CODIGO B1
M-21634

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL Y ACADÉMICA DE BIOLOGÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN
PROPIEDAD DE LA BIBLIOTECA DE BIOMÉDICAS
AREQUIPA - PERU

"SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS BOSQUES DE *POLYLEPIS* DEL ÁREA DE CONSERVACIÓN PRIVADA UCHUMIRI MARZO A MAYO 2015"

Tesis presentada por el bachiller en Ciencias Biológicas: JORGE DANIEL CUADROS ADRIAZOLA. Para optar el Título Profesional de Biólogo.

AREQUIPA – PERÚ

2015

Ubicacion Física - B-1
K-03-04-12

DEDICATORIA

Dedico este trabajo:

A Dios por darme la oportunidad.

A mis padres Felix y Nelida por su amor y compañía en todo momento.

A mi hermano José por ser mi compañero de toda la vida

AGRADECIMIENTOS

Como mi apoyo y motivación.

Quisiera agradecer a Dios por su amor y perdón infinito.

A mi familia por ser las personas que me han empujado en este logro.

A mi padre Felix y madre Nelida por ser mi ejemplo y fortaleza,

A mis tíos Miguel y Sara por estar en los momentos que más los necesité.

A mi hermano José por su preocupación y consejos.

A Nataly Guzmán por su compañía y ayuda durante toda la universidad y disfrutar los momentos buenos y malos.

A todas estas personas gracias por su cariño y presencia incondicionales.

En la realización del presente trabajo.

Quisiera agradecer al Gerente del ARMA del año 2015 Dr. Zacarías Madariaga por contactarme con el PZEE – OT y su valiosa información.

A los miembros de la ONG AEDES los cuales me proporcionaron muchos datos importantes para la realización del presente trabajo. Con una mención especial para la Ing. Ingrid Chino una persona muy amable y que me impulsó en el desarrollo de esta

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

RESUMEN

OBJETIVOS

1. CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO 5

1.1. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS 5
1.2. RETRIBUCIÓN POR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS 6
1.3. ACP UCHUMIRI 7
1.3.1. Hidrología 8
1.3.2. Clima 9
1.3.3. Geología 9
1.3.4. Suelos 10
1.4. *POLYLEPIS* 11
1.5. INVEST 12
1.5.1. Servicio Retención de Sedimentos 13
1.5.2. Servicio de Carbón 14
1.5.3. Servicio de Calidad de Hábitat 16
1.6. ANTECEDENTES 17
1.6.1. Del ACP Uchumiri 17
1.6.2. CON INVEST 18
1.7. ÁREA DE ESTUDIOS 19

2. CAPITULO II: METODOLOGÍA 20

2.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 20
2.2. MODELO DE RETENCIÓN DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS 21
2.2.1. GENERACIÓN DE DATOS DE ENTRADA 23
2.2.1.1. Mapa de Clases de Cobertura 23
2.2.1.2. Factor de Cobertura (C) 27
2.2.1.3. Factor de Prácticas de Manejo (P) 29
2.2.1.4. Factor de Erosividad de la Lluvia (R) 29
2.2.1.5. Factor de Longitud e Inclinación de la pendiente (LS) 32
2.2.1.6. Factor de Erosionabilidad del Suelo (K) 34
2.2.2. MODELAMIENTO 42
2.2.3. VALIDACIÓN 43
2.3. SERVICIO DE ALMACENAMIENTO DE CARBÓN 43
2.3.1. GENERACIÓN DATOS DE ENTRADA 45
2.3.1.1. Mapa de Clases de Cobertura 45
2.3.1.2. Tabla de Contenido de Carbón Almacenado 45

2.3.2. MODELAMIENTO 57
2.3.3. VALIDACIÓN 57
2.4. SERVICIO DE CONSERVACIÓN DE LA AVIFAUNA 58
2.4.1. GENERACIÓN DATOS DE ENTRADA 60
2.4.1.1. Mapa de Clases de Cobertura 60
2.4.1.2. Valor de Idoneidad de Hábitat 66
2.4.1.3. Mapa de Amenazas presentes 64
2.4.1.4. Atributos de las Amenazas 64
2.4.2. MODELAMIENTO 66
2.4.3. VALIDACIÓN 67

3. CAPITULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 68

3.1. SERVICIO DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS 68
3.1.1. Resultados 69
3.1.2. Discusión 70
3.1.2.1. Retención de Sedimentos 70
3.1.2.2. Incertidumbre 72
3.2. SERVICIO DE ALMACENAMIENTO DE CARBÓN 73
3.2.1. Resultados 73
3.2.2. Discusión 75
3.2.2.1. Contenido de Carbón 75
3.2.2.2. Incertidumbre 79
3.3. SERVICIO DE CALIDAD DE HÁBITAT PARA LA CONSERVACIÓN DE LA AVIFAUNA 79
3.3.1. Resultados 79
3.3.2. Discusión 75
3.3.2.1. Calidad de Hábitat 75
3.3.2.2. Incertidumbre 78

4. CONCLUSIONES 85

5. RECOMENDACIONES 88

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 90

ÍNDICE DE MAPAS:

Mapa N° 1: Ubicación del Área de Conservación Privada Uchumiri 18

Mapa N° 2: Clases de Cobertura del ACP Uchumiri 24

Mapa N° 3:	Erosividad de la lluvia del ACP Uchumiri	31
Mapa N° 4:	Modelo de Elevación Digital del ACP Uchumiri	34
Mapa N° 5:	Ubicación de Muestras Compuestas de Suelo en el ACP Uchumiri	36
Mapa N° 6:	Factor de Erosionabilidad del Suelo del ACP Uchumiri	42
Mapa N° 7:	Parcelas de Muestreo del contenido de Carbón en los Bosques de *Polylepis* del ACP Uchumiri	46
Mapa N° 8:	Amenazas a la calidad del hábitat para la conservación de la Avifauna del ACP Uchumiri	65
Mapa N° 9:	Cantidad de Sedimentos Retenidos por los Bosques de *Polylepis* en el ACP Uchumiri	69
Mapa N° 10:	Contenido de Carbón almacenado en el ACP Uchumiri	75
Mapa N° 11:	Calidad de hábitat para la conservación de la avifauna del ACP Uchumiri	81

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla N°1:	Clases de Cobertura del ACP Uchumiri	24
Tabla N° 2:	Valores del Factor C por clase de Cobertura del ACP Uchumiri	28
Tabla N° 3:	Valores de Erosividad en las Estaciones Meteorológicas del SENAMHI	30
Tabla N° 4:	Muestras Compuestas de Suelos por Clase de Cobertura del ACP Uchumiri	36
Tabla N°5:	Clase textural de las muestras compuestas	38
Tabla N° 6:	Contenido de Materia Orgánica de las muestras compuestas	40
Tabla N° 7:	Valores del Factor de Erosionabilidad del Suelo del ACP Uchumiri	41
Tabla N° 8:	Biomasa de Parcelas de estudio de Bosques de Polylepis	

	Denso en Kg	49
Tabla N° 9:	Biomasa de Parcelas de estudio de Bosques de Polylepis Semidenso en Kg	50
Tabla N° 10:	Biomasa de Parcelas de estudio de Bosques de Polylepis Disperso en Kg	51
Tabla N° 11:	Biomasa Aérea de las clases de cobertura restantes del ACP Uchumiri	53
Tabla N° 12:	Biomasa Subterránea de las Clases de Cobertura del ACP Uchumiri	54
Tabla N° 13:	Contenido de Carbón en los suelos de las Clases de Cobertura del ACP Uchumiri 56	
Tabla N° 14:	Tabla de Contenidos de Carbón almacenado en las clases de Cobertura del ACP Uchumiri	57
Tabla N° 15:	Especies de Aves Endémicas presentes en el ACP Uchumiri	62
Tabla N° 16:	Especies de Aves Amenazadas presentes en el ACP Uchumiri	63
Tabla N° 17:	Especies de Aves Migratorias presentes en el ACP Uchumiri	64
Tabla N° 18:	Índice de Valor Ornitológico de las clases de cobertura presentes en el ACP Uchumiri	64
Tabla N° 19:	Contenido de carbón en la Biomasa aérea de los Bosques de *Polylepis* en Perú y Ecuador	77
Tabla N° 20:	Contenido de Carbón almacenado en los Bosques Nublados de Ecuador y Perú y los bosques de *Polylepis* del ACP Uchumiri	78

INTRODUCCIÓN

Los servicios ecosistémicos son los beneficios económicos, sociales y ambientales, directos e indirectos, que las personas obtienen del buen funcionamiento de los ecosistemas, tales como la regulación hídrica en cuencas, el mantenimiento de la biodiversidad, el secuestro de carbono, la belleza paisajística, la formación de suelo, la provisión de recursos genéticos y constituyen patrimonio de la nación (Ley N° 30215, Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos).

El género *Polylepis* comprende 28 especies de árboles y arbustos endémicos de los Andes Sudamericanos. Se encuentran ubicados desde Venezuela hasta Argentina a altitudes por encima de los 3500 msnm y se distribuyen formando parches boscosos restringidos a laderas rocosas y quebradas montañosas. El Perú cuenta con 14 de estas especies, de las cuales 3 son endémicas del territorio peruano y se estima un 98% de pérdida de su cobertura original debido al sobrepastoreo, extracción y quema m (Kessler y Schmidt-Lebuhn 2005; Simpson 1979; Fjeldsa y Kessler 1996)

Los bosques de *Polylepis* brindan importantes servicios ecosistémicos relacionados con la provisión y regulación del agua, el secuestro de carbono y la conservación de la biodiversidad. Sin embargo, son ecosistemas altamente amenazados por actividades humanas, poniéndolos en peligro y degradando la provisión de sus servicios ecosistémicos (Fjeldsa y Kessler 1996, Auca 2005, Buytaert et al. 2006, Fehse et al. 2002).

En el departamento de Arequipa se registran 3 especies, P. microphylla, P. tomentella y P. rugulosa, de las cuales las dos primeras están categorizadas por el estado como especies En Peligro y la última como especie Vulnerable (D.S. N° 043 – 2006 – AG). Como medida de conservación se han creado diferentes Áreas Naturales Protegidas como la Reserva Nacional de Salinas y aguada Blanca, la Reserva Paisajística de la Subcuenca de Cotahuasi, el Área de Conservación Privada Huamanmarca – Ochuro – Tumpullo y el Área de Conservación Privada Uchumiri. A pesar de ello las especies se encuentran amenazadas por tala y sobrepastoreo, por lo que es necesario optar por modalidades adicionales de

conservación, como los Pagos pos Servicios Ecosistémicos (Mendoza et al. 2008).

Los Pagos por Servicios Ecosistémicos, son una herramienta de conservación, manejo sostenible de ecosistemas y del bienestar de las poblaciones que viven en dichos ecosistemas (Capella y Sandoval 2012). Funcionan como mecanismos que brindan incentivos financieros a los propietarios o administradores de tierras, cuyas acciones aseguren el mantenimiento de los beneficios generados por los ecosistemas (Sommerville et al 2009). El estado Peruano regula este tipo de incentivos a través de la Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos, y establece como primer elemento para su diseño la caracterización de la estructura y función del ecosistema y sus servicios (Ley N 30215, MINAM 2014).

El presente trabajo se desarrolló en el Área de Conservación Privada Uchumiri, reconocida por la Resolución Ministerial N 007 – 2009 – MINAM, se distribuye en una extensión de 10 253 ha, como parte del área de la Comunidad Campesina de Uchumiri ubicada en el distrito de Yanaquihua, provincia de Condesuyos, Departamento y Región Arequipa, próximo al nevado Coropuna y en la cabecera de la subcuenca Chorunga. Esta ACP, tiene como objetivo la Conservación de los valores de diversidad biológica, cultural y paisajística, que comprenden los ecosistemas de bosques nativos de *Polylepis* y humedales asociados a zonas nivales, en una relación armoniosa entre las actividades económicas de la población y los recursos naturales, fomentando el desarrollo humano de los comuneros (Plan Maestro ACP Uchumiri)

El objetivo general del presente trabajo fue cuantificar los servicios ecosistémicos que proveen los bosques de *Polylepis* del Área de Conservación Privada Uchumiri, para la futura implementación de un Mecanismo de Pago por Servicios Ecosistémicos. Los servicios evaluados fueron el almacenamiento de carbono, la calidad de hábitat para la conservación de la avifauna y la retención de sedimentos. La cantidad de servicios ecosistémicos prestados fue determinada usando tres modelos del software InVEST (Valoración Integral de Servicios Ecosistémicos y Compensaciones) desarrollado por Natural Capital Project.

RESUMEN

Se determinó el nivel de provisión de los servicios ecosistémicos de los bosques de *Polylepis* del Área de Conservación Privada Uchumiri utilizando modelos biofísicos InVEST en un entorno de sistema de información geográfica, con datos obtenidos de la ONG AEDES, el PZEE –OT de la Región Arequipa, SENAMHI, sensores remotos (ASTER GDEM y LANDSAT 8) y estudios de campo. Se determinaron dos servicios ecosistémicos finales (la retención de sedimentos y el almacenamiento de carbono) y un servicio ecosistémico intermedio (la conservación de la avifauna).

Los bosques retienen un total de 1.66 millones de toneladas de sedimentos al año, lo que representa una retención del 70% de sedimentos totales. Estos sedimentos llegarían a la represa "Occoruro – Pampa" ubicada aguas abajo de los bosques si es que estos no existieran, degradando las funciones de la represa y contaminando el agua para los usuarios. En consecuencia los bosques prestan un servicio de provisión de agua de calidad, purificación del agua y evitan el costo del drenado de los sedimentos potenciales.

Los bosques se extienden en un área de 2400 hectáreas, en donde se encuentra almacenado más de 19 mil Toneladas de carbono, de las cuales el 92% se encuentra en el carbono del suelo y el 8% restante en la biomasa aérea y subterránea, cumpliendo un servicio de purificación de la atmósfera y amortiguando los efectos del cambio climático. Esta cantidad es comparable al carbono almacenado en los bosques de neblina del Perú y Ecuador, demostrando el gran potencial de los bosques de *Polylepis* para entrar a mecanismos de compensación como bonos de carbono y regímenes REDD+. En consecuencia los bosques

Dentro de los bosques se registraron 6 especies de aves endémicas, 2 especies de aves en algún grado de amenaza y 5 especies de aves especialistas de los bosques. Los bosques presentan un valor óptimo de calidad de hábitat para la conservación de estas aves y el amortiguamiento de los cambios en la distribución de las especies de fauna por efectos del cambio climático. Por lo tanto bridan un servicio de protección del capital natural del Perú.

Debido a estos servicios que brindan los bosques de *Polylepis* es que permiten alinear los beneficios generados a las personas y los intereses de conservación de la biodiversidad en el ACP Uchumiri. Por lo que se recomienda el diseño de un mecanismo de retribución de servicios ecosistémicos que sirva como apoyo a las medidas tomadas por el ACP Uchumiri que permiten la conservación de sus bosques, sus servicios derivados y su desarrollo como comunidad.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Cuantificar los Servicios Ecosistémicos de los Bosques de *Polylepis* del Área de Conservación Privada Uchumiri; Almacenamiento de Carbón, Calidad de Hábitat para la Conservación de la Avifauna y la Retención de Sedimentos

Objetivos específicos:

- Determinar la cantidad de carbón almacenado en Toneladas por Hectárea en los Bosques de *Polylepis* del ACP Uchumiri.
- Determinar la Calidad de Hábitat para la conservación de la Avifauna de los Bosques de *Polylepis* del ACP Uchumiri.
- Determinar la cantidad de sedimentos retenidos por los Bosques de *Polylepis* del ACP Uchumiri.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN
PROPIEDAD DE LA BIBLIOTECA DE BIOMÉDICAS
AREQUIPA - PERU

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS:

Los servicios ecosistémicos son definidos como los beneficios económicos, sociales y ambientales, directos e indirectos, que las personas obtienen del buen funcionamiento de los ecosistemas. Entre ellos se cuenta la regulación hídrica en cuencas, el mantenimiento de la biodiversidad, el secuestro de carbono, la belleza paisajística, la formación de suelos y la provisión de recursos genéticos, entre otros.(Ley N° 30215, Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos)

Los argumentos de los servicios ecosistémicos resaltan que los humanos en diversas formas se verán tan perjudicados como otras especies en estos ecosistemas si la degradación continúa. Las personas necesitan capital natural para su bienestar, mientras que los ecosistemas necesitan el capital natural para permanecer saludables y en ambos casos la salud del ecosistema está directamente vinculada al bienestar humano.

Según el reporte del Millenium Ecosystem Assessment, los servicios ecosistémicos se pueden clasificar en cuatro tipos 1) servicios de soporte (formación de suelos, ciclo de nutrientes), 2) servicios de provisión (alimento, agua limpia), 3)servicios de regulación (purificación del agua, regulación del clima) y 4) servicios culturales (recreación y turismo, estéticos y espirituales) (MA, 2005).

Fischer et al. 2008, matiza como servicios ecosistémicos a todos los aspectos de los ecosistemas utilizados activa o pasivamente para producir bienestar humano, y considera, que los servicios pueden incluir tanto su aspecto de organización (estructura) como de operación (producción).

Siendo servicios intermedios o finales y estos últimos son los que generarían un beneficio consumible por la sociedad. Estos servicios deben cumplir tres características básicas: 1) consiste en un fenómeno ecológico, 2) no son siempre utilizados directamente lo cual influye dentro de la definición a la estructura, procesos o funciones ecológicas, y 3) proveen un servicio a las personas.

La UK National Ecosystem Assessment (2011) ha incorporado avances posteriores a Millennium Ecosystem Assessment, para la valoración económica de los servicios ecosistémicos. Ello se centra en los servicios ecosistémicos finales que se traducen en bienes, con la finalidad de evitar la doble contabilidad de servicios, los cuales forman parte de un conjunto de procesos ecosistémicos. intermedios.

El uso de servicios ecosistémicos en proyectos de conservación es diverso y muy difundido (Tallis et al. 2009), catalizando el desarrollo de los mercados y los programas de pago, y fomentando el debate sobre las mejores prácticas para el diseño de este tipo de incentivos (Goldman et al. 2008, Jack et al. 2008).

1.2. RETRIBUCIÓN POR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

Son los esquemas, herramientas, instrumentos e incentivos para generar, canalizar, transferir e invertir recursos económicos, financieros y no

financieros, donde se establece un acuerdo entre contribuyentes y retribuyentes al servicio ecosistémico, orientado a la conservación, recuperación y uso sostenible de las fuentes de los servicios ecosistémicos (Ley N° 30215, Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos).

La retribución de los servicios ecosistémicos puede darse de diferentes maneras, de las cuales las más difundidas son el Pago por Servicios Ecosistémicos, la Compensación por Servicios Ecosistémicos y los Incentivos por Servicios Ecosistémicos.

Los Pagos por Servicios Ecosistémicos son una transacción voluntaria en la que un servicio ambiental bien definido, o un uso del suelo que garantice dicho servicio, es adquirido por uno o más compradores del servicio, a uno o más vendedores de dicho servicio, si y solo si el vendedor del servicio se compromete a suministrar dicho servicio por un periodo definido (Pagiola et al. 2002, Pagiola et al. 2005, Wunder 2005).

La Compensación por Servicios Ecosistémicos (CSE) indica explícitamente que se debe compensar los costos ya asumidos o los costos de oportunidad futuros de aquellas personas rurales que custodian los ecosistemas. (Kandel et al. 2003, Porras et al. 2005).

Incentivos por Servicios Ecosistémicos consisten en la transferencia de recursos (monetarios o no monetarios) entre actores sociales, con el fin de crear incentivos para alinear decisiones individuales o colectivas sobre el uso de ecosistemas con los intereses públicos en el manejo de los recursos naturales (Muradian et al. 2010).

1.3. ACP UCHUMIRI:

El ACP se distribuye en una extensión de diez mil doscientos cincuenta y tres hectáreas (10 253 ha), como parte del área de la Comunidad Campesina de Uchumiri ubicada en el distrito de Yanaquihua, provincia de Condesuyos, departamento/Región de Arequipa, próximo del nevado Coropuna y en la cabecera de la subcuenca Chorunga. El espacio ocupado

BIBLIOTECA DE BIOMEDICAS

por el ACP es parte de las zonas de captación de la cuenca del Ocoña, relacionada a las grandes masas glaciares del nevado Coropuna, que ahora están siendo impactados por los fenómenos de deglaciación, y los procesos de desertificación (Plan Maestro Área de Conservación Privada Uchumiri).

Concordante con las orientaciones de la Estrategia Nacional del Sistema de Áreas Naturales Protegidas del Perú - Plan Director, la Comunidad Campesina "contempla la alternativa de que el Área de Conservación Privada impulsará el aprovechamiento directo e indirecto de recursos naturales con fines comerciales, enfocado básicamente a permitir actividades como turismo, manejo sostenible de fauna y flora, y uso de servicios ambientales, de modo tal que contribuyan a la sostenibilidad financiera del área y que generen ingresos de modo compatible con los objetivos de reconocimiento del ACP" (Plan Maestro Área de Conservación Privada Uchumiri).

El objetivo principal del Área de Conservación Privada "Uchumiri" es conservar los valores de diversidad biológica, cultural y paisajística, que comprenden principalmente los ecosistemas de bosques nativos de *Polylepis* y humedales asociados a zonas nivales, en una relación armoniosa entre las actividades económicas de la población y los recursos naturales, fomentando el desarrollo humano de los comuneros (Plan Maestro Área de Conservación Privada Uchumiri).

1.3.1. Hidrología

Las principales fuentes de agua lo constituyen: escurrimiento de los bofedales; dando origen a un sistema de riachuelos, siendo los principales Ajcrihua, Tambillo, Chamala y Agua Blanca, aunque que este último hasta antes de confluir con las otras dos riachuelos, recorre el territorio de la Comunidad Campesina de Huamanmarca – Ochuro – Tumpullo. Los tres riachuelos a medida que descienden se unen para formar el riachuelo Fundición a la altura del sector Condorjenque, para luego confluir con las aguas de la quebrada Uchumiri en el sector Tumpullo, desde donde toma el nombre de río

Piño, y este a la vez confluye con el río Escalerillas para formar el río Chorunga, nombre con la que descarga sus aguas al río Ocoña.

1.3.2. Clima

Propio de zonas semiáridas frías con las siguientes características:

a. Precipitación: En la zona se da un promedio de 250 - 350 mm. Las mayores precipitaciones ocurren entre enero a marzo, en los meses siguientes estas son esporádicas o nulas, durante junio suelen ocurren las nevadas. A falta de estructuras de retención de agua, las precipitaciones pluviales que se presentan en la zona alta de la subcuenca discurren directamente hacia los cursos principales, a esto la variabilidad de las precipitaciones en el tiempo y espacio en las tres últimas décadas.

b. Temperatura: Los registros de temperatura muestran cambios bruscos durante el día, al mediodía, son lo valores más altos, descendiendo bruscamente hacia la noche, las heladas son frecuentes durante el año, siendo más frecuente de mayo a septiembre. La temperatura media es de 13 a 15 °C, con una máxima de 24 °C y una mínima de -2 °C, la gradiente térmica presenta una diferencia de 0.6 ° C por cada 100 metros de elevación.

c. Humedad: La humedad relativa media es 45%; las neblinas originadas en los valles y ascienden por diferencia de presiones a las zonas altas de la cuenca, frecuentes durante de enero y abril, alcanzan valores superiores al 90% de humedad relativa.

1.3.3. Geología

En la zona existen rocas volcánicas que presentan edades desde el terciario al cuaternario reciente, en ellas se desarrolla comunidades de *Polylepis*, posiblemente porque reciben protección frente a los vientos fríos y secos propios de este piso altitudinal, también porque las rocas son excelentes fuentes de captación y liberación de calor y

humedad, generando las condiciones adecuadas para la regeneración natural de *Polylepis* y variada flora, muestra de ello es la presencia de epifitas, musgo y líquenes sobre las propias rocas y la corteza de los árboles. Destacan la presencia de las siguientes formaciones estratigráficas, asociadas en mayor o menor grado con los bosques:

a. Depósitos Aluviales, constituidos por cantos rodados de cuarcitas y rocas intrusivas que han sufrido mucho transporte, presentan una superficie de color rojizo y se encuentran sobre una topografía de relieve moderado, pertenecen al cuaternario reciente.

b. Grupo Barroso Inferior, conformado por lavas andesíticas, dacíticas y basálticas de coloración que van del gris al negro, pertenecen al terciario superior.

c. Formación Sennca, constituida por rocas piro clásticas, entre ellas tobas dacíticas y riodacitas cuyo color predominante es el gris, que puede variar a blanco amarillento y rosado, pertenecen al terciario superior.

d. Grupo Tacaza, conformado esencialmente por ignimbritas, aglomerados, brechas volcánicas y lavas, y pertenecen al terciario medio.

1.3.4. Suelos

En el área se distingue el complejo volcánico del nevado Coropuna, con una elevación de 6,425 msnm. Presenta una gran reserva de agua (nieve perpetua), acusando significativas pérdidas de las masas glaciares, debido al calentamiento global del planeta, que viene acelerando los procesos de deglaciación. Las altiplanicies se caracterizan por la presencia de praderas y colinas de relieve suave con mayor presencia de pastos naturales, matorrales altoandinos, bosques nativos y escasos bofedales. La cobertura vegetal en la zona alta está decreciendo, debido entre otros factores por la sobreexplotación del agua, con fines agrícolas y mineros, asimismo la

extracción de yareta, queñuales, tolares y otros arbustos, con fines comerciales y atender las demandas de la población urbana. En esta unidad fisiográfica se presenta la mayor superficie de bosques de *Polylepis*, sobre laderas con pendientes de moderadamente inclinadas a muy empinadas (8 – 75%), en menor medida y en lugares cerrados es posible encontrar bosques en áreas planas o ligeramente inclinadas (0 – 8 %).

A nivel de grandes grupos de suelos encontramos en esta zona la Asociación Páramo andosol – Litosol andino dístrico. Esta asociación cubre toda la zona de la comunidad campesina y se extiende por encima de los 3900 m.s.n.m. Está conformado por suelos de Páramo, derivados de materiales volcánicos y suelos muy delgados. Presenta una topografía compleja, quebradas asociadas con grandes áreas de relieve suave. Por las condiciones climáticas el potencial agrícola es muy limitado, siendo favorable para el desarrollo de actividades pecuarias en forma extensiva y temporal.

1.4. *POLYLEPIS*:

El género *Polylepis* comprende 28 especies de árboles y arbustos endémicos de los Andes Sudamericanos, ubicados desde Venezuela hasta Argentina a altitudes entre 3500 m y 4400(5000) m (Kessler & Schmidt-Lebuhn 2005; Simpson 1979). La distribución actual de *Polylepis* es muy local formando parches boscosos restringidos a laderas rocosas y quebradas montañosas representando la vegetación natural en la mayoría de los Andes centrales (Kessler 2006).

Los bosques de *Polylepis* brindan importantes servicios ecosistémicos relacionados con la provisión y regulación del agua, la fijación de carbono y el mantenimiento de la biodiversidad (Fjeldsa y Kessler 1996, Auca 2005, Buytaert et al. 2006, Fehse et al. 2002) A pesar de esto, los bosques se encuentran amenazados por actividades antrópicas poniéndolos en peligro y degradando la provisión de sus servicios.

Los bosques de *Polylepis* retienen la precipitación de nieblas de las montañas, siendo una fuente de agua en los periodos secos (Troll 1959; Fjeldsa 2002), también regulan el flujo del agua, reducen problemas de sequía de las comunidades locales y previenen la erosión del suelo. (Fjeldsa & Kessler 1996). La gente local usa los árboles para mantenerse calientes, cocinar, proveerse de luz, carbón y herramientas. (Fjeldsa y Kessler 1996). Sin embargo, los bosques ubicados en zonas de gran altitud son habitada por granjeros de subsistencia, desde la antiguedad pero practicando usos de tierra que destruyen los bosques de *Polylepis*. (Fjeldsa y Kessler 1996; Gade 1999).

Por otro lado, muchas especies raras, endémicas y amenazadas están asociadas a los bosques remanentes de queñoa. (Fjeldsa et al 1999; Fjeldsa 2002). El endemismo de aves en los andes aumenta con la altura y llega a su máximo en los parches de *Polylepis* en Perú frecuentemente aislados y situados por encima de la línea de bosque. (Graves 1985, 1988; Fjeldsa y Kessler 1996; Kessler et al. 2001; Fjeldsa 2002; Fjeldsa e Irestedt 2009).

En el Perú se tiene registro de 14 especies de *Polylepis* de las cuales 3 son endémicas (Kessler & Schmidt-Lebuhn 2005) y se estima una pérdida del 98% de los bosques en el país debido a quema de pastizales, sobrepastoreo y extracción (Fjeldsa & Kessler 1996). En Arequipa se registran 3 *especies P.microphylla* (EN), *P. tomentella*(EN) *y P. rugulosa (VU)*, de las cuales *P. rugulosa* es la más extendida, con un crecimiento lento que no supera los 5 m y formando bosques muy dispersos (Mendoza et al. 2008). *Polylepis rugulosa* se encuentra en la Reserva de Salinas y Aguada Blanca, la Reserva Paisajistica Subcuenca de Cotahuasi, el Área de Conservación Privada (ACP) de Huamanmarca – Ochuro – Tumpullo y el ACP Uchumiri; sin embargo, a pesar de estas medidas de protecccción, la especie se encuentra amenazada por la tala y el sobrepastoreo.

1.5. INVEST:

Valoración Integral de los Servicios Ecosistémicos y sus Compensaciones (InVEST) (http://www.naturalcapitalproject.org/InVEST.html) es un software

libre y gratuito, desarrollado por Natural Capital Project, utilizado para informar y mejorar la gestión de los recursos naturales y las decisiones de inversión. InVEST cuantifica, mapea y valora los bienes y servicios que contribuyen al bienestar de las personas

InVEST es un conjunto de herramienta que permite cuantificar, visualizar y comparar la prestación de los servicios claves de los ecosistemas bajo diferentes escenarios de uso de tierra. Los resultados obtenidos representa la oferta de los recursos naturales en términos biofísicos, los servicios que prestan a las personas o su valor económico resultante. Esta clase de información proporciona un marco para que los gobiernos, empresas privadas, entidades internaciones, organizaciones conservacionistas y otros tomadores de decisiones puedan evaluar los impactos de sus decisiones sobre el medio ambiente y el bienestar humano.

1.5.1. Servicio de Retención de Sedimentos:

La erosión y sedimentación son procesos naturales que contribuyen a ecosistemas sanos, pero demasiado puede tener consecuencias severas. La erosión excesiva puede reducir la productividad agrícola, incrementar las inundaciones y el transporte de contaminantes, y poner en peligro puentes, carreteras e infraestructura energética. La erosión permite la acumulación de sedimentos, en la infraestructura hídrica, como reservorios y sistemas de control de inundaciones e incrementa los costos de tratamiento de agua. El dragado regular de sedimentos puede evitar estos problemas, pero tiene un costo de mantenimiento sustancial.

La magnitud del transporte de sedimentos en una cuenca está determinada por diversos factores. Variación natural en propiedades del suelo, patrones de precipitación, y pendiente influencias los patrones de erosión y la escorrentía de los sedimentos. La vegetación mantiene al suelo en su lugar y captura sedimentos en movimiento. De acuerdo con los cambios en las prácticas de manejo que alteran la vegetación puede cambiar la capacidad de retención de la tierra.

Hay muchos ejemplos claros de los efectos del cambio en el uso de tierras en la erosión y sedimentación. Por ejemplo, los incendios que destruyen áreas significativas de vegetación son frecuentemente seguidos por deslizamientos cuando ocurren fuertes precipitaciones (Meyer et al. 2001). Después del fuego, la vegetación que retenía sedimentos ya no existe y las capas superficiales del suelo se desplazan hacia abajo con una escorrentía superficial. La deforestación resulta en procesos similares, sin embargo en algunos casos puede ocurrir en mayores escalas de tiempo. Incluso en áreas donde la cobertura sigue siendo la misma, un cambio en las prácticas de uso de suelo puede alterar la capacidad de retención de sedimentos de la tierra. La acumulación de sedimentos como resultado del cambio de cobertura de suelo puede causar serios problemas, incluyendo costos de drenado que no fueron anticipados durante el presupuesto original del reservorio. Para reducir los daños y costos asociados a la sedimentación, los encargados de la gestión de agua,, tierra y reservorios, requieren información de como las diferentes partes del paisaje contribuyen a la retención de sedimentos y como los cambios en el uso de tierras afectan esta retención.

1.5.2. Servicio de Carbón:

Los ecosistemas regulan el clima de la Tierra añadiendo o retirando gases de efecto invernadero como CO2 de la atmósfera. De hecho, bosques, pasturas, arbustos, y otros ecosistemas terrestres almacenan mucho más carbón que la atmósfera (Lal 2002). Almacenando este carbón en madera, otra biomasa, y suelo, los ecosistemas libran de CO2 a la atmósfera, lo que contribuye al cambio climático. Más allá de solo almacenar carbón, muchos sistemas continúan acumulándolo en plantas y suelos a través del tiempo, secuestrando carbón cada año. La degradación de esos sistemas con fuego, conversión de tierras puede liberar grandes cantidades de CO2. Otros cambios en el manejo, como reforestación o prácticas agrícolas alternativas, permiten el almacenamiento de

grandes cantidades de CO2. Por eso, la manera como manejemos los ecosistemas terrestres es crítica el regulación del clima.

Como con otros modelos para los que InVEST permite estimar un valor, estamos concentrados en el valor social del secuestro y almacenamiento del carbón, El secuestro y almacenamiento de carbón es por mucho el servicio ecosistémico más reconocido (Stern 2007, IPCC 2006, Canadell y Raupach 2008, Capoor y Ambrosi 2008, Hamilton et al. 2008, Pagiola 2008). El valor social del secuestro de una tonelada de carbón es igual al daño social evitado si es que el carbón permaneciera en la atmósfera (Tol 2005, Stern 2007). El cálculo del costo social es complicado y controversial (Weitzman 2007 y Nordhaus 2007), pero el resultado de su valoración va de 9.55$ a 84.55 $ por tonelada de CO" removido de la atmósfera (Nordhaus 2007 y Stern 2007).

Además el valor social del carbón almacenado y secuestrado, hay muchos mercados emergentes para carbón basados en demanda regulada y voluntaria. El protocolo de Kyoto incluye mecanismos para establecer proyectos que secuestren carbón para ganar créditos, los cuales pueden vender a personas que deban mitigar sus propias emisiones de CO2. Como resultado el Protocolo de Kyoto, la Europe Union Emissions Trading Scheme (EU ETS) ha empezó a regular los contratos en la UE para negociar sus emisiones permitidas. El Chicago Climate Exchange CCX emergío en USA, el cual no es parte del Protocolo de Kyoto. El CCX permite a las partes interesadas en negociar bonos de emisión certificados. EU ETS y CTX tienen precios alrededor de los 25 Euros y 6 $ por tonelada métrica de carbón retenida, en base a Abril del 2008. Además de estos mercados centralizados, hay un mercado sustancial de bonos de emisiones voluntarios.

Actualmente estos mercados solo aplican al secuestro, pero hay un aumentos en el interés de financiar incentivos para evitar la libración de carbón de estos ecosistemas en primer lugar, llamados "reducción

de emisiones por deforestación y degradación forestal" o "REDD" (Gibbs et al. 2007, Mollicone et al. 2007, Mackey et al. 2008). Los pagos por REDD pueden financiar a los dueños de los derechos de los bosques por revertir su plan de deforestación (Sedjo y Shnhen 2007, Sohngen et al. 2008).

1.5.3. Servicio de Calidad de Hábitat:

Un objetivo principal de la conservación es la protección de la biodiversidad, incluyendo genes, especies, poblaciones, hábitat y ecosistemas en un área de interés. Mientras que algunos consideran a la biodiversidad como un servicio, aquí se tratará como un atributo independiente de los sistemas naturales, con su propio valor intrínseco. Los manejadores de recursos naturales, corporaciones y organizaciones de conservación están muy interesados en entender como y donde la biodiversidad y los servicios ecosistémicos se alinean en el espacio y como las acciones de manejo afectan a ambos.

La evidencia de muchas fuentes ha creado un escenario de pérdida de la biodiversidad a nivel mundial (Vitousek et al. 1997; Wilcove et al 1998, Czeh et. al 2000). Esta evidencia a desarrollado un amplio rango de respuestas del gobierno y de la sociedad civil. A través de la Convención de Rio en Biodiversidad, 189 países se han comprometido a preservar la biodiversidad en sus fronteras. Aun, hay poca investigación en sobreponer las oportunidades de proteger la biodiversidad y mantener los servicios ecosistémicos tan críticos para el bienestar económico de los países.

Para que los manejadores puedan entender los patrones de distribución de las especies, individualmente y agregados, es necesario mapear los rangos de ocurrencia de estos elementos (especies, comunidades, hábitats), El grado en que el uso actual de la tierra y el manejo afectan la persistencia de estos elementos debe ser evaluado para diseñar estrategias de conservación apropiadas y

enfocar manejo de recursos naturales que magnifique la biodiversidad en esas áreas.

1.6. ANTECEDENTES

1.6.1 Del ACP Uchumiri:

- En el 2006 gracias al Expediente Técnico (AEDES 2006) se crea el ACP Uchumiri, en el documento se recopila información de los pobladores, se describen estrategias para el uso sostenible de los recursos naturales, se reconoce la importancia de sus Bosques de *Polylepis* y las praderas de Pastoreo y se plantea realizar diagnósticos e inventarios de los ecosistemas y biodiversidad para la recuperación, manejo y aprovechamiento eficiente del ACP.

- En el 2009 Yurivilca, realiza un estudio de la Biodiversidad dentro del área, identificando 34 especies de flora entre herbáceas y arbustivas y 28 especies de fauna reportando 19 especies de aves, 7 especies de mamíferos y 1 especie de reptil. (AEDES 2009) Datos utilizados para la creación del Plan Maestro.

- El plan Maestro del ACP Uchumiri (INRENA/AEDES 2009) se establecen los objetivos, se ubica, delimita y describe el ACP, se realiza una Zonifica el Área y se Planea la Implementación de Programa de Conservación, de Uso Público y de Administración y Control. Para el plan se tienen pequeños inventarios rápidos de la biodiversidad y es anexado también un mapa de los Bosques de *Polylepis*.

- En el 2010 Velarde, realiza una descripción de nueve ecosistemas dentro del ACP y recomienda propuesta para la conservación de cada ecosistema y su biodiversidad significativa. (AEDES 2010).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN
PROPIEDAD DE LA BIBLIOTECA DE BIOMÉDICAS
AREQUIPA - PERU

1.6.2. Con INVEST:

- **Corazón de Borneo, Asia:** El corazón de Borneo es un área, con una diversidad biológica excepcional, pero degradada por más de 20 años la deforestación, minería, incendios y cultivos. Los gobiernos de Indonesia, Malasia y Brunei Darussalam tuvieron la iniciativa de proteger el medio ambiente y desarrollar sosteniblemente el área. Con el apoyo de Wild Word Foundation un grupo especialista de científicos, economistas y políticos realizaron una evaluación del capital natural usando modelos InVEST para entender el valor e económico y social y mejorar la sostenibilidad en la toma de decisiones (Van Paddebburg et al. 2012).

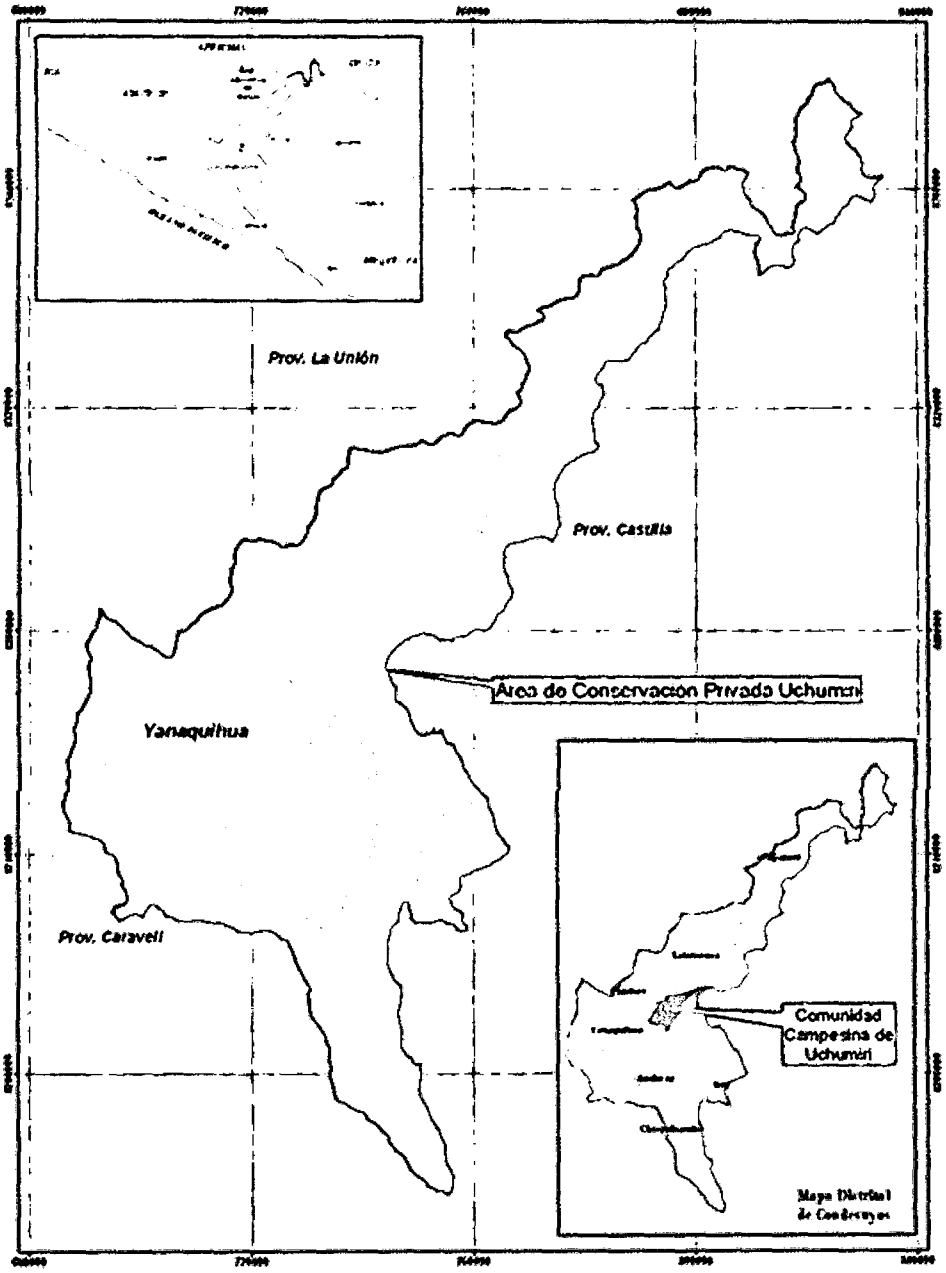
- **Este del Valle Cauca,Colombia:** En el establecimiento de los fondos para conservación hídrica en el este del valle del Cauca, Colombia, los resultados de los modelos InVEST fueron combinados con información de stakeholders para la inversión directa en conservación de áreas con alto potencial para reducir la sedimentación y mantener el rendimiento hídrico. Cerca de 500 000 $ se han invertido en áreas identificadas por Natural Capital Project (Suarez et al. 2011, Tallis et al. 2011, Goldman et al. 2010).

- **Sumatra, Indonesia:** En octubre del 2008, 10 gobernadores de las provincias de Sumatra hicieron un compromiso para proteger los bosques restantes y ecosistemas críticos en Sumatra. El ordenamiento Territorial es crítico, así que se usó modelos InVEST para comparar los impactos en los Servicios Ecosistémicos y biodiversidad en un escenario amigable con la conservación y un escenario económico cotidiano. Se estimó el cambio en Hábitats adecuados para tigre, almacenamiento y secuestro de carbono, producción hídrica, control de la erosión y purificación del agua entre los escenarios. Los resultados ayudaron a ubicar las mejores áreas para reforestación, pagos por servicios ecosistémicos y la mejora de la gestión forestal y agrícola. Bhagabati et al. 2014, Bareno et al. 2010, Valencia 2009).

BIBLIOTECA DE BIOMEDICAS

1.7. ÁREA DE ESTUDIOS

El área de estudio fue el ACP Uchumi, el ACP se encuentra ubicada en los territorios de la Comunidad Campesina de Uchumiri al sur oeste del nevado Coropuna, en el distrito de Yanaquihua, provincia de Condesuyos, Región Arequipa, en las coordenadas 730497 longitud oeste y 8265007 latitud norte.



Mapa N°1: Ubicación del Área de Conservación Privada Uchumiri (Fuente: AEDES 2006)

CAPITULO II

2.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION:

Los Servicios Ecosistémicos de los Bosques de *Polylepis* del ACP Uchumiri fueron cuantificados usando el software InVEST – Integrated Valuation of Enviromental Services and Tradeoffs, desarrollado por Natural Capital Project. (http://www.naturalcapitalproject.org/InVEST.html)

InVEST es un grupo de modelos que se utilizan para cuantificar, mapear y valorar los bienes y servicios ecosistémicos que benefician y satisfacen a las personas. Tiene el objetivo de informar a los tomadores de decisiones sobre cómo mejorar la gestión de los recursos naturales y dirigir las inversiones economicas.

Se seleccionaron 3 modelos, considerando los principales servicios ecosistémicos que los bosques de *Polylepis* proveen, siendo estos:

1. "Modelo de Retención de Sedimentos": utilizado para cuantificar el Servicio de Retención de Sedimentos, expresado en Cantidad de Sedimentos retenidos por los Bosques.

2. "Modelo Carbón": Utilizado para cuantificar el Servicio de Almacenamiento de Carbón de los bosques, expresado en Cantidad de Carbón en Toneladas por área. Adicionalmente, se generó un Mapa de la cantidad de Carbón Almacenado en las diferentes Clases de Cobertura presentes en el ACP Uchumiri.

3. "Modelo de Calidad de Hábitat": Utilizado para cuantificar el Servicio de Conservación de la Avifauna de los bosques, expresado en la Calidad de Hábitat para la Conservación de la Avifauna. Adicionalmente, se generó un Mapa de la Calidad de Hábitat para la Conservación de la Avifauna en las diferentes Clases de Cobertura presentes en el ACP Uchumiri.

Los modelos funcionan de manera independiente; sin embargo, los datos de entrada necesarios para los modelamientos y los resultados obtenidos por estos, deben ser procesados en un programa SIG – Sistema de Información Geográfica, utilizándose para este estudio los programas ArcGIs 10.2. , QGIS 2.8.2 y SAGA GIS 2.1.2.

La metodología general para los 3 modelos consistió en las siguientes etapas:

a. Generación de Datos de Entrada para el Modelamiento

b. Modelamiento usando el programa InVEST

c. Validación de resultados

2.2. MODELO DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS:

Se utilizó el Modelo de Retención de Sedimentos del programa InVEST, que permite calcular la pérdida de suelo de un ecosistema, determinando cuanto de este suelo puede llegar a un punto de interés, estimando la capacidad del

ecosistema de retener sedimentos y evaluando el costo de removerlos anualmente.

Para determinar la pérdida potencial de suelo y el transporte de sedimentos el modelo utiliza la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos – USLE (Wischmeier y Smith 1978) a escala de pixel, la cual integra información de las clases de cobertura, las propiedades del suelo e información climática y topografica.

$$USLEi = R * K * L * S * C * P$$

R, es la erosividad de la lluvia, K es la erosionabilidad del suelo, LS es el factor de longitud e inclinación de la pendiente, C es el factor de cobertura y P es el factor de prácticas de manejo.

El modelo asume que la cantidad de suelo perdido determinada por USLE es transportado aguas abajo si la capacidad de retención de sedimentos del ecosistema es cero. Esta capacidad es producto de filtración física y la ralentización del flujo de sedimentos por la vegetación, que permite que estas partículas se depositen.

$$Descarga\ de\ Sedimentos = (1 - Ei) + USLEi$$

Ei es la eficiencia de retención de sedimentos de un pixel.

El servicio de retención de sedimentos está asociado al servicio de evitar la sedimentación en los embalses de agua o en mejorar la calidad de agua. Para este estudio se considera el servicio de evitar la sedimentación de la represa "Occoruro – Pampa" del Distrito de Yanaquihua.

Las represas presentan un volumen muerto, que es un espacio diseñado para captar sedimentos y evitar la pérdida de la capacidad de la represa a lo largo del tiempo. Debido a que este volumen está construido

específicamente para retener sedimentos y evitar los costos asociados con el dragado, las personas no reciben el beneficio del servicio ecosistémico de retención de sedimentos hasta que el volumen muerto se encuentre lleno. Teniendo en cuenta lo anterior y no sobrevalorar el servicio, se debe sustraer el volumen muerto, con la siguiente fórmula.

$$Servicio\ de\ Retención = Sx - 1.26 * vol.\ muerto/TdV$$

Sx es el total de sedimentos retenidos, 1.26 es una constante que representa la densidad de los sedimentos en m^{-3}toneladas y TdV es el tiempo de vida que le queda a la represa.

2.2.1. GENERACIÓN DE DATOS DE ENTRADA:

2.2.1.1 Mapa de Clases de Cobertura: Es un Mapa que representa las Clases de Cobertura presentes en el ACP Uchumiri, es utilizado para representar cuantitativamente los factores P y C de la Ecuación USLE y asignar la eficiencia de retención de sedimentos por clase de cobertura. Se generó a partir de información geográfica recopilada y se validó con puntos de control en campo.

A. Fuentes de Información:

- El Proyecto de Zonificación Económica Ecológica para el Ordenamiento Territorial de la Región Arequipa – PZEE-OT del Gobierno Regional de Arequipa, el cual presenta información geográfica nivel Regional.

- La Organización No Gubernamental "Asociación Especializada para el Desarrollo Sostenible – AEDES", la cual participó en la creación del ACP Uchumiri y en la realización de su Plan Maestro; además, de haber desarrollado diversas investigaciones en las áreas de influencia donde se encuentra ubicada el ACP.

B. Información Recopilada:

- Capa de Cobertura Vegetal de la Región Arequipa del PZEE – OT en formato vector y su Memoria Descriptiva.
- Mapa de Zonificación del ACP Uchumiri de la ONG AEDES en formato vector y su Memoria Descriptiva.
- Mapa de Bosques de *Polylepis* del ACP Uchumiri de la ONG AEDES en formato vector y su Memoria Descriptiva.

C. Procesamiento Información:

Se utilizó el Programa ArcGIS, usándose como base el Mapa de Zonificación del ACP Uchumiri, agregándole la información contenida en el Mapa de Bosques de *Polylepis* del ACP Uchumiri y se corroboró la coincidencia con la Capa de Cobertura Vegetal del PZEE – OT. El Mapa fue validado con puntos de control en campo. Además, se le asignó un código a cada clase de cobertura. Generando el Mapa de Clases de Cobertura del ACP Uchumiri necesario como dato de entrada para el modelamiento.

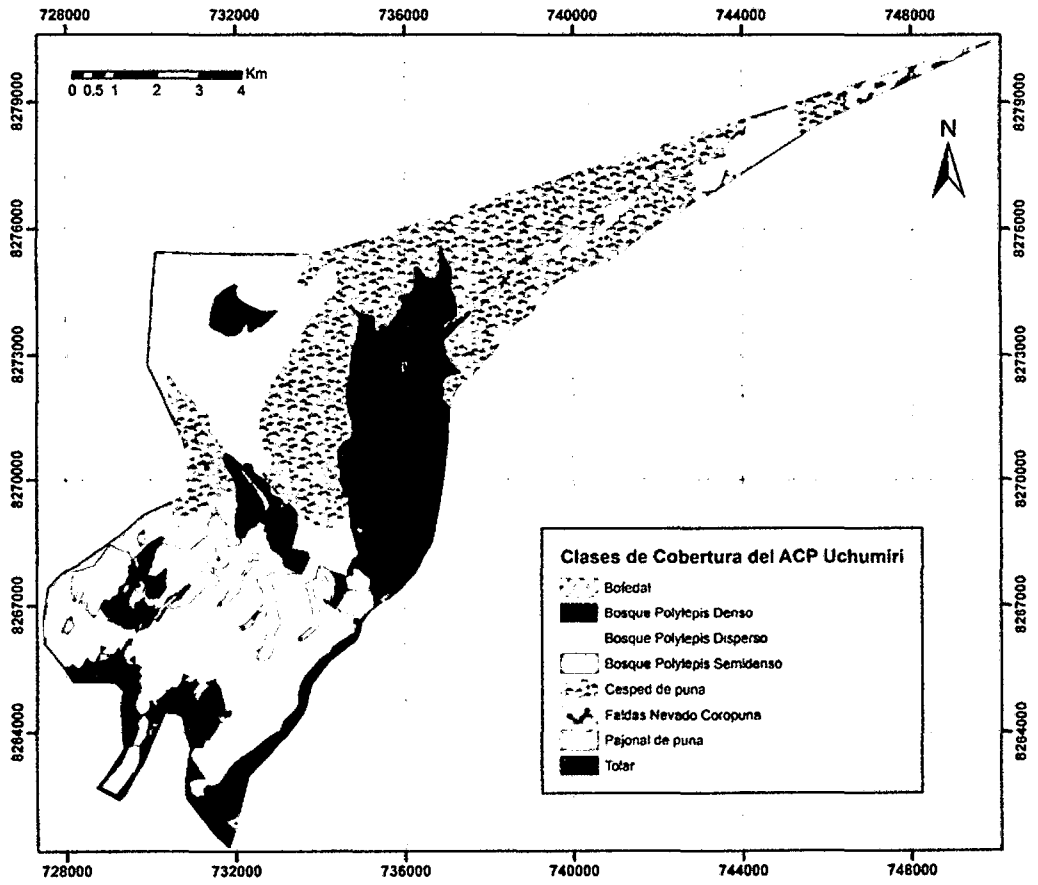
Descripción:

El mapa consta de 8 clases de cobertura: Tolar, Pajonal de Puna, Cesped de Puna, Bosque de *Polylepis* Denso, Bosque de *Polylepis* Disperso, Bosque de *Polylepis* Semidenso, Bofedal y Faldas del Nevado Coropuna. Con un código LULC del 1 al 8 respectivamente.

Tabla N°1: Clases de Cobertura del ACP Uchumiri.

(Fuente: Elaboración Propia)

Clase de Cobertura	Código LULC	Ha
Tolar	1	2466.33
Pajonal de Puna	2	1969.24
Cesped de Puna	3	3182.94
Bosque de Queñoa Semidenso	4	652
Bosque de Queñoa Disperso	5	1502.01
Bosque de Queñoa Denso	6	245.81
Bofedal	7	133.16
Faldas Nevado Coropuna	8	102.47



Mapa N° 2: Clases de Cobertura del ACP Uchumiri

Clases de Cobertura:

Tolar: Con predominancia de *Parastrephia aff lepidophylla* en una asociación con *Lepidophyllum quadrangulare, Baccharis tricuneata, Baccharis incarum*. Tiene una extensión de 2466.33 ha y le corresponde el código 1.

Pajonal de Puna: Característico de zonas altas, con suelos jóvenes, afectados seriamente por la pérdida de cobertura vegetal. Este ecosistema se caracteriza por la presencia *de Stipa ichu, Deyeuxia curvula, Deyeuxia heterophylla, Deyeuxia vicunarum* y *Festuca dolycophylla*. Tiene una extensión de 1969.24 ha y le corresponde el código 2.

Cesped de Puna: Característico de las zonas altas, suelos delgados y mayor humedad en relación a los pajonales. Las plantas son afectadas en el crecimiento por vientos y heladas, como respuesta éstas se han adaptado achaparrándose. La formación vegetal característica es el Yaretal, conformada por *Azorella compacta*, acompañada por *Pycnophyllum molle*. Tiene una extensión de 3182.94 ha y le corresponde el código 3.

Bosque de *Polylepis* Semidenso: La especie predominante es *Polylepis* en una densidad de 251 – 750 ind/ha, se encuentran mayormente ubicados en media ladera, el terreno presenta pendientes que varían de moderadamente empinadas a muy empinadas (15 – 75 %). Tiene una extensión de 652 ha y le corresponde el código 4.

Bosque de *Polylepis* Disperso: La especie predominante es *Polylepis* con densidad < 250 ind/ha, la pendiente del terreno es moderadamente empinada (menor a 25%). Tiene una extensión de 1502.01 ha y le corresponde el código 5.

Bosque de *Polylepis* Denso: La especie predominante es *Polylepis* con densidad > 751 ind/ha, generalmente dispuestos en

quebradas y cabecera de cerros, donde las pendientes son empinadas a extremadamente empinadas (25 – 75 %). Tiene una extensión de 245.81 ha y le corresponde el código 6.

Bofedal: Humedales altoandinos distinguidos por la presencia de *Distichia muscoides*, acompañada de *Calamagrostis rigescens, Hypochaeris taraxacoides, Hypsela reniformis, Gentianella sp, Alchemilla diplophylla* a veces muy cerca también se presenta *Junellia minima*. Tiene una extensión de 133.16 ha y le corresponde el código 7.

Faldas Nevado Coropuna: Corresponde al complejo volcánico del Nevado Coropuna, con una elevación de 6425 msnm, y reserva de agua como nieve perpetua, por lo que carece de cobertura vegetal. Tiene una extensión de 102.47 ha y le corresponde el código 8.

2.2.1.2. Factor de Cobertura (C) representa el efecto de los cultivos y las prácticas de manejo en la perdida de suelo de tierras agrícolas y el efecto de cobertura vegetal en reducir la perdida en tierras naturales. A medida que la cobertura vegetal aumenta, la pérdida de suelo disminuye. El valor del Factor C está definido como la relación entre la pérdida de suelo en condiciones específicas y la pérdida de suelo en la tierra limpia (Wischmeier y Smith, 1978). El factor C fue estimado usando el índice de vegetación diferencial normalizado – NDVI.

Índice de Vegetación Normalizado (NDVI): El NDVI es un indicador de la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación utilizando sensores remotos (Prasannakumar et al. 2012), es calculado a partir de las medición de la intensidad de la radiación de las bandas roja e infrarojo cercano del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. Los valores de NDVI van de -1 a +1.

A. Fuentes de Información:

Earth Explorer, es un servidor que proporciona la búsqueda y descarga en línea de información científica de la tierra de los archivos del Servicio Geológico de Estados Unidos.

B. Información Recopilada:

Imágenes de Landsat 8 del área de interés con nubosidad menor al 10% de las fechas 17-10-2013, 21-11-2013, 22-02-2014 y 30-04-2015.

C. Procesamiento de Información:

Se seleccionaron cuatro imágenes Landsat con menos del 10% de nubosidad, dos correspondientes a la estación húmeda y dos correspondientes a la estación seca. Se trabajó con la banda 5 correspondiente al espectro infrarojo cercano y la banda 4 correspondiente al rojo cercano. Se utilizó el programa QGIS para realizar los cálculos de los Rasters que correspondían a las bandas y se calculó el NDVI con la siguiente ecuación.

$$NDVI = \frac{\mathrm{LTM5} - \mathrm{LTM4}}{\mathrm{LTM5} + \mathrm{LTM4}}$$

LTM5: Es la Banda 5 de Landsat 8, que representa los valores de reflectancia espectral de la región Infrarojo cercano.

LTM4: Es la Banda 4 de Landsat 8, que representa los valores de reflectancia espectral de la región rojo visible.

Los valores de NDVI de las 4 fechas fueron promediados para cada clase de cobertura del ACP Uchumiri, luego se utilizó la siguiente fórmula para calcular el factor de Cobertura C (Zhou et al. 2008 y Kouli et al. 2009)

$$C = e^{(-\alpha(\frac{(NDVI)}{\beta - NDVI}))}$$

Donde α y β son constantes sin unidades que determinan la forma de la curva de la función entre NDVI y factor C.

Tabla N° 2 Valores del Factor C por clase de Cobetura del ACP Uchumiri

Clase de Cobertura	17.10.13	21.11.13	22.02.14	30.04.15	NDVI	Factor C
Polylepis Disperso	0.11	0.12	0.11	0.11	0.11	0.77
Polylepis Semidenso	0.12	0.13	0.11	0.12	0.12	0.76
Polylepis Denso	0.12	0.13	0.11	0.12	0.13	0.76
Pajonal	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.86
Yaretal	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.87
Tolar	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.82
Bofedal	0.16	0.14	0.14	0.16	0.15	0.72
Coropuna	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.99

2.2.1.3. Factor de Prácticas de Manejo (P): El factor P también llamado factor de soporte, representa la relación de pérdida de suelo después de realizar una práctica de soporte específica a la correspondiente pérdida de suelo, puede tratarse como el factor que representa la prácticas de conservación del suelo y el agua (Omuto, 2008 y Renard et al. 1997). El valor de P varía de 0 a 1 y mientras menor sea el valor aumenta la efectividad de las prácticas de conservación. En este estudio, se asignó el valor de uno al factor P para toda el ACP Uchumiri, debido a que no existen prácticas de soporte por su condición de área natural.

2.2.1.4. Erosividad de la Lluvia (R): El factor de Erosividad de la lluvia indica la fuerza erosiva de la precipitación sobre el suelo, es calculado

por el producto de la Energía cinética de la lluvia y su máxima intensidad durante 30' (Wischmeier y Smith, 1978).

La energía cinética no es un registro común y muchos investigadores han tratado de calcular el valor de R con valores de precipitación usando diferentes funciones (Cooper 2011). En este estudio se utilizan los datos de 4 estaciones metereológicas del SENAMHI y la fórmula de Arnoldus 1980 desarrollada para lugares con precipitaciones estacionales.

A. Fuentes de Información:

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI (http://www.senamhi.gob.pe). Es una Institución nacional que brinda servicios públicos, asesoría, estudios e investigaciones científicas en las áreas de Meteorología, Hidrología, Agrometeorología y Asuntos Ambientales del territorio peruano.

B. Información Recopilada:

- Datos Históricos de Precipitación Mensual y Anual de los años 2009 – 2013 de las Estaciones de Pampacolca, Yanaquihua, Salamanca y Chuquibamba del SENAHMI, ubicadas en el perímetro del ACP Uchumiri.

C. Procesamiento de Información:

Las Estaciones Meteorológicas fueron cargadas en el programa ArcGIS como puntos, se calculó su valor de Erosividad utilizando los valores de precipitación mensual de los años 2009 a 2013 de las cuatro estaciones con la fórmula de Arnoldus 1980.

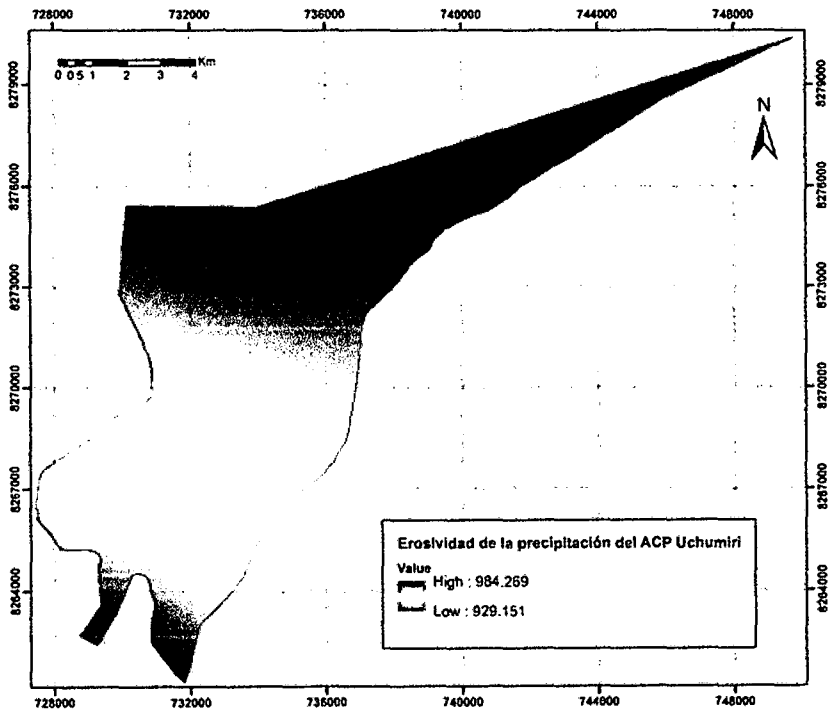
$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 * 10^{(1.5*log10\,(\frac{Pi^2}{P})\,-0.08188)}$$

Donde Pi es la precipitación mensual y P es la precipitación anual

Tabla N° 3 Valores de Erosividad en las Estaciones Meteorológicas del SENAMHI. (Fuente: Elaboración propia con datos de la página del SENAMHI)

Localidad	O	S	Valor de R
Pampacolca	760691	8261182	917.4
Yanaquihua	727552	8254628	906.73
Salamanca	732400	8285165	994.85
Chuquibamba	751841	8247567	1105.38

Se interpolaron los valores de Erosividad de las estaciones meteorológicas usando una función del Peso de la Distancia Inversa – IWD, con una potencia de segundo orden, generando un mapa de valores de Erosividad para el ACP Uchumiri.



Mapa N° 3: Erosividad de la lluvia del ACP Uchumiri

BIBLIOTECA DE BIOMEDICAS

2.2.1.5. Factor de Longitud e Inclinación de la Pendiente (LS):

El factor de longitud e inclinación de la pendiente (LS) es una combinación de la inclinación y la longitud de la pendiente, tiene un gran efecto en la pérdida total de suelo y es considerado un factor crítico en USLE (Fu et al. 2005). Refleja el efecto de la topografía, al aumentar LS se produce un aumento en la velocidad del flujo de los sedimentos por lo que aumenta el proceso de erosión (Hann et al. 1994).

En el modelo se utiliza el método de Desmet y Govers 1996, para calcular este factor.

$$Li.Si = Si\frac{Ai + D^2 - Ai^{m+1}}{D^{m+2}xi^m 22.13^m}$$

Donde:

Si es la inclinación de la pendiente calculado como la función del porcentaje de inclinación

- Si = 10.8 *Sen(θ) + 0.03, si la pendiente es menor a 9%
- Si = 16.8 * Sen(θ) – 0.5, si la pendiente es mayor a 9%

Ai es el área que contribuye (m^2) dentro de la celda i que es calculada del algoritmo de acumulación de flujo.

D es la dimensión de la celda (m)

Xi es un factor que ajusta a lo largo de la celda que es igual a Sen(αi) + Cos (αi) donde αi es el ángulo de dirección para la celda.

M es un factor dependiente del porcentaje de inclinación de la pendiente.

Este cálculo del factor LS el modelo lo realiza automáticamente, con la información de un Modelo de Elevación Digital del área de interés.

Modelo de Elevación Digital (DEM): Es un Raster que representa las diferentes alturas del terreno.

A. Fuentes de Información:

- ASTER GDEM (Aster Global Digital Elevation Model) del Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón – METI y la NASA, es uno de los sensores remotos que viaja en el satélite TERRA.

- SIGMED - Geoservidor del Minesterio de Educación del Perú. Es una fuente de información geográfica del Perú donde se encuentra información topográfica, vial, poblados e instituciones educativas.

B. Información Recopilada:

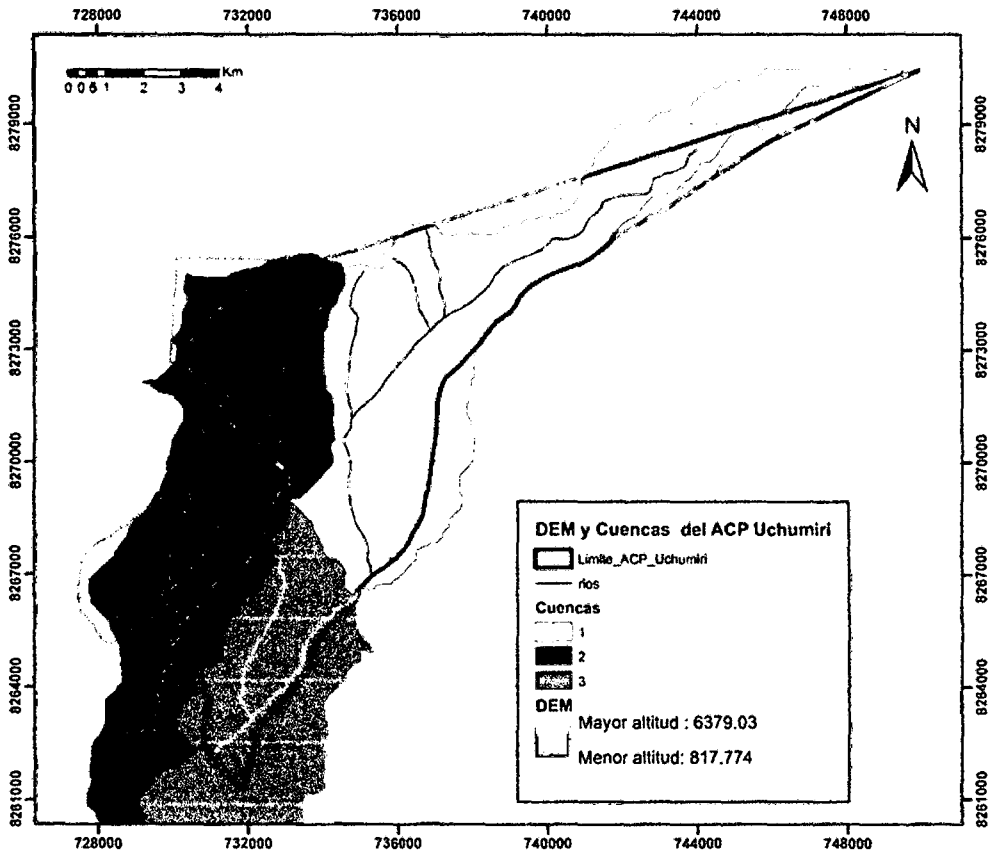
- Modelo de Elevación Digital para el área de interés del ASTER GDEM, en este caso el área va más allá de los límites del ACP Uchumiri.

- Capa de ríos del área de interés del SIGMED correspondiente al cuadrante 32Q de la carta topográfica nacional del Perú.

C. Procesamiento de Información:

El Modelo de Elevación Digital descargado del ASTER GDEM, fue procesado utilizando el programa SAGA GIS. Se reproyecto el DEM a coordenadas UTM WGS 84 zona 18S, se rellenaron los sumideros para asegurar un flujo de corriente hídrica continuo, se determinó las áreas de captación y las cuencas hidrográficas utilizando el DEM corregido. Con las áreas el DEM corregido, las áreas de captación y las cuencas hidrográficas se obtuvo la red de corriente hídrica que representa los ríos y con todos estos datos se generaron las subcuencas hidrográficas. La red de corriente hídrica fue comparada con la capa de ríos del SIGMED asegurándose que

el DEM representaba adecuadamente la hidrografía del ACP U



Mapa N° 4: Modelo de Elevación Digital del ACP Uchumiri. (Fuente: Elaboración Propia)

2.2.1.6 Factor de Erosionabilidad del Suelo (K):

El factor de Erosionabilidad del Suelo (K) representa la naturaleza del suelo y su valor indica la facilidad con la que el suelo puede sufrir erosión en comparación con otro tipos de suelos (Wischmeier y Smith 1978). Es la medida de vulnerabilidad y susceptibilidad de un determinado tipo de suelo al desprendimiento y transporte por la precipitación y la escorrentía (Hoyos 2005) y es afectado por las propiedades del suelo como la textura, estructura, permeabilidad y contenido de materia orgánica.

El factor K fue calculado usando los datos de clase textural, el contenido de materia orgánica del suelo y la tabla de Roose (1996).

Para la determinación de las propiedades del suelo se realizó un muestreo de suelos en el ACP Uchumiri usando la metodología de MINEG 2002. Los análisis de suelo para la clase textural y el contenido de materia orgánica se realizaron según el reglamento de Ejecución de levantamiento de suelos del Decreto Supremo N° 013 – 2010 – AG del MINAG.

A. Fuentes de información:

- La Organización No Gubernamental "Asociación Especializada para el Desarrollo Sostenible – AEDES"

B. Información Recopilada:

- Mapa Edafológico de la Subcuenca de Cotahuasi, contiene información de las series de suelo presentes en el ACP Uchumiri.

C. Procesamiento de Información:

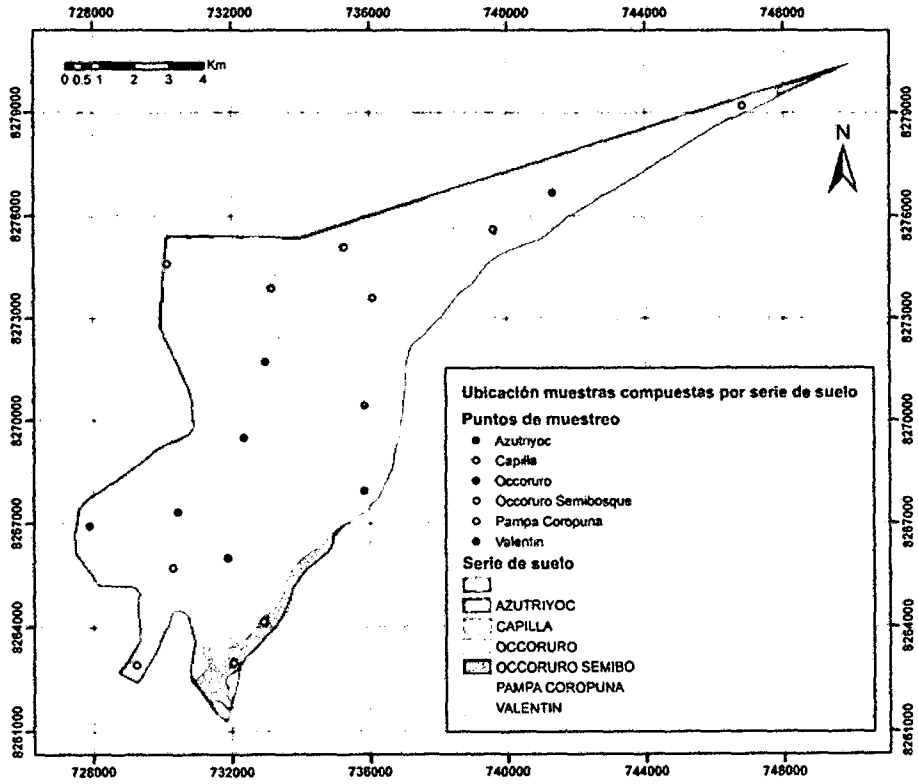
Muestreo de Suelos: Se realizó un muestreo selectivo sistemático, usándose como criterio de selección las series de suelo presentes en cada clase de cobertura. Se utilizó el mapa edafológico de la subcuenca de Cotahuasi para determinar el número de series de suelo por clase de cobertura, en cada una de estas se tomó una muestra compuesta.

Las muestras compuestas se formaron a partir de 25 submuestras en cada unidad de estudio. Se utilizó un barreno para la toma de submuestras a una profundidad de 20 cm. Las submuestras fueron homogenizadas en un balde y reducidas a 1 kg por el método de cuarteado. Las muestras compuestas fueron empaquetadas herméticamente en bolsas ziploc y almacenadas en un cooler para su transporte a laboratorio.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN
PROPIEDAD DE LA BIBLIOTECA DE BIOMÉDICAS
AREQUIPA - PERU

Tabla N° 4: Muestras Compuestas de Suelos por Clase de Cobertura del ACP Uchumiri. (Fuente: Elaboración Propia)

Clase de Cobertura	Series de Suelo	N° de Muestras Compuestas
Bosque de *Polylepis* Denso	Occoruro	1
Bosque de *Polylepis* Semidenso	Occoruro, Capilla	2
Bosque de *Polylepis* Disperso	Occoruro, Capilla, Occroruro Semibosque	3
Tolar	Occoruro, Azutrilloc, Occoruro Semibosque, Valentin	4
Pajonal de Puna	Occoruro, Azutrilloc, Capilla	3
Cesped de Puna	Occouro,Azutrilloc	2
Bofedal	Occoruro, Azutrilloc	2
Coropuna	Pampa Coropuna	1



Mapa N° 5: Ubicación de Muestras Complestas de Suelo en el ACP Uchumiri

Análisis de Suelos: Se utilizó el método del Hidrometro de Bouyoucos para determinar el porcentaje de partículas de arena, limo y arcilla del suelo y el método de combustión húmeda de Walkley y Black para determinar el porcentaje de materia orgánica del suelo, los cuales fueron realizados en el laboratorio de la Escuela Profesional de Química de la UNSA

- Método del Hidrómetro de Bouyoucos: Utilizado para la determinación del porcentaje arena, limo y arcilla, presentes en la fracción mineral. Es un análisis granulométrico por densimetría con Hidrometro de Bouyoucos a diferentes tiempos, usando como principio la relación de proporcionalidad entre los tamaños de las partículas y su velocidad de sedimentación.

  La muestra de suelo para análisis fue secada al aire y tamizada por una luz de 2mm, se colocó 50 g de la muestra tratada en un frasco de vidrio de 1L, se le agegó 100 ml de solución dispersante (Hexametafosfato y carbonato de sodio) y 200 ml de agua y se dejó por la noche. Al día siguiente la suspensión se agitó durante 5' en una batidora eléctrica, se traspasó al cilindro de sedimentación y se aforo hasta 1L con agua destilada. El cilindro se agitó, invirtiéndolo de arriba abajo por 10 repeticiones. Se tomaron las medidas con el hidrómetro a los 40" y 120', registrando la densidad, temperatura para corregir la medida. El porcentaje de partículas se calculó así:

$$\%\,(L + Ac) = 100\frac{X}{Y}$$

X: Lectura del Hidrómetro a los 40"

Y: Peso Muestra (500g)

%(L + Ac): Porcentaje de Limo más Arcilla

$$\%Ar = 100 - \%\,(L + Ac)$$

%Ar: Porcentaje de Arena

$$\%Ac = 100\frac{X'}{Y}$$

X': Lectura del Hidrómetro a los 120'

%Ac: Porcentaje de Arcilla

Tabla N°5: Clase textural de las muestras compuestas.

(Fuente: Elaboración Propia)

Clase de Cobertura	Serie de Suelo	Arena %	Arcilla %	Limo %	Clase Textural
Bosque de *Polylepis* Denso	Occoruro	54.55	12.45	33	Franco Arenoso
Bosque de *Polylepis* Semidenso	Occoruro	54.55	12.45	33	Franco Arenoso
	Capilla	37.74	22.96	39.3	Franco
Bosque de *Polylepis* Disperso	Occoruro	54.55	12.45	33	Franco Arenoso
	Capilla	37.74	22.96	39.3	Franco
	Occoruro Semibosque	49	14.92	36.1	Franco
Tolar	Occoruro	54.55	12.45	33	Franco Arenoso
	Azutrilloc	33.8	38.91	27.29	Franco Arcilloso
	Occoruro Semibosque	49	14.92	36.1	Franco
	Valentin	51.76	10.89	37.35	Franco
Pajonal de Puna	Occoruro	54.55	12.45	33	Franco Arenoso
	Azutrilloc	33.8	38.91	27.29	Franco Arcilloso
	Capilla	37.74	22.96	39.3	Franco
Cesped de Puna	Occoruro	54.55	12.45	33	Franco Arenoso
	Azutrilloc	33.8	38.91	27.29	Franco Arcilloso
Bofedal	Occoruro	52.76	8.34	38.9	Franco
	Azutrilloc	52.76	8.34	38.9	Franco
Coropuna	Pampa Coropuna	57.39	11.25	31.36	Franco Arenoso

- Método de Combustión Húmeda: Utilizado para la determinación del contenido de materia orgánica fácilmente oxidable del suelo, expresada en porcentaje. Se basa en la oxidación incompleta del carbono orgánico por una mezcla oxidante de Dicromato de Potasio y Ácido Sulfúrico, el agente oxidante consumido se determina por titulación con solución Ferrosa, lo cual es proporcional al carbono oxidado.

$$6C6H12O6 + 4K2Cr2O7 + 16H2SO4 \rightarrow 4K2SO4 + 4Cr2(SO4)3 + 6CO2 + 22H2O$$

La muestra de suelo fue secada al aire, tamizada por una luz de 2 mm y morterada. Se colocó 1 gramo de muestra (para el caso de bofedal fue 0.05 g) en un matraz Erlenmeyer de 500 ml, se le agregó 10 ml de Dicromato de Potasio 1N y 20 ml de Ácido Sulfúrico concentrado mezclando la solución en una campana de extracción de gases. Se dejó descansar la solución por 30' luego se le agregó 170 ml de agua destilada. Se agregó 10 ml de Ácido Fosfórico al 85%, 0.2 g de NAF y 30 gotas del indicador difenilamina. Finalmente se tituló con solución ferrosa 0.5 N hasta el cambio de color de azul a verde brillante, registrándose el volumen usado de solución. Se realizó la titulación en un blanco usando el mismo procedimiento registrándose el volumen usado en la titulación.

El carbono orgánico total se calcula asumiendo que bajo las condiciones del método hay una oxidación promedio del 77% del mismo y la materia orgánica del suelo tiene un 58% de carbón.

$$\%CO = \frac{(\mathrm{N1.V1} - \mathrm{N2.T})}{\mathrm{Peso\ del\ Suelo(gr)}}\ x\ FC$$

%CO: porcentaje carbón orgánico

N1: Normalidad del K2Cr2O7

V1: ml de K2Cr2O7

N2: Normalidad del Sulfato ferroso

T: Volumen de Sulfato Ferroso usado en la titulación

N1.V1: Cantidad total de me de dicromato usado

N2.T: me de dicromato en exceso

N1.V1 – N2.T: me de dicromato que oxidó el carbono orgánico

FC: Factor de Conversión que es igual a 0.39

El Factor de Conversión resulta del producto del factor de conversión de los miniequivalentes de carbono a gramos (12/4000: 0.003), el factor de redimiento de la reacción (100/77: 1.29) y el factor para convertir a porcentaje (100). Para el cálculo de la materia orgánico del suelo se usó un factor de corrección de 1.724, asumiendo que esta posee un 58% de carbono.

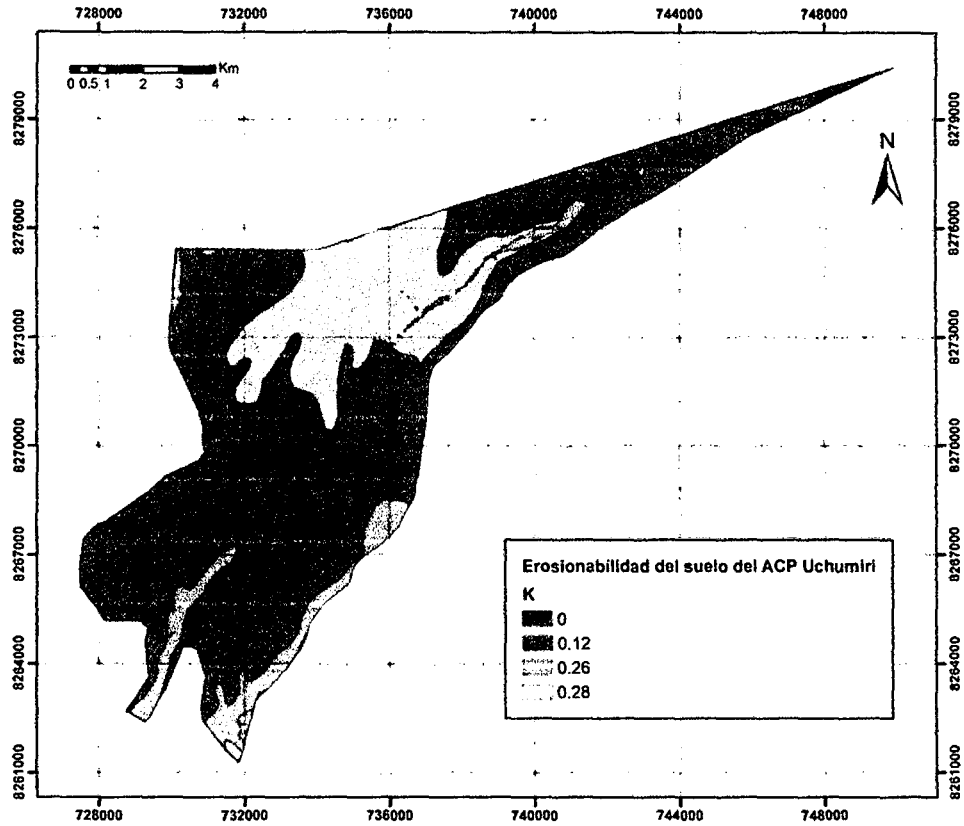
Tabla N° 6: Contenido de Materia Orgánica de las muestras compuestas (Fuente: Elaboración propia).

Clase de Cobertura	Serie de Suelo	M.O. %
Bosque de *Polylepis* Denso	Occoruro	4.11
Bosque de *Polylepis* Semidenso	Occoruro	4.11
	Capilla	3.41
Bosque de *Polylepis* Disperso	Occoruro	4.11
	Capilla	3.41
	Occoruro Semibosque	4.34
Tolar	Occoruro	4.11
	Azutrilloc	3.14
	Occoruro Semibosque	4.34
	Valentin	3.95
Pajonal de Puna	Occoruro	4.11
	Azutrilloc	3.14
	Capilla	3.41
Cesped de Puna	Occoruro	4.11
	Azutrilloc	3.14
Bofedal	Occoruro	12.78
	Azutrilloc	12.78
Coropuna	Pampa Coropuna	3.9

Valores de Erosionabilidad: Se usó la tabla de Roose (1996), que estima el factor de erosionabilidad, usando la categoría textural y el contenido de Materia Orgánica.

Tabla N° 7: Valores del Factor de Erosionabilidad del Suelo del ACP Uchumiri (Fuente: Elaboración Propiia).

Clase de Cobertura	Serie de Suelo	K
Bosque de *Polylepis* Denso	Occoruro	0.12
Bosque de *Polylepis* Semidenso	Occoruro	0.12
	Capilla	0.26
Bosque de *Polylepis* Disperso	Occoruro	0.12
	Capilla	0.26
	Occoruro Semibosque	0.26
Tolar	Occoruro	0.12
	Azutrilloc	0.28
	Occoruro Semibosque	0.26
	Valentin	0.26
Pajonal de Puna	Occoruro	0.12
	Azutrilloc	0.28
	Capilla	0.26
Cesped de Puna	Occoruro	0.12
	Azutrilloc	0.28
Bofedal	Occoruro	0.26
	Azutrilloc	0.26
Coropuna	Pampa Coropuna	0.12



Mapa N° 6: Factor de Erosionabilidad del Suelo del ACP Uchumiri

- Eficiencia de Retención: Este valor se utiliza para incorporar los efectos de la vegetación natural que amortigua el proceso de pérdida de calidad de agua por sedimentación. Se asigna un valor a cada clase de cobertura en el ACP Uchumiri, el principio general es asignar valores altos a lugares con vegetación natural y bajos a donde esta se encuentre ausente. Los valores asignados en este estudio fueron consultados con un hidrólogo experto, el cual confirmó su representatividad.

  Datos de la Represa "Occoruro – Pampa": Los datos de volumen muerto y el tiempo de vida de la represa, son necesarios para un adecuado modelamiento del servicio de retención de sedimentos. Estos fueron obtenidos de la Municipalidad de Yanaquihua, la cual proporcionó el expediente técnico de creación de la represa Occoruro – Pampa.

2.2.2. MODELAMIENTO: Se corrió el Modelo InVEST de Retención de Sedimentos con los siguientes datos de entrada:

- Mapa de Clases de Cobertura del ACP Uchumiri
- Tabla biofísica de las Clases de Cobertura del ACP Uchumiri, consignando los valores de los factores de Cobertura y Prácticas de manejo de USLE y el valor de eficiencia de retención
- Mapa del Valor de Erosividad de la precipitación del ACP Uchumiri
- Mapa de Valor de Erosionabilidad del suelo del ACP Uchumiri
- Modelo de Elevación Digital del ACP Uchumiri
- Tabla de los Datos de la Represa Occoruro – Pampa, con los valores del volumen muerto y tiempo de vida

Las tablas se ingresaron en formato de Valores Separados por Comas (.CSV) y los mapas en formato Raster (.TIFF) proyectados en coordenadas UTM WGS 84 Z 18 S y con una resolución espacial de 30 metros por pixel.

2.2.3. VALIDACIÓN: La validación fue realizada usando la red hídrica que da como producto el modelamiento, esta red hídrica fue comparada con información del régimen hídrico conocido del área de estudio. Esto asegura que el modelamiento de la retención de sedimentos concuerda con el comportamiento real del flujo hídrico, el modelo fue calibrado con diferentes umbrales de acumulación de flujo para poder obtener la simulación que más se acerque a la realidad del proceso. Además se debió comparar el resultado obtenido con un valor de carga de sedimentos de la subcuenca de interés, sin embargo estos datos no son registrados con normalidad por lo que no pudo eliminarse esa fuente de incertidumbre del modelo.

2.3. SERVICIO DE ALMACENAMIENTO DE CARBÓN

Se utilizó el modelo "Carbón" del programa InVEST, el cual determina la cantidad de carbón almacenado en los ecosistemas usando un mapa de clases de cobertura y la cantidad de carbón almacenado en 3 fuentes de

BIBLIOTECA DE BIOMEDICAS

carbón. Biomasa aérea, Biomasa subterránea y Suelo. El modelo agrega la cantidad de carbón almacenado en estas fuentes de acuerdo a un mapa de clases de cobertura del área de interés. La biomasa aérea comprende todas las plantas por encima del suelo (troncos, ramas, hojas). La biomasa subterránea engloba las raíces de las plantas. El carbón del suelo está formado por la materia orgánica del suelo, y representa la mayor fuente de carbono de los ecosistemas.

Para el modelamiento se generaron dos datos de entrada:

- Un Mapa de Clases de Cobertura del ACP Uchumiri, el cual fue generado en base de información geográfica recopilada y validado con puntos de control en campo.

- Una tabla con los valores de Carbón almacenado en 3 fuentes. Estas fuentes son Biomasa Áerea, Biomasa Subterránea y Suelo.

La cantidad de carbón almacenada en la biomasa de los Bosques de *Polylepis* se determinó utilizando parcelas de muestreo para carbón, siguiendo el Protocolo para inventarios de Carbono en Bosques Andinos de CONDESAN 2014, en las parcelas se tomaron medidas de los árboles y muestras de suelo.

La biomasa de los bosques fue estimada usando la relación alométrica para *Polylepis* de Vasquez et al. 2014 y los datos obtenidos del estudio de las parcelas en campo. Los valores de carbón almacenado en la biomasa de las demás clases de cobertura del ACP Uchumiri fueron asignados por referencias bibliográficas.

$$\boldsymbol{Biomasa\ Aérea} = -16.51 + 40.26 \log 10\, H + 9.3 \log 10\, DAP$$

Donde H es la altura del árbol y DAP el diámetro del árbol a 1.3 metros.

La cantidad de Carbón almacenado en el suelo fue determinado con los datos obtenidos del Análisis de Suelos del modelo de Retención de Sedimentos y la siguiente fórmula.

$$\textbf{\textit{Carbón del Suelo}} = \boldsymbol{P * H * C}$$

Donde P en la densidad aparente del suelo, H es la profundidad del suelo y C es el porcentaje de carbón orgánico del suelo.

La Validación de la cantidad de carbón almacenado fue realizada por un análisis de incertidumbre dentro de la interfaz del mismo modelo.

2.3.1. GENERACIÓN DE DATOS DE ENTRADA:

2.3.1.1. Mapa de Clases de Cobertura: Este Mapa es el mismo generado para el Modelo de Retención de Sedimentos, la metodología para su generación y su descripción se encuentran en la sección correspondiente a ese modelo (Pág. 13).

2.3.1.2. Tabla de Contenido de Carbón Almacenado: El contenido de carbón almacenado en los Bosques de *Polylepis* se determinaron usando parcelas de muestreo siguiendo el protocolo para inventarios de carbón de Bosques Andinos de CONDESAN 2014, para las demás clases de cobertura se utilizaron valores referenciales. El contenido de carbón para todas las clases de cobertura fue determinado usando la fórmula de CONDESAN 2014 y los datos del estudio de suelo del modelo de Retención de Sedimentos.

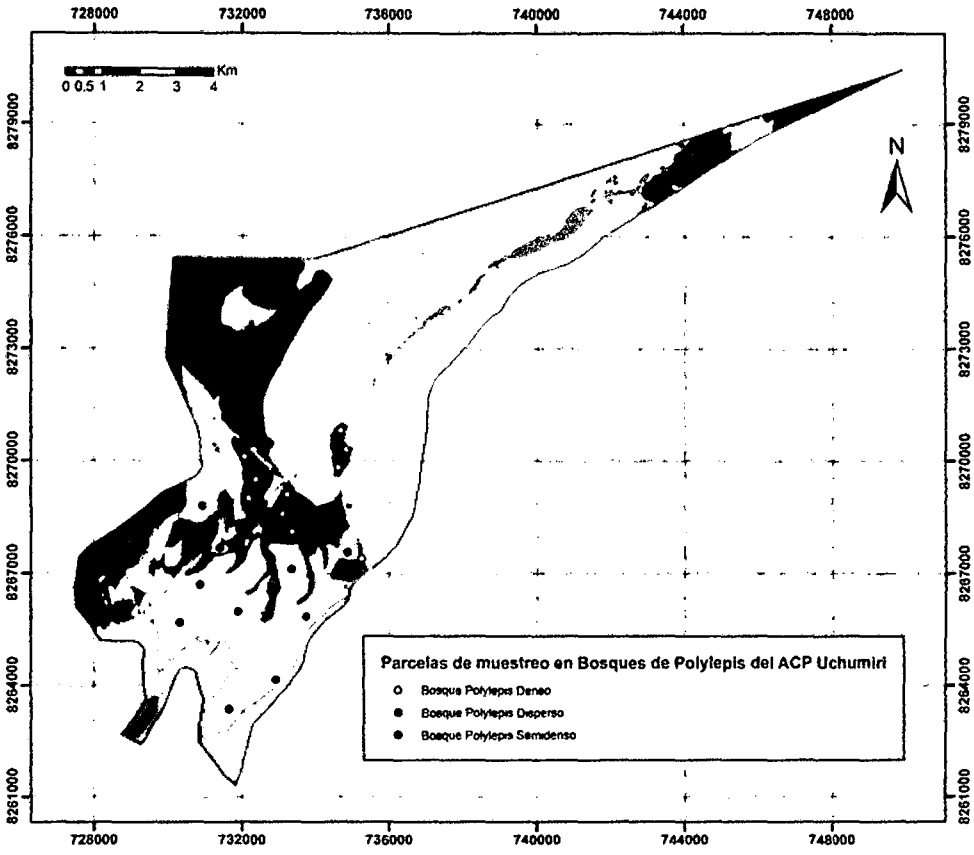
Contenido de Carbón en la biomasa:

- Diseño de Muestreo de Parcelas de *Polylepis*: Se utilizó un muestreo estratificado al azar. Los bosques de *Polylepis* fueron estratificados en función de su densidad, usando de base el Mapa de Bosques de *Polylepis*, en Bosque Denso, Bosque Semidenso y Bosque Disperso.

  En cada estrato se evaluaron 10 parcelas de muestreo, este número fue calculado usando los estadísticos de un pre - muestreo en la zona y la fórmula de Melo y Vargas 2002 para inventarios forestales.

$$n = \frac{T^2 S^2}{E^2}$$

Donde: n es el número de parcelas de muestra, S^2 es el coeficiente de variación calculado con los estadísticos de los datos del pre-muestreo, E es el error de muestreo al que se le asignó 20% y T es el valor de tabla para un intervalo de confianza de 95%.



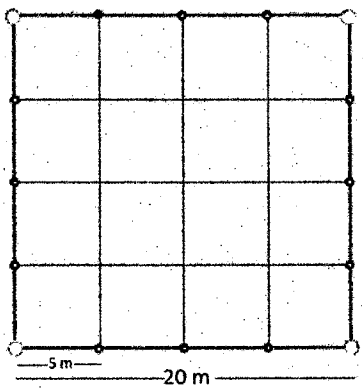
Mapa N° 7: Parcelas de Muestreo del contenido de Carbón en los Bosques de *Polylepis* del ACP Uchumiri.

(Fuente: Elaboración Propia)

- Delimitación y Evaluación de las Parcelas de Muestreo:

  a. Delimitación: Se formaron equipos de trabajo de dos personas, un orientador y un medidor. El equipo de trabajo contó con 4 estacas metálicas, 12 estacas de PVC, 1 cinta métrica de 50 m, cinta de plástico, 1 clinómetro, 1 brújula, 1 linterna, 2 postes de medición de 1 metro y un equipo GPS Garmin 64S con las coordenadas de la ubicación de las parcelas de muestreo.

  La primera persona (orientador), encargada de la brújula, colocó uno de los postes de medición en la primera esquina de la parcela, manteniendo la cinta métrica sobre el poste de medición. La segunda persona (medidor) caminó en dirección apropiada (dirigida por el orientador) hasta alcanzar 10 m y colocó el segundo poste de medición. El medidor calculó la pendiente entre la parte superior de ambos postes utilizando el clinómetro. Una vez calculada la pendiente, el orientador corrigió la distancia, para que el medidor pueda colocar una estaca de PVC. Este procedimiento fue repetido hasta establecer una parcela de 20 x 20 m, subdividida en cuadrantes de 5x5 m.

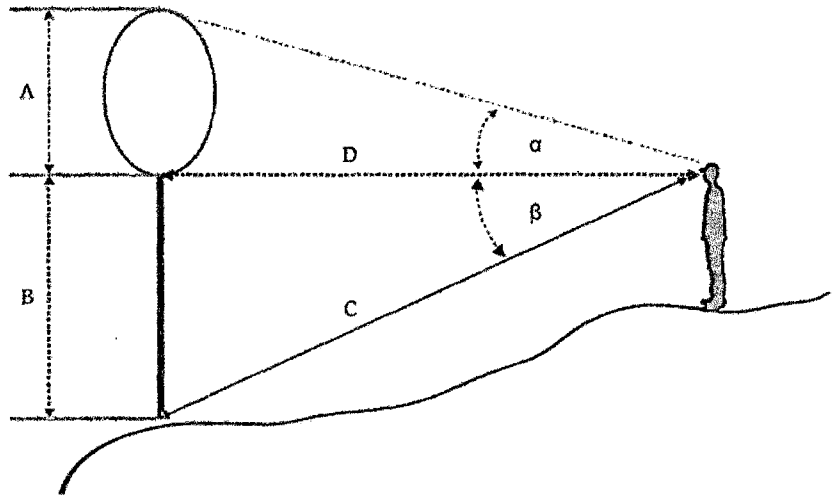


  b. Evaluación: En cada parcela se realizó el conteo de individuos (se excluyó individuos con DAP menor a 10 cm), se midió el diámetro a la altura del pecho y la altura de cada uno.

Diámetro a la altura del pecho (DAP): Tomado a 1.3 metros a partir del suelo, en dirección perpendicular al eje principal. Se usó un poste calibrado para definir la altura y una cinta métrica para medir el perímetro del tronco.

Altura: Se utilizó un distanciómetro laser, registrando la distancia al árbol y ángulos a la base y copa de cada espécimen, con los datos registrados se calculó la altura con la siguiente fórmula.

$$H = C * cos\beta\ (tan\alpha + tan\beta)$$



Contenido de Carbón en la Biomasa de los Bosques de *Polylepis*:

- Biomasa Aérea:

Se calculó la biomasa aérea para cada individuo a partir de la relación alométrica de Vasquez et al. 2014, esta relación fue desarrollada para los árboles de *Polylepis* de los Andes Occidentales del Perú y tiene un valor de P de 0.71.

Tabla N° 8: Biomasa de Parcelas de estudio de Bosques de *Polylepis* Denso en Kg (Fuente: Elaboración Propia)

Parcelas de Estudio de Bosque de *Poylepis* Denso (400m²)				
N° de Parcela	Densidad	Media (Kg/ind)	Desviación	Biomasa Total
1	79	13.92	8.67	1099.72
2	76	15.03	8.62	1142.31
3	81	14.99	8.57	1214.32
4	83	15.16	8.41	1258.37
5	80	14.78	8.53	1182.31
6	75	14.79	8.57	1109.4
7	76	15.07	8.6	1145.36
8	74	14.96	8.7	1106.81
9	76	14.77	8.52	1122.6
10	84	15.08	8.41	1267.06
Total	784			11648.26

Tabla N° 9: Biomasa de Parcelas de estudio de Bosques de *Polylepis* Semidenso en Kg (Fuente: Elaboración Propia)

Parcelas de Estudio de Bosque de Poylepis Semidenso (400 m²)				
N° de Parcela	Densidad	Media (Kg/ind)	Desviación	Biomasa Total
1	32	16.27	9.16	520.62
2	40	16.65	8.93	666.02
3	32	17.25	8.32	551.99
4	37	17	8.75	628.96
5	39	16.48	8.88	642.63
6	36	17.64	8.48	634.98
7	33	16.55	9.17	546.07
8	37	16.97	8.55	627.91
9	35	16.99	8.96	594.67
10	40	16.36	9	654.45
Total	361			6068.3

Tabla N° 10: Biomasa de Parcelas de estudio de Bosques de *Polylepis* Disperso en Kg (Fuente: Elaboración Propia).

Parcelas de Estudio de Bosque de Poylepis Disperso (400 m²)				
N° de Parcela	Densidad	Media (Kg/ind)	Desviación	Biomasa Total
1	18	10.84	6.29	195.16
2	20	10.35	6.16	206.97
3	21	10.29	5.62	216.06
4	17	10.5	6.8	178.56
5	17	10.65	6.71	181.07
6	19	10.18	6.34	193.43
7	17	10.53	6.57	179
8	19	10.6	6.01	201.42
9	20	10.86	6.04	217.21
10	18	10.3	6.37	185.4
Total	186			1954.28

- Biomasa Aérea para las demás clases de cobertura: Se realizó una búsqueda bibliográfica para los valores de biomasa de las clases de cobertura restante. Asignando los valores de los estudios con mayor semejanza climática, fisiográfica y ecológica.

  - Tolar: Para el contenido de biomasa se tomaron los valores de 450.08 g/m² como media y 448.07 g/m² como desviación estándar, usando como referencia el estudio de Zarate 2003, en tolares del altiplano central de Puno.

  - Pajonal de Puna: Para el contenido de biomasa se tomaron los valores de 65.6 g/m² como media y 22.38 g/m² como desviación estándar, usando como referencia el estudio de Zarate 2003, en gramíneas del altiplano central de Puno.

  - Cesped de Puna: Para el contenido de biomasa se asumió un valor de 12 g/m² como media y 1.2 g/m² de desviación estándar. Considerando sus bajas densidades de 50 – 120 individuos por hectárea (Kleier y Rundel 2004) y un contenido menor al 50% en su biomasa aérea (Spehn et al. 2006).

  - Bofedal: Para el contenido de biomasa se tomaron los valores de 27.92 g/m² como media y 18.52 g/m² como desviación estándar, usando como referencia el estudio de Hurtado y Cruz 2006, en bofedales altoandinos en la región de Tacna.

  - Faldas Nevado Coropuna: Para el contenido de biomasa se tomó el valor de 0 g/m², debido a la ausencia de vegetación, por su condición de nieve perpetua.

Tabla N° 11 Biomasa Aérea de las clases de cobertura restantes del ACP Uchumiri (Fuente: Elaboración Propia)

Clase de Cobertura	Biomasa Aérea (Mg/ha)		Fuente
	□	□	
Tolar	4.5	4.48	Zarate 2003
Pajonal de Puna	0.66	0.22	Zarate 2003
Cesped de Puna	0.12	0.01	Spehn et al. 2006
Bofedal	0.28	0.19	Hurtado y Cruz 2006

- Biomasa subterránea: Se estimaron los valores de biomasa subterránea de cada tipo de cobertura usando sus valores de biomasa aérea y un factor de relación de biomasa aérea y biomasa subterránea, recopilado de diversas fuentes siendo la principal el Panel Internacional del Cambio Climático.

Tabla N° 12 Biomasa Subterránea de las Clases de Cobertura del ACP Uchumiri (Fuente: Elaboración Propia)

Clase de Cobertura	R	Fuente	Biomasa subterránea	□
Bosque de *Polylepis* Denso	0.27	IPCC 2006	7.87	0.43
Bosque de *Polylepis* Semidenso	0.27	IPCC 2006	4.1	0.32
Bosque de *Polylepis* Disperso	0.27	IPCC 2006	1.32	0.1
Tolar	0.4	Mendoza y Galicia 2010	1.8	1.8
Pajonal de Puna	0.5	Smith y Kingler 1985	0.33	0.11
Cesped de Puna	0.2	Spehn et al. 2006	0.024	0.002
Bofedal	0.4	Smith y Kingler 1985	0.112	0.076

- Contenido de Carbón en la Biomasa: El contenido de carbón fue calculado asumiendo que en la biomasa vegetal el 50% corresponde a carbono, siendo este factor ampliamente aceptado en términos generales.

  Contenido de Carbón en el suelo:

  Muestras de Suelo: Se utilizó un barreno para la toma de muestras de suelo a una profundidad de 20 centímetros, para mayor detalle sobre la metodología de muestreo de suelo revisar la estimación del factor de Erosionabilidad del Suelo del Modelo de Retención de Sedimentos.

  Suelos: El contenido de carbón en el suelo se determinó utilizando la siguiente fórmula.

$$\boldsymbol{Carbón\ del\ Suelo = P * H * C}$$

H es la profundidad de muestreo, que para este estudio fue de 20 cm. P es la densidad aparente del suelo, que fue estimado indirectamente, usando la tabla USDA de Natural Resources Conservation Service en los que se expresan los valores de densidad aparente usando la clase textural del suelo. La clase Textural se determinó usando el método del Hidrómetro de Bouyoucos y el triángulo de clases texturales de USDA. C es el porcentaje de carbón orgánico del suelo que fue estimado por el método de titulación de de Walkley y Black. Para detalles de los métodos revisar la sección de Análisis de Suelos del Modelo de Retención de Sedimentos.

Tabla N° 13 Contenido de Carbón en los suelos de las Clases de Cobertura del ACP Uchumiri (Fuente: Elaboración Propia)

Clase de Cobertura	Serie de Suelo	C.O. %	Densidad Aparente	Profundidad	C en Mg / Ha
Bosque de *Polylepis* Denso	Occoruro	2.38	1.61	20	76.636
Bosque de *Polylepis* Semidenso	Occoruro	2.38	1.61	20	76.636
	Capilla	1.98	1.5	20	59.4
Bosque de *Polylepis* Disperso	Occoruro	2.38	1.61	20	76.636
	Capilla	1.98	1.5	20	59.4
	Occoruro Semibosque	2.52	1.5	20	75.6
Tolar	Occoruro	2.38	1.61	20	76.636
	Azutrilloc	1.82	1.45	20	52.78
	Occoruro Semibosque	2.52	1.5	20	75.6
	Valentin	2.29	1.5	20	68.7
Pajonal de Puna	Occoruro	2.38	1.61	20	76.636
	Azutrilloc	1.82	1.45	20	52.78
	Capilla	1.98	1.5	20	59.4
Cesped de Puna	Occoruro	2.38	1.61	20	76.636
	Azutrilloc	1.82	1.45	20	52.78
Bofedal	Occoruro	7.41	1.5	20	222.3
	Azutrilloc	7.41	1.5	20	222.3
Coropuna	Pampa Coropuna	2.26	1.61	20	72.772

Tabla N° 14 Tabla de Contenidos de Carbón almacenado en las clases de Cobertura del ACP Uchumiri (Fuente: Elaboración Propia).

Código	Clase de Cobertura	Biomasa Aérea	S	Biomasa Subterránea	S	Suelo	S
1	Tolar	2.25	2.24	0.9	0.9	71.77	10.77
2	Pajonal	0.33	0.11	0.165	0.055	76.06	11.41
3	Cesped	0.6	0.01	0.012	0.001	67.18	10.07
4	Bosque Semidenso	7.6	0.6	2.05	0.16	75.65	11.35
5	Bosque Disperso	2.44	0.18	0.66	0.05	73.41	11.01
6	Bosque Denso	14.57	0.79	3.94	0.215	76.64	11.5
7	Bofedal	0.14	0.095	0.056	0.038	222.3	33.35
8	Coropuna	0	0	0	0	0	0

2.6.2. MODELAMIENTO: Se corrió el modelo InVEST "Carbón" con los siguientes datos de entrada:

- Mapa de Clases de Cobertura del ACP Uchumiri
- Tabla de contenido de carbón almacenado en las clases de cobertura del ACP Uchumiri

La tabla se ingresó en formato de Valores Separados por Comas (.CSV) y el mapa en formato Raster (.TIFF) proyectado en coordenadas UTM WGS 84 Z 18 S y con una resolución espacial de 30 metros por pixel.

2.6.3. VALIDACIÓN: Los resultados del modelo fueron validados usando un análisis de incertidumbre. Este análisis calcula la desviación estándar para la cantidad de carbón almacenado en el ecosistema. La desviación estándar es calculada usando una simulación de Monte

BIBLIOTECA DE BIOMEDICAS

Carlo. Además la ecuación alométrica usada para la determinación de la cantidad de carbón en la biomasa tiene un coeficiente de determinación de 0.72.

2.4. SERVICIO DE CONSERVACIÓN DE LA AVIFAUNA:

Se utilizó el modelo InVEST de Calidad de Hábitat para cuantificar el servicio de conservación de la avifauna. El modelo utiliza un mapa Raster de las clases de cobertura del ACP Uchumiri. A cada clase se le asignó un valor de idoneidad de hábitat Hj, que representa la capacidad de esta de proveer condiciones adecuadas para la supervivencia de las especies y sus poblaciones. Además se utilizó información de la densidad de las amenazas al hábitat y como estas afectan su calidad, representadas en mapas raster.

El valor de idoneidad de hábitat por clase de cobertura fue determinado usando el Índice de Valor Ornitológico – IVO (MINAM 2010). Las amenazas a la calidad de hábitat en el ACP Uchumiri fueron el pastoreo de llamas y la presencia de vías de comunicación.

El impacto de las amenazas sobre el hábitat fue determinado usando tres factores:

- El impacto relativo de cada amenaza. No todas las amenazas ocasionan el mismo daño, este factor representa esto. El peso de la amenaza, Wr, indica el impacto relativo de degradación que la fuente de amenaza ocasiona a los hábitats. El valor de Wr va de 0 a 1.

- La distancia entre el hábitat y la fuente de amenaza y el impacto de la amenaza a través del espacio. En general el impacto de una amenaza disminuye con la distancia a la fuente de degradación, debido a esto las áreas más próximas a las amenazas sufrirán mayores impactos. En parte esto depende de que tan rápido disminuya el impacto a medida que aumente la distancia. Se utilizó una función lineal de decaimiento con la distancia para representar como disminuye el impacto de las amenazas a través del espacio. El impacto de la amenaza r que se origina en una

celda y, ry, sobre una celda x está representado por Irxy en la siguiente ecuación:

$$Irxy = 1 - (\frac{Dxy}{Dr\ max})$$

Donde Dxy es la distancia linear entre la celda "x" y "y" y Dx max es la distancia máxima efectiva a la que el impacto de la amenaza r tiene efecto en el espacio.

- La sensibilidad relativa de las clases de cobertura ante cada amenaza presente. Sjr indica la sensibilidad de cada clase de cobertura j ante una amenaza r, donde los valores más cercano a 1 indican mayor sensibilidad. Mientras mayor sensibilidad tenga una clase de cobertura ante una amenaza mayor será la degradación de su idoneidad.

Por lo tanto, el grado de amenaza total en una celda x con clase de cobertura j fue calculado por Dxj,

$$Dxj = \sum_{r=1}^{R} \sum_{y=1}^{Yr} (\frac{Wr}{\sum_{r=1}^{R} Wr}) ry Irxj Sjr$$

Donde "y" indica todas las celdas en mapa raster de amenaza y Yr indica el conjunto de las celdas del mapa raster.

El puntaje de degradación por celda fue transferido a un valor de calidad de hábitat usando una función del 50% de saturación. Mientras mayor sea el valor de degradación de una celda menor será su calidad de hábitat. Qxj representa la calidad de hábitat de una celda x que pertenece a un tipo de cobertura j,

$$Qxj = Hj(1 - (\frac{D^z xj}{D^z xj + k^z}))$$

Donde, z y k son constantes. Qxj es igual a 0 si Hj=0. Qxj aumenta en Hj y disminuye en Dxj. Qxj no puede ser mayor a 1. K es una constante del 50 % de saturación y representa la mitad del valor de degradación más alto de una celda del área y z es igual a 2.5.

2.4.1. GENERACIÓN DE DATOS DE ENTRADA:

2.4.1.1. Mapa de Clases de Cobertura: Este Mapa es el mismo generado para el Modelo de Retención de Sedimentos y Carbón, la metodología para su generación y su descripción se encuentran en la sección del modelo de pérdida de sedimentos.

2.4.1.2. Valor de Idoneidad de Hábitat: El valor de idoneidad de hábitat fue calculado usando el Índice de Valor Ornitológico (IVO) MINAM 2010, que determina cuan bueno es un lugar como área de conservación de aves, además de ser un buen indicador del estado de los ecosistemas (Fjeldsa 1987, Andrade y Rubio – Torgler 1994).

Índice de Valor Ornitológico (IVO): El IVO se calcula dando una puntuación de exclusividad a cada especie registrada luego se suma el puntaje del número total de registros, este índice fue calculado por clase de cobertura. Se realizaron salidas al ACP Uchumiri, donde se registró la riqueza de especies de aves presentes por una metodología mixta. Se seleccionaron las especies de interés y se les asignó un valor de IVO usando criterios de endemismo, estado de conservación y migración. Los valores de IVO de las especies fueron sumados para determinar el IVO por clase de cobertura.

A. Riqueza de Especies: Se utilizó una metodología mixta de puntos de conteo y listas de especies. El muestreo se dividió por unidades de vegetación, según el Mapa de Cobertura Base. Queñoal, Tolar, Yaretal, Pajonal, Bofedal y Coropuna. A excepción de los Bosques de Queñoa que fueron sectorizados según su clase de densidad en Disperso, Semidenso y Denso.

   a. Puntos de Conteo: Fueron ubicados al azar dentro de las unidades de vegetación registrando las especies por avistamiento y/o vocalización a un radio de 25 metros. Los horarios de evaluación fueron de 6:00 – 10:00 A.M. y de 3:00 – 6:30 P.M.

b. Lista fijas de Especies: Se registraron 5 especies por lista, se siguió un recorrido que obedece a criterio del investigador, tratando de registrar el mayor número de especies dentro de cada unidad de vegetación. Los horarios de evaluación fueron de 6:00 – 10:00 A.M. y de 3:00 – 6:30 P.M.

B. Selección de Especies de Interés: Se asignaron los puntajes de IVO de acuerdo a las especies endémicas, especies amenazadas y especies migratorias.a.

a. Aves Endémicas: Se seleccionaron las especies que eran endémicas de Perú y/ó pertenecían a alguna de las Áreas de Endemismo de Aves según BirdLife 2014 (Endemic Bird Areas – EBA). Se le asignó 3 puntos a las especies que pertenecieran a un EBA, 3 puntos a las especies que eran endémicas del Perú y 5 puntos a las especies que pertenecían a un EBA y eran endémicas de Perú. Se registraron 7 especies endémicas.

Tabla N° 15 Especies de Aves Endémicas presentes en el ACP Uchumiri (Fuente: Elaboración Propia)

Especies Endémicas	EBA	Perú	Puntaje	Cobertura
Metallura phoebe	-	X	3	Qe Io
Colaptes atricollis	-	X	3	Qe Ya
Geositta crassirostris	052 Peru - Chile Pacific Slope	X	5	Io
Upucerthia albigula	052 Peru - Chile Pacific Slope	-	3	Qe P Bo
Leptasthenura andicola	051 Peru High Andes	-	3	Qe
Asthenes pudibunda	051 Peru High Andes	-	3	Qe P Io Bo
Atlapetes nationi	-	X	3	Qe

b. Aves Amenazadas: Las especies Amenazadas fueron definidas según la clasificación del estado peruano por el Decreto Supremo N° 004 – 2014 – MINAGRI. Se le asignó 2 puntos a las especies en Estado Casi Amenazado – NT, 3 puntos a las especies en estad Vulnerable – VU, 4 punto a las especies en estado En Peligro – EN y 5 puntos a las especies en estado de Peligroo Crítico – CR. Se registraron 10 especies con algún grado de Amenaza.

Tabla N° 16: Especies de Aves Amenazadas presentes en el ACP Uchumiri (Fuente: Elaboración Propia)

Especies Amenazadas	Estado	Puntaje	Cobertura
Timanotis pentlandii	NT	2	Pa Bo
Podiceps occipitalis	NT	2	La
Phoenicopterus chilensis	NT	2	La
Phoenicoparrus andinus	VU	3	La
Phoenicoparrus jamesi	VU	3	La
Vultur gryphus	EN	4	A
Falco peregrinus	EN	4	A
Fulica gigantea	EN	4	La
Agriornis albicauda	VU	3	To Qe
Oreomanes fraseri	NT	2	Qe

c. Aves Migratorias: Las especies migratorias fueron clasificadas según la Guía de Aves del Perú (Schulenberg et al. 2010). Se le

asignó 1 punto a las especies emigrantes boreales y 1 punto las especies emigrantes australes.

Tabla N° 17 Especies de Aves Migratorias presentes en el ACP Uchumiri (Fuente: Elaboración Propia).

Especies Migratorias	Migración	Puntaje	Cobertura
Phoenicoparrus andinus	Austral	1	La
Phoenicoparrus jamesi	Austral	1	La
Charadrius alticola	Boreal	1	Bo
Calidris bairdii	Boreal	1	Bo
Phalaropus tricolor	Boreal	1	La
Muscisaxicola flavinucha	Austral	1	Pa To Bo
Muscisaxicola frontalis	Austral	1	Pa Bo

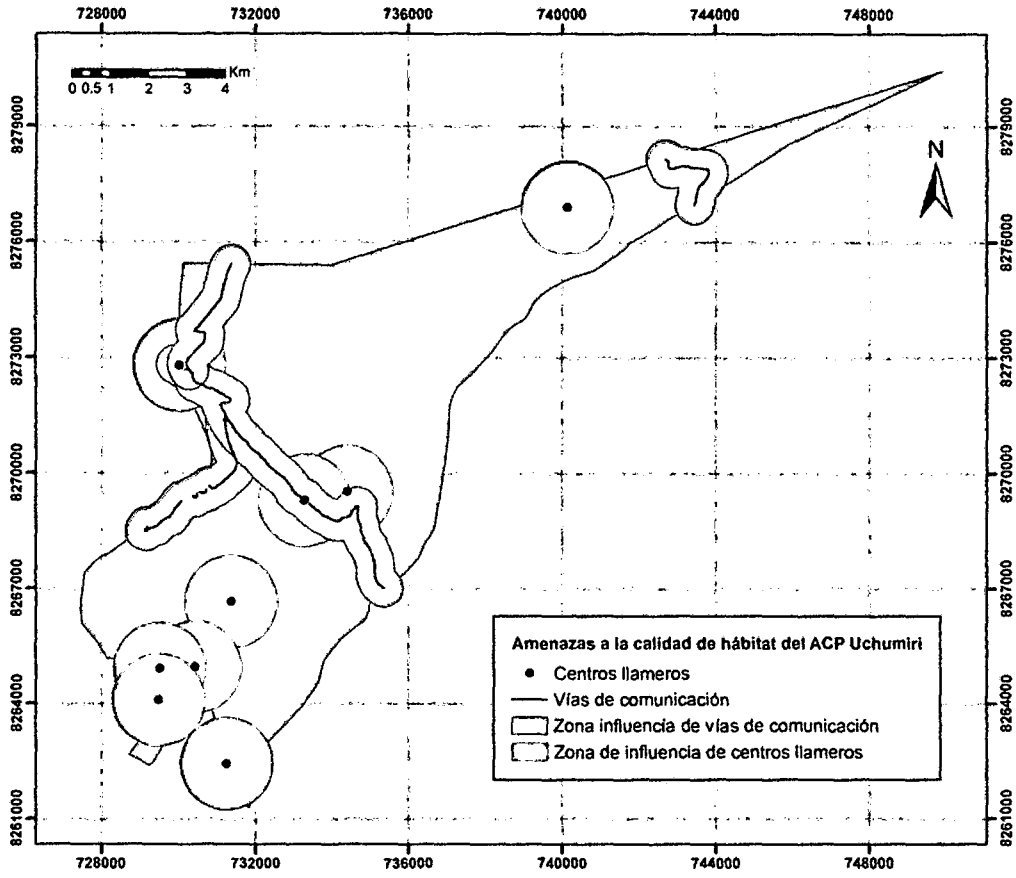
C. Valor de Idoneidad de Hábitat: Se le asignó el IVO total por clase de cobertura, según las especies de importancia siguiendo los criterios establecidos. Este valor fue expresado como indicador de la idoneidad de hábitat en un rango de 0 a 1. Tomando como 1 al máximo puntaje obtenido en el IVO por clase de cobertura.

Tabla N° 18 Índice de Valor Ornitológico de las clases de cobertura presentes en el ACP Uchumiri (Fuente: Elaboración Propia).

Clase de Cobertura	IVO	Hs
Queñoal Disperso	23	1
Queñoal Semidenso	23	1
Queñoal Denso	23	1
Bofedal	17	0.74
Pajonal	4	0.17
Yaretal	3	0.13
Tolar	15	0.65

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN
PROPIEDAD DE LA BIBLIOTECA DE BIOMÉDICAS
AREQUIPA - PERU

2.4.1.3. Mapas de Amenazas Presentes: Se determinó la presencia de vías de comunicación (carreteras) y pastoreo de llamas como fuentes de degradación de la calidad de hábitat. La ubicación de las carreteras se determinó con las capas de ruta departamental y ruta vecinal del SIGMED y las ubicaciones de los corrales de llamas fueron referenciadas en campo.



Mapa N° 8: Amenazas a la calidad del hábitat para la conservación de la Avifauna del ACP Uchumiri. (Fuente: Elaboración Propia).

2.4.1.4. Atributos de las Amenazas:

A. Peso de las amenazas: Representa el impacto relativo de cada amenaza, su valor se encuentra en un rango de 0 a 1.

- Carreteras: Las carreteras son fuentes para la extracción de combustible y drenado de bofedales. En caso intensivo e indiscriminado, las coberturas tomarían valores, similares a la

del mosaico que sería el pajonal con un valor de 4. Este valor equivale al 17.4 % de la calidad máxima actual, por lo que el impacto sería de un 82.6%. Sin embargo la presencia de carreteras es solo una probabilidad de que esto ocurra, más no da la certeza. Por lo que se multiplico por una probabilidad del 30 % ya que lo ideal sería un 50% pero debido a la protección de la comunidad y su condición de ACP, un 30% podría ser adecuado. Considerando que siempre hay personas que van en busca de recursos y el ACP no cuenta con el presupuesto para personal de vigilancia. Siendo el Peso Resultante de 0.25.

- Pastoreo de Llamas: Representan una amenaza al comer brinzales de *Polylepis* y tola, esto evita la regeneración natural de los bosques. Generan efectos de borde y la fragmentación entres los parches. Siguiendo los estudios de Renjifo 1999 y Vargas et al. 2002 se le asignó un valor de 0.12.

B. Distancia Máxima: Es la distancia límite del efecto de las amenazas.

- Carreteras: La distancia máxima de las carreteras corresponde a la distancia en la que es rentable extraer combustible (madera) y drenado de bofedales. Se determinó a través de entrevistas a los pobladores y se verificó con la distancia máxima del grado de perturbación de las clases de cobertura adyacentes a estas fuentes.

- Pastoreo de Llamas: Los corrales de llamas están administrados por familias que pertenecen a la comunidad Uchumiri, tienen la costumbre de dejar pastar libremente su ganado. Entre las familias tienen acuerdos sobre los territorios de pastoreo, para que el ganado de una familia no invada al de la otra. Estos datos fueron registrados en campo con un equipo GPS Garmin 64S, los cuales se subieron al programa ArcGIS y se calculó la distancia máxima según el territorio de pastoreo de cada familia.

C. Sensibilidad: La sensibilidad es la magnitud que se ve afectada la calidad de hábitat de cada clase de cobertura ante las amenazas presentes. Esta calidad está en función del puntaje asignado a cada especie. Las especies de interés fueron agrupadas en gremios de acuerdo al estrato que usaban según Fjelsa 1993 en: Especies Generalistas, Especies Asociadas a Cuerpos de Agua, Especies de Estrato Arbusto – Arbustivo y Especialistas de Bosque.

- Carreteras: Las carreteras al ser fuentes de extracción y drenado de bofedales, afectan a las especies arbusto – arbustivas, especialistas de bosque y asociadas a cuerpos de agua. El IVO de cada clase de cobertura se separó por estos grupos y la sensibilidad fue asignada según el puntaje de los grupos que afectaban.

- Corrales de Llamas: Las corrales de llamas son fuentes de pastoreo sobre los ecosistemas, afectan a las especies arbusto – arbustivas y especialistas de bosque. El IVO de cada clase de cobertura se separó por estos grupos y la sensibilidad fue asignada según el puntaje de los grupos que afectaban.

2.4.2. MODELAMIENTO: Se corrió el Modelo InVEST de Retención de Sedimentos con los siguientes datos de entrada.

- Mapa de Clases de Cobertura del ACP Uchumiri

- Tabla de Valores de Idoneidad de Habitat por Clase de Cobertura y su sensibilidad ante cada amenaza

- Mapa de las Amenazas para la Avifauna del ACP Uchumiri

- Tabla de Atributos de las Amenazas. Peso, Distancia Máxima de Acción.

Las tablas se ingresaron en formato de Valores Separados por Comas (.CSV) y los mapas en formato Raster (.TIFF) proyectados en

coordenadas UTM WGS 84 Z 18 S y con una resolución espacial de 30 metros por pixel.

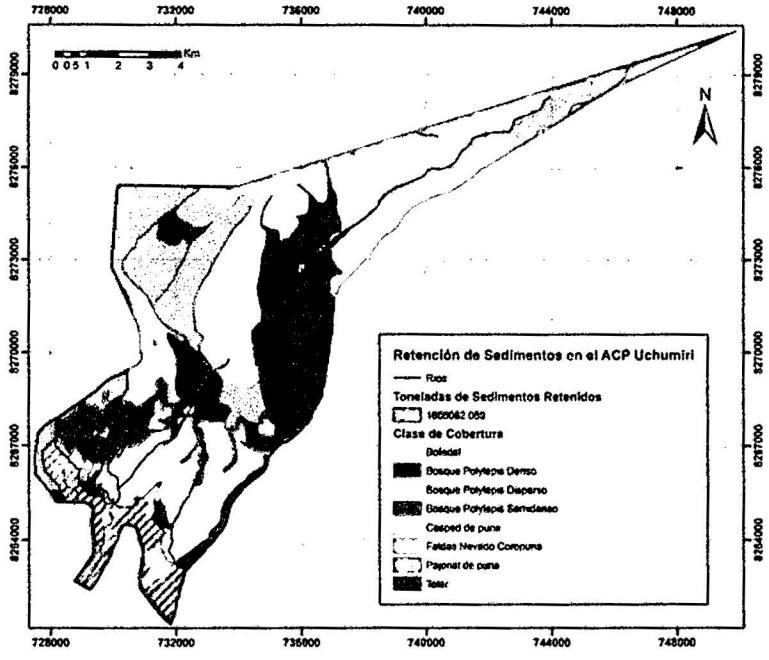
2.4.3. VALIDACIÓN: El modelo utiliza los datos de los registros de especies de aves, se selecciona las especies de interés para la conservación y se asigna el puntaje de IVO a cada una de las especies. Con el puntaje del total de registros se determina la idoneidad de cada hábitat. Debido a esto la calidad de hábitat determinada está relacionada directamente a un muestreo representativo de las especies presentes en el área. Debido a esto, el muestreo de especies fue validado usando una curva de acumulación de especies de los registros obtenidos y el estadístico Chao2 en el programa EstimateS, obteniendo un valor de correlación de 0.87. Este valor representa una alta correlación y un muestreo adecuado.

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. SERVICIO DE RETENCIÓN DE SEDIMENTOS:

3.1.1. Resultados:



Mapa N° 9: Cantidad de Sedimentos Retenidos por los Bosques de *Polylepis* en el ACP Uchumiri (Fuente: Elaboración Propia).

Los bosques brindan un servicio de retención de sedimentos, para que este genere bienestar debe cuantificarse en un punto de interés. En este estudio se determinó una cantidad de 1665082 toneladas sedimentos retenidos por año, para la red hídrica que abastece a la represa Occoruro – Pampa del Distrito de Yanaquihua, evitando así la contaminación del agua y permitiendo el adecuado funcionamiento de la represa.

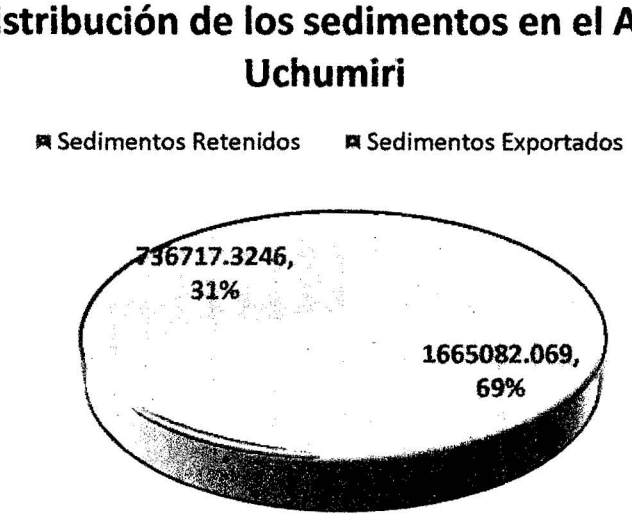


Gráfico N° 3: Retención de Sedimentos de los bosques de *Polylepis* en el ACP Uchumiri (Fuente: Elaboración Propia)

USLE es un modelo sencillo y de base empírica que tiene la capacidad de predecir la tasa anual de pérdida de suelo anual, usando información del patrón de precipitación, clase de suelo, topografía, sistema de cultivo y prácticas de manejo. La pérdida potencial de suelo está representada por los factores RKLS. La vegetación reduce esta pérdida potencial a través de los factores P y C y su eficiencia de retención.

En este trabajó se estimó una pérdida potencial de suelo de 2401799 toneladas/año para el área, sin considerar el efecto de la cobertura y capacidad de retención de los bosques de *Polylepis*. La cantidad de sedimentos retenidos por los bosques fue de 1665082 toneladas de sedimentos/año, lo que representa casi el 70% de la pérdida potencial

de suelo, como resultado la cantidad real de sedimentos que son exportados a la corriente hídrica es de 736717 toneladas de sedimentos/año, solo un 30% de la cantidad que sería exportada en ausencia de los bosques.

3.1.2. Discusión:

3.1.2.1. Retención de Sedimentos:

Se determinó una perdida potencial de suelo de más de 2 millones de toneladas en el área. Esto representa una erosión muy severa debido a causas topográficas, climáticas y de la degradación de los ecosistemas naturales. Diversos estudios corroboran estos resultados. Vasquez (2000), señala que como consecuencia del proceso de erosión, generalmente los suelos de las zonas altoandinas son superficiales (menores a 30 cm), pobres en materia orgánica, baja fertilidad y con escasa capacidad de retención de agua, Zamora (1974), describe como el principal problema de los suelos de la vertiente occidental de los andes, la erosión de forma hídrica, que empieza en las áreas fuertemente inclinadas que enmarcan y bordean cada río, y las principales causas de esto es la sobreexplotación de los recursos naturales sobre todo en las partes superiores e intermedias de la cuenca, la destrucción de bosques originarios y el excesivo pastoreo de hierba y matorrales secundarios, Guerrero y Pajares, (2001), la erosión de los suelos es uno de los principales problemas de la sierra, casi todo el territorio presenta algún grado de erosión, el problema es muy agudo e intenso. La topografía accidentada asociada al uso actual de estas áreas por encima de su capacidad de soporte o potencial ha traído como consecuencia su estado casi generalizado de erosión severa especialmente en las laderas y AEDES (2006), en el estudio edgafológico de la subcuenca de cotahuasi, realiza un diagnóstico de las principales series de suelo presentes en el ACP Uchumiri, de las

cuales todas presentas como principal problema la erosión severa a muy severa debido a las pronunciadas pendientes, severas precipitaciones estacionales.

Los bosques de *Polylepis* en el ACP Uchumiri retienen un total de 1665082 toneladas de sedimentos/año, evitando que este sedimento llegué a las aguas que alimentan la represa Occoruro – Pampa del Distrito de Yanaquihua. Esto representa un 70% de la pérdida de suelo potencial, lo que evidencia el alto nivel de provisión de los servicios de los bosques.

La cantidad de sedimentos retenidos, determinada usando un modelo biofísico, debe ahora ser valorizada en términos económicos como un servicio que genera bienestar a las personas, este servicio contribuye al mantenimiento de la represa y la calidad del agua que almacena. Esto es posible utilizando el método del costo evitado (Cristeche y Penna 2008), valorizando el servicio como el costo de remoción de los sedimentos por dragado y calidad de agua.

Una vez realizada la valoración pueden generarse distintos escenarios de mecanismos de retribución de servicios ecosistémicos, ya sea por incentivos, compensación o pago por servicios (Hajek y Martinez de Anguita 2012). Para esto se debe identificar a los demandantes del servicio, institución encargada de la represa y los usuarios del recurso hídrico, los cuales deberán retribuir el servicio ofertado por la comunidad campesina Uchumiri que tiene los derechos sobre el ACP, sus bosques y los servicios que estos proveen. De esta manera se podrán realizar actividades de conservación que mantengan el funcionamiento del ecosistema y sus servicios asociados, junto con el desarrollo de la comunidad campesina.

BIBLIOTECA DE BIOMEDICAS

3.1.2.2. Incertidumbre:

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo es un método estándar para calcular la pérdida de suelo, sin embargo tiene varias limitaciones:

- Solo predice la erosión de tipo laminar (que es la más común) sin embargo no considera la erosión por arroyamiento (regueros, cárcavas y depósitos fluviales) ni los procesos de deposición (FAO 2002).

- La relación entre la intensidad de la lluvia y la energía cinética no ha sido validad en áreas montañosas porque la ecuación fue desarrollada en planicies americanas. En este caso se utilizó una ecuación opcional que representa un régimen climático estacional, en donde se dan fuertes periodos de precipitación de corta duración (Arnoldus 1977).

- Finalmente la ecuación considera los efectos de cada variable de forma independiente.

El modelo puede no representar exactamente el proceso de erosión en las unidades hidrográficas debido a que está basado en la parametrización de diferentes ecuaciones y cada parámetro describe un proceso estocástico. La exactitud del modelo depende de la calidad de información y su calibración con información actual de la sedimentación. Esto presenta un problema debido a la escasa información de la descarga de sedimentos a nivel de cuencas y subcuencas que se tiene en el país, por lo que no se recomienda tomar decisiones a gran escala con estos resultados ya que son producto de un solo modelamiento. Sin embargo la información obtenida es útil como indicador de los efectos que pueden causar los cambios en el uso del suelo en la provisión de los servicios de los bosques de *Polylepis* en el área y los costos de dragado de sedimentos y calidad de agua de la represa "Occoruro – Pampa".

3.2. SERVICIO DE ALMACENAMIENTO DE CARBÓN:

3.2.1. Resultados:

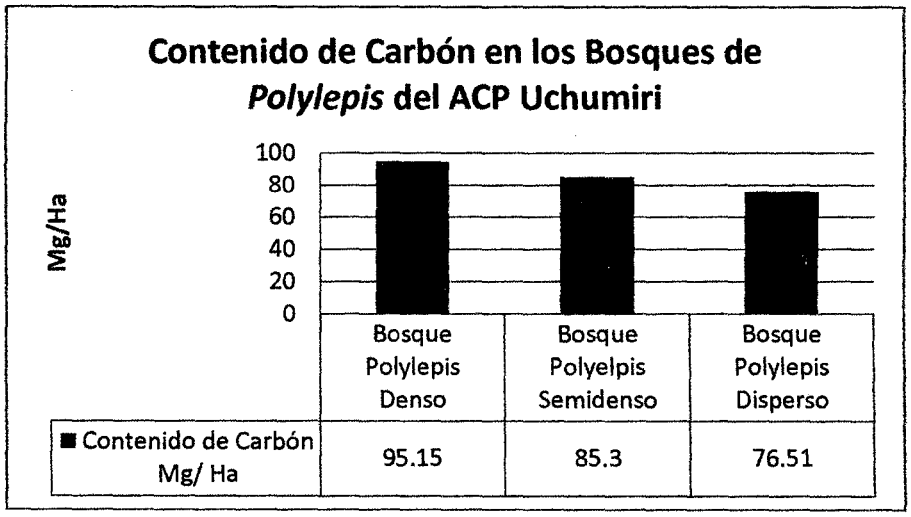


Gráfico N° 1: Contenido de Carbón en los Bosques de *Polylepis* del ACP Uchumiri

Se determinó el contenido total de Carbón almacenado en los bosques de *Polylepis* de acuerdo a su densidad, encontrándose que el Bosque de *Polylepis* Denso es el que tiene mayor contenido de carbón con un valor de 95.15 ± 12.5 Mg/Ha y el Bosque de *Polylepis* Disperso tiene el menor contenido de carbón con un valor de 76.51 ± 11.24 Mg/Ha.

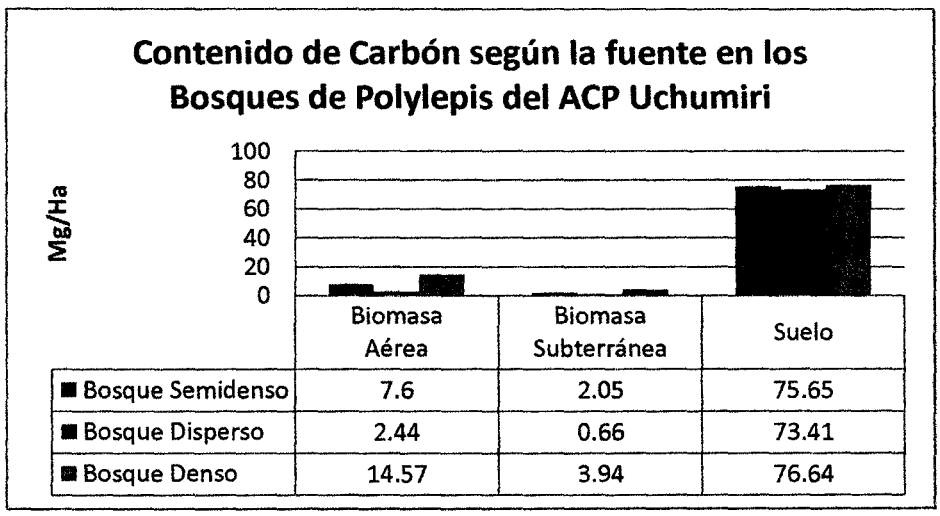
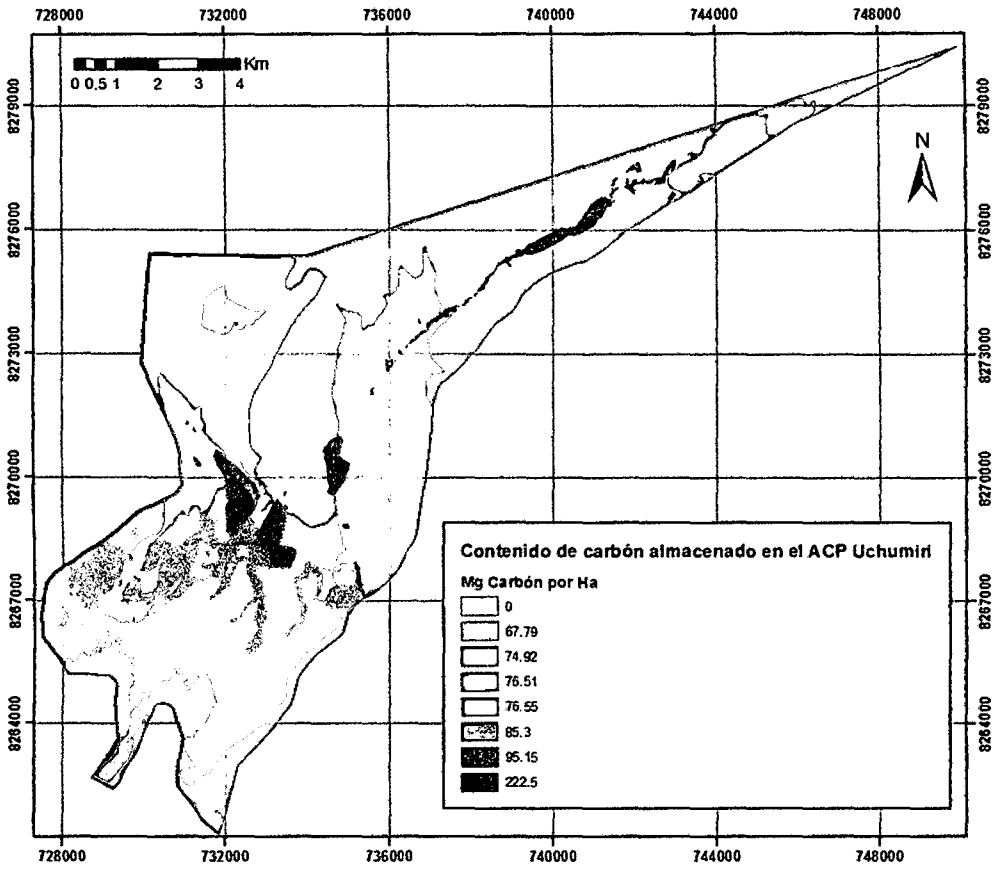


Gráfico N° 2: Contenido de Carbón según la fuente en los Bosques de *Polylepis* del ACP Uchumiri

Se determinó que el suelo es la mayor fuente de almacenamiento de carbono en los bosques de *Polylepis* del ACP Uchumiri, representando asi el 95.95% en los bosques dispersos, el 88.69% en los bosques semidensos y el 80.55% en los bosques densos.



Mapa N° 10: Contenido de Carbón almacenado en el ACP Uchumiri (Fuente: Elaboración Propia)

Utilizando los valores referenciales para las restantes clases de cobertura se tiene que el contenido total de carbón en el ACP Uchumiri es 774,794.76 ± 51,862.84 Mg, siendo los bofedales la clase de cobertura con mayor contenido de carbón alcanzando un valor de 222.5 Mg/Ha.

3.2.2. Discusión:

3.2.2.1. Contenido de Carbón:

El contenido de carbón en la biomasa aérea de los bosques se encuentra en un rango de 2.44 a 14.57 Mg/Ha dependiendo de la densidad. Algunos investigadores han estimado el contenido de carbón en la biomasa aérea de los bosques de *Polylepis,* en Ecuador y Perú con ciertas diferencias en los contenidos de carbón, en un rango que va de 9.18 a 51.28 Mg/Ha (Fehse et al. 2002, Calderon y Lozada (2010), Vasquez et al. 2014 y Pacheco et al. 2015).

La amplitud del rango de valores en el contenido de carbón en la biomasa de los bosques de *Polylepis* en la literatura es considerable. El valor promedio de cada estudio, sin embargo, refleja diversos factores, incluyendo sucesión después de la perturbación de hábitat, factores ambientales como el régimen hídrico, el clima y efectos orográficos, la densidad de individuos, la edad de los bosques, la metodología utilizada, entre otros. Los resultados en este estudio presentan una mayor similitud con el trabajo de Calderon y Lozada 2010 en P. reticulata con un contenido de carbón de 9.18 Mg/Ha. La extrapolación de los valores del contenido de carbón, es un objetivo central en los de la ecología de ecosistemas. Para poder acceder a los mercados de servicios ecosistémicos, se debe incorporar la importancia de estos factores a lo largo de sus gradientes.

Tabla N° 19 Contenido de carbón en la Biomasa aérea de los Bosques de *Polylepis* en Perú y Ecuador (Fuente: Elaboración Propia)

Especie	Biomasa Aérea	Lugar	Autor
Polylepis	2.44 - 14.57	Arequipa, Perú	Cuadros 2015
P. incana	51.28	Cuenca, Ecuador	Pacheco 2015
P. incana	38	Lima, Perú	Vasquez et al. 2014
P. incana	10.89 - 20.55	Quito, Ecuador	Calderon y Lozada 2010
P. reticulata	9.18	Quito, Ecuador	Calderon y Lozada 2010
P. incana	184	Napo, Ecuador	Fehse et al. 2002

El suelo es el mayor reservorio de materia orgánica en la biosfera (Schlesinger y Bernhardt 2013). En este estudio se determinó un contenido de carbón en el suelo de los bosques de *Polylepis* entre 80.55 y 95.95%, lo cual es comparable con el estudio de Vasquez et al. 2014 que determinó un contenido de carbón del 90.6% en los bosques de *Polylepis incana* del Parque Nacional Nor Yauyos Cochas, sin embargo Fehse et al 2002 determinó solo un 10 a 30% de contenido de carbón en suelo para bosques de *Polylepis* en el Ecuador. Esto podría deberse a que la temperatura en el área de estudio es mucho menor que en este último estudio y esto limita la descomposición permitiendo la mayor acumulación de carbón en el suelo.

El contenido total de carbón en los bosques del ACP Uchumiri se encuentra en un rango de 95.15 ± 12.5 Mg/Ha para bosque denso y 76.51 ± 11.24 Mg/Ha para Bosque Disperso. Este contenido de

carbón es considerable en comparación con otros tipos de ecosistemas como los bosques nublados de Ecuador entre 2000 y 3000 msnm y los bosques nublados en Perú (Moser et al. 2011, Gibbon et al. 2010). Esto se debe a que si bien la biomasa aérea no es una fuente de almacenamiento considerable, la cantidad de materia orgánica en los suelos permite ser un gran sumidero de CO2 y competir con estos bosques de mayor volumen y densidad.

Tabla N° 20 Contenido de Carbón almacenado en los Bosques Nublados de Ecuador y Perú y los bosques de *Polylepis* del ACP Uchumiri (Fuente: Elaboración Propia).

Ecosistema	Carbón Mg/Ha	Lugar	Autor
Bosque *Polylepis* Den.	95.15	Perú	Cuadros (2015)
Bosque *Polylepis* Semiden.	85.3	Perú	Cuadros (2015)
Bosque *Polylepis* Disp.	76.51	Perú	Cuadros (2015)
Bosques Nublados (2380m)	67	Ecuador	Moser et al. (2011)
Bosques Nublados (3060m)	87	Ecuador	Moser et al. (2011)
Bosques Nublados	77.3	Perú	Gibbon et al. (2010)
Bosques Nublados (3000m)	118	Perú	Zimmermman et al. (2010)

La capacidad de almacenamiento de carbón es un servicio ecosistemico importante que se verá degradado si ocurre deforestación (Guo y Gifford 2002). Los bosques de *Polylepis* no son ajenos a esto y su degradación se evidencia por la distribución restringida a lugares de difícil acceso y grandes alturas Kessler 2006. En este estudio se demuestra su potencial como fuentes de almacenamiento de carbón, es momento de continuar las investigaciones de la capacidad de retención de carbón y las

condiciones óptimas de crecimiento, esto permitirá acceder a bonos de carbono e iniciativas REDD que permitan articular los intereses globales de mitigación de cambio climático, los intereses nacionales de conservación del capital natural y los interés de desarrollo de la comunidad campesina Uchumiri.

3.2.2.2. Incertidumbre:

La incertidumbre puede clasificarse como al azar o sistemática. La incertidumbre causada por el azar, se debe a la variación espacial, puede abordarse en gran medida usando un protocolo de muestreo adecuado (al azar o al azar estratificado), y es adecuado para muestreos en suelo y biomasa. Chave et al. (2004) determinaron que cuando se extrapola las medidas de inventarios forestales a nivel ecosistema, la mayor contribución a la incertidumbre es la elección de una ecuación alométrica adecuada, el tamaño de las parcelas de muestreo, y la representatividad de las parcelas en la zona de estudio.

Se utilizó un enfoque de muestreo al azar, lo cual es una labor intensiva pero elimina muchas fuentes de error debido a la selección de lugares. Trabajos posteriores deben combinar el muestreo al azar con información de sensores remotos para producir una estimación adecuada de la cantidad de carbón en estos sistemas de gran altitud.

La elección de la ecuación alométrica afecta significativamente los resultados del contenido de carbón en la biomasa. La ecuación utilizada tiene un coeficiente de determinación de 73%, utiliza las medidas del diámetro y altura del árbol. La estimación de la altura de los árboles que no son rectos presenta una evidente dificultad. Sin embargo, Williams y Screuder (2000) concluyen que, si la altura varía en un ± 40%, aun se mantendrá la exactitud en la estimación de la biomasa.

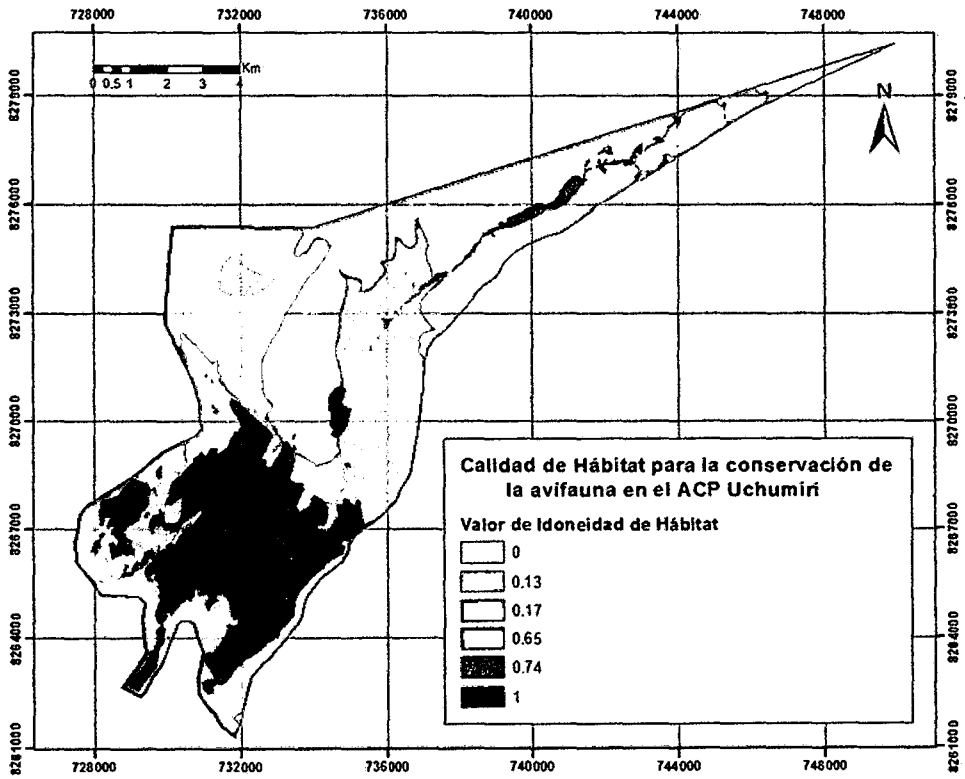
Para una mayor exactitud es necesario desarrollar una ecuación alométrica propia para el área de estudio (Schlegel et al. 2000). El desarrollo de una relación alométrica para las condiciones del área de

estudio implica un método destructivo por cosecha y dado el estado de conservación de los *Polylepis* en el Perú es una limitación para los inventarios de carbono en esta clase de bosques.

La metodología se diseñó para capturar todas las fuentes de carbón significativas del bosque, sin embargo, algunas fuentes menores no fueron estimadas. Un estudio de bosques enanos en Ecuador (Moser et al. 2008) determinaron que los árboles con un diámetro menor a 12 cm contribuyen a un 9% de la biomasa. En el estudio no se consideró los individuos con un DAP menor a esta medida, ni tampoco la hojarasca presente en los bosques.

3.3. SERVICIO DE CALIDAD DE HÁBITAT PARA LA CONSERVACIÓN DE LA AVIFAUNA:

3.3.1. Resultados:



Mapa N° 11: Calidad de hábitat **para** la conservación de la avifauna del ACP Uchumiri (Fuente: Elaboración Propia).

Los resultados por el modelamiento de la calidad de hábitat, determinan a los bosques de *Polylepis* como la clase de cobertura con mayor oportunidad para la conservación de la avifauna, con un valor de 1. No se encontró diferencias en la calidad de hábitat entre bosques según la densidad, sin embargo si existe una mayor cantidad de impacto sobre los bosques dispersos a causa de las amenazas presentes.

Para los bofedales se determinó un valor de calidad de hábitat de 0.74, lo que evidencia las oportunidades de conservación para la avifauna también por esta clase de cobertura, siendo superada solo por los bosques de *Polylepis.* La clase de cobertura de Tolar presenta un valor de 0.65 con menor cantidad de especies de importancia y finalmente las clases de cobertura de Pajonal, Yaretal y Faldas del Nevado Coropuna presentan valores menores a 0.2 de calidad de hábitat, debido a la ausencia de especies de importancia para la conservación (Endémicas, En Peligro, Migratorias) y a la predominancia de especies generalistas.

3.3.2. Discusión:

3.3.2.1. Calidad de Hábitat:

Los resultados obtenidos demuestran el alto grado de provisión del servicio de conservación de la avifauna por parte de los bosques de *Polylepis*, albergando especies de aves amenazadas y endémicas. Las especies de aves endémicas del Perú registradas son *Metallura phoebe*, *Colaptes atricollis* y *Atlapetes nationi*; además se registró *Leptasthenura andicola*, *Asthenes pudibunda* y *Geossita* crassirostris que se distribuyen en otros países sudamericanos, sin embargo los dos primeros pertenecen al Área de Endemismo de Aves de los Altos Andes en el Perú y el último al Área de Endemismo de Aves de la cordillera del pacífico de Perú y Chile según Birdlife 2015. Las especies de aves amenazadas registradas fueron Agriornis albicauda,

en Estado Vulnberable y Oreomanes fraseri, en Estado Casi Amenazado, según el Decreto Supremo N° 004 – 2014 – MINAGRI.

Diversos son los trabajos que coinciden en la importancia de este ecosistema relicto en la conservación de la avifauna. Fjeldsa 1993, determinó que cerca de 100 especies de aves habitan bosques de *Polylepis,* de las cuales por lo menos 20 especies se encuentran en un estado de conservación de amenazado y casi amenazado; además de ser "hot – spots" para un gran número de especies endémicas y especialistas. Fjeldsa 2002 determinó que 50 especies de aves son especialistas de bosques de *Polylepis,* siendo estas dependientes de este tipo de ecosistema. Gareca et al. 2010, describe a los bosques de *Polylepis* como hábitats críticos para las aves altoandinas. American Bird Conservancy 2012 consideran los bosques de *Polylepis* en Perú y Bolivia como un objetivo de importancia de conservación, ya que albergan una gran cantidad de especies de aves amenazadas y endémicas.

Las razones para el modelamiento de la biodiversidad (servicio ecosistémico intermedio) junto con los servicios ecosistémicos finales son simples y poderosas. Con esta información es posible comparar patrones espaciales de biodiversidad y servicios ecosistémicos finales (generan bienestar humano directo), y así poder identificas las áreas donde la conservación beneficia tanto a los sistemas naturales como a la economía de las personas, así como los lugares en donde estos objetivos no coinciden. Los resultados de este trabajo permiten alinear los objetivos de conservación de los bosques de *Polylepis*, su biodiversidad y los beneficios que generan a las personas.

3.3.2.2. Incertidumbre:

- Valor de Idoneidad:

  El valor de idoneidad de hábitat se calculó usando el índice de valor ornitológico (MINAM 2014), el cual asigna una puntuación de exclusividad a cada especie registrada dependiendo de criterios

como la distribución y la abundancia, luego la cuenta total es sumada dando la puntuación del IVO.

Inicialmente la metodología fue propuesta para determinar cuan bueno era un lugar como área para conservación de aves raras o de distribución restringida (Fjeldsa 1987), sin embargo Andrade y Rubio (1994), utiliza el índice como un indicador que determinado el estado de todo un ecosistema. El IVO es un indicador relativo de un área específica y no puede ser comparado entre lugares, debido a que no hay una uniformidad de los valores que se deben asignar a cada especie y a que los criterios de selección de especies de interés varían según el objetivo de conservación.

En este trabajo el IVO fue asignado usando criterios de amenaza, endemismo y migración de las especies de aves, debido a que estas especies son de particular interés nacional e internacional para su conservación y son aptas para la captación de fondos y subvenciones. Los puntajes fueron asignados según el Decreto Supremo de Especies en Peligro y las Áreas de Endemismo de Aves de la organización BirdLife, sin embargo este valor debe tomarse de manera referencial para el ACP Uchumiri y de utilidad para comparar la calidad de hábitat entre las diferentes clases de coberturas presentes en esta. Si se quieren comparar los valores de idoneidad de hábitat entre bosques de *Polylepis* en diferentes lugares, será necesaria la estandarización de los criterios para asignar el puntaje de IVO entre las dos áreas.

Por otro lado al ser un valor determinado por las especies registradas, su validez estará ligada a un adecuado muestreo de campo. La imposibilidad de registrar el total de especies durante un trabajo de muestreo es un grave problema metodológico en los estudios de la biodiversidad (Gotelli & Colwell, 2001). Las curvas de acumulación de especies permiten dar fiabilidad a los inventarios biológicos, una mejor planificación del trabajo de muestreo y la extrapolación del número de especies observadas

(Lamas et al. 1991, Soberón & Llorente, 1993). Se realizó una curva de acumulación de especies con los registros de especies de aves obtenidos en las salidas de campo y se comparó con el estadístico Chao2 validando el esfuerzo de muestreo en campo y los registros con los que se calculó el IVO para el ACP Uchumiri.

- Amenazas:

En este modelo todas las amenazas al ecosistema son aditivas, sin embargo hay evidencia, en algunos casos, que el impacto colectivo de múltiples amenazas es mucho mayor que la suma de la degradación de cada amenaza individual. Las amenazas identificadas fueron el pastoreo de llamas y la presencia de vías de acceso al área que permitan la extracción de combustible de los bosques y los tolares y el drenado de los bofedales.

Las principales fuentes de amenaza para los bosques de *Polylepis* en el Perú son la tala y el pastoreo (Mendoza et al. 2008). Kessler (1995) determinó que la regeneración de los bosques de *Polylepis* se da con menor intensidad en las zonas afectadas por el ganado. El pastoreo impide el establecimiento de las plántulas, no solo por la herbivoría sino por el impacto del pisoteo (Hensen 2002). Por otro lado la extracción de madera de los bosques genera efectos de borde, desconectividad de los parches y las pérdidas de las propiedades de los bosques por las del mosaico (Campbell y Doeg, 1989).

Los valores de impacto de las amenazas para el modelamiento se asignó según estudios en otros lugares, sin embargo para una mayor exactitud de los efectos de estas sobre los ecosistemas, deberían realizarse estudios de largo plazo en el área, lo cual no pudo darse por cuestiones logísticas.

La sensibilidad de las diferentes coberturas ante las amenazas se determinó agrupando a las especies que contribuyeron al puntaje del IVO según (Fjeldsa 1992), Lloyd y Marsden (2008), y Tinoco y

Astudillo (2007), en especies especialistas de *Polylepis*, especies generalistas, especies asociadas a cuerpos de agua y especies de bordes de bosque y según el efecto de la amenaza calcular la proporción en que su valor de calidad de hábitat se veía afectado, para este atributo es recomendable realizar un estudio específico del lugar, estas limitaciones deberán ir ajustándose para un modelamiento de mayor precisión.

CONCLUSIONES:

El objetivo de este trabajo fue cuantificar los servicios ecosistémicos que proveen los bosques de *Polylepis* ubicados en el Área de Conservación Privada Uchumiri. Se determinaron dos servicios ecosistémicos finales: la retención de sedimentos y el almacenamiento de carbón y un servicio ecosistémico intermedio: la conservación de la avifauna.

La cantidad de sedimentos retenidos por los bosques fue determinada en toneladas por año, este servicio genera bienestar humano, evitando que estos sedimentos entren al agua de captación de la represa "Occoruro – Pampa" del Distrito de Yanaquihua lo que ocasionaría la contaminación del agua y la degradación de las funciones de la represa.

La cantidad de carbón almacenado en los bosques fue determinada en toneladas por hectárea este servicio genera bienestar humano evitando que este carbón se encuentre en forma de CO2 contaminando la atmósfera y acelerando el cambio climático global.

La calidad de hábitat que proveen los bosques para la conservación de la avifauna fue determinada como valor de idoneidad, este servicio permite alinear la gestión para la conservación de los bosques, los beneficios que generan a las personas y la biodiversidad que estos resguardan.

- Los bosques de *Polylepis* del ACP Uchumiri retienen un total de 1.66 millones de Toneladas de sedimentos al año. Estos sedimentos son producto de la pérdida de suelo de más de 10 mil hectáreas de tierras, que presentan como principal problema un grado de erosión muy severo debido a sus pendientes altamente pronunciadas y a las severas precipitaciones estacionales. El servicio de retención de sedimentos provisto por los bosques evita que estas partículas lleguen a las aguas de captación de la represa "Occoruro – Pampa" del Distrito de Yanaquihua y la consecuente contaminación del agua y degradación de las funciones de la represa, evita también el costo derivado del mantenimiento de las funciones de la represa y el dragado de los sedimentos que estos retienen. Esta estimación ha sido validada usando un modelo de elevación digital que representa

BIBLIOTECA DE BIOMEDICAS

adecuadamente la red hídrica y su comportamiento en el área de estudio, sin embargo es necesario contar con datos de descarga de sedimentos por unidades hidrográficas de subcuencas para ajustar este valor y confirmar su exactitud. Ante la ausencia de este tipo de dato, no es recomendable tomar decisiones a gran escala de esta determinación ya que ha sido realizada por un solo proceso de modelamiento, sin embargo representa el alto potencial de los bosques como proveedores de agua limpia hacia los usuarios del agua de esta represa.

- Las casi 2400 hectáreas de bosques de *Polylepis* del ACP Uchumiri almacenan una cantidad de 19.4 mil Toneladas de Carbón. Los bosques Densos ocupan un área de 245.81 hectáreas y almacenan 95.15 Mg C/Ha, los bosques Semidensos ocupan un área de 652 Ha y almacenan 85.13 Mg C/Ha y los bosques Dispersos ocupan un área de 1502 Ha y almacenan 76.51 Mg C/Ha. El 92% (178424 Mg) del contenido total de carbón almacenado en los bosques del ACP se encuentra en el suelo del ecosistema y el 8% (15497.94 Mg) restante corresponde al carbón almacenado en la biomasa tanto aérea como subterránea. Estos valores son comparables con el ecosistema de Bosques Nublados en Ecuador y Perú entre 2000 y 3000 msnm según los estudios de Moser et al. 2011, Gibbon et al. 2010, lo que demuestra el alto potencial de los bosques de *Polylepis* en el servicio de almacenamiento de carbón, sin embargo la mayor cantidad de carbón almacenado en estos ecosistemas es el suelo, gracias a esto aunque los bosques de *Polylepis* sean de un menor tamaño y densidades que los bosques nublados, pueden competir en la cantidad de carbón almacenado. El contenido de carbón almacenado en la biomasa aérea de 2.44 a 14.57 Mg C/Ha, determinado usando una ecuación alométrica con un coeficiente de determinación de 0.72, la cantidad de carbón en la biomasa presenta diferencias con la cantidad estimada para otros bosques de *Polylepis* en Perú y Ecuador (Pacheco 2015, Vasquez et al. 2014, Calderón y Lozada 2010, Fehse et al. 2002), estas diferencias se deben a que los estudios son en diferentes especies de *Polylepis,* como *P. incana*, a diferencias en la densidad de individuos, a diferencias en la edad de los bosques y a el uso de diferentes metodologías. La estimación de

este servicio demuestra el potencial de los bosques de *Polylepis* para proveer una atmósfera limpia a las personas y mitigar los efectos del cambio climático, reteniendo a los gases de efecto invernadero que producen esto.

- Se determinó el valor de 1 para la calidad de hábitat de los bosques de *Polylepis* para la conservación de la avifauna, siendo este la clase de cobertura más idónea para enfocar los esfuerzos de conservación hacia la biodiversidad en el ACP Uchumiri. Este valor fue el resultado de la determinación de las especies de interés para la conservación entre las cuales se tienen 6 especies de aves endémicas, y 2 especies de aves en algún grado de amenaza. Son muchos los autores que resaltan la importancia de los bosques de *Polylepis* como lugares importantes para la conservación de la avifauna endémica, en peligro y especialista (Fjeldsa 2002, Fjeldsa 1993, Gareca et al. 2010, American Bird Conservancy 2012) corroborando los resultados. La exactitud del valor obtenido depende de un adecuado esfuerzo de muestreo para la obtención de los registros, esto fue validado con un valor de 0.87 con el estadístico Chao 2. La calidad de hábitat determinada para la conservación de la avifauna es relativa al área de estudio y para ser comparada deben homogenizarse varios factores. Aun así estos bosques presentan un gran potencial para el servicio de conservación de la biodiversidad que sumados con los beneficios que generan a la sociedad forman un escenario óptimo para su conservación y retribución por sus servicios ecosistémicos.

RECOMENDACIONES:

En primer lugar debe realizarse estudios de continuación para perfeccionar los resultados de la cuantificación de los servicios ecositémicos y reducir las incertidumbres de sus estimaciones.

El servicio de retención de sedimentos debe ser calibrado con un valor de descarga de sedimentos, solo así se podrá tener seguridad de la validez de la estimación y poder acceder a un mecanismo de retribución por servicios ecosistémicos. Además debe considerarse como parte de la fuerza de erosión la precipitación originada en las nieves perpetuas del nevado Coropuna, al usar la Ecuación Universal de Pérdida de suelo solo se considera la erosión de tipo laminar por parte de la lluvia y la precipitación del deshielo es ignorada. Deben desarrollarse las modificaciones necesarias al modelo de retención de sedimentos para que represente la realidad local, ya que este ha sido desarrollado en otras condiciones topográficas y climáticas.

En el caso del almacenamiento de carbón, debe desarrollarse una ecuación alométrica propia del área, para una adecuada estimación de la cantidad real de carbono almacenado en la biomasa de los bosques. Además deben realizarse estudios que permitan determinar la capacidad de secuestro de carbono por parte de los bosques y las condiciones que favorecen este proceso,si es que se quiere acceder a los mercador internacionales de bonos de carbón y los escenarios REDD. También debe realizarse monitoreo de los bosques, medidas como el establecimiento de parcelas permanente permite tener un mayor conocimientos de la dinámica del bosques, sus alteraciones y los flujos de carbón entre sus distintas fuentes de almacenamiento.

Los resultados obtenidos del modelo de calidad de hábitat, deben ser complementados con estudio demográfico de las especies de aves con mayor relevancia para la conservación. Se carecen de datos de la abundancia de estas especies y es necesario estudios de tipo continuo, como parcelas de búsqueda intensiva y programas de anillamiento. El conocimiento de esta información es el punto de partida, para tomar las acciones de gestión adecuadas para la supervivencia de estas especies.

Por otro lado, los resultados del nivel de provisión de servicios ecosistémicos obtenidos en este trabajo por modelamiento biofísico, deben ser procesados por modelamiento económico, para que estos servicios tengan un precio.

El procedimiento necesario para esto es identificar a los ofertantes y demandantes de los servicios ecosistémicos. Los ofertantes son las personas con los derechos de tierra sobre los bosques, en este caso la comunidad campesina Uchumiri. Los demandantes son los usuarios del agua de la represa "Occoruro –Pampa", empresas privadas, instituciones públicas y ciudadanos en general, en caso de la retención de sedimentos; todas las personas que se benefician de respirar un aire limpio y de un mundo sin los efectos del calentamiento global, en el caso del almacenamiento de carbón y las instituciones de conservación que promueven la protección de las especies en peligro, así como el estado peruano que tiene el deber de proteger su capital natural, en el caso de la conservación de la avifauna.

Es necesario concientizar a la comunidad campesina Uchumiri, para que se identifique con los servicios ecosistémicos que brindan sus bosques, comprendan su gran valor y la oportunidad de desarrollo que representan para ellos, así se promoverán acciones para el cuidado de estos que provengan de la comunidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AEDES. 2006. Estudio Edafológico de la Subcuenca Cotahuasi – La Unión . Arequipa.
- AEDES. 2009. Biodiversidad en Bosques de Polylepis de las Áreas de Conservación Privada Huamanmarca-Ochuro-Tumpullo y Uchumiri.
- AEDES. 2010. Determinación y Descripción de los Ecosistemas de las Subcuencas del Nevado Coropuna.
- Arnoldus, J. 1980. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. In: De Boodt, M., Gabriels, D. (Eds.), Assessment of Erosion. Wiley, Chichester, UK, pp. 127-132.
- Aucca C., Palomino, C., Ramsay, P. 2005. Management of biodiversity and land use in Southern Peru: ECOAN's activities to help Conserve Polylepis woodlands. Mountain Research and Development 25(3):287-289.
- Buytaert, W., Célleri, R.,De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J. Hofstede, R. 2006. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. Earth-Science reviews 79(1-2):53-72.
- Capella, JL. &M. Sandoval. 2012. Marco Regulatorio e institucional de los Servicios Ecosistémicos en el Perú. En: ¿Gratis?: los servicios de la naturaleza y cómo sostenerlos en el Perú 1ª edi. Cap. 5 P 97 – 112. Lima: Servicios Ecosistémicos Perú, 2012.
- Calderón, M., & Lozada, V. 2010. Determinación de biomasa y contenido de carbón en plantaciones forestales de Polylepis incana y Polylepis reticulata. Escuela Politécnica Nacional.
- Campbell, I.C., and T. J. Doeg. 1989. Impact of timber harvesting and production on streams: A review. Australian Journal of Marine and Freshwater Research 40 : 519-39.

- Chave J, Condit R, Aguilar S, Hernandez A, Lao S, Perez R. 2004. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. Philos Trans R Soc B 359:409–20.

- Cristeche, E., Penna, J. 2008. Métodos de Valoración económica de los servicios ambientales. Estudios Socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales. ISSN 1851. 6955 N°3.

- Cooper, K. 2011. Evaluation of the Relationship Between the RUSLE R – factor and Mean Annual Precipitation.

- Desmet, P., and Govers, G. 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. Journal of Soil and Water Conservation, vol. 51, no. 5, pp. 427-433.

- Decreto Supremo N° 004 – 2014 – MINAGRI.

- Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and human well-being: a framework for assessment. Washington, D. C., Island Press.

- FAO. 2002., FAOSTAT Homepage of Food and Agriculture Organization of the United Nations, Online 2008, 9/11.

- Fehse, J.; Hofstede, R.; Aguirre, N.; Paladines, C.; Kooijman, A.; Sevink, J. 2002. High altitude tropical secondary forest: a competitive carbon sink?. Forest Ecology and Management 163:9-25.

- Fisher, B., K. Turner, A. Balmford, R. Brouwer, R. Costanza, R. de Groot, S. Farber, P. Ferraro, R. Green, D. Hadley, J. Harlow, P. Jefferiss, C. Kirby, P. Morling, S. Mowatt, R. Naidoo, J. Paavola, B. Strassburg, D. Yu, M. Zylstra. 2008. Ecosystem Services and Economic Theory: Integration for Policy-relevant Research. Ecological Applications 18(8): 2050-2067.

- Fjeldså, J. 1987. Birds of relict forests in the high Andes of Peru and Bolivia. Technical report from the Polylepis forest expedition of the Zoological Museum, 1987, with some preliminary suggestions for habitat preservation. Zoological Museum, University of Copenhagen, Denmark.

- Fjeldså J. 1992. Biogeography of the birds of the Polylepis woodlands of the Andes. In: Balslev, H, Luteyn JL, Editores. Paramo: an Andean ecosystem under human influence. London: Academic Press, pp 31-44.

- Fjeldså, J. 1993. The avifauna of the Polylepis woodlands of the Andean highlands: the efficiency of basing conservation priorities on patterns of endemism. Bird Conservation International, 3: 37-55.

- Fjeldså, J. & Kessler, M. 1996. Conserving the biological diversity of Polylepis woodlands of the highlands of Peru and Bolivia: A contribution to sustainable natural resource management in the Andes. NORDECO.

- Fu G, Chen S, McCool KD. 2006. Modeling the impacts of no-till practice on soil erosion and sediment yield using RUSLE, SEDD and ArcView GIS. Soil Tillage Res 85:38–49.

- Gareca, E. Hermy, M., Fjeldsa, J. y Honnay, O. 2010. Polylepis Woodland remnants as biodiversity islands in the Bolivian high Andes. Biodiversity and Conservation, Volume 19 Number 12 19:3327 – 33462010.

- Gibbon, A., Silman, M., Malhi, Y., Fisher, J., Meir, P., Zimmermann, M., Dargie, G., Farfan, W. y Garcia, K. 2010. Ecosystem carbon storage across the grassland- Forest transition in the high Andes of Manu National Park, Peru. Ecosystems 13: 1097-1111.

- Goldman, R., Tallis, H. Kareiva, P., Daily, G. 2008. Field Evidence that Ecosystem Services Projects Support Biodiversity and Diversify Options. Proceedings of the National Academy of Sciences105: 9445-9448.

- Grieg-Gran, M., I. Porras, S. Wunder. 2005. How can market mechanisms for forest environmental services help the poor? Preliminary lessons from Latin America. World Development 33(9): 1511-1527.

- Guerrero, A y Pajares, G. 2001. Estrategia Nacional para el Manejo Sostenible de los Ecosistemas de Montaña en el Perú. Documento de Trabajo Nº 11. ENDF-FAO-MINAG-GRPB. Lima – Perú.

- Guo L, Gifford, R. 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. Glob Change Biol 8:345–360. doi:10.1046/j. 1354-1013.2002.00486.x

- Hajek, F. y Martinez de Anguita, P. 2012. ¿Gratis? Los Servicios Ecosistémicos de la Naturaleza y cómo sostenerlos en el Perú. Ediciones Wust. Lima. Perú. Pp 436.

- Hensen, L. 2002. Impacts of anthropogenic activity on the vegetation of Polylepis woodlands in the region of Cochabamba, Bolivia. Ecotropica 8:183–20.

- Hurtado, C. y Cruz, C. 2006. Evaluación y soportabilidad de los bofedales de la cuenca del Uchusuma zona altoandina de Tacna.

- IPCC - International Panel on Climate Change. 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

- Jack, B., Kousky, C. y Sims, K. 2008. Designing Payments for Ecosystem Services: Lessons from Previous Experience with Incentive-based Mechanisms. Proceedings of the National Academy of Sciences 105: 9465-9470.

- Johnson, W., Kline, K., Modi, A., Rurau, N., Staudt, B. y Zamora, F. 2010. No differences in soil carbon stocks scross the tree line in the Peruvian Andes. Ecosystems 13: 62-74.

- Kessler, M. 1995. Polylepis -Wälder Boliviens: Taxa, Ökologie, Verbreitung und Geschichte. Dissertationes Botanicae 246, J. Cramer, Berlin Stuttgart.

- Kessler, M. 2006. Bosques de Polylepis. En: Moraes R.,M; Øllgaard, B.; Kvist, L.P; Borchsenius, F.; Simpson, B.B., 1979. A revision of the genus Polylepis (Rosaceae:Sanguisorbeae). Smiths. Contr. Bot. 43. 62 pp.

- Kleier, C. & Rundel, P. 2004. Microsite requeriments, population structure and growth of the cushion plant Azorella compacta in the tropical Chilean Andes. Austral ecology (2004) 29, 461- 470.

- Kouli, M., Soupios, P. & Vallianatos, F. 2009. Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. Environmental Geology 57, 483-497.

- Ley N° 30215, Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos.

- Melo, O. y Vargas R. 2002. Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos/ Universidad del Tolima, CRQ, CARDER, CORPOCALDAS, CORTOLIMA.

- Mendoza, W., Cano, A. y Vento R. 2010. Bosques de Polylepis de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca, Arequipa y Moquegua, Perú. En: H. Zeballos, J. Ochoa y E. López (eds.), Diversidad biológica de la Reserva Nacional de Salinas y Aguada Blanca. desco, INRENA, PROFONANPE. Lima. Pp. 167-172.

- Mendoza, A. y Galicia, L. 2010. Aboveground and belowground biomass and carbon pools in highland temperate forest landscape in Central Mexico.

- MINAG. 2010. Reglamento para la Ejecución del Levantamiento de Suelos. DECRETO SUPREMO Nº 013-2010-AG.

- MINAM. 2010. Guía de Evaluación de la Fauna Silvestre. Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales. Dirección general de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. Lima, Perú. 2010.

- MINEG. 2002. Guía para el Muestreo y Análisis de Suelo. República del Perú. Ministerio de Energía y Minas.

- Moser, G., Leuschner, C., Hertel, D., Graefe, S., Soethe, N. y Lost, S. 2011. Elevation effects on the carbon budget of tropical mountain forests (S Ecuador): the role of the belowground compartment.Global Change Biology 17: 2211-2226.

- Moser G, Roderstein M, Soethe N, Hertel D, Leuschner C. 2008. Altitudinal changes in stand structure and biomass allocationof tropical mountain forests in relation to microclimate and soil chemistry. Ecol Stud 198:229–42.

- Omuto, C. 2008. Assessment of soil physical degradation in Eastern Kenya by use of a sequential soil testing protocol. Agriculture, Ecosystems and Environment 128, 199-211.

- Osinaga, O., Baez, S., Cuesta, F., Malizia, A., Carrilla, J., Aguirre, N. y Malizia, L. 2014. Monitoreo de diversidad vegetal y carbono en bosques andinos-Protocolo extendido. Protocolo 2 - Version 1. CONDESAN / IER-UNT/ COSUDE. Quito, Ecuador.

- Pacheco, K. 2015. Estructura de los Rodales de Polylepis reticulata del Parque Nacional el Cajas, Estado Actual para la proyección futura en el marco del cambio climático. TESIS DE GRADO. Universidad de Cuenca.

- Pagiola, S., Arcenas, A., Platais, G. 200. "Can Payments for Environmental Services Help Reduce Poverty? An Exploration of the Issues and the Evidence to Date from Latin America." World Development 33(2): 237-253.

- Pagiola, S., Bishop, J. 2002. Selling Forest Environmental Services. Market-based Mechanisms for Conservation and Development. Londres, Earthscan Publications.

- Prasannakumar, V., Vijith, H., Abinod, S. & Geetha, N. 2012. Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. Geoscience Frontiers 3(2), 209-215.

- Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, K. & Yoder, D. 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook 703, 1-251.

- Renjifo, L. 1999. Composition Changes in a Subandean Avifauna after Long – Term Forest Fragmentation. Conservartion Biology, Pages 1124 – 1139. VOlumen 13, No. 5.

- Roose, E. 1996, Land Husbandry -Components and strategy. 70 FAO Soils Bulletin, Food & Agriculture Organization of the UN, Rome, Italy.

- Rubio – Torgler, H. y Andrade, G. 1994. Sustainable Use of the Tropical Rain Forest: Evidence from the Avifauna in a Shifting – Cultivation Habitat Mosaic in the Colombian Amazon. Fundación Natura Colombia. A.A. 55402. Santafé de Bogotá, D.C. Colombia.

- Schlegel, B., Gayoso, J. y Guerra, J. 2000. Manual de procedimientos. Muestreos de biomasa forestal. pp. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

- Schlesinger, W. y Bernhardt, E. 2013. Biogeochemistry: an analysis of global change, 3rd edn. Academic Press Inc, Waltham.

- Schulenberg, T., Stotz, D., Lane, D., O'neill. J., Parker, T. 2010. Aves de Perú. Princeton Universtity Press.

- Smith, J. y Klinger, L.1985. Aboveground: Belowground Phytomass Ratios in Venezuelan Paramo Vegetation and Their Significance.

- Sommerville, M., Jones, J. and Milner, J. 2009. A revised conceptual framework for payments for environmental services. Ecology and Society 14(2): 34. [online] URL: http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art34/

- Spehn, E., Liberman, M. y Korner, C. 2006. Land Use Change and Mountain Biodiversity.

- Tallis, H., R. Goldman M. Uhl, B. Brosi. 2009. Integrating Conservation and Development in the Field: Implementing Ecosystem Services Projects. Front Ecol Enviorn 7(1): 12-20.

- UK National Ecosystem Assessment. 2011. The UK National Ecosystem Assessment: Synthesis of the Key Finding. UNEP – WCMC, Cambridge.

- Vargas, O., Premauer, J., Cardenas, C. 2002. Grazzing effect on vegetation structure in a colombian humid paramo. ECOTROPICOS 15 (1): 35-50.

- Vásquez, E., Ladd, B. y Borchard, N. 2014. Carbon storage in a high-altitude Polylepis woodland in the Peruvian Andes. Alpine Botany.

- Williams, M. y Schreuder, H. 2000. Guidelines for choosing volume equations in the presence of measurement error in height. Can J For Res 30:306–10

- Wischmeier, W.H. & Smith, D. 1978, Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. USDA-ARS Agriculture Handbook , Washington DC.

- Wunder, S. 2005. Payments for Environmental Services: Some Nuts and Bolts. Occasional Paper N°42. Yakarta, CIFOR.

- ZAMORA, C. 1974. Los Suelos, Uso y Problemas de las Tierras Áridas del Perú. ONERN. Lima. Perú.

- Zárate, V. 2003. Caracterización del uso de la tola en el sistema pastoril de las comunidades Junuta, Condoroca y Minoca del altiplano central.

- Zhou, P., Luukkanen, O., Tokola, T. & Nieminen, J. 2008. Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. Catena 75(3), 319-325.