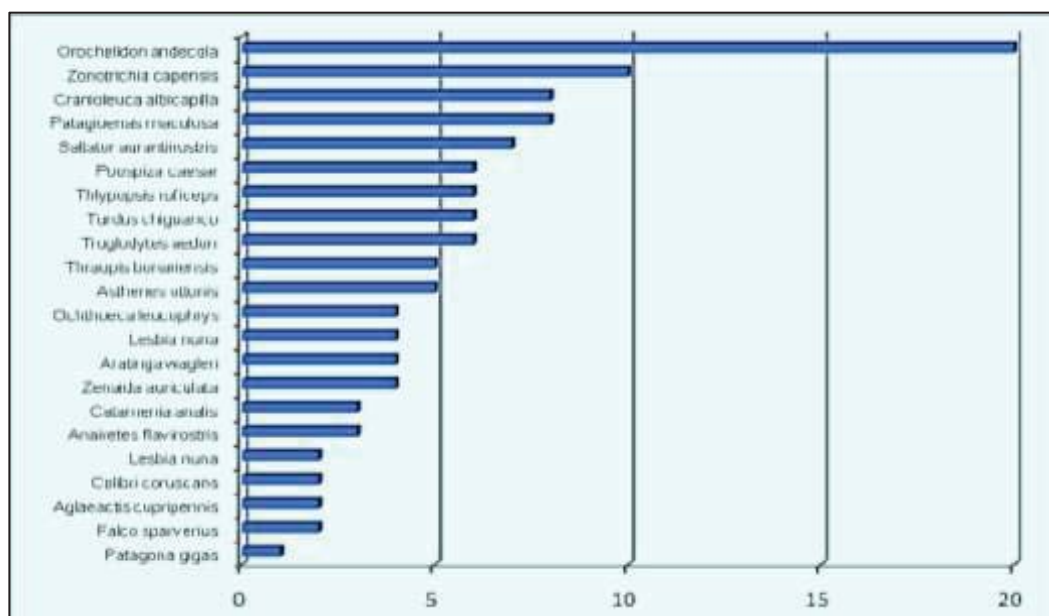
valores importantes de diversidad alfa como se muestra en el cuadro 29 y sus abundancias en la figura 21.

Cuadro 29. Diversidad alfa para el transecto de aves en la cuenca

Riqueza de especies	Abundancia	Proporción por especies	Diversidad alfa	
			Simpson	Shannon
22	118	5.36	0.9303	2.879

Fuente: Gobierno Regional Cusco, FOT, 2011.

Figura 21: Abundancia de especies de aves en la cuenca Pumahuanca.



Fuente: Gobierno Regional Cusco, FOT, 2011.

De acuerdo a la figura 21 la especie más abundante en la parte media de la cuenca es *Orochelidon andecola*, seguido de *Zonotrichia capensis*, *Cranioleuca albicapilla* y *Patagioenas maculosa*. En contraste, *Patagona gigas*, *Falco sparverius*, *Aglaeactis cupripennis* presentan menores valores de abundancia, respecto de los primeros. El índice de Shannon muestra un valor cercano a 3 que indica la tendencia hacia una alta diversidad de especies así mismo el índice de Simpson presenta alta diversidad y baja dominancia.

#### 4.3. SERVICIOS AMBIENTALES IDENTIFICADOS EN LA CUENCA

En el área de la cuenca del río Pumahuanca se identificaron 24 servicios ambientales, distribuidos en cuatro categorías de clasificación (provisión, regulación, culturales y de soporte). Los que se representan en el Cuadro 30.

Cuadro 30. Servicios ambientales identificados en la cuenca

Categorías	Servicios Ambientales
Servicios de Provisión	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provisión de tierra para cultivos y ganadería</li> <li>• Crianza y cultivo de especies comerciales</li> <li>• Provisión de agua para consumo humano</li> <li>• Provisión de agua para irrigación</li> <li>• Provisión de agua para uso recreativo</li> <li>• Provisión de agua para cría de peces (piscigranjas)</li> <li>• Variedad de plantas ornamentales y productos no maderables (orquídeas)</li> <li>• Variedad de plantas medicinales</li> <li>• Provisión de recursos extractivos: leña, madera, ornamental, construcción, manufactura, etc.</li> <li>• Consumo local: cacería</li> <li>• Consumo local: pesquería</li> <li>• Provisión de espacio para producción y extracción minera (actualmente no metálica)</li> </ul>
Servicios de Regulación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Purificación del agua y tratamiento de aguas de desecho</li> <li>• Polinización</li> <li>• Regulación del clima local y global</li> <li>• Regulación y protección hídrica</li> <li>• Regulación de la erosión, retención de suelo.</li> <li>• Mantenimiento de la calidad del aire</li> <li>• Prevención de riesgos naturales (deslizamientos)</li> </ul>
Servicios Culturales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variedad de paisajes con potencial ecoturístico</li> <li>• Uso de sitios culturales para visitar</li> <li>• Uso de sitios naturales para fines científicos y educativos</li> <li>• Actividades turísticas</li> </ul>
Servicio de soporte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La cuenca como sustento para los tres servicios anteriores.</li> </ul>

**Fuente:** elaborado en base a encuestas semiestructuradas, observación directa e información secundaria.

De los 24 servicios ambientales identificados, doce corresponden a la categoría de servicios de provisión, ya que se extraen, utilizan o aprovechan directamente; siete de ellos fueron categorizados como servicios de regulación, los cuatro siguientes como servicios culturales y por último la cuenca misma como servicio de soporte para las tres categorías de servicios.

Con base en el listado de servicios ambientales identificados, se priorizaron los servicios ambientales que dependen de la cobertura vegetal, susceptibles a los cambios de uso del suelo y el clima, con series de datos disponibles y metodologías para su estimación. Estos son: la regulación climática, regulación y protección hídrica, la retención de suelo y la provisión de principales recursos.

#### 4.4. DINÁMICA TEMPORAL DE SERVICIOS AMBIENTALES PRIORIZADOS

##### 4.4.1. Servicios ambientales de regulación climática

##### 4.4.1.1. Caracterización climática

La caracterización climática identifica y describe los diferentes tipos climáticos en el área de estudio, factor de importancia para determinar las características ambientales, limitaciones y potencialidades para el desarrollo de actividades productivas y el mantenimiento de los servicios ambientales en la cuenca.

##### a. Temperatura

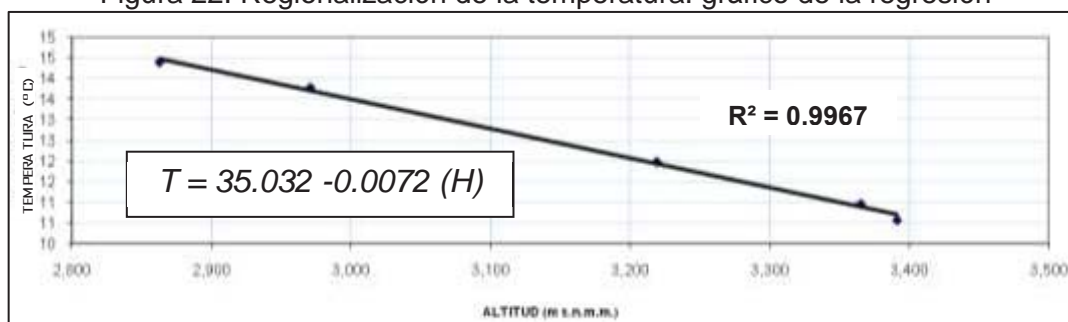
La temperaturas a diferentes altitudes en el ámbito de la cuenca, se muestra en el cuadro 31.

Cuadro 31. Análisis regional de temperatura

NOMBRE DE LA ESTACIÓN	ALTITUD m.s.n.m.m.	TEMPERATURA MEDIA ANUAL °C	ECUACION DE REGRESIÓN $T = B_0 + T_1 * H$			PRECIPITACION MEDIA ANUAL CORREGIDA mm
			X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X*Y	
Ancachuro	3391	10.57	1.15E+07	1.12E+02	3.58E+04	10.62
Perayoc	3365	10.96	1.13E+07	1.20E+02	3.69E+04	10.80
K'ayra	3219	11.98	1.04E+07	1.44E+02	3.86E+04	11.86
Pisac	2971	13.79	8.83E+06	1.90E+02	4.10E+04	13.64
Urubamba	2863	14.40	8.20E+06	2.07E+02	4.12E+04	14.42
SUMA	15809	61.70	2.50E+08	7.73E+02	9.75E+05	61.34
n	5	5	5	5		5
PROMEDIO	3162	12	10041535	155	38694	12.27

Fuente: Elaborado en base a los promedios de los registros de temperatura de las estaciones meteorológicas consideradas durante el período 1965 al 2015 proporcionadas por SENAMHI.

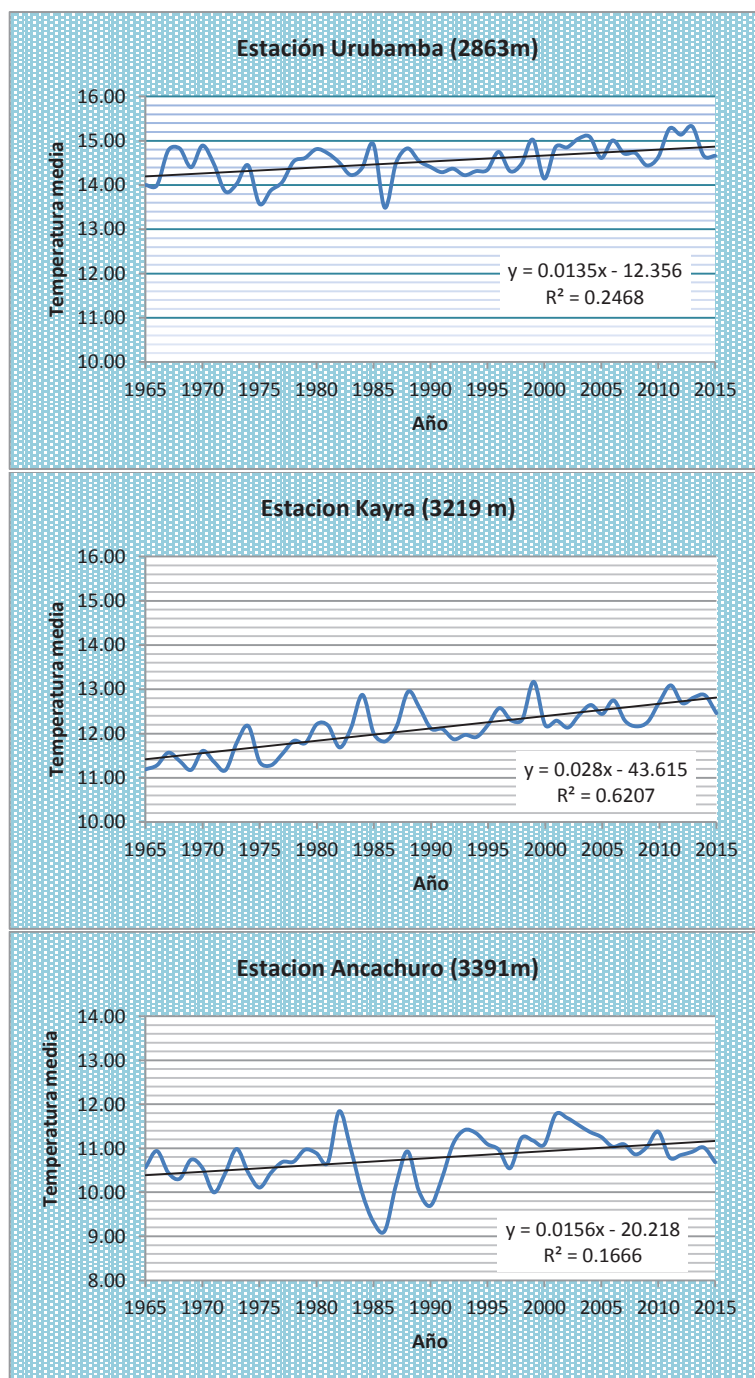
Figura 22. Regionalización de la temperatura: gráfico de la regresión



Fuente: Elaborado en base a datos de temperatura y altitud del cuadro 31.

Como resultado del proceso de regionalización se obtiene según la figura 22 que por cada 100 metros de incremento en altitud de la cuenca la temperatura promedio disminuye en 0.72 °C con un coeficiente de correlación del 99.67 %.

Figura 23. Tendencias de las temperaturas medias en tres estaciones de referencia.



Fuente: Elaborado en base a registros de temperaturas medias.

Los registros de temperatura media de las 3 estaciones (figura 23) más representativas muestran tendencias crecientes del orden de 0.14 a 0.28 °C por cada 10 años.

## b. Precipitación

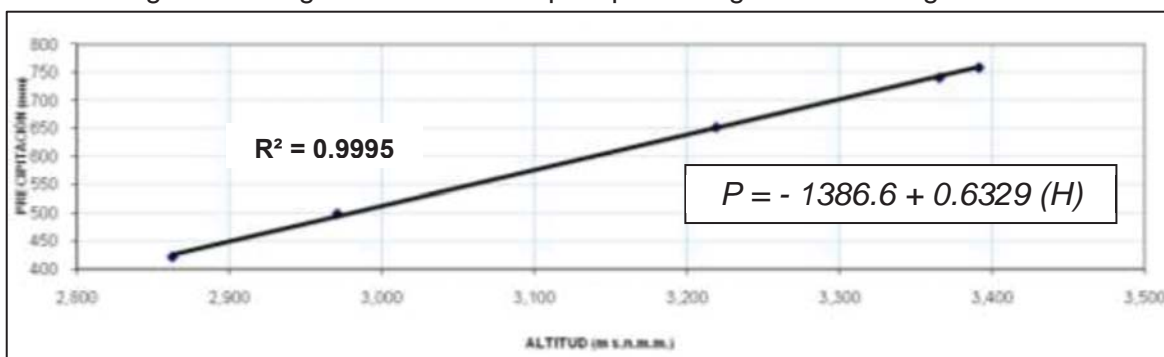
La precipitación a diferentes altitudes en la cuenca, se registra en el cuadro 32 muestra una correlación directa con la altitud como se puede observar en la figura 24.

Cuadro 32. Análisis regional de precipitación

NOMBRE DE LA ESTACIÓN	ALTITUD m.s.n.m.m.	PRECIPITACION MEDIA ANUAL mm	ECUACION DE REGRESIÓN $P^2 = B_0 + B_1 * H$				PRECIPITACION MEDIA ANUAL CORREGIDA mm
			X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X*Y <sup>2</sup>	Y <sup>4</sup>	
Ancachuro	3391	759.28	1.15E+07	5.77E+05	1.95E+09	3.32E+11	425.39
Perayoc	3365	740.97	1.13E+07	5.49E+05	1.85E+09	3.01E+11	493.75
K'ayra	3219	652.24	1.04E+07	4.25E+05	1.37E+09	1.81E+11	650.71
Pisac	2971	498.50	8.83E+06	2.49E+05	7.38E+08	6.18E+10	743.11
Urubamba	2863	421.00	8.20E+06	1.77E+05	5.07E+08	3.14E+10	759.56
SUMA	15809	3071.99	5.02E+07	1.98E+06	6.42E+09	9.08E+11	3,072.52
n	5	5	5	5	5	5	5
PROMEDIO	3162	614	1.00E+07	3.95E+05	1.28E+09	1.82E+11	615
FORMULAS PARA EL CALCULO DE PARAMETROS DE REGRESIÓN			VALORES DE PARAMETROS DE REGRESION				
A= SUM X	1.58E+04	G = C-(A <sup>2</sup> )/n	2.80E+05	COEF. INDEPENDIENTE	Bo =	7.30E+03	
B= SUM Y	3.07E+03	H = F-A*D/n	3.91E+07	COEF. DEPENDIENTE	B1 =	1.40E+02	
C= SUM X <sup>2</sup>	5.02E+07	I = F-(D <sup>2</sup> )/n	5.88E+09	COEF. DE CORRELACION	r =	0.964	
D= SUM Y <sup>2</sup>	1.98E+06	J = H/G	1.40E+02				
E= SUM X*Y <sup>2</sup>	6.42E+09	K = (D-J*A)/n	5.05E+04				
F= SUM Y <sup>4</sup>	9.08E+11						
FORMULAS DE PARAMETROS DE REGRESION							
COEF. INDEPENDIENTE		Bo= (D-J*A)/n					
COEF. DEPENDIENTE		B1= H/G					
COEF. DE CORRELACION		r = H/SQRT(G*I)					
DESVIACION ESTANDAR		S = (D-A <sup>2</sup> /n)-(K*(A*D-A*B)/n)					

**Fuente:** Elaborado en base a los promedios de los registros de temperatura de las estaciones meteorológicas consideradas durante el período 1965 al 2015 proporcionadas por SENAMHI.

Figura 24. Regionalización de la precipitación: grafico de la regresión



**Fuente:** Elaborado en base a datos de precipitación y altitud del cuadro 32.

Como resultado del proceso de regionalización se obtiene que por cada 100 metros de ascenso en la altitud de la cuenca la precipitación promedio se incrementa en 63.29 mm con un coeficiente de correlación del 99.95 %.

## c. Tipos climáticos por períodos

Los tipos climáticos que resultan de la interacción de jerarquías de temperatura y humedad para los períodos establecidos presentan la dinámica mostrada en el cuadro 33.

Cuadro 33. Tipos climáticos en la cuenca por periodos

<b>CARACTERIZACION CLIMATICA PERIODO ( 1965 - 1975)</b>					
<b>Tipo Clima</b>	<b>Símbolo</b>	<b>altitud (m)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>PP (mm)</b>	<b>Arera (%)</b>
Muy lluvioso gélido con invierno seco	A(i)F'	4800 a más	menor igual a 0	mayor a 1600	<b>5.9%</b>
Muy lluvioso frígido con invierno seco	A(i)E'	4550 - 4800	0.1 - 1.8	1458 - 1599	<b>23.2%</b>
Lluvioso semifrígido con invierno seco	B(i)D'	4050 - 4550	1.9 - 5.5	1173 - 1457	<b>34.1%</b>
lluvioso frio con invierno seco	B(i)C'	3850 - 4050	5.6 - 7.0	1059 - 1172	<b>8.8%</b>
Semiseco frio con invierno seco	C(i)C'	3200 - 3850	7.1 - 11.7	688 - 1058	<b>21.0%</b>
semiarido semifrio con invierno seco	D(i)B'3	2800 - 3200	11.8 -14.3	489 - 687	<b>7.1%</b>
<b>CARACTERIZACION CLIMATICA PERIODO ( 1976 - 1985)</b>					
<b>Tipo Clima</b>	<b>Símbolo</b>	<b>altitud (m)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>PP (mm)</b>	<b>Arera (%)</b>
Muy lluvioso gélido con invierno seco	A(i)F'	4800 a más	menor igual a 0	mayor a 1752	<b>5.9%</b>
Muy lluvioso frígido con invierno seco	A(i)E'	4550 - 4800	0.1 - 1.9	1585 - 1751	<b>23.2%</b>
Lluvioso semifrígido con invierno seco	B(i)D'	4050 - 4550	2.0 - 5.6	1249 - 1584	<b>34.1%</b>
lluvioso frio con invierno seco	B(i)C'	3850 - 4050	5.7 - 7.1	1115 - 1248	<b>8.8%</b>
Semiseco frio con invierno seco	C(i)C'	3250 - 3850	7.2 - 11.5	713 - 1114	<b>20.1%</b>
semiarido semifrio con invierno seco	D(i)B'3	2850 - 3250	11.6 - 14.5	444 -712	<b>7.7%</b>
semiárido templado	D(i)B'2	menor a 2850	14.8 - 15.4	493 - 564	<b>0.4%</b>
<b>CARACTERIZACION CLIMATICA PERIODO ( 1986 - 1995)</b>					
<b>Tipo Clima</b>	<b>Símbolo</b>	<b>altitud (m)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>PP (mm)</b>	<b>Arera (%)</b>
Muy lluvioso gélido con invierno seco	A(i)F'	4900 a más	menor igual a 0	mayor a 2160	<b>2.1%</b>
Muy lluvioso frígido con invierno seco	A(i)E'	4500 - 4900	0.1 - 2.8	1824 - 2159	<b>32.3%</b>
Lluvioso semifrígido con invierno seco	B(i)D'	4100 - 4500	2.9- 5.7	1488 - 1823	<b>26.5%</b>
lluvioso frio con invierno seco	B(i)C'	3700 - 4100	5.8 - 8.5	1113 - 1487	<b>17.2%</b>
Semiseco frio con invierno seco	C(i)C'	3250 - 3700	8.6 - 11-7	775 - 1112	<b>14.0%</b>
semiarido semifrio con invierno seco	D(i)B'3	2850 - 3250	11.8 - 14.6	439 - 774	<b>7.7%</b>
semiárido templado	D(i)B'2	menor a 2850	14.8 - 15.4	493 - 564	<b>0.4%</b>
<b>CARACTERIZACION CLIMATICA PERIODO ( 1996 - 2005)</b>					
<b>Tipo Clima</b>	<b>Símbolo</b>	<b>altitud (m)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>PP (mm)</b>	<b>Arera (%)</b>
Muy lluvioso gélido con invierno seco	A(i)F'	5000 a más	menor igual a 0	mayor a 2031	<b>0.3%</b>
Muy lluvioso frígido con invierno seco	A(i)E'	4600 - 5000	0.1 - 3.1	1745 - 2030	<b>22.7%</b>
Lluvioso semifrígido con invierno seco	B(i)D'	4200 - 4600	3.2 - 5.9	1459 - 1744	<b>32.6%</b>
lluvioso frio con invierno seco	B(i)C'	3800 - 4200	6.0 - 8.7	1173 - 1458	<b>18.1%</b>
Semiseco frio con invierno seco	C(i)C'	3350 - 3800	8.8 - 11.9	851 - 1172	<b>15.7%</b>
semiarido semifrio con invierno seco	D(i)B'3	2950 - 3350	12.0 - 14.7	565 - 850	<b>7.4%</b>
semiárido templado	D(i)B'2	menor a 2950	14.8 - 15.4	493 - 564	<b>3.2%</b>
					100.0%
<b>CARACTERIZACION CLIMATICA PERIODO ( 2006 - 2015)</b>					
<b>Tipo Clima</b>	<b>Símbolo</b>	<b>altitud (m)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>PP (mm)</b>	<b>Arera (%)</b>
Muy lluvioso gélido con invierno seco	A(i)F'	5100 a más	menor a 0	mayor a 1805	<b>0.1%</b>
Muy lluvioso frígido con invierno seco	A(i)E'	4700 - 5100	0.1 - 3.0	1582 - 1804	<b>13.5%</b>
Lluvioso semifrígido con invierno seco	B(i)D'	4250 - 4700	3.1 - 6.0	1331 - 1581	<b>39.1%</b>
lluvioso frio con invierno seco	B(i)C'	3900 - 4250	6.1 - 8.3	1136 - 1330	<b>17.3%</b>
Semiseco frio con invierno seco	C(i)C'	3350 - 3900	8.3 - 12.0	830 - 1135	<b>19.5%</b>
semiarido semifrio con invierno seco	D(i)B'3	2950 - 3350	12.1 - 14.7	607 - 829	<b>7.4%</b>
semiárido templado	D(i)B'2	menor a 2950	14.8 - 15.3	551 - 506	<b>3.2%</b>

Fuente: Elaborado en base a interacción de temperaturas y precipitación.



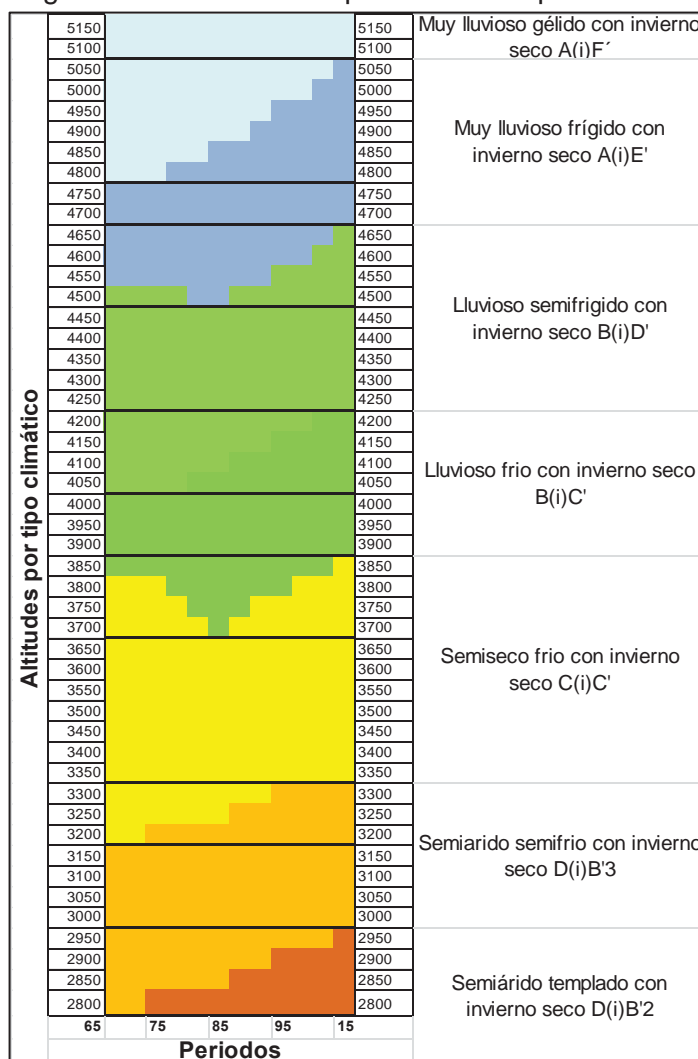
Las variaciones de los tipos climáticos por décadas se resumieron en el cuadro 34 y se pueden visualizar gráficamente en la figura 25.

Cuadro 34. Análisis de la dinámica de los tipos climáticos por períodos

Tipo clima	Símbolo	Cobertura	PERIODO				
			1965-1975	1976-1985	1986-1995	1996-2005	2005-2015
Muy lluvioso gélido con invierno seco	A(i)F'	Altitud(m)	4800 a más	4800 a más	4900 a más	5000 a más	5100 a más
		Área (%)	6%	6%	2%	0%	0%
Muy lluvioso frígido con invierno seco	A(i)E'	Altitud(m)	4550 - 4800	4550 - 4800	4500 - 4900	4600 - 5000	4700 - 5100
		Área	23%	23%	32%	23%	13%
Lluvioso semifrígido con invierno seco	B(i)D'	Altitud(m)	4050 - 4550	4050 - 4550	4100 - 4500	4200 - 4600	4250 - 4700
		Área	34%	34%	26%	33%	39%
Lluvioso frío con invierno seco	B(i)C'	Altitud(m)	3850 - 4050	3850 - 4050	3700 - 4100	3800 - 4200	3900 - 4250
		Área	9%	9%	17%	18%	17%
Semiseco frío con invierno seco	C(i)C'	Altitud(m)	3200 - 3850	3250 - 3850	3250 - 3700	3350 - 3800	3350 - 3900
		Área	21%	20%	14%	16%	20%
Semiarido semifrío con invierno seco	D(i)B'3	Altitud(m)	2800 - 3200	2850 - 3250	2850 - 3250	2950 - 3350	2950 - 3350
		Área	7%	8%	8%	7%	7%
Semiárido templado con invierno seco	D(i)B'2	Altitud(m)	....	menor a 2850	menor a 2850	menor a 2950	menor a 2950
		Área	0%	0.4%	0.4%	3%	3%

Fuente: Elaborado en base a interacción de temperaturas y precipitación.

Figura 25. Variación de tipos climáticos por décadas



Fuente: Elaborado en base al cuadro anterior.

- **Semiárido templado con invierno seco D (I) B'2**

Se encuentra abarcando una superficie de 0,4% a partir del segundo período hasta los 2850 m de altitud en la parte más baja de la cuenca, ascendiendo hasta los 2950 m en el cuarto y quinto período ocupando gran parte de la cuenca baja incrementando hasta el 3% del área total como se puede notar en los mapas 6 al 10 y de acuerdo al cuadro 34. Con un rango promedio de 493 a 564 mm de precipitación anual y temperatura media anual de 14.8 a 15.4 °C. Las precipitaciones de mayor intensidad se distribuyen entre los meses de diciembre a marzo, con un período seco definido entre abril a setiembre. Este tipo climático aparece en el primer período por debajo de los 2800 m de altitud, por debajo del límite inferior de la cuenca en estudio cuyo punto más bajo se encuentra a los 2835 m. Desde el primer período al último este tipo climático presenta un desplazamiento de 150 m debida sobre todo a la variación de los promedios de temperaturas entre períodos, según la figura 25.

- **Semiárido semifrío con invierno seco D (I) B'3**

Abarca entre el 7 y el 8% del área de la cuenca en los diferentes períodos, con rangos promedios de 440 a 850 mm de precipitación anual y temperatura media anual de 11.8 a 14.7 ° C. Las precipitaciones de mayor intensidad se distribuyen entre los meses de diciembre a marzo, con un período seco definido entre los meses de abril a setiembre. Este tipo climático se halla ubicado desde los 2800 m y 2950 m hasta los 3200 m y 3350 m en el primer y último período respectivamente, habiendo ascendido en 150 m desde el 1965 – 1975 debido al incremento de las temperaturas medias entre períodos como se puede observar en los mapas de 6-10 y gráficamente en la figura 25.

- **Semiseco frío con invierno seco C (I) D'**

Este tipo climático se ubica desde los 3200 m en el primer período y 3250 m en el segundo, hasta los 3850 m de altitud, cubriendo del 20 al 21% del área. En el período 1986 – 1995 desde los 3250 hasta los 3700 m cubriendo un área menor (14%), debido sobre todo al incremento de las precipitaciones; en los siguientes períodos se inicia a los 3350 m hasta los 3800 y 3900 m respectivamente. Haciendo un desplazamiento total de 200 m desde el primer período debido al incremento de las temperaturas medias, tal comportamiento

se puede apreciar en los mapas 6 al 10 e ilustrado en la figura 25. Los rangos de temperatura fluctúan entre 7.1 a 12°C y 688 a 1172 mm de precipitación.

- **Lluvioso frío con invierno seco B (I) C'**

Se encuentra a continuación del semiseco frío hasta los 4050 m en el primer y segundo período llegando hasta los 4250 m en el período actual de acuerdo a los mapas 6 - 10. Con un desplazamiento total de 200 m según el gráfico 25, que obedece sobre todo al incremento de la temperatura. Recibe precipitaciones de 1059 a 1487 mm con temperaturas medias de 5.6 a 8.7 °C.

- **Lluvioso semifrío con invierno seco B (I) D'**

Este tipo de clima se ubica desde los 4050 y 4250 m de altitud hasta los 4550 y 4700 m desde el primer período al actual (ver mapas 6 -10), con un desplazamiento total de 200 m desde el primer período según la figura 25, que obedece sobre todo al incremento de la temperatura. Presenta temperaturas medias entre 1.9 y 6 °C con 1173 a 1823 mm de precipitación anual.

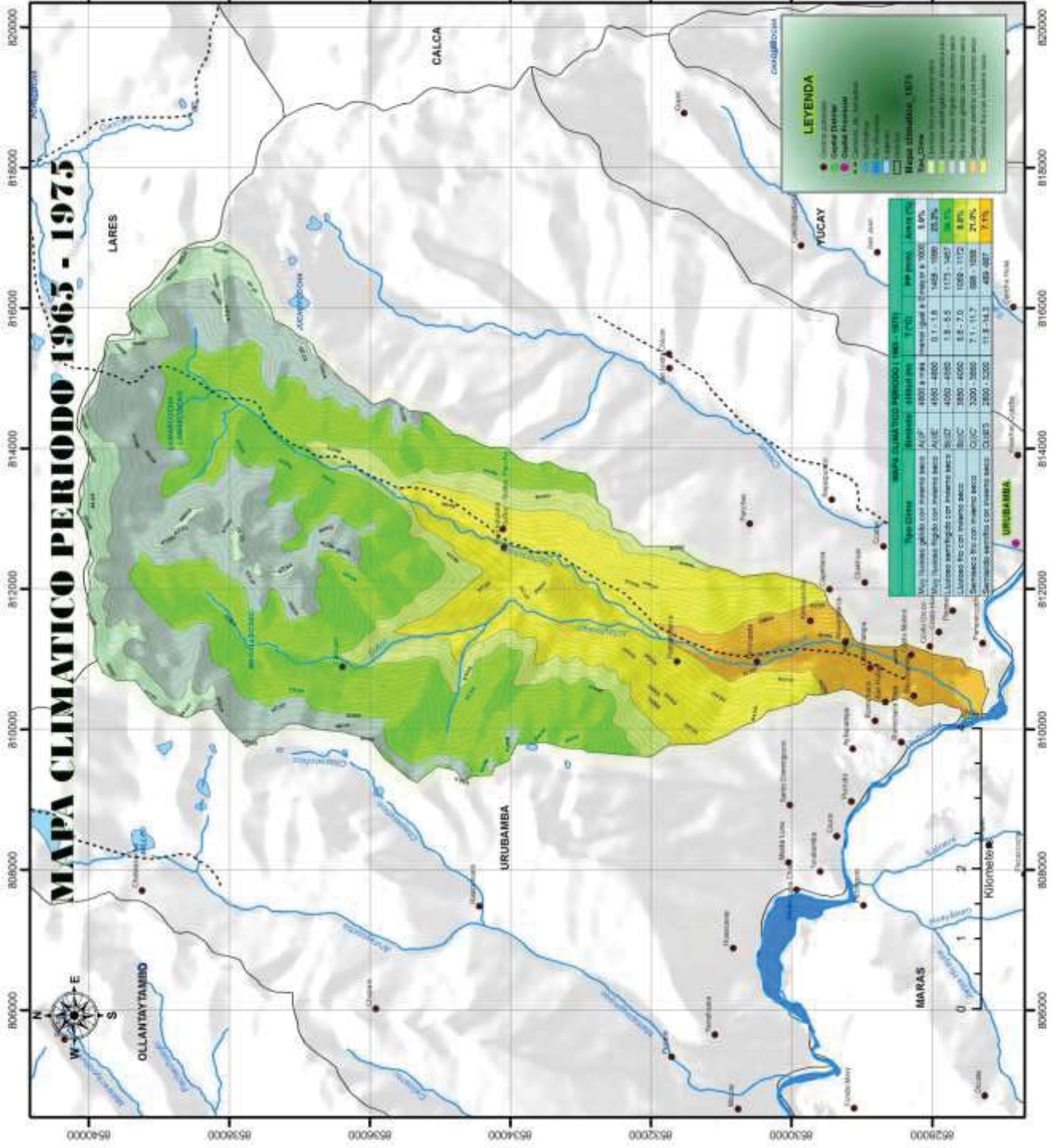
- **Muy lluvioso frío con invierno seco A (I) E'**

Abarca desde los 4500 y 4700 m de altitud hasta los 4800 y 5100 m desde el primer al último período de acuerdo a los mapas 6 al 10, con un desplazamiento total de 300 m desde el primer período como se muestra en la figura 25, que obedece sobre todo al incremento de la temperatura. Presenta precipitaciones anuales entre 1458 a 1800 mm, con un rango de temperatura media anual de 0.1 a 3 °C; las precipitaciones con mayor intensidad se distribuyen entre los meses de diciembre a marzo.

- **Muy lluvioso gélido con invierno seco A (I) F'**

Este tipo de clima se ubica desde los 4800 y 5100 m de altitud a más desde el primer al último período según los mapas 6 al 10, con un desplazamiento total de 300 m debido sobre todo al incremento de la temperatura ilustrado en la figura 25. Presenta precipitaciones anuales mayores a 1800 mm, con temperaturas bajo 0 °C; las precipitaciones con mayor intensidad se distribuyen entre los meses de diciembre a marzo. La variación de este tipo climático es evidente y se corresponde con el retroceso de los glaciares de esta cuenca.

# MAPA CLIMATICO PERIODO 1965 - 1975



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
**ARAB DEL CUSCO**  
 FACULTAD DE CIENCIAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA

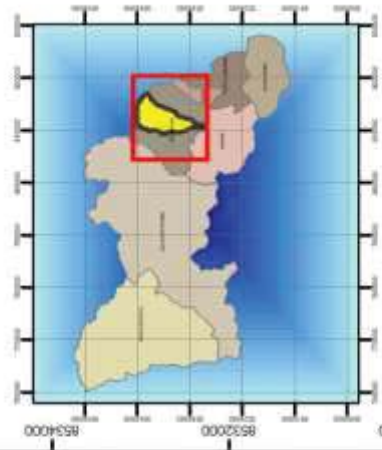
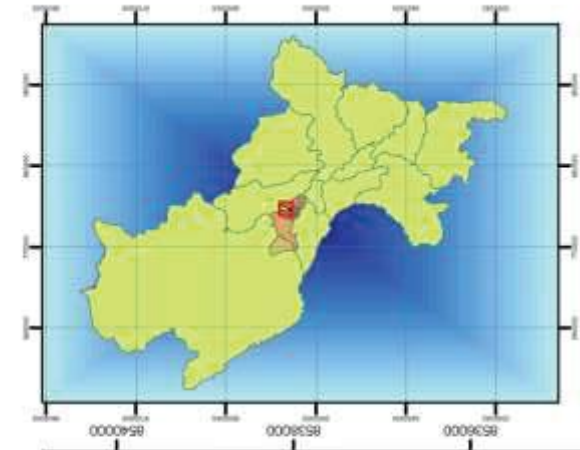
TESIS:  
 "EVALUACION TEMPORAL DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES  
 EN LA CUENCA DEL RIO PUNABANCA, URUBAMBA - CUSCO"

Presentado por:  
 Ing. [Nombre]  
 [Dato]

Asesorado por:  
 Ing. [Nombre]  
 [Dato]

Fecha de:  
 [Dato]

Trabajo N°:  
**06**



806000 808000 810000 812000 814000 816000 818000 820000

806000 808000 810000 812000 814000 816000 818000 820000













#### 4.4.1.2. Tasa de cambio de uso de suelo

Las variaciones en los usos del suelo se presentan en los mapas del 11 al 15, en los que se puede distinguir los cambios en las diferentes categorías de cobertura para las décadas de 1975, 1985, 1995, 2005 y 2015. Las áreas ocupadas por cada categoría se resumen en el cuadro 35.

Cuadro 35. Usos de los suelos por décadas para la cuenca

Uso del suelo/ Tipo de cobertura	Áreas cubiertas por décadas (ha)				
	1975	1985	1995	2005	2015
Bosque de <i>Polylepis</i>	193.08	186.41	182.70	175.47	164.36
Cuerpos de agua	5.69	5.69	5.71	5.97	5.76
Cultivos en seco	38.52	37.57	34.71	35.11	35.06
Cultivos bajo riego	92.86	128.40	174.61	177.06	192.29
Matorral mixto	877.85	857.88	867.39	922.07	925.32
Pastizales	1451.83	1358.09	1357.67	1253.05	1161.60
Zona descubierta	1485.82	1590.98	1560.72	1674.38	1820.00
Zona forestal	254.89	261.56	268.81	224.93	197.73
Zona nival	130.21	101.14	74.18	55.81	39.85
Zona urbana	28.57	31.78	32.81	35.78	37.59
Sin categoría/ sombra	195.92	195.92	195.92	195.92	195.92
<b>Total</b>	<b>4755.40</b>	<b>4755.40</b>	<b>4755.40</b>	<b>4755.40</b>	<b>4755.40</b>

Fuente: Elaborado en base a resultados de mapas de uso por décadas (mapas del 11 al 15).

De acuerdo al cuadro 35 se manifiestan reducciones perceptibles en cobertura de bosques de *Polylepis*, cultivos en seco, pastizales, cobertura forestal y nival desde el primer período. Asimismo, se notan incrementos en las áreas de matorrales, cultivos de piso de valle y la zona de ocupación urbana. Estos últimos por desplazamiento de las áreas de cobertura forestal en la cuenca baja por áreas de cultivo y viviendas. A continuación, en el cuadro 36 se muestra la matriz de cambio por tipo de cobertura y período.

Cuadro 36. Tasa de cambio de uso de suelo por década.

Uso del suelo/ Tipo de cobertura	1975-1985		1985-1995		1995-2005		2005-2015		1975-2015		Tasa de cambio (%)
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	
Bosque de <i>Polylepis</i>	-6.66	-3.45	-3.71	-1.99	-7.23	-3.95	-11.12	-6.34	-28.72	-14.87	<b>-4.02</b>
Cuerpos de agua	0.00	0.00	0.02	0.27	0.26	4.62	-0.21	-3.54	0.07	1.19	<b>0.30</b>
Cultivos en seco	-0.95	-2.47	-2.85	-7.59	0.39	1.13	-0.05	-0.15	-3.46	-8.99	<b>-2.35</b>
Cultivos bajo riego	35.53	38.27	46.21	35.99	2.46	1.41	15.23	8.60	99.43	107.07	<b>18.36</b>
Matorral mixto	-19.97	-2.28	9.51	1.11	54.69	6.30	3.25	0.35	47.47	5.41	<b>1.32</b>
Pastizales	-93.74	-6.46	-0.42	-0.03	-104.62	-7.71	-91.45	-7.30	-290.22	-19.99	<b>-5.56</b>
Zona descubierta	105.16	7.08	-30.25	-1.90	113.65	7.28	145.62	8.70	334.18	22.49	<b>5.08</b>
Zona forestal	6.67	2.62	7.25	2.77	-43.88	-16.32	-27.20	-12.09	-57.16	-22.42	<b>-6.33</b>
Zona nival	-29.07	-22.33	-26.96	-26.65	-18.38	-24.77	-15.96	-28.59	-90.36	-69.40	<b>-29.17</b>
Zona urbana	3.21	11.24	1.04	3.26	2.97	9.05	1.81	5.06	9.03	31.61	<b>6.89</b>
Sin categoría/ sombra	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>
<b>Total</b>	<b>0.18</b>	<b>22.22</b>	<b>-0.17</b>	<b>5.23</b>	<b>0.32</b>	<b>-22.96</b>	<b>19.93</b>	<b>-35.30</b>	<b>20.25</b>	<b>32.10</b>	<b>-15.47</b>

Fuente: Elaborado en base a resultados del cuadro 35.

Del cuadro 36 se puede distinguir los tipos de uso de suelo y cobertura que manifiestan mayores ganancias en su área y en proporción al área que ocupaban en el primer período como los cultivos de piso de valle o bajo riego, la zona urbana y las zonas descubiertas con tasas de ganancia del 18.36 %, 6.89 % y 5.08% de cobertura por década respectivamente, los mismos que coinciden con las tendencias obtenidas por Ibañez & Damman (2013); en menor proporción los matorrales también presentaron ganancias en área de cobertura. Mientras que la cobertura de nieve, la zona forestal (representado por el bosque húmedo de valles interandinos), los pastizales y bosques de *Polylepis* presentaron las mayores pérdidas en área con tasas 29.17%, 6.33%, 5.56% y 4.02% de cobertura por década respectivamente. En proporción a su cobertura inicial como se puede observar en los mapas 11, 12, 13,14 y 15, las pérdidas son del orden del 69.40% en la cobertura de nieve; 22.42% de reducción en la superficie de cobertura forestal en la parte media de la cuenca, 19.99% en la cobertura de pastizales y 14.87% en el área cubierta por bosques se *Polylepis*.

Respecto de las pérdidas de la cobertura de nieve las proporciones obtenidas se acercan a los valores hallados por Acasi (2015) para los nevados de la cordillera del Vilcanota, así mismo se corresponden con los desplazamientos obtenidos por el tipo climático muy lluvioso gélido con invierno seco A (I) F' en términos de altitud (ver mapas del 11 al 15).

Las áreas perdidas por la cobertura forestal de la parte media de la cuenca, se deben sobre todo a su desplazamiento por áreas de cultivo y en menor proporción de la ocupación urbana. Asimismo los bosques de *Polylepis* han sufrido reducción en su área por el uso de su leño como combustible, apertura de áreas de cultivo en seco y pastoreo sobre todo en los primeros períodos cuando la comunidad aledaña tenía mayor población que en las últimas décadas (información obtenida por entrevista a residentes), sumado a la actividad turística (caminatas de caravanas desde Urubamba a Lares y viceversa) que ha demandado la apertura de caminos más amplios. Estas actividades generan las pérdidas de cobertura de los bosques por el conocido efecto de borde (Tupayachi, 2004).











#### 4.4.1.3. Valor de las especies arbóreas para la regulación climática.

Del muestreo de individuos de árboles con DAP  $\geq 10$  cm, como representativos de la vegetación arbórea existente, en el cuadro 37 se detallan las variables tomadas para la estimación de este servicio de regulación climática por captura de carbono.

Cuadro 37. Carbono almacenado en biomasa aérea de distintas especies arbóreas de la cuenca

Especie	Densidad de madera (Tn/m <sup>3</sup> )	Densidad (Arb/ha)	DAP medio (m)	Altura media (m)	Diametro de copa medio (m)	Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)	Volumen (m <sup>3</sup> /ha)	Biomasa aérea (Ton/ha)	Carbono almacenado (Tn/ha)
<i>Polypepis sp.</i>	0.64	370	0.173	4.71	3.56	8.70	20.48	10.24	8.19
<i>Styloceras laurifolium</i>	0.66	70	0.158	5.43	3.71	1.37	3.73	1.86	1.49
<i>Myrsine sp.</i>	0.62	140	0.143	4.58	4.03	2.25	5.15	2.57	2.06
<i>Myrcyantes orephilla</i>	0.72	290	0.173	6.49	4.32	6.82	22.12	11.06	8.85
<i>Alnus acuminata</i>	0.47	60	0.201	7.83	4.41	1.90	7.45	3.73	2.98
<i>Ecaliptus globulus</i>	0.72	370	0.293	13.42	4.56	24.95	167.40	83.70	62.77
<i>Vallea stipularis</i>	0.61	270	0.118	3.21	3.81	2.95	4.74	2.37	1.90
<i>Aegiphila mertonii</i>	0.65	130	0.109	3.32	3.23	1.21	2.01	1.01	0.81
<i>Cytharexylum argutidentatum</i>	0.66	170	0.122	3.51	3.36	1.99	3.49	1.74	1.40
<i>Escallonia resinosa</i>	0.64	130	0.134	3.43	3.47	1.83	3.14	1.57	1.26
<i>Hesperomeles escallonifolia</i>	0.68	230	0.117	3.27	3.17	2.47	4.04	2.02	1.62
<b>TOTAL</b>	<b>7.07</b>	<b>2230</b>	<b>1.741</b>	<b>59.2</b>	<b>41.63</b>	<b>56.45</b>	<b>243.76</b>	<b>121.88</b>	<b>93.32</b>
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.64</b>	<b>202.73</b>	<b>0.16</b>	<b>5.38</b>	<b>3.78</b>	<b>5.13</b>	<b>22.16</b>	<b>11.08</b>	<b>8.48</b>

**Fuente:** Elaborado en base a registros de campo y revisión bibliográfica.

Del cuadro 37 se distingue que las especies con mayor capacidad de almacenamiento de carbono en su biomasa para el área de la cuenca pertenecen a los géneros *Polylepis* y *Myrcianthes* después de Eucaliptus, debido a una relación directa con los valores de DAP y alturas que alcanzan, así como su densidad de madera. Mas no se puede afirmar su relación directa con la densidad expresada en árboles por hectárea, debido a que se descartaron varios individuos con DAP menores a 10 cm que en el análisis de parámetros poblacionales aparecen en algunos casos con mayor número de individuos.

Los valores estimados del carbono almacenado solo se refieren a la biomasa aérea. Dejando en claro que para otros Inventarios de Carbono también se toman datos para la determinación de la biomasa de los otros componentes o estratos, como la necromasa (biomasa muerta), el sotobosque y la hojarasca (FAO, 2000). Se ha considerado este criterio precisamente para relacionarlos con las tasa de cambio de uso de suelo para los bosques de *Polylepis* en la parte alta de la cuenca y el bosque húmedo de valles interandinos de la parte



media, para estimar la cantidad de carbono que se almacena en la biomasa de las especies arbóreas y que en términos de área de cobertura que se pierde o desplaza por cambio de uso de su área de cobertura. Estas reducciones en cantidades de carbono almacenado se detallan en el cuadro 38.

Cuadro 38. Variación de carbono almacenado por décadas

Tipo de bosque	Períodos	1975	1985	1995	2005	2015	TOTAL
<b>Bosque de Polylepis</b>	Área (ha)	193.0763	186.412	182.7	175.47444	164.357	-
	C (Ton/ha)	1581.847	1527.25	1496.8	1437.6382	1346.55	-
	Área perdida (ha)	-	-6.6644	-3.712	-7.225477	-11.118	<b>-28.71945</b>
	C (Ton/ha)	-	-54.6	-30.41	-59.19735	-91.085	<b>-235.2946</b>
<b>Bosque húmedos de valles interandinos</b>	Área (ha)	254.8897	261.563	268.81	224.93065	197.734	-
	C (Ton/ha)	21697.52	22265.6	22883	19147.248	16832.1	-
	Area perdida (ha)	-	6.67294	7.2519	-43.88389	-27.197	<b>-57.15601</b>
	C (Ton/ha)	-	568.035	617.32	-3735.621	-2315.1	<b>-4865.412</b>

Fuente: Elaborado a partir de las áreas reducidas para los tipos de cobertura.

Realizando un cálculo por diferencia de las cantidades de carbono que se deja de almacenar en la biomasa de las especies forestales por pérdida de su área cobertura se obtiene un 22% de reducción en la capacidad de captura de carbono de los bosques de *Polylepis* y el bosque húmedo en conjunto.

#### 4.4.2. Servicios ambientales de regulación y protección hídrica

##### 4.4.2.1. Regulación hidrológica

- **Clasificación de cauces**

El orden de corrientes es una clasificación que refleja el grado de ramificación o bifurcación de corrientes de una cuenca, es este sentido se siguió la propuesta de Strahler (1952). El número de cauces y su densidad permite conocer la capacidad hidrológica en la cuenca en cuanto a la posibilidad de aportar mayor volumen de agua, cuenca abajo, en caso de fuertes eventos de lluvia. En el cuadro 38 se muestra el detalle de los cauces, números de orden y total de cauces por orden obtenidos a partir del mapa 16.



Cuadro 39. Número de orden de cauces y relación de confluencia

Numero de Orden (u)	Cauces por Orden (Nu)	Acumulativo	Relación de confluencia
1	93	93	5.4
2	17	110	8.5
3	2	112	2
4	1	113	-
Total	<b>113</b>	113	-

Según el cuadro 39 se obtuvieron un total de 113 cauces, 93 de primer orden, 17 de segundo orden y 2 de tercer orden hasta el cuarto orden que corresponde al río principal representados en el mapa 16. A partir de estos datos se establece la relación de confluencia de cauces determinando que por cada 5.4 cauces de primer orden se tiene uno de segundo orden; por cada 8.5 cauces de segundo orden se tiene uno de tercer orden y por cada 2 cauces de tercer orden se tiene uno de cuarto orden.

El número de cauces es un indicador de la capacidad erosiva de la cuenca, a mayor cantidad de estos mayor será la capacidad de transportar agua. El hecho de contar con órdenes que van del uno al cuatro sugiere para la cuenca que el cauce final transporta considerable cantidad de agua y que sus afluentes más pequeños son capaces de aportar al cauce principal los excesos de agua en la cuenca; según Fuentes (2004) correspondería a las clases de orden medio. Esto es de particular importancia al considerar qué sucede bajo un evento de precipitación intensa, la lluvia después de caer y saturar el suelo, busca su escurrimiento natural cuenca abajo, encontrando los primeros órdenes para discurrir hacia las corrientes de mayor orden. Asimismo en el cuadro 40 se detallan las longitudes medias de los cauces por orden.

Cuadro 40. Longitud de cauces en la cuenca.

Numero de orden (u)	Numero de cauces (Nu)	Longitud de cauces en km (Lu)	Longitud de cauces acumulada (Lua)	Relación de longitud (RL)
1	93	47.28	47.28	3.49
2	17	13.56	60.84	0.95
3	2	14.31	75.15	2.28
4	1	6.27	81.41	0.08
Total	113	81.41	-	-

Los cauces de primer orden tienen en promedio 47 km de longitud; los de segundo orden 13 km de longitud y los de tercer y cuarto orden 14 y 6 km

respectivamente. La relación de longitud es un indicador del número de veces en que proporcionalmente aumenta el largo de los cauces de una jerarquía a otra. De esta forma, el hecho de que los puntos no estén alineados significa que la longitud de cauces no es homogénea. Por tanto, la tendencia de crecimiento de los cauces es normal, ya que la longitud de los cauces aumenta en relación directa al número de orden.

- **Frecuencia de cauces**

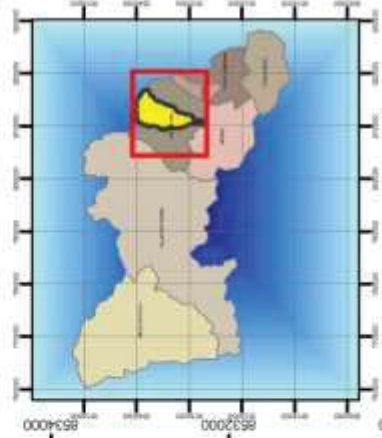
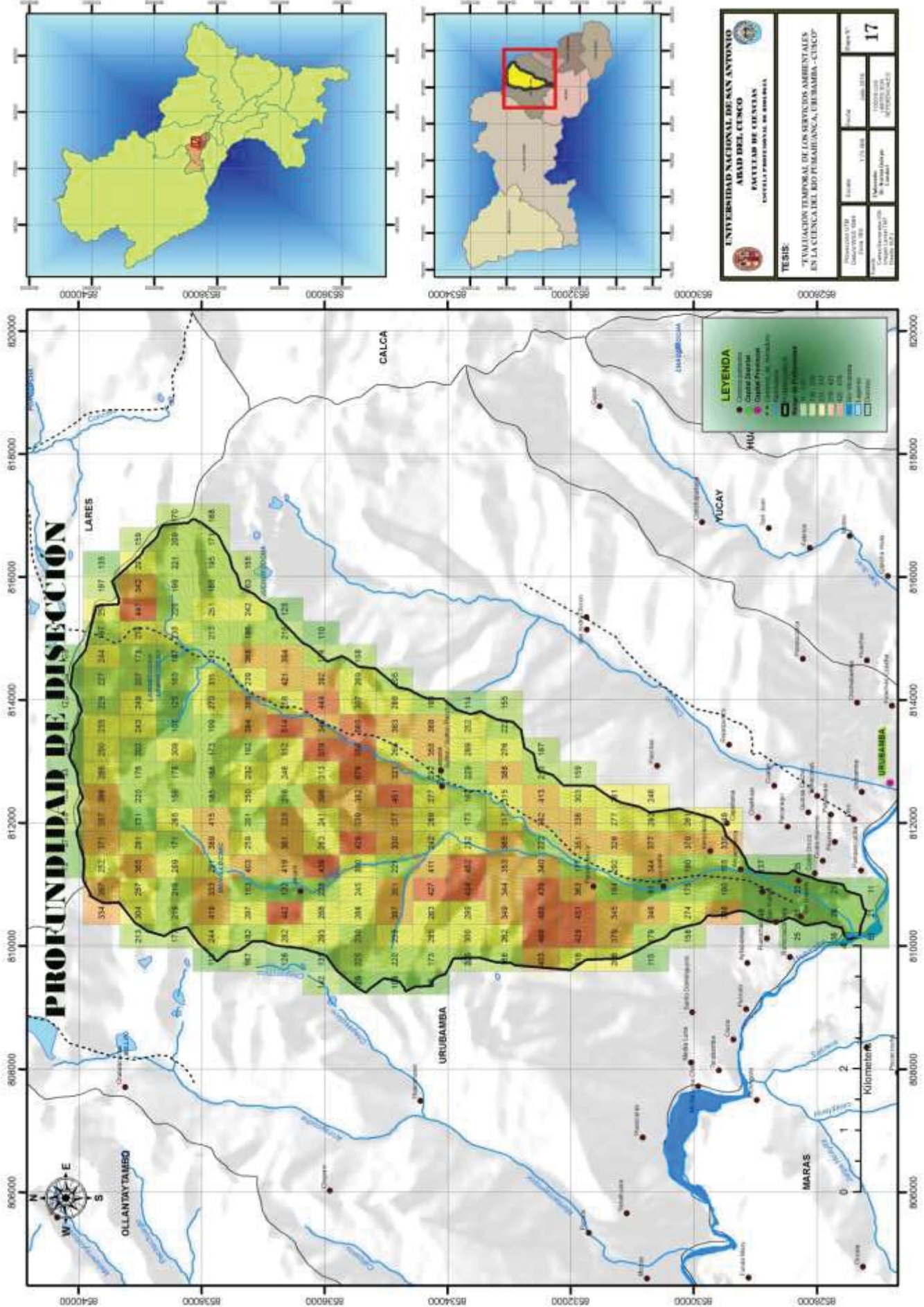
En promedio para la cuenca se tiene que existen 2.38 cauces por kilómetro cuadrado.

- **Densidad de drenaje**

En promedio, para la cuenca es de 1.71 km de cauces por cada kilómetro cuadrado, lo que representa una densidad de drenaje media. El parámetro muestra el grado de desarrollo del drenaje de la cuenca y la organización de este se denomina sistema fluvial. De esta manera, el sistema fluvial de la cuenca se desarrolla mayormente dentro de las clases medias según la escala establecida por Fuentes (2004).

Es importante señalar que las densidades de drenaje más altas se concentran en un grupo principal hacia las inmediaciones de la comunidad Paqchac y algunas laderas de fuerte pendiente (expresados en fracciones de profundidad en el mapa 17), a partir de allí se presentan dispersas por toda la cuenca.

De acuerdo a los resultados de las clasificaciones de cauces realizadas por el método de Strahler como su relación de confluencia, longitud, su frecuencia de cauces y densidad de drenaje tiene mediana capacidad erosiva y posibilidad de un aporte mayor de agua en caso de fuertes eventos de lluvia. Como lo señala Fuentes (2004) “un orden de corrientes alto o una densidad elevada refleja una cuenca altamente disectada, que responde rápidamente ante una tormenta”.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO**  
**ARAB DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**INSTITUTO PERUVIANO DE INVESTIGACIONES**

**TESIS:**  
**"EVALUACION TEMPORAL DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RIO URUBAMBA, URUBAMBA - CUSCO"**

Proponedor (D.P.)	Fecha	Hoja	17
Elaborado (D.P.)	Fecha	Hoja	17
Revisado (D.P.)	Fecha	Hoja	17
Corregido (D.P.)	Fecha	Hoja	17
Finalizado (D.P.)	Fecha	Hoja	17

#### 4.4.2.2. Regulación hídrica por cobertura vegetal

- **Precipitación**

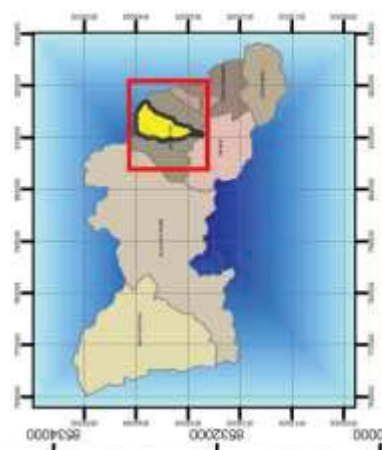
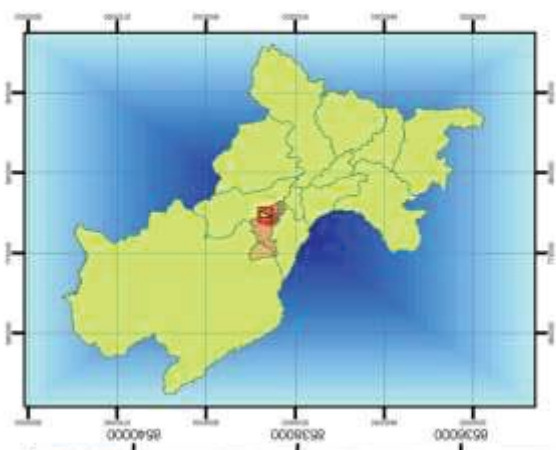
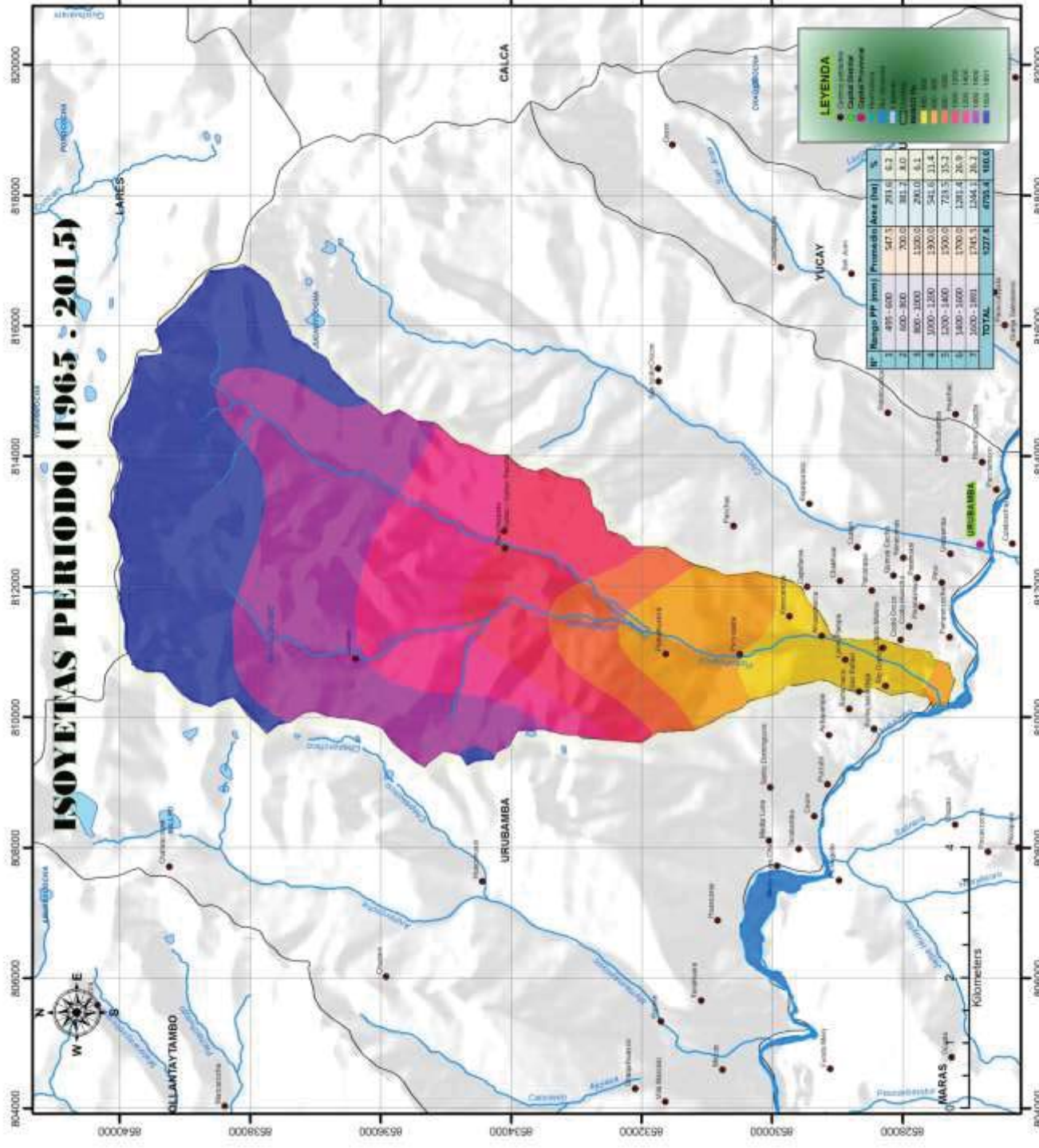
En el ámbito de la cuenca se tiene un promedio de 1200 mm de precipitación anual, con rangos mínimos de 495 mm y máximos de un poco más de 1800 mm, la zona media y alta de la cuenca reciben mayor precipitación que la parte baja. Para la superficie de la cuenca, a través de isoyetas (franjas de precipitación representadas en el mapa 18) la lámina total de lluvia significa alrededor de 68.8 millones de metros cúbicos anuales distribuida por rangos de precipitación en el cuadro 41.

Cuadro N° 41. Precipitación media y volumen de agua en la cuenca

N°	Precipitación actual			Área		Volumen
	Rango (mm)	Media	En metros	ha	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>
1	495 – 600	547.5	0.55	293.62	2936191.59	1607564.90
2	600 – 800	700	0.70	381.18	3811823.60	2668276.52
3	800 – 1000	1100	1.10	289.99	2899915.20	3189906.72
4	1000 – 1200	1300	1.30	541.64	5416404.90	7041326.37
5	1200 – 1400	1500	1.50	723.47	7234681.63	10852022.45
6	1400 – 1600	1700	1.70	1281.37	12813725.22	21783332.88
7	1600 – 1891	1745.5	1.75	1244.13	12441305.14	21716298.12
<b>Total</b>				<b>4755.40</b>	<b>47554047.29</b>	<b>68858727.95</b>

**Fuente:** Elaborado en base a datos meteorológicos de Estación Urubamba y otros 1965-2015.

El total aproximado de 69 millones de metros cúbicos de agua se consideró como el total de volumen que entra en el sistema por año. Por su parte la evapotranspiración, el escurrimiento y la infiltración se consideraron como las salidas de sistema, completándose el balance en la cuenca.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO**  
**ABAD DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA**

**TEBIS**

**"EVALUACION TEMPORAL DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES EN LA CUENCA DE BIODIVERSIDAD, URUBAMBA - CUSCO"**

Alumno:	111111
Fecha:	2015
Asesor:	111111
Fecha de entrega:	2015
Nombre del curso:	111111
Nombre del profesor:	111111
Nombre del curso:	111111
Nombre del profesor:	111111

**18**

- **Evapotranspiración**

Considerando que la evaporación potencial es la cantidad de vapor de agua que puede ser emitida desde una superficie libre con agua y que la transpiración es la pérdida de agua liberada hacia la atmosfera a través de los estomas de las plantas, la evapotranspiración (ET) sería la suma de ambos. La evapotranspiración potencial (ETP) sería la máxima cantidad de agua capaz de ser perdida por una capa continua de vegetación cubriendo el terreno cuando es limitada la cantidad de agua suministrada al suelo FAO (2003).

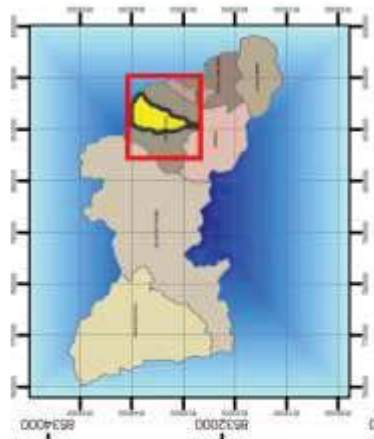
Los valores de ET se presentan en el cuadro 42 y representado en el mapa 19, donde la cantidad de agua evapotranspirada asciende a poco más de 19.7 millones de metros cúbicos por año.

Cuadro 42. Valores de evapotranspiración (ET) total para la cuenca

N°	Evapotranspiración (ET)			Área		Volumen
	Rango (mm)	Media	En metros	(ha)	En metros	m <sup>3</sup>
1	297 - 300	298.5	0.30	22.67	226655.37	67656.6284
2	300 - 325	312.5	0.31	350.61	3506072.72	1095647.73
3	325 - 350	337.5	0.34	459.85	4598483.63	1551988.23
4	350 - 375	362.5	0.36	718.22	7182247.25	2603564.63
5	375 - 400	387.5	0.39	626.54	6265393.24	2427839.88
6	400 - 425	412.5	0.41	489.05	4890531.86	2017344.39
7	425 - 450	437.5	0.44	380.51	3805149.81	1664753.04
8	450 - 475	462.5	0.46	573.50	5735032.56	2652452.56
9	475 - 500	487.5	0.49	655.97	6559733.43	3197870.05
10	500 - 525	512.5	0.51	478.47	4784747.41	2452183.05
<b>Total</b>				<b>4755.40</b>	<b>47554047.29</b>	<b>19731300.18</b>

**Fuente:** Elaborado en base a datos de Estación meteorológica Urubamba y otros 1965-2015.

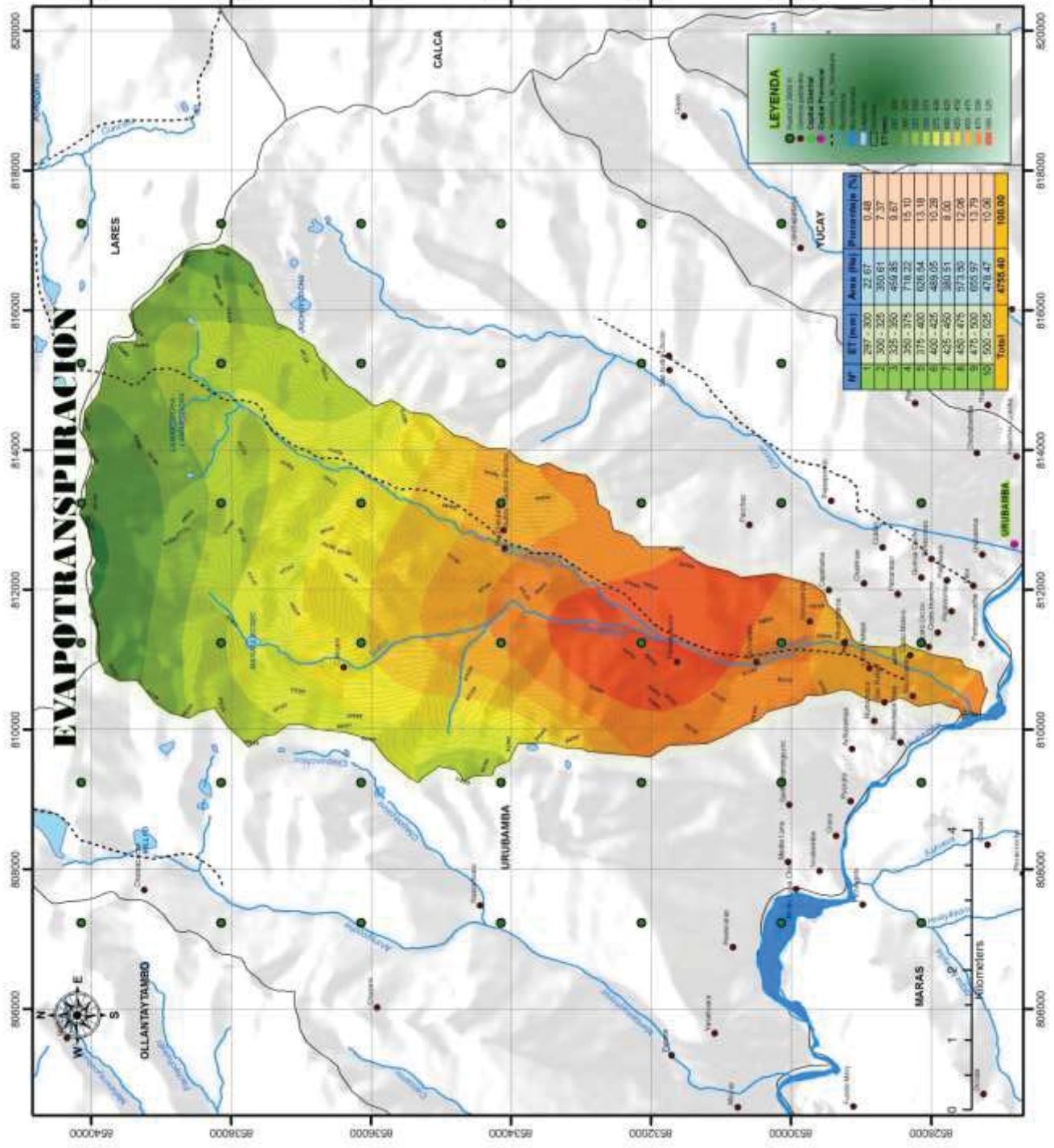




**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO**  
**ARABO DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA

**TEBES:**  
 "EVALUACION TEMPORAL DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RIO PUMAHUACA, URBANIZABA - CUSCO"

Tercer Semestre 2018 (Inscripción 2018)	Fecha: 17/05/2018	Hoja N°: 19
Autor: Ing. Alexander C. Cordero	Revisado por: Ing. Alexander C. Cordero	Aprobado por: Ing. Alexander C. Cordero



- **Escurrimiento**

De la interacción de los mapas de pendientes, edafológico y la cobertura vegetal y uso de suelo se obtuvieron 12 distintos coeficientes de escurrimiento entre los rangos de 0.3 y 1.0, con un promedio de 0.57 como se observa en el mapa 20.

Con los coeficientes de escurrimiento se obtuvo el escurrimiento medio en la cuenca, al multiplicar la precipitación media por franja de lluvia, presentando en conjunto para la cuenca cerca de 43 millones de metros cúbicos de agua que escurre. En el cuadro 43 se presenta los valores de volumen escurrido por coeficiente y el valor total para la cuenca para un año.

Cuadro 43. Volumen total de Escurrimiento en la cuenca

Nº	Coeficiente escurrimiento	Área (ha)	Volumen escurrido (m <sup>3</sup> )
1	0.30	28.66	75538.67
2	0.35	78.82	310135.59
3	0.40	582.73	2578987.11
4	0.42	432.39	1756076.37
5	0.45	572.12	3468503.49
6	0.47	325.46	1934178.95
7	0.50	180.58	504937.54
8	0.66	21.49	88419.83
9	0.70	24.45	112191.40
10	0.74	16.03	75773.93
11	0.82	2258.98	28013898.03
12	1.00	233.68	4026414.87
<b>Total</b>	-	<b>4755.40</b>	<b>42945055.79</b>
<b>Prom</b>	<b>0.57</b>	-	<b>3578754.65</b>

Fuente: elaborado en base a resultados de mapa 18.

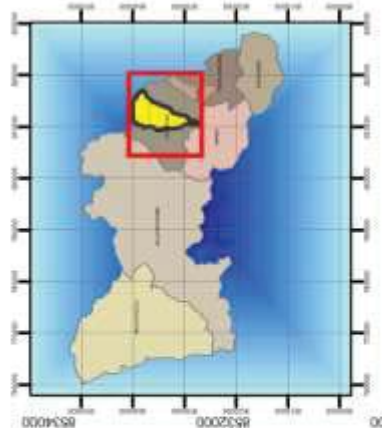
- **Infiltración**

De acuerdo a los resultados de precipitación, evapotranspiración y escurrimiento, la estimación de la infiltración en cualquiera de sus formas se presenta en el cuadro 44.

Cuadro 44. Volumen de agua infiltrada en la cuenca

Factor	Lámina (mm)*	Volumen (m <sup>3</sup> )	%
Escurrimiento	761	42945055.79	<b>62</b>
Evapotranspiración	356	19731300.18	<b>29</b>
Infiltración	111	6182371.99	<b>9</b>
Precipitación	<b>1228</b>	<b>68858727.95</b>	<b>100</b>

\*Los valores de lámina media son únicamente de referencia.

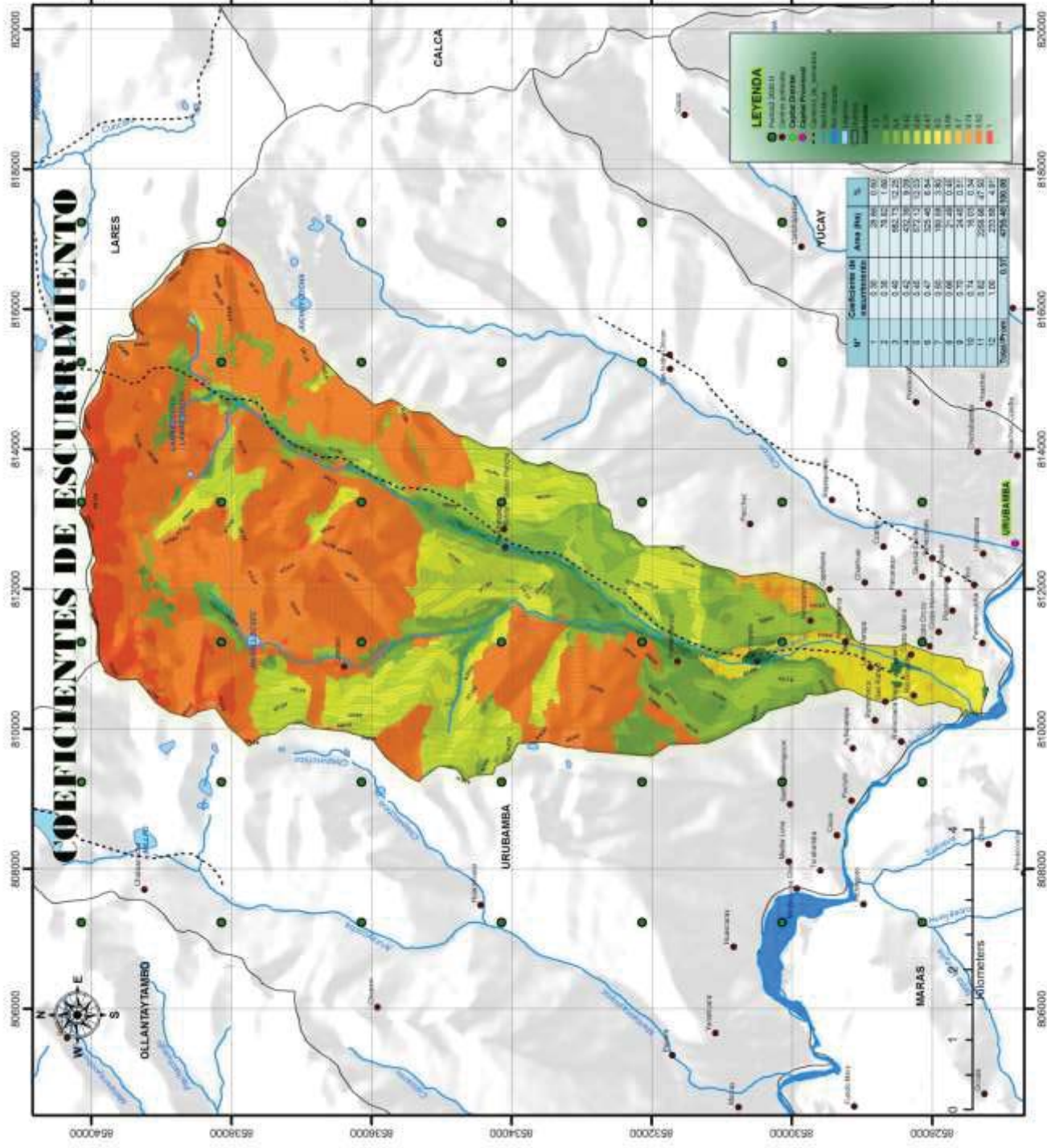


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
 ABAD DEL CENCO  
 FACULTAD DE CIENCIAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA

TESIS:  
 "EVALUACION TEMPORAL DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES  
 EN LA CUENCA DEL RIO PUNAHUASCA, URUBAMBA - CUNCO"

Docente: MSc. Mery...  
 Alumno: Aldo...  
 Fecha: 11/05/2011  
 Fecha de entrega: 11/05/2011

90



De manera general se observa que en la cuenca llueven alrededor de 68.8 millones de metros cúbicos, se evapotranspiran poco más de 19.7 millones y escurren cerca de 42.9 millones de metros cúbicos de agua en promedio para un año. De lo anterior, se desprende que en la cuenca se infiltran aproximadamente 6.2 millones de metros cúbicos de agua por año. Por tanto, del total de agua que llega a la cuenca, el 29% se evapotranspira, el 62% se escurre y el restante 9% se infiltra.

Dentro de la cuenca, los factores más importantes que determinaron la capacidad de ésta para regular el flujo de agua son la cobertura vegetal y la pendiente. Sin duda, es importante prestar atención a los cambios de uso del suelo ya que el último factor es invariable.

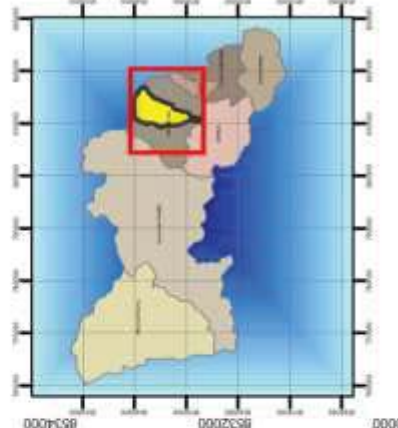
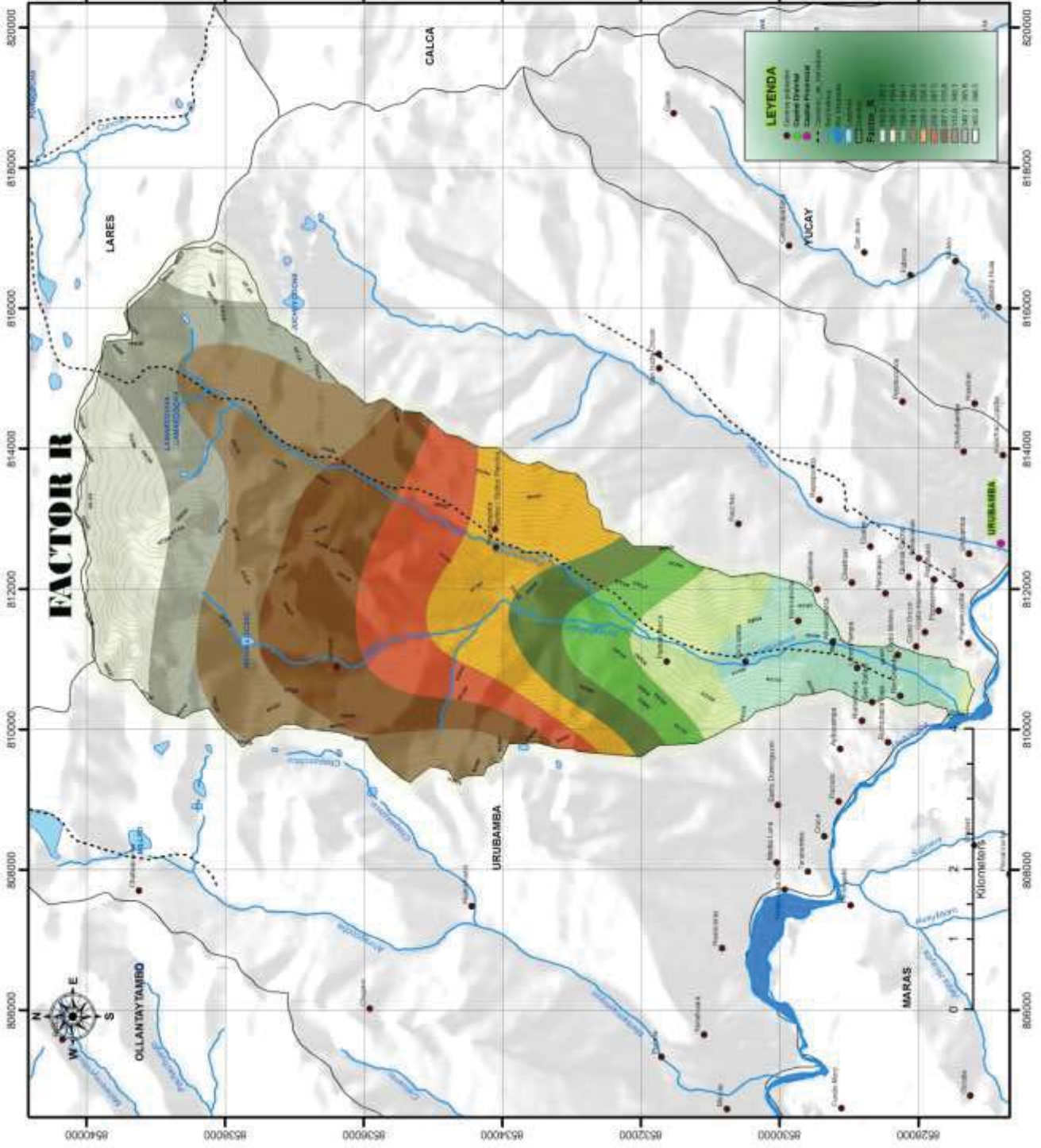
Así con la tendencia de pérdida de cobertura vegetal sobre todo de los bosques que poseen mayor capacidad de retención de agua, según su coeficiente de escurrimiento, en el área de la cuenca desde 1975, se estaría incrementando la cantidad de agua escurrida y reduciendo la capacidad de infiltración en los suelos aunado a las pendientes que incrementan las velocidades de escurrimiento.

#### **4.4.2. Servicio ambiental de retención del suelo**

De la ecuación básica para el cálculo de la erosión hídrica se tienen los siguientes resultados para cada uno de los factores:

- **Precipitación (factor R)**

Los rangos para el factor de la erosividad de la lluvia se encuentran entre 100 a 400 MJ mm/ha/hr que corresponden a niveles moderados y altos según la clasificación del índice de Fournier (del cuadro 14). La distribución de rangos de este factor en el área de la cuenca se pueden observar en el mapa 21.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO**  
**ARAB DEL CUSCO**  
**ESCUELA DE INGENIERIA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE BARRIALES**

**TESIS:**  
**"EVALUACIÓN TEMPERAL DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES EN LA CUCUNA DE URUBAMBA, URUBAMBA - CUSCO"**

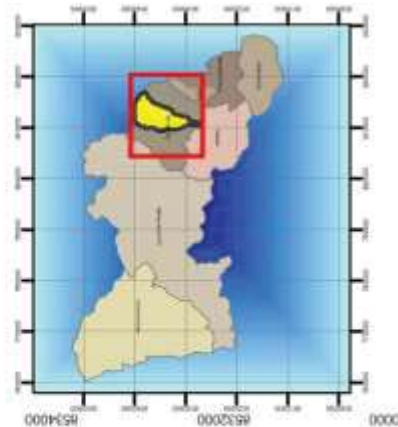
Presentado por:	Fecha:	Página N°:
Presentado por:	Fecha:	91

- **Pendiente (factor S) y longitud (factor L)**

Para la cuenca se tienen valores entre 0 y 16 que corresponde a un rango muy alto, debido sobre todo a pendientes muy fuertes presentes en la parte alta de la cuenca.

Los subfactores que intervienen para la determinación del factor longitud (L), tales como las longitudes de pendiente (m) y la relación de sus ángulos (F) han sido representados en los Mapas 22 y 23 (anexo 4), respectivamente. La distribución de los rangos obtenidos para el factor longitud (L) para el área de la cuenca se muestra en el mapa 24 (anexo 4).

La conjunción del mapa del factor longitud (L) con el factor pendientes (S) representado en el mapa 25 (anexo 4), genera el factor LS de la topografía que se puede observar en el mapa 26, donde se distinguen los rangos del grado y longitud de las pendientes para el área de la cuenca desde las áreas más planas de color verde hasta las más escarpadas en color rojo.

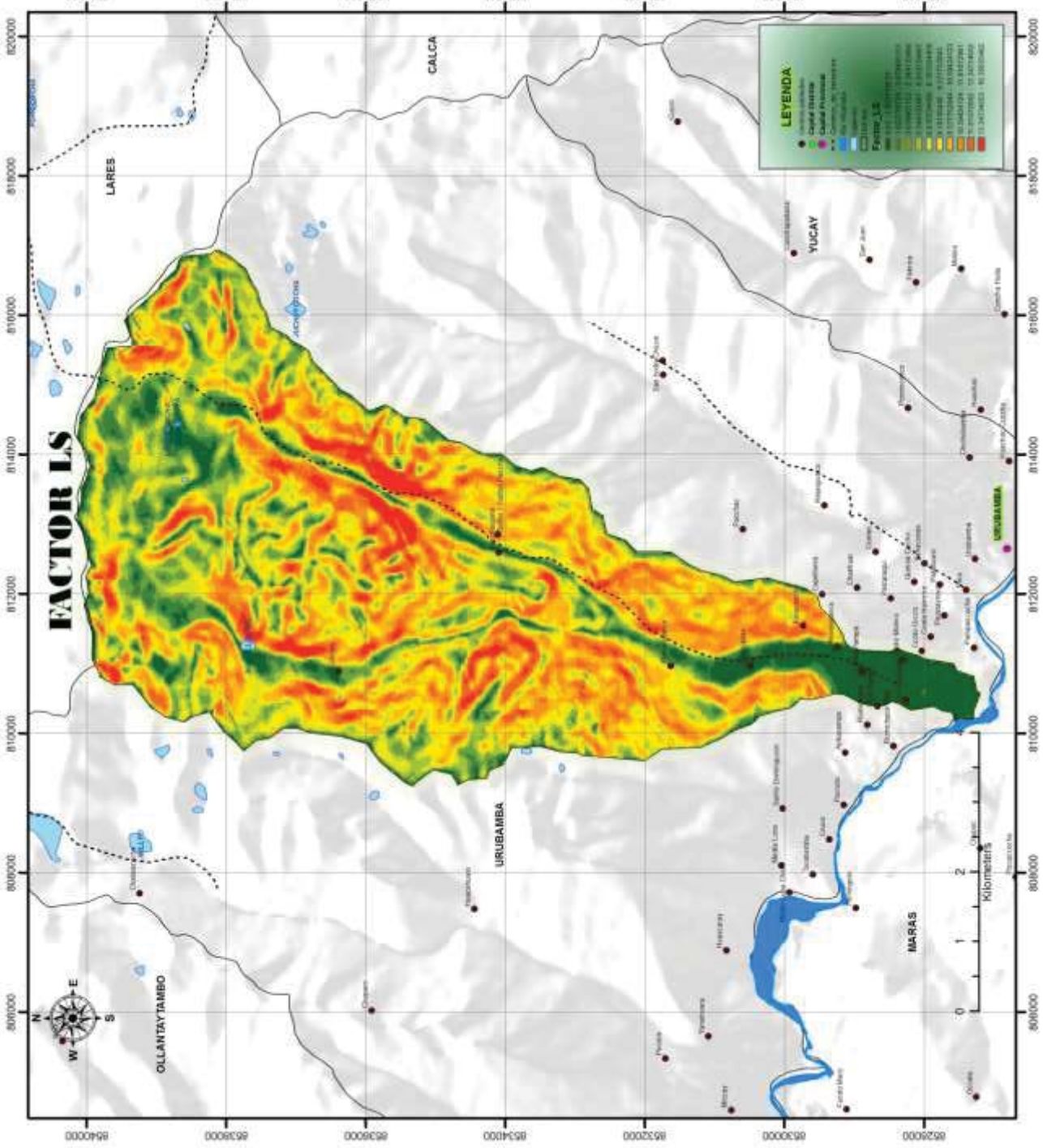


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO**  
**ABAD DEL CUSCO**  
 FACULTAD DE CIENCIAS  
 INSTITUTO PERUVIANO DE INVESTIGACIONES

**TESIS:**  
 "EVALUACIÓN TEMPORAL DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES  
 EN LA CUENCA DEL RÍO PUMAHUANCA, URBAMBA - CUSCO"

Presentado por:	Nombre:	Fecha:	Hoja:
Dr. Juan José	Dr. Juan José	17/03/2016	108/123
Asesorado por:	Nombre:	Fecha:	Hoja:
Dr. Juan José	Dr. Juan José	17/03/2016	108/123

**96**



- **Erodabilidad del suelo (factor K)**

Los valores obtenidos para este factor según las características de los suelos para la cuenca se presentan en el cuadro 45.

Cuadro 45. Valores de erodabilidad de los suelos (K) para la cuenca.

N°	Tipo de cobertura	Componentes de textura			% Materia orgánica	Estructura	Permeabilidad	Factor K
		% Arena	% Limo	% Arcilla				
1	Matorral	17.0	79.0	4.0	2.0	2	2	0.70
2	Forestal	38.2	61.8	0.0	4.0	1	2	0.39
3	Matorral	23.0	75.0	2.0	8.0	1	3	0.24
4	Pastizal	34.0	65.0	0.0	4.0	2	2	0.46
5	Cultivo seco	21.0	79.0	0.0	4.5	3	2	0.58
6	Bosque nativo	31.7	68.3	0.0	3.0	3	2	0.59
7	Pastizal	17.0	83.0	0.0	9.0	2	2	0.21
8	Cultivo riego	16.0	80	4.0	1.5	2	2	0.75
9	Pastizal	38	62	0.0	3.5	3	3	0.54
10	Escasa vegetación	33.5	74.5	2.0	0.9	3	1	0.75
11	Plantación forestal	33.5	00	66.5	1.1	3	1	0.66

**Fuente:** Elaborado en base a información del anexo 3.

Aun cuando la erodabilidad de un suelo depende de la combinación de muchos factores, es evidente que uno de los más importantes es la textura, por su estrecha relación con la cohesión de sus materiales así como con la permeabilidad del mismo. Experimentalmente muchos autores comprobaron que los suelos más erosionables corresponden a texturas intermedias es decir con una fracción de limos más abundante.

Así, los valores del factor de erodabilidad de la cuenca se encuentran entre y 0.21 y 0.75 t.ha.hr/MJ mm ha, con predominio de la porción limosa en la textura de los suelos, mínima o nula presencia de arcillas por lo menos en los primeros 20 cm de los suelos. Se considera que un porcentaje superior al 30% de arcilla aumenta la cohesión del suelo y mejora la estabilidad estructural, por lo que el suelo resiste mejor el impacto de las gotas de lluvia reduciendo su erosividad. Si lo que se incrementa es la fracción de arena, las condiciones hidrológicas mejorarían al ralentizar la aparición de la escorrentía reduciendo también la erosividad. En general los valores obtenidos por el método gráfico o el de la ecuación para este factor muestran una relación directa entre la



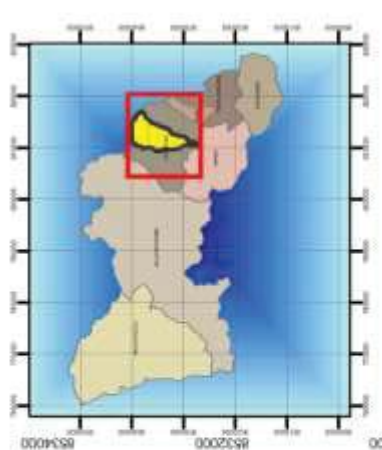
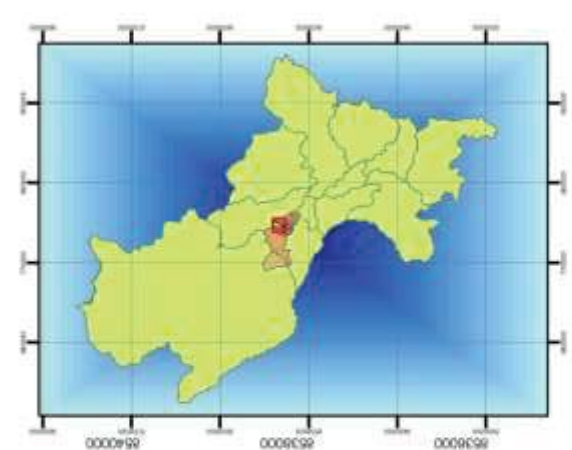
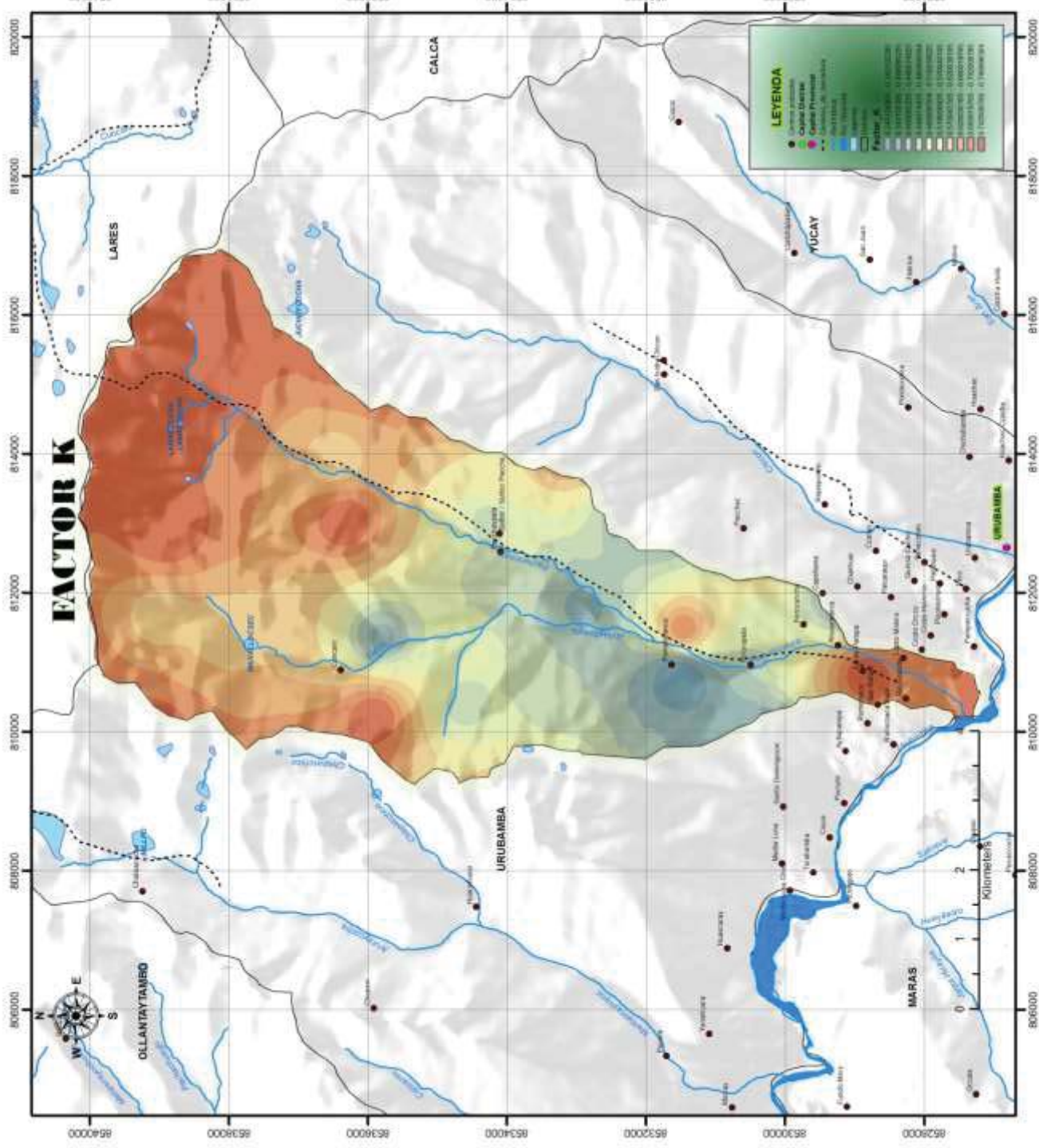
erodabilidad de los suelos con su contenido de limo en el que también se incluyen las fracciones de arena muy fina.

Respecto del contenido de materia orgánica, para los suelos de la cuenca varían entre 0.9 a 9.0 % dependiendo del tipo de cobertura vegetal y uso, proporcionando estabilidad a los agregados del suelo, mejoran su estructura y resistencia a la erosión; por lo que es considerado como el segundo factor, después de la textura determinante de la erodabilidad del suelo.

La variación de la erodabilidad de los suelos en el ámbito de la cuenca se representa en el mapa 27.

- **Cobertura vegetal (factor C)**

Los valores del factor de la cobertura vegetal para el área de la cuenca según el tipo de formación vegetal se muestra en el mapa 28, en donde las áreas de bosque tienen el menor coeficiente y la mayor capacidad de retención de suelo que los pastizales o áreas descubiertas con los mayores coeficientes y mínima a nula protección del suelo. Considerando las pérdidas de las áreas de bosque obtenidas según los cambios de uso de suelo, se pierde también la capacidad de retención de los suelos en esas superficies, incrementando la erosión actual en la cuenca.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
 ARID DEL CUSCO  
 FACULTAD DE CIENCIAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA

TESIS:  
 "EVALUACION TEMPORAL DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES  
 EN LA CUENCA DEL RIO PUMAHUANCA, URUBAMBA - CUSCO"

Asesorante (T): Ing. Carlos P. Soto	Examinador (T): Ing. Carlos P. Soto	Examinador (E): Ing. Carlos P. Soto	Examinador (E): Ing. Carlos P. Soto
Alumno (E): Ing. Carlos P. Soto	Alumno (E): Ing. Carlos P. Soto	Alumno (E): Ing. Carlos P. Soto	Alumno (E): Ing. Carlos P. Soto

Fecha: Julio 2018  
 Año: 2018  
 Páginas: 100  
 Número de Hojas: 97



- **Niveles de erosión potencial y actual en la cuenca**

Se determinó los niveles de erosión para la cuenca con la finalidad de resaltar la importancia del factor C, representada por los diferentes tipos de cobertura vegetal que de acuerdo a las tendencias obtenidas en la tasa de cambio en el uso del suelo pudieran verse reducidos, incrementando así los valores de erosión sobrepasando el nivel permisible que asegure su capacidad de recuperación de 10t/ha.año (Kirby y Morgan, 1985).

La erosión actual en la cuenca, producto de la integración de los factores R, LS y K con el efecto de la cobertura vegetal (factor C) se representa en el mapa 29 y los valores resultantes se muestran en el cuadro 46, donde cerca del 80% del área de la cuenca se encuentra con niveles de pérdida de suelos desde baja a muy alta (de 0 a 200 t/ha.año), y el restante 20% se encuentran en nivel crítico por efecto de las pendientes. Los valores estimados no superan los encontrados para la cuenca del río Huatanay por Gonzales (2010), más bien coincide con el hecho de que las áreas con cultivo de temporada producen altas tasas de pérdida de suelos así como las áreas con pendientes mayores a 25% como se puede apreciar en el mapa 29.

Cuadro 46. Niveles de erosión actual en la cuenca

N°	Rango (t/ha.año)	Niveles de pérdida de suelo	Área (ha)	%
1	0 – 5	Erosión baja	823.06	17.31
2	5 – 25	Erosión moderada	201.11	4.23
3	25 – 50	Erosión media	362.93	7.63
4	50 – 100	Erosión alta	671.91	14.13
5	100 - 200	Erosión muy alta	1711.23	35.98
6	mayor a 200	Erosión crítica	985.16	20.72
<b>Total</b>			<b>4755.40</b>	<b>100.00</b>

**Fuente:** Elaborado en base a resultados de mapa de erosión actual (Mapa 29)

Asimismo, se ha elaborado un mapa de erosión potencial (mapa 30), en la que intervienen los factores R, LS y K sin considerar el efecto de la cubierta vegetal (factor C), cuyos valores de pérdida se muestran en el cuadro 47 donde se registran niveles críticos de erosión potencial (mayores a 200 t/ha.año) a los que estaría expuesta gran parte del área de la cuenca (93%) si no se considera la cobertura vegetal.

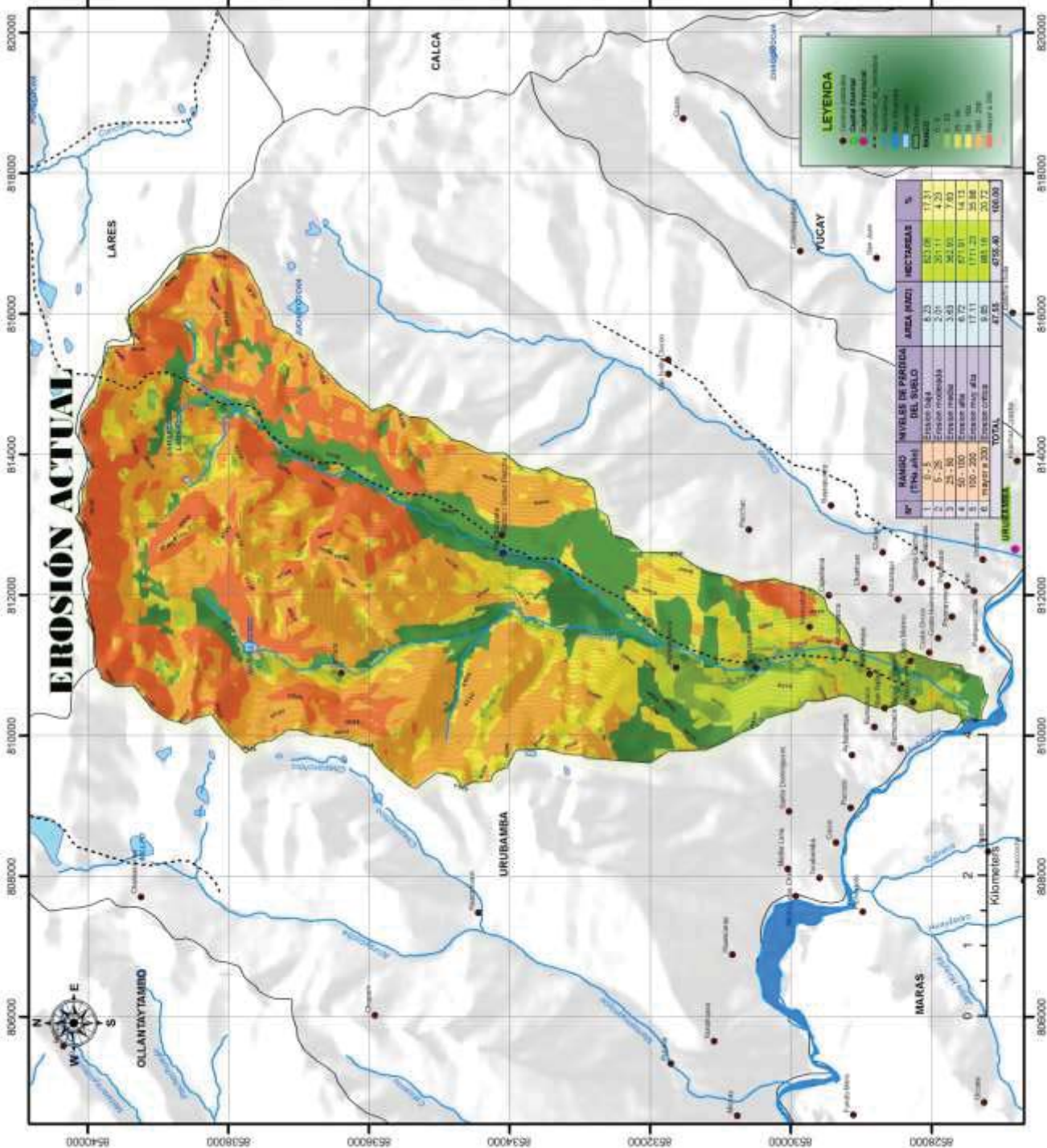


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO**  
**ABAD DEL CUSCO**  
**ESCUELA DE CIENCIAS**  
**INSTITUTO PROFESIONAL DE INGENIERIA**

**TESIS:**  
 "EVALUACION TEMPORAL DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES EN LA CUENCA DE HIDROGRAFICA URBANAMA - CUSCO"

Alumno:	YANKE VILLALBA	Fecha:	11 DE ABRIL 2008
Director:	JOSE ANTONIO VILLALBA	Fecha:	10 DE ABRIL 2008
Asesor:	RODRIGO VILLALBA	Fecha:	10 DE ABRIL 2008
Asesor:	RODRIGO VILLALBA	Fecha:	10 DE ABRIL 2008

**99**



Cuadro 47. Niveles de erosión potencial en la cuenca

N°	Rango (T/ha.año)	Niveles de pérdida de suelo	Área (ha)	%
1	0 - 5	Erosión baja	5.21	0.11
2	5 - 25	Erosión moderada	21.46	0.45
3	25 - 50	Erosión media	70.70	1.49
4	50 - 100	Erosión alta	151.20	3.18
5	100 - 200	Erosión muy alta	77.88	1.64
6	mayor a 200	Erosión crítica	4428.94	93.14
<b>Total</b>			<b>4755.40</b>	<b>100.00</b>

**Fuente:** Elaborado en base a resultados de mapa de erosión potencial (mapa 30)

De la comparación de los mismos se puede distinguir la importancia de la cobertura vegetal que para este caso retiene cerca del 73% de los suelos de la cuenca. Por tanto, se resalta la importancia de su conservación o implementación de acciones que la incrementen. O que por lo menos se evite su reducción sobre todo en aquellas pendientes mayores al 25% que constituye gran parte de la superficie de la cuenca.

Bajo escenarios de cambio en las condiciones climáticas y de uso del suelo se espera que los factores de erosión hídrica R (erosividad de la lluvia) y C (manejo y cubierta vegetal) se modifiquen, por lo que pueden suponerse incrementos en pérdidas de suelo por erosión hídrica. Por lo anterior tendrían que implementarse las prácticas de manejo (P) por lo menos en aquellas áreas que presentan niveles altos de pérdida y que tengan las condiciones necesarias o aptitud (áreas que tienen la condición de subuso y evitar el sobreuso de otras áreas) para contrarrestar el proceso de pérdidas de suelo.



#### **4.4.4. Servicios ambientales de provisión**

Se refiere a los que proveen como bienes para el ser humano (entre los que se incluyen los alimentos derivados de plantas cultivadas, etc.)

La aplicación de encuestas, a mujeres y varones que mostraron mejor disposición a responder las preguntas se tiene. El 52% del total de encuestados fueron mayores de 45 años quienes revelaron que la gente más joven migra a las ciudades capitales o se dedica a otras ocupaciones. El 38% del total de encuestados tiene grado de instrucción primaria, 42% secundaria y 19% superior, lo que significa que la mayoría habla español asentados en la zona urbana, los habitantes de la cuenca alta son mayormente quechua hablantes, pero cuentan con información valiosa de los cambios que ocurren en la cuenca.

Solo el 62% de los encuestados permanece en su lugar de nacimiento o habita por más de 30 años, lo cual garantiza las respuestas sobre los cambios percibidos en la cuenca.

En cuanto a los cambios percibidos sobre los recursos naturales más del 60% de los encuestados refieren que los bosques nativos de Unca ocupaban buena parte del piso de valle, que actualmente son áreas de cultivo y viviendas. Los pobladores de la cuenca alta también refieren que la cobertura de nieve permanente ha retrocedido para las estaciones secas, así como la reducción de los caudales del río. Otro cambio referido por la población es que hasta hace dos décadas la comunidad la habitaban alrededor de 20 familias, quienes han ido migrando a la ciudad por mejores oportunidades, quedando en la actualidad solo 12 familias empadronadas y 5 a 6 residentes.

Además en los últimos 5 años se ha incrementado la visita de turistas que realizan la ruta Pumahuanca – Lares, viéndose en la necesidad de ampliar los caminos e instalar servicios sanitarios.

Respecto de los problemas ambientales percibidos en la cuenca, la mayoría refiere que el crecimiento urbano ha causado la acumulación de residuos sólidos, sin embargo lo consideran como una situación normal porque hay



demanda de vivienda para las nuevas generaciones. Otro problema percibido es la disminución del caudal del río en la cuenca baja atribuido a las sequías y el retroceso de la cobertura nival.

Respecto de los servicios ambientales que obtienen de la cuenca, la mayoría refiere que la calidad de agua aún no está contaminada, la producción de cultivos y la extracción de madera son los más valorados por los pobladores de la cuenca baja. Los de la cuenca alta resaltan la extracción de leña, la pesca para consumo, la extracción de especies medicinales y ornamentales.

- **Bosque como proveedor de bienes locales**

Se consideró como servicio ambiental la cobertura forestal y arbustiva los referidos a la provisión de bienes para los pobladores locales, incluidos usos tales como combustible (leña o carbón), construcción, elaboración de utilería, entre otros, que se presentan en el cuadro 48 donde las especies con usos y potenciales usos más diversos reciben mayor presión de uso que explicarían la reducción de su cobertura en el tiempo.

Cuadro 48. Matriz presión de uso de especies forestales y arbustivas en la cuenca

Especie	Nombre común	Leña/ combustible	Ebanistería	Herramientas	Utilitarias	Material de construcción	Ornamental	Cerco vivo	Tintóreo	Fruto comestible	Otros usos	Especificación	Medicinal	Aplicación	Valor de presión de uso
<i>Escallonia resinosa</i>	Chachacomo	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Tintes de ramitas y hojas trituradas	1	Hojas, en frotaciones para dolores reumáticos	10
<i>Polytepis</i> sp.	Queuña	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	Taninos en ritidomas y tallos, tinte de corteza	1	Corteza interna en infusión para afecciones respiratorias	9
<i>Alnus acuminata</i>	Aliso, Lambran	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	Posee taninos en la corteza	1	Hojas en infusión: diuréticas, reumatismo, artritis y resfrios. Hojas molidas (pasta) cicatrizan heridas.	8
<i>Myrcianthes oreophilla</i>	Yurac Unca	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	-	1	Hojas olorosas en infusión son estomacales	8
<i>Vallea stipularis</i>	Chicilurmay	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	Hojas tintóreas	1	Hojas frescas trituradas para dolores reumáticos	8
<i>Styloceras laurifolium</i>	Huamanquero, limon-limon	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	-	0	-	7
<i>Hesperomeles ferruginea</i>	Manzanito mayu	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	Carpintería liviana	0	-	6
<i>Citharexylum argutidentatum</i>	Murmuscuy	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	-	0	-	5
<i>Columellia obovata</i>	Huamapinta, romero de jalca, vara	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	Cestería	1	Infusión de hojas o corteza febrífuga, antiséptica y estomaguica	5
<i>Gynoxys nitida</i>	Kita Quishuar	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	-	0	-	5
<i>Maytenus cuzconia</i>	Paltay paltay	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	-	0	-	5

Especie	Nombre común	Leña/ combustible	Ebanistería	Herramientas	Utilitarias	Material de construcción	Ornamental	Cerco vivo	Tintoreo	Fruto comestible	Otros usos	Especificación	Medicinal	Aplicación	Valor de presión de uso
<i>Myrsine sp</i>	Chalanque	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	Carpintería liviana	0	-	5
<i>Aegiphila mortonii</i>	Chirapa Sacha	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	Manejo de cuencas	0	-	4
<i>Barnadesia horrida</i>	Llaulli	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	-	1	Flores para afecciones respiratorias	4
<i>Berberis sp.</i>	Ccheche	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	-	0	-	4
<i>Buddleja coriacea</i>	Kolli	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	-	0	-	4
<i>Hesperomeles escallonifolia</i>	Quisca mayu manzana	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	-	0	-	4
<i>Cestrum conglomeratum</i>	Ñucau	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	Protección de cultivos	1	Refrescante en fiebres	3
<i>Eucaliptus globulus</i>	Eucalipto	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-	1	Hojas: balsámico, expectorante, sudorífico, febrífugo, astringente antiséptico, estomacal.	3
<i>Ribes sp</i>	Sapurhuay	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	-	0	-	3
<i>Aristiguetia discolor</i>	Vino vino	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1	-	2
<i>Baccharis buxifolia</i>	Tayanca	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-	0	-	2
<i>Duranta sp armata?</i>	Tancar	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-	0	-	2
<i>Solanum naturecalvans</i>	Asnac Sacha	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-	1	-	2
<i>Oreopanax ischnolobus</i>	Maqui maqui	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-	0	-	1

Fuente: Elaborado en base a resultados de encuesta y revisión bibliográfica.

De acuerdo a la matriz del cuadro 48 las especies que reciben mayor presión de uso son *Polylepis sp.* en la parte alta de la cuenca, en la parte media *Escallonia resinosa*, *Myrcine pellucida*, *Myrcianthes oreophilla*, entre las principales. En el cuadro 49 se enlistan las especies medicinales de uso frecuente y con fines comerciales:

Cuadro 49. Especies extraídas del ámbito de la cuenca.

<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Atributo</b>
Asteraceae	<i>Arracacia elata</i>	Purun ricacha	Medicinal
Asteraceae	<i>Achyrocline alata</i>	Ishpingo	Medicinal
Asteraceae	<i>Baccharis genistelloides</i>	Quisa cucho	Medicinal
Asteraceae	<i>Gamochaeta purpurea</i>	Sasahui	Medicinal
Asteraceae	<i>Leucheria daucifolia</i>	Sasahui	Medicinal
Asteraceae	<i>Mutisia cochabambensis</i>	Huayurcuma	Medicinal
Asteraceae	<i>Paranephelius uniflorus</i>	Huayurcuma	Medicinal
Asteraceae	<i>Perezia coerulescens</i>	Chancorma	Medicinal
Asteraceae	<i>Perezia multiflora</i>	Chancorma	Medicinal
Asteraceae	<i>Perezia pungens</i>	Chancorma	Medicinal
Asteraceae	<i>Senecio canescens</i>	Pupusa	Medicinal
Asteraceae	<i>Senecio melanoleps</i>	Maych'a	Medicinal
Asteraceae	<i>Senecio comosus</i>	Maych'a	Medicinal
Asteraceae	<i>Senecop hastatifolius</i>	Maycha	Medicinal
Asteraceae	<i>Senecio hyoseridifolius</i>	Condor ripa	Medicinal
Asteraceae	<i>Senecio modestus</i>	Ñutu rap'i maycha	Medicinal
Asteraceae	<i>Senecio peruensis</i>	Maych'a	Medicinal
Asteraceae	<i>Senecio rhizomatus</i>	Uphuysuru	Medicinal
Asteraceae	<i>Senecio serratifolius</i>	Tumpa tumpa	Medicinal
Asteraceae	<i>Werneria nubigena</i>	Puna margarita	Medicinal
Asteraceae	<i>Werneria villosa</i>	Puna margarita	Medicinal
Brassicaceae	<i>Descurainia athrocarapa</i>	Alcalde ccora	Medicinal
Brassicaceae	<i>Sisymbrium sp.</i>	Ccora	Medicinal
Campanulaceae	<i>Lysipomia laciniata</i>	Ccora	Medicinal
Ephedraceae	<i>Ephedra rupestris</i>	Puna pinco pinco	Medicinal
Equisetaceae	<i>Equisetum bogotensis</i>	Cola de caballo	Medicinal
Fabaceae	<i>Lupinus Cuzcensis</i>	Kera	Medicinal
Gentianaceae	<i>Gentianella rima</i>	Kello fallcha	Medicinal
Gentianaceae	<i>Gentianella sandiense</i>	Azul fallcha	Medicinal

Gentianaceae	<i>Halenia bella</i>	Purinchi	Medicinal
Gentianaceae	<i>Geranium filipes</i>	Chili chili, ojutilla	Medicinal
Lamiaceae	<i>Luzula racemosa</i>	Cjumu cjumu	Medicinal
Loasaceae	<i>Hedeoma mandoniana</i>	Hierba buena, inca muña	Medicinal
Loasaceae	<i>Caiophora cirsiifolia</i>	Puca shinua	Medicinal
Loasaceae	<i>Caiophora pentlandii</i>	Orco quisa	Medicinal
Malvaceae	<i>Nototriche condensata</i>	Panti thurpa	Medicinal
Onagraceae	<i>Epilobium denticulatum</i>	Duraznillo, yahuar sojo	Medicinal
Pasifloraceae	<i>Pasiflora trifoliata</i>	Puru puru	Medicinal
Poligonaceae	<i>Muehlenbeckia volcánica</i>	Mullaca	Medicinal
Rosaceae	<i>Polylepis besseri</i>	Queuña	Medicinal
Rosaceae	<i>Poylepis subsericans</i>	Puca queuña	Medicinal
Saxifragaceae	<i>Saxifraga magellanica</i>	Huamanripa	Medicinal
Scrofulariaceae	<i>Calceolaria scapiflora</i>	Puru puru	Medicinal
Valerioanaceae	<i>Valeriana coarctata</i>	Huarituru, ccata	Medicinal
Valerioanaceae	<i>Valeriana herrerae</i>	Valeriana	Medicinal
Valerioanaceae	<i>Valeriana nivalis</i>	Valeriana	Medicinal
Violaceae	<i>Viola pygmaea</i>	Huallpa huallpa	Medicinal

**Fuente:** Elaborado en base a registros de encuestas y observación directa.

En general los pobladores de ambas zonas de la cuenca reconocen la importancia de mantener los servicios ambientales que les brinda la cuenca, sobre todo los mayores y los que se encuentran en la parte alta; a diferencia de los más jóvenes que mostraron una percepción indiferente.

Por otro lado, se consideró la participación de profesionales que han trabajado durante años en el área de la cuenca y en general en el valle sagrado, quienes brindaron su aporte respecto a la reducción de la cobertura forestal, crecimiento de las áreas de cultivo, reducción en la presencia de algunas especies anuales que son recolectadas como ornamentales o medicinales en sitios específicos de la cuenca, lo cual también fue percibido por pobladores dedicados a la venta de estas especies en épocas de festividad religiosa (Navidad y Semana Santa) por lo que desplazan a zonas más altas u otras cuencas para conseguirlas. Sin embargo al ser consultados sobre la importancia de realizar acciones de conservación, recuperación o mejora de la prestación de estos servicios ambientales mostraron una actitud indiferente, muchos de ellos por considerarlos inagotables.

## CONCLUSIONES

1. El río Pumahuanca corresponde a una cuenca de nivel 9 con un área de 4755.4 ha, con altitudes desde 2835 m hasta los 5130 m de altitud. Presenta un cauce con capacidad de concentrar importantes volúmenes de agua y una estructura montañosa.
2. La línea de base ambiental muestra diferentes usos de suelo por sus potencialidades, la gradiente altitudinal y climática permite el desarrollo de 10 unidades de cobertura vegetal de alta diversidad, fauna asociada a esta vegetación, y una calidad de aguas dentro de los estándares.
3. Presenta 24 servicios ambientales clasificados en cuatro categorías: 12 servicios de provisión, 7 servicios de regulación, cuatro servicios culturales y la cuenca misma como servicio de soporte para los tres anteriores.
4. La dinámica temporal de los servicios ambientales describe temperaturas con tendencia a incrementar, precipitaciones que varían por década, el cambio de uso de suelos corresponde a los tipos climáticos. La pérdida de cobertura vegetal afecta la regulación climática a nivel global expresado en reducción de su capacidad de captura de carbono en 22%.  
Los parámetros hidrológicos muestran buena capacidad de regulación debido al número de cauces; y la cobertura vegetal con capacidad de protección hídrica a través del coeficiente de escurrimiento de 0,57 siendo la variable más importante después de la pendiente.  
La cobertura vegetal conserva su capacidad de retención de suelos en 73%, con tendencia a la reducción por pérdida de sus áreas.  
El servicio de provisión expresado en términos de presión de uso de especies arbóreas y arbustivas, extracción de especies de uso frecuente explican la reducción de importantes áreas de cobertura.

## RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos, en el proceso de diagnóstico de la cuenca y evaluación de sus servicios ambientales en el tiempo, se espera que este documento constituya un antecedente para la implementación de medidas correctivas en las áreas más susceptibles para reducir el deterioro de los servicios que brindan sus diferentes componentes.
- Es importante realizar monitoreo de la pérdida de cobertura vegetal, la cantidad y calidad del agua, así como cada uno de los factores que intervienen en la erosión de los suelos, no sólo en esta cuenca. Para establecer valores referenciales de sus características para los ecosistemas y cuencas alto andinas.
- Utilizar este estudio como base para realizar un ordenamiento territorial y la protección de áreas de interés por sus servicios ambientales.
- Efectuar otros estudios similares en zonas de importancia a nivel regional de manera que se promuevan acciones de recuperación, conservación y mejora de los componentes que brindan servicios ambientales en beneficio de su población.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Acasi, D. 2015. *Análisis multitemporal y generación de escenarios prospectivos de la cobertura nival en la Cordillera Urubamba-Cusco*. Tesis para optar el título de Biólogo. Facultad de Ciencias Biológicas-UNSAAC.
2. Autoridad Nacional del Agua - ANA, 2008. *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Perú*. Resumen ejecutivo. MINAGRI. Lima.
3. Autoridad Nacional del Agua, 2010. *Diagnóstico y plan de gestión de recursos hídricos en la cuenca Vilcanota Urubamba – FASE I*. MINAGRI.
4. Battelle Memorial Institute. 2009. *Teledetección con imágenes satelitales para analizar calidad del aire en Centroamérica*. Presentación. Panamá.
5. Béjar L. 1996. *Flora de los bosques de *Polylepis* spp. en tres localidades del Valle Sagrado de los Incas*. Seminario Curricular. Facultad de Ciencias Biológicas. UNSAAC.
6. Benites, A. 2007. *Manejo participativo de los recursos naturales basado en la identificación de servicios ecosistémicos en la cuenca del río Otún – Pereira, Colombia*. Tesis de grado de Magíster Scientiae en Manejo y Conservación de Bosques Tropicales y Biodiversidad. CATIE. Costa Rica.
7. Botanical Journal of the Linnean Society. 2016. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. 181, 1–20.
8. Brenes, A; Saborío, V. 2007. *Elementos de climatología: aplicación didáctica a Costa Rica*. San José, CR. EUNED. 94 p. Serie Geográfica N°. 1
9. Bocangel, Y. M. 2005 *Diversidad de cactáceas y suculentas en cuatro Microcuencas del Valle Sagrado: Huaran, Urquillos, Pumahuanca, Mantamay*. Seminario de investigación. Facultad de Ciencias Biológicas – UNSAAC.
10. Buzai, G. 2008. *Sistemas de información geográfica (SIG) y cartografía temática métodos y técnicas para el trabajo en el aula*. Argentina.
11. Campos, D.F. 1992. *Proceso del ciclo hidrológico*, México. Universidad Autónoma de San Luis de Potosí. México.
12. Carlotto, V., Gil, W., Cárdenas, J. y Chávez, R. 1996. *Geología de los cuadrángulos de Urubamba y Calca, hojas 27-r y 27-s*. INGEMMET, Bol. 65.



13. CDC-UNALM / WWF-OPP. 2003. *Análisis y modelación espacio-temporal del paisaje en las áreas de intervención del Programa de desarrollo alternativo*. World Wildlife Fund Inc. UNALM. Lima.
14. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE, 2006. *Los servicios ambientales desde un enfoque ecosistémico: Una propuesta metodológica para una planificación ecológica rápida de los recursos naturales a escala de paisaje*. ISBN 997 -57-424-3. Costa Rica
15. Chuvieco, E. 2010. *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*. Editorial Ariel S. A. España. 3ra Ed. ISBN: 84-344-8047-6.
16. Conesa, Y. 2004. *Medio ambiente, recursos y riesgos naturales: análisis mediante tecnología SIG y teledetección*. Grupo de métodos cuantitativos, SIG y teledetección. Departamento de Geografía. Universidad de Murcia.
17. Convención Ramsar, 2010. *Manejo de cuencas hidrográficas: integración de la conservación y del uso racional de los humedales en el manejo de las cuencas hidrográficas*. 4ª edición, vol. 9. Secretaría de la Convención de Ramsar. Suiza.
18. Costanza, R., D'Arge, R., R.S. De Groot, Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Lim Burg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., & M. Van Den Belt, 1997. *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. Nature, 387(6630), 253-260.
19. Cuadrat, J. y Pita, F. 2011. *Climatología*. Ediciones Cátedra. Madrid.
20. Cuesta, F., Muriel, P., Beck, S., Meneses, R. I., Halloy, S., Salgado, S., Ortiz, E. y Becerra, M.T. 2012. *Biodiversidad y cambio climático en los andes tropicales*. Red Gloria-Andes, Lima-Quito. Pp 180.
21. Daily, G.C. 1997. *Introduction: what are ecosystem services? in: nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. [Daily, G.C. (Ed.)]. Island Press. Washington D.C.
22. Decreto Supremo 017-2009-AG del 2 de setiembre de 2009.
23. De Groot, R.S. 1992. *Functions of nature: evaluation of nature in environmental planning*. For management and decision making. Wolters-Noordhoff, Gronningen AlemaniBa. 10 p.
24. De Groot, J; Van der Perk, A; Chiesura, J; Marguliew, S. 2002. *Ecological functions and socio-economic values of critical natural capital as a measure*

- for ecological integrity and environmental health*. Earth and environmental sciences no. 1. NATOT-Science Series IV. p. 191-214.
25. De Groot, R.S., M. Wilson & R. Boumans. 2002. *A typology for description, classification and valuation of ecosystem function, goods and services*. Ecological Economics, 41(3), pp 393-408.
26. Decreto Supremo 015-2015-MINAM
27. FAO (Food and Agriculture Organization), 2000. *Evaluación de los recursos forestales mundiales*. Informe principal. Estudio FAO Montes 140.
28. FAO (Food and Agriculture Organization) 2003. *Sensitivity of some potential evapotranspiration estimation methods to climate change*. vol.64.
29. FAO (Food and Agriculture Organization), 2005. *Global assessment of growing stock, biomass and carbon stock*. Marklund, LG y Schoene, D. Forest Resources Assessment Programme (FRA) Working paper 106/E. Rome. p. 55.
30. Fernández, I. y A. Herrero, E. 2004. *El Satélite Landsat, Análisis de Imágenes Obtenidas del Sensor Etm+ Satelite Landst*. Universidad de Valladolid. Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal. España.
31. Fuentes. J.J.A. 2004. *Análisis morfométrico de cuencas: caso de estudio del Parque Nacional Pico de Tancitaro*. Dirección General de Investigación de Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas. INE. México.
32. Gobierno Regional Cusco, 2011. *Proyecto: "Fortalecimiento del Desarrollo de Capacidades de Ordenamiento Territorial en la Región Cusco"*.
33. Goldman, Wackernagel, Salomón... [et al.] 2012. *¿Gratis? Los servicios de la naturaleza y cómo sostenerlos en el Perú*. Editado por Frank Hajek y Pablo B. Martínez de Anguita. -- 1a ed. – Lima.
34. Gonzales, C. 2010. *Assessing the land cover and land use change and its Impact on watershed services in a tropical andean watershed of Peru*. University of Jyväskylä. Faculty of Science. Department of Biological and Environmental Science. Environmental Science and Technology with a Specialization in Development and International Cooperation
35. González, H. 2010. *Seguridad alimentaria, variabilidad y cambio climático en el contexto territorial del manejo y gestión de la subcuenca del río Aguas Calientes, departamento de Madriz, Nicaragua*. Costa Rica.

36. Guamán Poma de Ayala – Proyecto Especial Plan COPESCO. 2011. *Diagnóstico socioeconómico ambiental para el Acondicionamiento Territorial de la Cuenca Media del Vilcanota*. Cusco.
37. Gutiérrez, R. 2008. *Papas nativas desafiando al cambio climático, propuesta de adaptación tecnológica del cultivo de papas nativas frente al cambio climático en Cusco y Ancash*. Intermediate Technology Development Group. ITDG. Lima.
38. Hayes, L. 2014. *El impacto del cambio climático en los bosques de la vertiente oriental de los Andes tropicales*. Apuntes de Investigación N° 2, Julio - Setiembre 2014. Soluciones Prácticas Desafiando la Pobreza.
39. Hooper, DU; Vitousek, PM. 1997. *The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes*. Science 277:1302-1305
40. ICRAF. 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Lima: Centro Mundial Agroforestal. pp. 79.
41. Ibañez. M. y Damman, G. 2013. *Cambios de la cobertura de los suelos para la elaboración de escenarios territoriales en la región Apurímac*. Centro de Investigaciones de Zonas Áridas, Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. Zonas aridas 15(1); 48-67.
42. Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente - IMA, 2009. *Zonificación Ecológica Económica de la Región Cusco*.
43. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2002. *Climatic Change And Biodiversity*. IPCC Technical Paper 5. Working Group II Technical Support Unit. [H. Gitay, A. Suarez, R.T. Watson, D.J. Dokken (eds.) WMO-UNEP.86 Pp.
44. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Chapter 3. Appendix 3a.4. Settlements: Basis for Future Methodological Development
45. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2007. *Informe de Síntesis, Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe del Grupo de Expertos sobre el Cambio Climático*. IPCC, Ginebra, Suiza.
46. Jensen, J.R. 2007. *Remote sensing of the environment: an Earth resource perspective*. Second Edition. Prentice Hall. 592 pp.
47. Kirby, M.J.; Morgan, R.P.C. 1985. *Erosion de suelos*. Editorial LIMUSA S.A. México.

48. Lammerts van Bueren & E; Blom, R. 1997. *Hierarchical framework for the formulation of sustainable forest management standards*. Leoden, NL, The Tropenbos Foundation . 82 p.
49. Llosa, J., Pajares, E., Toro, O. 2009. *Cambio Climático, Crisis del Agua y Adaptación en las Montañas Andinas. Reflexión, Denuncia y Propuesta desde los Andes*. Red Ambiental Peruana, DESCO. Lima, Perú.
50. Mancilla, G.A. 2008. *Uso y conservación de suelos: uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en el campo forestal*. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. Chile.
51. Marcial, R. 2011. *Implicaciones del cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en los servicios ambientales hidrológicos de la comunidad de Capulalpam de Méndez*, Tesis para la obtención del título de Licenciado en Ciencias Ambientales. Universidad de la Sierra de Juárez. Oaxaca–México.
52. Marinidou, E. 2009. *Estimación del aporte de la cobertura arbórea a la regulación climática y la conservación de la biodiversidad: diseño y aplicación de una metodología en Chiapas, México*. Tesis para optar por el grado de Magister Scientiae en Agroforestería Tropical. CATIE, Costa Rica.
53. Matteucci, S., Colma, A. 1982. *Metodología para el estudio de la vegetación*. Secretaría general de la organización de los estados americanos. Programa regional de desarrollo científico y tecnológico. Washington D.C. USA
54. Melo, L.H. y M.A. Camacho. 2005a. *Adaptación de la metodología Corine Land Cover para Colombia*. pp. 1-14. Semana de Geomática - 2005. Bogotá
55. Melo, L.H. y M.A. Camacho. 2005b. *Interpretación visual de imágenes de sensores remotos y su aplicación en levantamientos de cobertura física y uso de la tierra*. IGAC, Bogotá D.C. 156 p.
56. Millennium Ecosystem Assessment - MEA. 2005. *A Report of the Millennium Ecosystem Assessment*. Ecosystems and Human Well-being.
57. MEA. 2003. *Ecosystem and human well-being: A framework for assessment*. Island Press, Washington, D.C. 266 pp.
58. Mindreau, M; Vásquez, R; Lucio, L; Arnillas, C; Tovar, A; Álvarez, J; Romo, M. y Leo, M. 2013. *Criterios, metodologías y lecciones aprendidas para la identificación de zonas prioritarias para la conservación de la biodiversidad*. Lima, Perú. 129 pp.

59. Ministerio del Ambiente - MINAM. 2014. Mapa Nacional de Cobertura Vegetal. Lima.
60. MINAM. 2015. *Guía nacional de valoración económica del patrimonio natural*. MINAM. Lima.
61. MINAM. 2015. *Guía de inventario de la flora y vegetación*. Dirección General de evaluación, valoración y financiamiento del Patrimonio Natural. Lima.
62. Morgan, R.P.C. 2005. *Soil Erosion & Conservation*. Thirt edition. Blacwell
63. Science Ltd. National Soil Resources Institute. Cranfield University.
64. Mostacero, J.; Mejia, F.; Gamarra, O. 2002. *Taxonomía de las fanerógamas útiles del Perú*. Volúmen I y II. CONCYTEC. Trujillo.
65. National Research Council - NRC. 2005. *Valuing Ecosystem Services. Toward better environmental decision making*. National Research Council Academies. Washington D.C.
66. Norberg. J. 1999. *Linking Nature´s Services to Ecosystems: Some General Ecological Concepts*. Ecological Economics. 29 (29. PP. 183-202
67. Ordoñez, J.J. 2012. Cartilla Técnica: *Balance hídrico superficial*. SENAMHI – Sociedad Geográfica de Lima. Foro peruano para el Agua – GWP Perú. ISBN: 978-9972-602-75-7.
68. Pico, J. N., Chará, J., Murgueitio, R., Zuluaga, A., Giraldo, C., Hergoualc'h, K., y Andrade, J. E. 2011. *Evaluación de servicios ambientales en sistemas agroforestales con café bajo diferentes tipos de certificaciones en Turrialba, Costa Rica* (No. Thesis P598e). CATIE, Turrialba (Costa Rica).
69. Posada, E.; Ramírez, H.M y Espejo, N.C. 2012. *Manual de prácticas de percepción remota con el programa ERDAS IMAGINE*. Bogotá
70. Portugal, M. 2011. *Fundamento teórico práctico de percepción remota y sistema de información Geográfica*. UNALM. Lima.
71. Programa de Adaptación al Cambio Climático, SENAMHI. 2011. *Caracterización Climática de las Regiones Cusco y Apurímac*.
72. Ramos, C. L. 2011. *Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río Cañete y determinación del mapa de erosión*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima.
73. Reynel, C.; Pennington. T.D.; Pennington. R.T. 2016. *Árboles del Perú*. UNALM. Lima. ISBN: 978-612-00-2232-0.

74. SENAMHI, 2007: *Escenarios de cambio climático en la cuenca de los ríos Mantaro y Urubamba para el año 2100*. Proyecto Regional Andino de Adaptación – PRAA. Eds. SENAMHI – MINAM, Perú.
75. Servat, G.P.; Mendoza, W. y Ochoa, J.A. 2002. *Flora y fauna de cuatro bosques de Polylepis (ROSACEAE en la Cordillera del Vilcanota (Cusco, Perú)*. *Ecología Aplicada* Vol. 1, N° 1, pp25-35.
76. Strahler, A. 1952. *Geografía física*. Edit. Omega. Barcelona, España.
77. TRAGSA. Empresa de Transformación Agraria S.A. 1994. *Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión*. Mundi-Prensa. Madrid, España.
78. Tupayachi, A. 1993. *Forestales nativos andinos en frutos*. Facultad de Ciencias Biológicas. UNSAAC – Cusco.
79. Tupayachi, A. 2004. *Evaluación de los bosques alto andinos de Polylepis (Rosaceae) del Valle Sagrado de los Inkas, para una propuesta de área de conservación regional (ACR)*. Tesis para optar el grado de Magister en Ciencias Mención en Ecología y Recursos Naturales. UNSAAC – Cusco.
80. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza – UICN, 2008. *Manual de Procedimientos para la Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas de América del Sur*. Quito, Ecuador.
81. Vásquez, A. 2000. *Manejo de Cuencas Alto Andinas*. Tomo I y Tomo II. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima.
82. Velázquez, A.; Mas, J.F.; Díaz, J.R.; Mayorga, R.; Alcántara, P.C.; Castro, T.; Fernández, G.; Bocco, E.; Ezcurra, E. y Palacio, J.L. 2002. *Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México*. *Gaceta Ecológica* #62. INE. México.
83. Walsh Perú. 2007. *Estudio de Impacto Socioambiental del Corredor Vial Interoceánico Sur, Perú-Brasil Tramo 3*. Lima.

**Páginas web:**

- <http://www.agrored.com.mx/agrocultura/62-temperatura.html>
- <http://www.senamhi.gob.pe/?p=0601>
- <http://www.minag.gob.pe/>
- <http://www.guamanpoma.gob.pe/>
- <http://www.inei.gob.pe/>

## Anexo 1: Encuesta.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE CIENCIAS \_ ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA

**Tesis: Evaluación temporal de los servicios ambientales en la cuenca del río Pumahuanca, Urubamba - Cusco**

Ficha de encuesta N°.....

Buenos., mi nombre es...soy investigador de la UNSAAC , estoy realizando una entrevista para identificar los servicios ecosistémicos generados en la cuenca del río Pumahuanca. Sólo necesito que usted me brinde unos minutos de su tiempo. Además, tenga la seguridad que la información proporcionada por usted será manejada con absoluto anonimato.

**Por favor, le recuerdo que no existe respuesta correcta o incorrecta.**

### **Antecedentes**

1. ¿Hace cuánto tiempo vive o está relacionado (a) con la cuenca del río Pumahuanca?

.....

2. ¿Considera usted que han existido cambios en los RR. NN de la cuenca?

Si\_\_ **[Si, pasar a la pregunta 3]** No\_\_ **[No, pasar a pregunta 5]**

3. ¿Cuáles han sido esos cambios?

Disminución de bosque\_\_ Disminución del agua\_\_ Bajo rendimiento de cultivos\_\_

Retroceso de la nieve\_\_ Otros:.....

### **Situación actual de la cuenca**

4. ¿Qué problemas con respecto a los RR. NN considera que existen en la cuenca?

Tala de bosque\_\_ Contaminación del agua\_\_ quema de pastizales\_\_

Crecimiento urbano\_\_ Otro.....

5. ¿Cuáles son para Ud. las causas para que se produzcan estos cambios?

Sobrepoblación\_\_ Cambio Climático\_\_ Contaminación\_\_

Otro.....

6. ¿Me podría mencionar que instituciones trabajan/ron para promover la protección de los RR. NN en la cuenca?

ONG\_\_ organización comunal\_\_ municipalidad\_\_ Ninguno\_\_

Cuál y qué actividad realiza/ó.....

**Concepción de Servicios Ecosistémicos o ambientales.**

7. ¿Qué recursos Usted utiliza de la cuenca?

Recurso: Leña\_\_ Plantas medicinales\_\_ pesca\_\_ Cultivos\_\_ Otro (cual) \_\_\_\_\_

Cantidad:

Frecuencia:

8. ¿En qué zonas específicas dentro de la cuenca se generan dichos recursos?

Tiempo (años)	Leña__	Plantas medicinales__	Pesca__	Cultivos__	Otro (cuál) _____
Hace 20					
Hace 10					
Actual					

9. ¿De los mencionados cual considera que es el más importante en la cuenca?

Leña\_\_ plantas medicinales\_\_ pesca\_\_ Cultivos\_\_ Otro\_\_

10. ¿En qué zonas está disminuyendo la generación del recurso?

Parte alta\_\_ Parte media\_\_ Parte baja\_\_ Toda la cuenca\_\_

Especifique o señale.....

**Estrategia de intervención**

11. ¿Qué actividades se deberían desarrollar en la cuenca para asegurar la conservación de los RR. NN?

Reforestación\_\_ Protección del bosque\_\_ Protección de fuentes de agua\_\_

12. ¿Considera usted que se debería incentivar a las personas o instituciones que realizan actividades que promuevan la existencia de RR. NN en la cuenca?

Si\_\_ [Si, pasar a la pregunta 14] No \_\_[No, pasar a la pregunta 15]

Por qué.....

13. ¿Estaría usted dispuesto a participar para que se ejecuten actividades que promuevan la protección de los RR. NN en la cuenca?

Si\_\_ No\_\_

14. ¿Cómo se considera usted: beneficiario o proveedor de los servicios ambientales (aprovecha los recursos o los cuida para que otros se beneficien), por qué?

.....

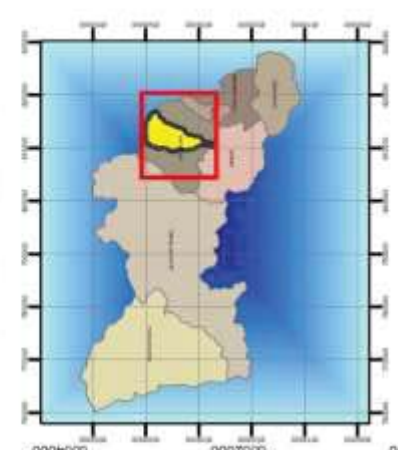
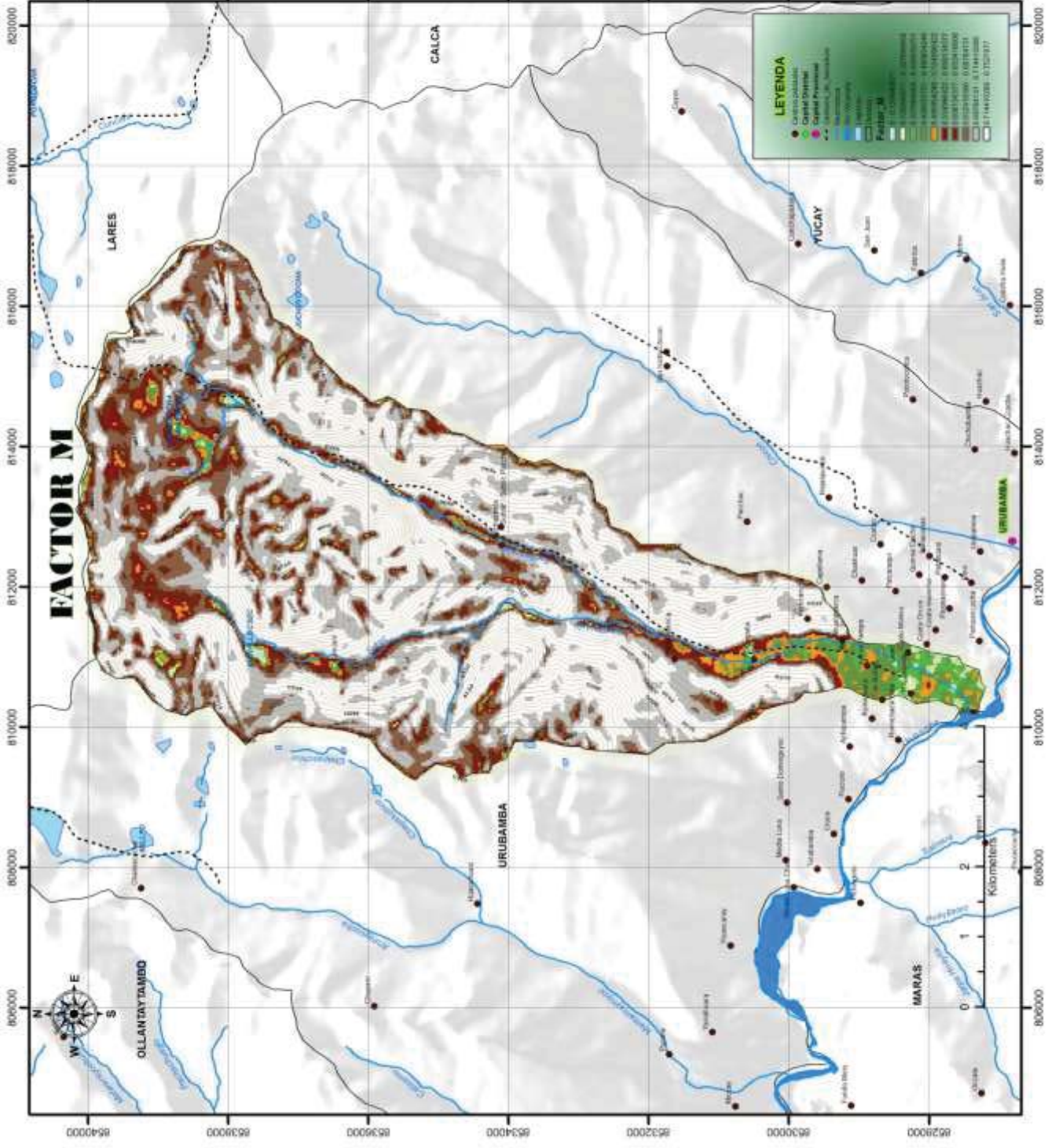
**Información adicional**

Edad..... Género..... Nivel de Escolaridad.....

Comunidad/anexo/sector..... N° de personas en casa.....

Fecha \_\_\_/\_\_\_/2015





UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
 ABAJ DEL CUSCO  
 FACULTAD DE CIENCIAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA

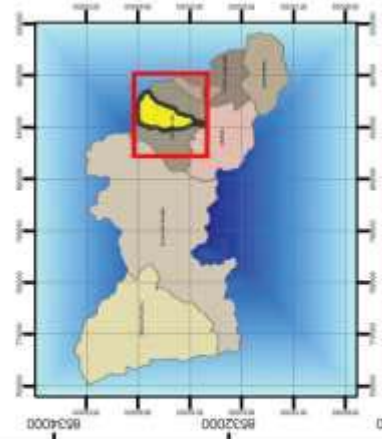
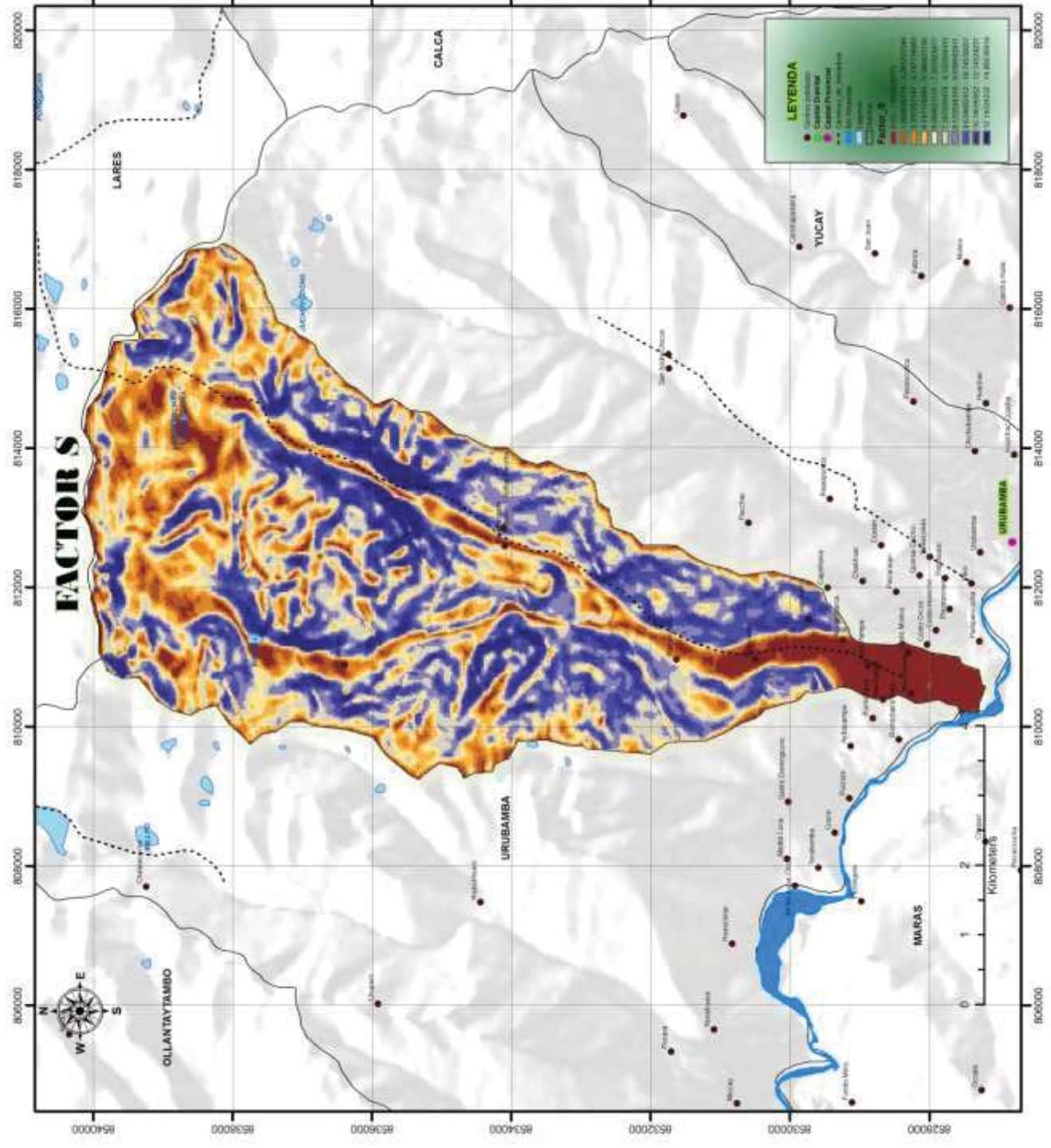
TESIS

"EVALUACIÓN TEMPORAL DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RÍO URUBAMBA, CUSCO"

Nombre	Fecha	Página 17	
Apellido	01/03/2016	99	
Nombre	01/03/2016	99	
Apellido	01/03/2016	99	







**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO**  
**ARAB DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**INSTITUTO PROFESIONAL DE INGENIERIA**

**TE 95:**  
 "EVALUACION TEMPORAL DE LOS SERVICIOS AMBIENTALES  
 EN LA CUENCA DEL RIO URUBAMBA, URUBAMBA - CUSCO"

Proyecto 2014	Fecha	Autores	Revisó
Elaborado por	1.12.2016	ALVARO DIAZ	ALVARO DIAZ
Revisado por	1.12.2016	ALVARO DIAZ	ALVARO DIAZ
Corregido por	1.12.2016	ALVARO DIAZ	ALVARO DIAZ
Revisado por	1.12.2016	ALVARO DIAZ	ALVARO DIAZ

95

**LEYENDA**

- Población Urbana
- Producción Agrícola
- Área Agrícola
- Bosque
- Agua
- Carreteras
- Factor\_5

1. Población Urbana (0-100000) (Rojo)  
 2. Producción Agrícola (100000-200000) (Naranja)  
 3. Área Agrícola (200000-300000) (Amarillo)  
 4. Bosque (300000-400000) (Verde)  
 5. Agua (400000-500000) (Azul)  
 6. Carreteras (500000-600000) (Púrpura)  
 7. Factor\_5 (600000-700000) (Violeta)

## Anexo 5: Panel fotográfico



**Foto 1:** Encuesta a pobladora de la parte alta de la cuenca.



**Foto 2:** Encuesta a poblador de la parte alta de la cuenca.



**Foto 3:** Encuesta a poblador de la parte baja de la cuenca.



**Foto 4:** Encuesta a vendedoras de plantas medicinales extraídas de la cuenca (Feria de semana santa).



**Foto 5:** Encuesta a vendedoras de plantas medicinales extraídas de la cuenca (Feria de semana santa).



**Foto 6:** Servicio Ambiental de Provisión de especies medicinales (Feria de Semana Santa - Urubamba)



**Foto 7:** Servicio Ambiental de Provisión de especies ornamentales (Feria de Navidad - Urubamba)



**Foto 8:** Servicios culturales: variedad de paisajes con potencial ecoturístico.



**Foto 9:** Servicios culturales: Actividades turísticas (Inicio de la ruta de Urubamba hacia Lares)



**Foto 10:** Z Servicios culturales, Zona arqueológica en la parte alta de la Cuenca.



**Foto 11:** Servicio de Provisión de recurso extractivos (leña)



**Foto 12:** Servicio de provisión de Tierra para cultivos y ganadería (Parte baía)



**Foto 13:** Muestreo de aguas de la Parte alta de la cuenca (Temperatura)



**Foto 14:** Muestreo de aguas Para OD (Proceso de fijación de muestra)



**Foto 15:** Muestro de aguas para análisis fisicoquímico y microbiológico.



**Foto 16:** Sección transversal del cauce para edición de caudales por el método del flotador (Parte alta)



**Foto 17:** Medición de DAP, altura y diámetro de copa de especies arbóreas en una parcela de la cuenca.



**Foto 18:** Muestreo de suelos en diferentes partes de la Cuenca.



**Foto 19:** Registro de avifauna en la parte alta de la Cuenca



**Foto 20:** Registro de avifauna en la parte media de la Cuenca



**Foto 21:** Plantaciones de forestales exóticos (*Eucalyptus globulus*) en la margen derecha de la Cuenca



**Foto 22:** Vegetación Ribereña paralelo al camino de ascenso hacia la parte alta.



**Foto 23:** Matorral xerofítico de la margen izquierda de la cuenca baja.



**Foto 24:** Bosque Húmedo de Valles interandinos en la parte media.





**Foto 25:** Cultivos en secano en la parte alta de la margen izquierda de la cuenca (haba, avena, etc.)



**Foto 26:** Cultivos del piso de valle en la cuenca (maíz, hortalizas, etc.)



**Foto 27:** Actividades agropecuarias de los pobladores de la cuenca alta



**Foto 28:** Producción de frutales de piso de valle.



**Foto 29:** Ocupación poblacional de la parte alta de la cuenca y campamentos turísticos.



**Foto 30:** Ocupación urbana en la parte baja y media de la cuenca.



**Foto 31:** Inicio de los parches boscosos de *Polylepis* en la parte alta.



**Foto 32:** Bofedales en la cabecera de cuenca Pumahuanca.



**Foto 33:** Pequeñas Lagunas atoandinas en las partes altas de la cuenca.



**Foto 34:** Laguna Lamarcocha en la parte alta margen izquierda quebrada Sutoq



**Foto 35:** Cobertura de Nieve en el sector Capacsaya.



**Foto 36:** Desembocadura del río Pumahuanca en el río Vilcanota