



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

Correlación de la cobertura vegetal de pastos naturales con la recarga hídrica de la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio - 2013 hasta junio - 2014

Ginette Vilma Alicia Ticse Otárola

Huancayo, 2018

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Ambiental



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

AGRADECIMIENTOS

A CARE PERU: Por ser socio en la búsqueda de la sostenibilidad, con ello fomentar la inversión en proyectos de investigación cuyo fin es encontrar soluciones eficientes en zonas vulnerables, tal es el caso de esta investigación la cual ha sido posible gracias al financiamiento y liderazgo.

A Odón Zelarayán: Responsable de la oficina CARE PERU-Huancayo por la comprensión y recursos dispuestos para la realización de la investigación. A Jackelin Chacaltana: Especialista de Proyecto-Programa de Cambio Climático, por la organización y apoyo en cada etapa de la realización de la investigación. A Jorge Dextre: Consultor de CARE PERU por el apoyo, movilización en la obtención de datos y finalización de la investigación. A Robert García: asistente administrativo, por el apoyo y coordinación para la finalización de la investigación.

A Jacinto Arroyo: Consultor de CARE PERU, por el asesoramiento, guía y confianza en cada etapa de la investigación. A mis compañeras: Claudia Camarena, Jedy Dávila, Luisa Rodríguez, Carol Pardo y Fabiola Maraví, quienes fueron compañía y apoyo en la realización de la investigación.

A mis padres, Juana y Vetto, por brindarme las mejores charlas, libros y consejos, además de la fuerza para continuar en cada etapa de mi vida. A mis tíos y hermanos por el apoyo anímico y alegría, quienes comparten mis logros y dificultades.

Ginette

ÍNDICE

PORTADA	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABLAS	vii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUCCIÓN.....	x
CAPITULO I.....	13
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	13
1.1. Planteamiento y formulación del problema	13
1.1.1. Planteamiento del problema	13
1.1.2. Formulación del problema.....	16
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo general.....	17
1.2.2. Objetivos específicos	17
1.3. Justificación e importancia	17
1.4. Hipótesis y descripción de variables	19
1.4.1. Hipótesis	19
1.4.2. Descripción de variables	20
CAPITULO II.....	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes del problema	22
2.2. Bases teóricas	31
2.2.1. La cordillera de los andes peruanos	31
2.2.2. Cordillera de Huaytapallana.....	32

2.1.2.	Ciclo hidrológico.....	33
2.1.3.	Agua subterránea.....	44
2.1.4.	Cuenca hidrográfica.....	46
2.1.5.	Recarga hídrica de acuíferos.....	49
2.1.6.	Balance hídrico.....	51
2.1.7.	El suelo.....	67
2.1.8.	Ecología.....	74
2.1.9.	Teoría de la relación pasto - agua y suelo.....	80
2.2.	Modelo Teórico de investigación.....	83
2.3.	Definición de términos básicos.....	84
CAPITULO III	88
METODOLOGÍA	88
3.1.	Método, tipo y nivel de investigación.....	88
3.1.1.	Método de investigación específico.....	88
3.1.2.	Tipo de investigación.....	100
3.2.	Diseño de la investigación.....	101
3.3.	Población y muestra.....	102
3.4.	Técnicas de recolección de datos.....	102
3.5.	Técnicas de análisis de datos.....	104
CAPITULO IV	105
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	105
4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información.....	105
4.2.	Prueba de hipótesis.....	117
4.3.	Discusión de resultados.....	118
CONCLUSIONES	122
RECOMENDACIONES	123
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
ANEXOS	129

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del nevado de Huaytapallana, en la sub cuenca del río Shullcas, cuenca del Mantaro-Cordillera de los Andes.....	33
Figura 2. Evapotranspirómetro de Thornthwaite	38
Figura 3. Valores de infiltración según textura del suelo	41
Figura 4. Dimensiones y modelo de infiltró metros para suelos de riego permanente	43
Figura 5. Cuenca, subcuenca y microcuenca.....	48
Figura 6. Partes de una cuenca.....	48
Figura 7. Zonificación de una cuenca.....	49
Figura 8. Esquema del balance hídrico general	53
Figura 9. Componentes del coeficiente de infiltración	57
Figura 10. Punto de marchitez permanente y capacidad de campo en porcentaje por peso de suelo seco de diferentes texturas de suelos.....	59
Figura 11. Profundidad de raíces de diferentes cultivos.....	60
Figura 12. clasificaciones por tamaño de partículas del suelo en 2 diferentes sistemas ..	70
Figura 13. Doce clases texturales del suelo	71
Figura 14. Zonas de vida clasificadas según el sistema propuesto por Holdridge.....	76
Figura 15. Caracterización vegetal de la zona Huishna en dos principales temporadas.	106
Figura 16. Caracterización vegetal de la zona Huaytapallana en dos principales temporadas.....	107
Figura 17. Contenido de principales agregados de los suelos de las zonas de estudio.	108
Figura 18. Propiedades de los suelos de las zonas de estudio.....	110
Figura 19. Velocidad de infiltración en (mm/h) de la zona Huishna.	110
Figura 20. Velocidad de infiltración en (mm/h) de la zona Huaytapallana.....	111
Figura 21. Velocidad de infiltración en (mm/h) de la zona testigo.	111
Figura 22. Dimensiones de la zona radicular y los horizontes de los suelos	113
Figura 23. Fracción de lluvia retenida por las diferentes coberturas en mm/mes.	113
Figura 24. Precipitación que infiltra mensualmente en las tres zonas de estudio.	114
Figura 25. Escorrentía superficial en las tres zonas de estudio.	115
Figura 26. Evapotranspiración real (ETR) en mm/mes	115

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valores de infiltración básica por efectos de la pendiente (Kv).	91
Tabla 2. Valores de infiltración básica por efectos de la pendiente (Kp).	91
Tabla 3. Caracterización vegetal	106
Tabla 4. Valores de precipitación mensual y anual	107
Tabla 5. Valores de Evapotranspiración potencial (ETP).	108
Tabla 6. Valores de PM, CC, HSi y Dap para el mes de agosto.	109
Tabla 7. Infiltración básica del suelo en (mm/día) de las 3 zonas.	112
Tabla 8. Coeficiente de infiltración de suelo para las tres zonas de estudio	112
Tabla 9. Recarga potencial en mm/mes en las 3 zonas de estudio.	116
Tabla 10. Porcentaje de recarga con respecto a la precipitación total anual en mm/año.	117

RESUMEN

Objetivo: Determinar la relación de los pastos naturales y la recarga hídrica de acuíferos con base en el estudio de tres zonas de ladera, Huishna, Huaytapallana y Lazo Huntay (Testigo) de la subcuenca del río Shullcas. **Método:** La investigación es aplicada ya que utiliza conocimientos de hidrología establecidos, que permiten evaluar el grado de aporte hídrico en diferentes características y condiciones del área. Se utilizó el método hipotético deductivo determinando la influencia de la precipitación efectiva y la evapotranspiración en la recarga hídrica. Se utilizó el método de balance hídrico de suelos de Schosinsky. Los datos generados fueron procesados mediante la correlación de Spearman para determinar su significancia en los diferentes tipos de cobertura. **Resultados:** El tipo de cobertura vegetal no está relacionado con la recarga hídrica de manera significativa, con un valor de $r=0.018$. Huaytapallana generó solo un 4 % de las precipitaciones anuales como recarga hídrica, debido a que el pastoreo intensivo (sobrepastoreo) como uso de suelo disminuye la capacidad de infiltración. La mayor recarga hídrica se dio en Huishna, 20 % de las precipitaciones anuales, debido a que esta zona presenta tipo de uso de suelo de protección y forestal, confiriéndole mejores propiedades de estructura de suelos y por tanto mayor infiltración básica de suelos. **Conclusión:** La recarga hídrica no está relacionada con la cobertura vegetal ya que el factor determinante en la recarga hídrica es el uso de suelos, debido a su influencia en la estructura y capacidad de retención hídrica. En proyectos de reforestación, el uso del suelo y el tipo de cobertura serán los que determinen el potencial de recarga hídrica.

Palabras clave: Recarga hídrica, pastos naturales, evapotranspiración real, precipitación efectiva, uso de suelos, reforestación.

ABSTRACT

Objective: find the connection between the natural pasture and the collection of effective precipitation in aquifers. For this study i have previous reports from three different hillside areas which are Huishna, Huaytapallana and Lazo Huntay (testigo), this last are collects the water in the Shullcas river sub-basin. **Method:** The research is applied because it uses knowledge of established hydrology, which allow evaluating the degree of hydric contribution in different characteristics and conditions of the area. The hypothetical deductive method was used determining the influence of effective precipitation and real evapotranspiration in the recharge water. The method used was the soil water balance by Schosinsky. The data generated was processed using the Spearman correlation coefficient to determine its significance in the different types of plant cover. **Results:** the plant cover is not related with the water recharge in a meaningful way, the test value was $r=0.018$. Huaytapallana got only 4% of the annual precipitations as water recharge due to the big grazing which reduce the capacity of absorptions of the ground. The biggest amount was gotten from Huishna, 20 % of the annually precipitations, due to people protecting this field, this could be the reason why this ground has better properties to collect more water. **Conclusions:** the water recharge is not related with the plant cover as determining factor in the water recharge is the land use, due to its influence on the soil structure and capacity of water retention. In reforestation projects, the land use will be who determine the water recharge.

Keywords: Water recharge, natural pasture, real evapotranspiration, effective precipitation, land use, reforestation.

INTRODUCCIÓN

El agua constituye el 97 % de la composición terrestre, sin embargo, su presencia en forma líquida y dulce se reduce en comparación con la cantidad de agua de mar, no obstante, una gran fuente son los glaciares. Un gran porcentaje de glaciares en el mundo no permiten su aprovechamiento, el 95 % de los glaciares tropicales están situados en América del sur, y son catalogados como fuentes de agua disponible debido a que muchos de los ríos provienen de estos (1). El agua es tema de preocupación a nivel mundial, a pesar de su abundancia, su distribución provoca la desigualdad en la disponibilidad. El cambio climático constituye un factor que incrementa dicha desigualdad, al provocar cambios en los regímenes de precipitación y afectar a los glaciares. Los glaciares tropicales en los Andes, no son ajenos a las consecuencias del cambio climático y están perdiendo cobertura de manera acelerada, en Colombia se determinó que en los últimos 150 años hubo un retroceso de 84 % de la masa glaciaria, en Perú en los últimos 30 años se ha perdido el 22 % de la superficie glaciaria (2). Las zonas altoandinas en los Andes constituyen fuentes de abastecimiento de agua potable. La presencia de acuíferos derivados del flujo del agua glaciaria y de precipitaciones constituye una fuente fundamental del recurso hídrico. El abastecimiento de los acuíferos en zonas altoandinas, se debe a los factores ambientales presentes en el suelo, agua, atmósfera y cobertura vegetal.

La ciudad de Huancayo posee como fuente de abastecimiento de agua potable al río Shullcas, cuyo nacimiento se sitúa en las faldas del nevado de Huaytapallana, el efecto del cambio climático, afecta al nevado y genera un impacto negativo en la disponibilidad del recurso hídrico. En zonas altoandinas, como la subcuenca del río Shullcas, la presencia de acuíferos es de gran importancia por ser el principal captador de aguas de precipitación, fuente de reserva, abastecimiento importante de agua y aportador al caudal del río Shullcas. La cobertura vegetal se caracteriza por la presencia de gramíneas o pastos como la *Stipa sp.*, y constituyen un mecanismo de regulación hidrológica. Sin embargo, es importante evaluar el grado de aporte en la recarga hídrica de los acuíferos, para determinar la disponibilidad hídrica futura y generar mecanismos de gestión hídrica que permitan la implementación de medidas de adaptación frente al cambio climático.

La investigación tuvo como objetivo determinar de qué manera se relacionan los pastos naturales con la recarga hídrica de los acuíferos en las laderas de la cuenca del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático durante un periodo

hidrológico. Está dividida en cuatro partes, presentando el siguiente orden, planteamiento del estudio, marco teórico, metodología, presentación de resultados y discusiones.

El primer capítulo aborda el planteamiento y formulación del problema, con base en la búsqueda de información nacional y local de diversas fuentes incluyendo periodísticas, además del reconocimiento del tema de tesis, dentro de las líneas de investigación del Consejo de Ciencia, Tecnología e Innovación (CONCYTEC), se establecieron los objetivos, delimitación y justificación e importancia de la investigación.

El segundo capítulo contempla los antecedentes y bases teóricas de la investigación. En los antecedentes se revisaron tesis y artículos de divulgación que permitan entender los estudios ya realizados de correlaciones entre recarga hídrica y cobertura vegetal con base en los resultados, deficiencias y recomendaciones de estas publicaciones. Las bases teóricas permitieron obtener un conocimiento sistematizado de la interrelación de los fundamentos teóricos, metodológicos y técnicos de las variables, inherentes a la relación suelo-agua-planta que rigen la investigación actual. Finalmente, el modelo de investigación permitió comprender de forma rápida los procedimientos a seguir para resolver el problema de investigación.

El tercer capítulo contempla el método y nivel de investigación, para este estudio el método es hipotético deductivo ya que a partir de la hipótesis de la influencia de la recarga hídrica en los pastos naturales se llevó a cabo evaluaciones y aplicaciones de métodos para determinar dicha relación por medio de dos variables como son la precipitación efectiva y la evapotranspiración real. Se detalla el desarrollo de la metodología específica de balance hídrico de suelos propuesto por Gunther Schosinsky como fuente para la determinación del aporte hídrico de los pastos en la recarga hídrica de acuíferos. Por último, se da a conocer el tipo de investigación que para este estudio es aplicada, el nivel de investigación correlacional, el diseño de investigación, transversal de tipo correlacional-causal, la población, muestra y las técnicas de recolección de datos.

En el cuarto capítulo se da a conocer los resultados, donde se muestra la predominancia de los pastos *Stipa sp.*, tipos de suelo, resultados de los métodos usados en la determinación de la infiltración de lluvia, humedad del suelo, evapotranspiración real de los pastos, y la aplicación del método principal de balance hídrico. Se concluye que la relación entre la cobertura vegetal de pastos naturales y la recarga hídrica está dada por

el tipo de uso de suelos, así mismo que el uso del suelo a reforestar debe establecerse como de protección o forestal para obtener resultados en la conservación del recurso hídrico. Se recomienda estudiar la influencia del sobrepastoreo en la infiltración básica de suelos y que todo proyecto de conservación hídrica debe establecer el uso del suelo que tendrá dicha área, para así asegurar áreas de recarga significativas.

La autora.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

La percepción del cambio climático como uno de los problemas ambientales predominantes en la actualidad, se ha venido reforzando en todo el mundo. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) menciona que en las mejores circunstancias posibles para 2020 habría 12 millones de personas en peligro de sufrir hambre por problemas asociados a sequías y a pérdidas de reservas de agua de los acuíferos. Si se siguen perdiendo las reservas de los glaciares habría 300 millones más de personas con hambre en el mundo por problemas asociados a déficit de agua. Las verdaderas repercusiones se dejarán sentir en las zonas donde el sistema hídrico depende exclusivamente de las precipitaciones pluviales (3).

La reducción más voluminosa de agua se dará en los países en vías de desarrollo por su bajo nivel tecnológico en el mantenimiento y conservación del recurso hídrico y los países más perjudicados serán los más pobres, que tienen menos medios para hacerle frente a esta situación. Otros estudios más recientes sobre este tema confirman esta desalentadora perspectiva (4).

El Centro de Estudios y Promoción del Desarrollo (DESCO) menciona en el contexto de la subregión andina, conformado por los países de Perú, Bolivia, Ecuador y Colombia se encuentran el 95 % de los glaciares tropicales de todo el mundo, produciéndose el 10 % del agua dulce del planeta, según modelos existentes pronostican que durante los próximos 10 a 20 años los glaciares de menor altitud en las cordilleras desaparecerán, ello afectará la disponibilidad de agua y generación de energía, agravándose aún más ya que estos países son altamente dependientes de la energía hidroeléctrica, superando el 50 % en su dependencia. Los páramos presentes en la región son áreas reguladoras de agua, pero no son ajenas a las actividades antrópicas como el sobrepastoreo, quema de cultivos y explotación minera. Se ha perdido el poder regulador hídrico de los andes, afectando la disposición de agua para consumo humano y su uso en la generación de energía hidroeléctrica. Institucionalmente, la región andina no se encuentra coordinada, presenta problemas de gestión transparente y unida, políticas integrales y gestión de recursos hídrico deficientes (1).

El diario El Peruano menciona que los glaciares tropicales en el Perú, constituye el 70 % de todos los existentes, su deglaciación en los últimos 30 años abarca el 40 % del total nacional. Las estimaciones de la posible extinción realizadas por la ANA están entre los años 2020 - 2029 para los glaciares de menor altitud (por debajo de 5000 msnm). Las poblaciones cercanas a los glaciares son dependientes de estos por el uso del agua, una pérdida significaría trasladar dicha dependencia a las lluvias, las cuales no abastecen lo suficiente generando conflictos. Como líneas de investigación prioritarias son glaciología, lagunas altoandinas, estrategias de adaptación frente al cambio climático y riesgos de los ecosistemas montañosos asociados al recurso hídrico (7).

En el estudio de evaluación de recursos hídricos superficiales en la cuenca del río Mantaro realizado por la Administración Local del Agua Mantaro (ALA Mantaro) se menciona que dentro de la subcuenca del río Shullcas las lagunas de Lazo Huntay y Chuspicocha originadas por el deshielo glaciar del nevado Huaytapallana y Talves respectivamente, dan

nacimiento al río Shullcas, este recurso dentro de la subcuenca es de uso energético , poblacional y agrícola para una de las ciudades más importantes de la región central del país, Huancayo; de esta manera un caudal de 700 l/s es conducido para fines poblacionales y uno de 600 l/s es para fines de irrigación, cubriendo las necesidades agrícolas, además de la derivación Chamisería para generación de energía eléctrica. Todo ello genera una gran presión en los sistemas hídricos, que se verán afectadas por el retroceso del glaciar y su probable extinción (10).

Existe la necesidad de inducir circunstancias de fuentes de recurso hídrico alternativos, para enfrentar los problemas del calentamiento global. Según el Instituto Geofísico del Perú (IGP) la subcuenca del río Shullcas, es una zona con mayor vulnerabilidad específicamente por la escasez de agua durante los meses de estiaje debido al asentamiento de la mayor población y su importancia como fuente abastecedora de agua de consumo humano. Existen diferentes instituciones relacionadas con la gestión de los recursos pero no tienen experiencia y conocimientos en su aplicación frente al cambio climático, agravando más el problema con la carencia de información biofísica y socioeconómica de la misma (11).

El Gobierno Regional Junín, menciona que el agua como recurso es crucial para enlazar políticas públicas. Sin embargo, las directrices actuales no se encuentran relacionadas al tema ambiental. La gestión integral de cuencas dentro de la región Junín aún es incipiente (12).

En la actualidad dentro de la subcuenca Shullcas se desarrollan actividades antrópicas que generan un aumento en los niveles de erosión y degradación debido al sobrepastoreo y quema de praderas, teniendo como resultado la disminución de la cobertura vegetal. El Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales-PRAA, constituye la base de generación de medidas de adaptación frente al cambio climático, minimizando la vulnerabilidad de esta zona por el retroceso del glaciar del Huaytapallana y su influencia en la disponibilidad hídrica en Huancayo, la reforestación realizada con 3 especies, pino (*Pinus radiata*), quinal (*Polylepis racemosa*) y *Colle*

(*Buddleja coriácea*) aportan el factor biótico, cumpliendo funciones en el ciclo hidrológico y sistemas de conservación de cobertura vegetal (13). Sin embargo, se sabe que especies arbóreas y exóticas como los eucaliptos (*Eucaliptus sp.*) y pinos (*Pinus sp.*) generan riesgos de desplazamiento de especies nativas, efectos tóxicos en insectos, alto nivel de consumo de agua y liberación de sustancias alelopáticas, además de pérdidas de diversidad genética, por tanto, no deberían ser usadas como sustitutos en temas de reforestación (4).

En el diagnóstico de la subcuenca del río Shullcas se tiene identificado el problema de la regulación hídrica en pastizales y bofedales, evidenciándose como causa el sobrepastoreo de los pastizales (52.07 % del área total de la subcuenca), compactación de suelos y pérdida de cobertura. Se han planteado acciones estratégicas para la subcuenca del río Shullcas las cuales reflejan la necesidad de recuperación y conservación de praderas naturales mediante la reducción de la deforestación, sobrepastoreo y el cambio del uso de suelos a través de la conservación y proyectos de siembra de agua y rotación de pastos (10). Los pastos naturales son una alternativa presente en la subcuenca del río Shullcas como la *Stipa sp.*, siendo uno de los sistemas biológicos más abundantes y de mayor potencial del uso del suelo en las partes altas de la subcuenca (14) y podrían influir en el ciclo hidrológico, generando un aporte a las aguas subterráneas.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cómo se relaciona la cobertura vegetal de pastos naturales con la recarga hídrica de la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio- 2013 hasta junio 2014?

1.1.2.2. Problemas específicos

A. ¿Cuánto es la precipitación efectiva de la zona de cobertura vegetal de pastos naturales en la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al

cambio climático en el periodo julio- 2013 hasta junio 2014?

- B. ¿Cuánto es la evapotranspiración real en la zona de cobertura vegetal de pastos naturales en la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio- 2013 hasta junio 2014?

1.2. **Objetivos**

1.2.1. Objetivo general

Identificar cómo se relaciona la cobertura vegetal de pastos naturales con la recarga hídrica de la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio- 2013 hasta junio 2014.

1.2.2. Objetivos específicos

- A. Determinar la precipitación efectiva en la zona de cobertura vegetal de pastos naturales en la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio- 2013 hasta junio 2014.
- B. Estimar la evapotranspiración real en la zona de cobertura vegetal de pastos naturales en la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio- 2013 hasta junio 2014.

1.3. **Justificación e importancia**

1.3.1. Justificación práctica

En la cuenca del Mantaro no se tienen objetivos conjuntos de gestión hídrica por parte de las autoridades, el conocimiento de las medidas de adaptación frente al cambio climático son escasas; es así como la reforestación se ha convertido en la herramienta de gestión más usada, sin embargo al momento de elegir la especie a reforestar lo hacen de manera empírica, en tal sentido esta investigación resuelve ese problema, ya que provee datos cuantitativos del aporte hídrico de pastos

naturales en la recarga hídrica, ello resuelve el problema de la elección adecuada de especies a reforestar no solo por su aporte económico sino también por su aporte en la gestión ambiental.

1.3.2. Justificación Metodológica

La aplicación del método de recarga hídrica por balance de suelos por Gunther Schosinsky (2006), no ha sido aplicado en la región Junín para los pastos naturales, de esta manera los resultados servirán de referencia para determinar la eficacia de este método en las condiciones dadas en el presente estudio. Este método ayuda a definir la relación entre la infiltración básica y la recarga hídrica, en este estudio se muestra que la variable infiltración básica de suelos determina casi el total de recarga hídrica que se alcanzará. Así también permite experimentar con otras variables no consignadas en otros métodos, tal es el caso del Punto de marchitez permanente, capacidad de campo, humedad del suelo, entre otros. Por último, en este estudio se presentan diferentes análisis de suelos por laboratorios certificados, el cual confiere validez y sirve de fuente para otras investigaciones.

1.3.3. Justificación Científica

No se tiene información precisa sobre el aporte en la recarga hídrica de los pastos naturales, es así como los resultados de esta investigación permiten cubrir este vacío. Esta investigación sirve para afianzar los resultados obtenidos por Rodríguez (15) y Maraví (16), donde señalan que especies como el colle y el pino generan gran recarga hídrica. Esta investigación mostrará cuales son los factores ya sean antrópicos, condiciones del suelos o vegetación que influyen de manera significativa en las variables como son precipitación efectiva y evapotranspiración real, las cuales son determinantes en la recarga hídrica de acuíferos. En esta investigación se da la posibilidad de explorar el factor influyente en la recarga hídrica de manera más puntual para el área de estudio. Esta información servirá como aporte para desarrollar programas de siembra y cosecha de agua, y manejo de recursos naturales.

1.3.4. Importancia

Los resultados de la investigación benefician a las poblaciones situadas en las cuencas altas y medias, ya que debido a su vulnerabilidad al impacto del cambio climático se realizan constantemente proyectos de adaptación y estas poblaciones son participantes y beneficiarias. El gobierno regional y local también se beneficiará porque la investigación genera datos de recarga hídrica por pastos naturales en la subcuenca del río Shullcas, esta información al ser considerada en los proyectos de reforestación con fines de conservación y cosecha de agua permitirá una mejor toma de decisiones al elegir las especies para tal fin. Por último, la población estudiantil podría desarrollar otras investigaciones a partir de los resultados de este estudio.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis

1.4.1.1. Hipótesis de investigación

H_i : El tipo de cobertura vegetal presenta una alta correlación con la recarga hídrica de la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio- 2013 hasta junio 2014.

1.4.1.2. Hipótesis nula

H_o :No existe correlación entre el tipo de cobertura vegetal y la recarga hídrica de la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio- 2013 hasta junio 2014.

1.4.1.3. Hipótesis específicas

A. H_i : La precipitación efectiva en la zona de cobertura vegetal de pastos naturales es mayor que en la zona de cobertura vegetal de especies arbóreas y pastos

naturales de la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio- 2013 hasta junio 2014.

- B. H_o : La precipitación efectiva en la zona de cobertura vegetal de pastos naturales es menor que en la zona de cobertura vegetal de especies arbóreas y pastos naturales de la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio- 2013 hasta junio 2014.

- C. H_i : La evapotranspiración real en la zona de cobertura vegetal de pastos naturales es mayor que en la zona de cobertura vegetal de especies arbóreas y pastos naturales de la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio- 2013 hasta junio 2014.

- D. H_o : La evapotranspiración real en la zona de cobertura vegetal de pastos naturales es menor que en la zona de cobertura vegetal de especies arbóreas y pastos naturales de la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio- 2013 hasta junio 2014.

1.4.2. Descripción de variables

Variable	Tipos de variables	Conceptualización	Dimensiones	Indicador	Ítems
Tipos de cobertura vegetal	Cualitativa Policotómicas Independiente	Capa de material de origen vegetal, ya sea vivo o muerto que se encuentra directamente sobre el suelo y que lo aísla de la atmosfera. (17)	Cobertura vegetal de tipo arbóreo y pastizal.	Pastos naturales, sistemas silvopastoriles, áreas sin cobertura	Mapa de cobertura vegetal de la subcuenca de río Shullcas
Recarga hídrica	Cuantitativa Continua Dependiente	Proceso donde un acuífero recibe agua, de fuentes de agua de precipitación, aguas superficiales, aguas de transferencia de otros acuíferos. (18)	Recarga potencial de acuíferos en diferentes tipos de cobertura vegetal	Grado de acumulación en mm/mes	Aplicación del método de balance hídrico
Precipitación efectiva	Cuantitativa Continua Independiente	Parte de la lluvia que contribuye a la recarga de los acuíferos. (18)	Precipitación efectiva (Pi) en diferentes tipos de cobertura vegetal	Pi en mm/mes	Infiltración básica de suelos en mm/mes, precipitación en mm/mes y retención de precipitación en mm/mes por tipo de cobertura
Evapotranspiración real	Cuantitativa Continua Independiente	Cantidad de agua evaporada y transpirada desde el suelo y la cubierta vegetal. (18)	Evapotranspiración real (ETR) en diferentes tipos de cobertura vegetal	ETR en mm/mes	Evapotranspiración potencial en mm/mes, humedad disponible en mm/mes, coeficiente de humedad máximo (C1) y coeficiente de humedad mínimo (C2).

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

El artículo científico, “Evaluación de la recarga hídrica en sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos”, cuyo objetivo fue evaluar el impacto de sistemas silvopastoriles sobre el recurso hídrico en zonas de recarga de la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica. Evaluaron pasturas sobrepastoradas (PD), pasturas nativas con árboles (PNA), pasturas mejoradas con árboles (PMA) y un bosque secundario intervenido (BSI), utilizando como método de investigación la caracterización de los sistemas evaluados, estimación de la escorrentía superficial e infiltración. La investigación presenta como resultado que la PD presentó la mayor escorrentía, seguida por la PNA; mientras que la PMA y el BSI presentaron los valores más bajos (28, 27, 15, 7 %, respectivamente). El BSI presentó la mayor infiltración; mientras que las pasturas con árboles (PMA y PNA) permitieron infiltrar más que las PD (3.54, 0.23, 0.19 y 0.07 cm/h, respectivamente). La cobertura arbórea correlacionó negativamente con la escorrentía ($r=-0.71$; $p=0.01$) y positivamente con la infiltración ($r=0.75$; $p=0.01$). El trabajo concluye que los sistemas silvopastoriles, al tener el componente arbóreo, mostraron mayores beneficios hidrológicos en la zona de recarga, ya que disminuyeron la escorrentía superficial e incrementaron la infiltración y favorecieron la conservación de agua en el suelo. El artículo presenta métodos de evaluación de cobertura vegetal, para los pastos utiliza el método de observación directa delimitando

sub- parcelas. Utiliza el criterio de determinar la escorrentía superficial en sub- parcelas en los meses de mayores precipitaciones. Recopila datos de precipitación instalando un pluviómetro en las sub-parcelas. Utiliza el método de las pruebas mediante cilindros de anillos concéntricos para determinar la infiltración, además realiza los ajustes con la ecuación de Kostiakov para obtener datos aún más precisos. Los resultados indican que un sistema silvopastoril con presencia de pastos y árboles generan mayores recargas que otros sistemas (15).

El artículo científico, “Recarga de aguas subterráneas en la cuenca del río Poás”, cuyo objetivo fue determinar la recarga anual de la cuenca, utiliza como método de investigación el método de Thornthwaite y Mather (1927) (modificado). La investigación presenta como resultado que en la cuenca la recarga anual total es de 0.3168 km³ (24741.6 mm), las áreas de bosque aportan 8603.9 mm y las de pasto 9337,7 mm, al año. Se detectó, además, que – 0.0439 km³ de agua se queda en las capas profundas de la cuenca al año, lo que indica que toda el agua de recarga aporta directamente al río, así mismo existe otra cantidad que es suministrada por aguas subterráneas de otras fuentes. El trabajo concluye que la cantidad de agua para recarga está determinada por varios factores, principalmente por el clima y el uso del suelo. Por lo tanto, las áreas cubiertas de bosques son las que originan la menor recarga anual, mientras en áreas sembradas de pasto, es mayor. La aplicación del método de balance hídrico de Thornthwaite y Mather se evidencia en el artículo, el autor considera el uso y características del suelo, además de los valores de precipitación y evapotranspiración. Para la obtención de datos climáticos utiliza estaciones cercanas al área de estudio, con un periodo de análisis de entre 9 y 30 años. Como resultado presenta que los pastos generan las mayores recargas a diferencia de los sistemas boscosos (16).

El artículo científico, “Escorrentía Superficial e Infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica”, cuyo objetivo fue evaluar la infiltración y la escorrentía superficial en pasturas nativas sobrepastoradas sin árboles, bancos forrajeros, pasturas mejoradas con árboles y taconales en la época de

lluvia (mayo a noviembre) en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica, utilizaron como método de investigación para la escorrentía superficial la instalación de parcelas de escorrentía por sistema y para la infiltración mediante el método de inundación o anillos concéntricos, realizando 3 pruebas simultáneas en cada sistema. La investigación presentó como resultado que las pasturas nativas sobrepastoradas presentaron la mayor escorrentía superficial, la cual fue cuatro y cinco veces más alta que la del taconal; dos y tres veces mayor que la de pastura mejorada con árboles; siete y once veces más que la del banco forrajero en Costa Rica y Nicaragua respectivamente. El taconal mostró la mayor capacidad de infiltración en comparación con los demás sistemas, mientras que las pasturas arboladas tuvieron mayor infiltración que las pasturas nativas sobrepastoradas. El trabajo concluye que los árboles dispersos en pasturas nativas o mejoradas disminuyen la escorrentía superficial e incrementan la infiltración, favoreciendo la conservación de agua en las fincas ganaderas. El trabajo fue realizado en base a pasturas de tipo nativas sobrepastoradas, banco forrajero, pastura mejora con árboles y taconales. Realiza una caracterización tanto vertical como horizontal utilizando sub parcelas, además considera el factor pendiente, solo considera áreas representativas de 25-35 % en pendiente. Para relacionar la infiltración y escorrentía con los tipos de vegetación utiliza la regresión lineal, y grado de correlación. Como conclusión evidencia el aporte mayoritario de los sistemas silvopastoriles de árboles y pastos, pero mejorados, no considera pastos nativos de la zona (17).

El artículo científico, "Balance hídrico en tres plantaciones de *Pinus radiata* y una pradera. II: Humedad del suelo y evapotranspiración", cuyo objetivo fue estudiar el contenido de agua del suelo y la cantidad de agua consumida por evapotranspiración, en tres plantaciones de *Pinus radiata*: adulto de 26 años (densidad: 733 arb / ha), joven de 9 años con manejo tradicional (densidad: 1392 arb / ha), joven de 9 años destinado a silvopastoreo (densidad: 443 arb / ha) y una pradera natural, en el sur de Chile, utilizando como método de investigación para el contenido de agua en el suelo, el método de tensiómetros y cápsulas de yeso de bouyoucos, hasta una profundidad de 270 cm. la evapotranspiración fue calculada a partir del contenido de agua del suelo más los aportes por precipitación neta (precipitación directa más

escurrimiento fustal) durante el período en el cual no existió percolación. La investigación presenta como resultados que las reservas de agua del suelo, durante el verano se agotaron considerablemente hasta los 250 cm de profundidad en las 3 plantaciones, mientras que en la pradera esta situación solamente se registró en los primeros 100 cm de suelo. La evapotranspiración entre el 1 de octubre de 1982 y el 21 de abril de 1983 para los rodales adulto, tradicional y silvopastoreo fue de 1057; 1009 y 999 mm respectivamente, mientras que para la pradera entre el 28 de octubre y 21 de abril fue de 501 mm. La investigación concluye en que la evapotranspiración para el período de mediciones correspondió al 76 % en los bosques adulto y tradicional y al 63 % en el rodal silvopastoreo, con respecto a la precipitación neta anual. La misma relación para la pradera, pero con la evapotranspiración del período 28 de octubre a 21 de abril, representó solo el 29 %. En la plantación con silvopastoreo, en la cual llega mayor precipitación al suelo debido a la menor intercepción que ejerce este tipo de cubierta, se registra la mayor percolación durante el período en el cual los suelos están saturados. Como resultado presenta que el suelo contiene menos reservas de agua en las 3 plantaciones de *Pinus radiata*. Las reservas de agua en las praderas se mantienen con mayor eficiencia, sólo se evidenció un déficit hasta de hasta 100cm. La evapotranspiración tiene un mayor porcentaje en las plantaciones de pinos, entre 63 y 73 %. La evapotranspiración en las praderas tiene un menor porcentaje de 29 %. El trabajo muestra que los sistemas de praderas tienen menores necesidades de agua y consecuentemente generan menor evapotranspiración (18).

El artículo científico que tiene como título “Rendimiento hídrico en cuencas primarias bajo pastizales y plantaciones de pino de las sierras de Córdova (Argentina)” cuyo objetivo fue explorar como las transformaciones de 35000 ha de plantaciones de pinos en reemplazo de pastizales naturales ha afectado el rendimiento hídrico de pequeñas cuencas serranas, utilizando como método de investigación la selección de cuatro pares de cuencas primarias ocupadas por pastizales naturales y plantaciones de *Pinus ellioti* (superficie: 27 a 143 ha; elevación: 1100 a 1750 msnm). En todos estos pares de cuencas se determinó el caudal base de arroyos por dilución de un trazador salino con frecuencia estacional entre mayo de 2004 y enero de

2007, y en dos de ellos realizaron un seguimiento continuo del caudal con sensores automáticos durante la transición entre la estación seca y húmeda de 2006-2007. La investigación presenta como resultados que, en promedio, el rendimiento hídrico de las cuencas forestadas fue 48 % inferior al de las cuencas de pastizal (112 vs. 204 mm/año o 24 vs. 13 % de la precipitación recibida, $P < 0.05$). Las mediciones continuas mostraron caudales bases mayores y poca respuesta al tipo de vegetación en cuencas elevadas y de alta pendiente y caudales base menores y muy sensibles al establecimiento de plantaciones en cuencas de menor elevación y pendiente intermedia. La caracterización satelital de todas las cuencas a partir del índice verde normalizado (NDVI) satelital del sensor MODIS sugirió una productividad primaria y evapotranspiración mayor y más estable bajo plantaciones respecto a los pastizales, con contrastes máximos entre estos tipos de vegetación observados en invierno. La investigación concluye que, en la actualidad, los impactos de las plantaciones serranas sobre la provisión de agua pueden manifestarse únicamente en cuencas primarias dado que las de mayor orden se encuentran forestadas sólo de manera parcial. A nivel regional, es importante contemplar estos efectos al proyectar cuánto, dónde y cómo se forestará, en especial en áreas que aportan agua a los principales focos de consumo energético y urbano. El artículo concluye que existe un mayor aporte de descarga hídrica por parte de pastizales, comparados con las plantaciones forestales de pino que se utilizaron en reemplazo de la reforestación con pastizales. Al generar los pinos menor descarga en los acuíferos, determinó menores caudales de los ríos evaluados. El aporte de recarga hídrica está relacionado a la demanda de agua y la evapotranspiración del tipo de plantación, para el caso de los pastos, estos valores son menores comparados con las demandas de los pinos estudiados (19).

El artículo científico “Efecto del sobrepastoreo en un pastizal de altura. Cumbres de Humaya. Catamarca. Argentina”, cuyo objetivo fue evaluar la magnitud del efecto del pastoreo por ganado doméstico sobre la acumulación de biomasa de la comunidad vegetal, y cómo afecta el pastoreo continuo al escurrimiento, la infiltración y la pérdida de suelo, utilizando el método de investigación la realización de las tareas de campo entre los meses de

septiembre de 2000 y septiembre de 2002, en un área clausurada al ganado doméstico en noviembre de 1996, y en una adyacente. La investigación presenta como resultados que la fisonomía inicial de la vegetación cambió desde una estructura de tipo césped, que en presencia de pastoreo no superaba los 10 cm de altura en ninguna época del año, a una de tipo pastizal alto. La densidad de plantas de los géneros *Festuca sp.* y *Stipa sp.* también varió sustancialmente, ya que se partió de la ausencia total de éstos en la pradera pastoreada y, al momento del muestreo, ambos géneros se contaban en gran número. La cobertura aérea de la vegetación no difirió significativamente entre las áreas clausurada y no clausurada. El pastoreo continuo, y sin control de la carga animal, mantuvo una estructura de tipo césped en la comunidad. El pastoreo continuo, y con una alta intensidad de carga, influyó directamente sobre la producción total de forraje. En el área pastoreada la acumulación de forraje no llegó a los 1500 kg/ha en el año de mayor producción, mientras que, en el área clausurada, la cantidad de biomasa aérea superó los 6000 kg/ha. Las diferencias encontradas entre las dos situaciones son significativas para el mes de septiembre de 2000 ($p \leq 0.05$), y altamente significativas para el resto de los meses muestreados ($p \leq 0.01$). Los valores máximos de infiltración se obtuvieron en la situación de clausura ($99 \pm 1 \%$). En el área testigo, fuera de la clausura, la infiltración fue menor ($43 \pm 1 \%$). En la estimación de la pérdida de suelo, se obtuvieron valores diferentes para ambas situaciones. Fuera de la clausura se obtuvieron 219.7 ± 93.5 kg/Ha, y en la clausura 25.6 ± 8.5 kg/Ha. La investigación concluye que el pastoreo continuo no afectó a la cobertura vegetal, pero promovió una estructura de tipo césped, provocando un aumento de la escorrentía superficial y la exportación de sedimentos. La exclusión de pastoreo favoreció el establecimiento de especies de los géneros *Festuca sp.* y *Stipa sp.* Se determinó que el sobrepastoreo tiene efectos en la escorrentía, haciendo que el suelo con presencia de intensidad de carga animal se compacte y la escorrentía se incremente. Existe una mayor presencia de especies gramíneas como la *Stipa sp.* en zonas con menor carga animal. Las zonas con poca presencia de pastoreo podrían significar una mayor presencia de la especie *Stipa sp.* y al mismo tiempo favorecen a una menor escorrentía y por consiguiente a una mayor infiltración, favoreciendo a la recarga de acuíferos (20).

El artículo científico “Área de recarga hídrica de la parte media-alta de las microcuencas Palo, Marín y San Rafaelito, San Carlos, Costa Rica”, cuyo objetivo fue identificar las áreas de recarga hídrica y determinar acciones para su manejo en la parte media alta de las microcuencas Palo, Marín y San Rafaelito. San Carlos, Costa Rica. Utilizó el método de Balance Hídrico de suelos de Gunther Schosinsky, por el cual utilizo los coeficientes de las variables: textura de suelos (K_{fc}), pendientes (K_p) y tipo de cobertura (K_v), también por medio del Sistema de Información Geográfica (SIG) determinó la textura de los suelos, pendiente, tipo de cobertura vegetal del suelo y precipitación, así mismo determinó 25 áreas de recarga hídrica (ARH) donde identificó las variables de : evapotranspiración potencial (ETP), humedad inicial (H_{Si}), retención de humedad del suelo, densidad aparente (ρ_a), infiltración básica del suelo (f_c), interceptación de la lluvia y profundidad del raíces extractoras de agua, todo ello fue ingresado en la ecuación del balance hídrico y hallaron la recarga potencial (R_p). La investigación presenta como resultados que en las 25 ARH existe recarga potencial de acuíferos, en las ARH con ausencia de cobertura boscosa hay una menor capacidad de almacenamiento de humedad y el aporte se da por las precipitaciones, así mismo en las ARH con cobertura boscosa hay mayor capacidad de almacenamiento de humedad. Los valores de R_p van de 1064 hasta 2073 mm/año. El trabajo concluye en que existe poca relación entre los valores de R_p y los tipos de cobertura debido a que la evapotranspiración provoca la homogeneidad, así mismo en el área de estudio hay 23 millones de m^3 de agua anualmente para la recarga y que la microcuenca Palo aporta la mayor recarga con 62 % del total de recarga de la cuenca. Este estudio genera un aporte ya que utilizó el método de balance hídrico de Schosinsky, además presenta como conclusión que la evapotranspiración de las diferentes coberturas de suelos genera una homogeneidad en los valores totales de recarga potencial (21).

El artículo científico, “Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas” cuyo objetivo fue evaluar y determinar el uso del suelo con mayor tasa de infiltración en la subcuenca del río Shullcas en Huancayo. Utilizó el método de

clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor, seleccionando 31 puntos de muestreo al azar usando el software ArcGIS y como método específico se empleó infiltrómetros de doble anillo, así mismo se registró los tipos de cobertura vegetal y muestreó el suelo para determinar su textura, humedad, densidad aparente y porosidad. La investigación muestra como resultados que la tasa de infiltración promedio, según el tipo de uso de tierra, fueron: 14.04 cm/h para las tierras forestales; 12.42 cm/h para las tierras agrícolas y 2.07 cm/h para las tierras de pastoreo, además, solo el 12.63 % de la subcuenca del río Shullcas tiene infiltración mayor a 0.2 cm/h. El trabajo concluye que no existe diferencia estadística significativa entre la tasa de infiltración de tierras forestales y agrícolas, pero si existe diferencias de la tasa de infiltración de tierras forestales y agrícolas respecto a la tasa de infiltración de tierras de pastoreo. El estudio fue realizado en la subcuenca del río Shullcas, presenta resultados de infiltración para tres tipos de uso de tierra, menciona que las tierras con pastoreo presentan 70.82 % de arena y son de textura franco, franco arenoso, arenosa franca y arenoso. Estas tierras presentan cobertura de pastos naturales en su mayoría, la tasa de infiltración en mm/h es de 20.7 mm/h así mismo menciona que las prácticas de pastoreo reducen la tasa de infiltración debilitando la estructura, obstruyendo los poros por la carga animal y la quema (22).

La tesis “Determinación de la recarga hídrica de acuíferos generados por el pino (*Pinus radiata*) como medida de adaptación al cambio climático”, cuyo objetivo fue determinar la relación que tienen las plantaciones de pino (*Pinus radiata*) en la recarga hídrica de los acuíferos en la cuenca del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático. Utilizó el método hipotético deductivo, que consiste en hacer observaciones manipulativas de las variables recarga hídrica y plantaciones de pino, utilizó el método de Penman –Monteith para la obtención de la ETP, para la obtención de la velocidad de infiltración de suelos utilizó el método de Porchet, así mismo utilizó el método de Schosinsky para la determinación de la recarga hídrica. La investigación presenta como resultados que para la zona de Acopalca, la precipitación anual es de 1032.3 mm/año a comparación de la zona de Huaytapallana, la cual tiene precipitación anual de 1258.1 mm/año. En cuanto a la retención de precipitación por follaje, se obtuvo que las plantaciones de pino retienen un

promedio de 128 mm/año durante todo un ciclo hidrológico. Mientras que para la zona Testigo tuvo una retención promedio de 60 mm/año. Los resultados obtenidos en cuanto a ETP promedio para las plantaciones de pinos fue de 210.8 mm/año. Para la zona Testigo fue de 66mm/año. Por último, los pinos jóvenes generaron una recarga hídrica de 290.6 mm/año (116.2 m³/año), los pinos maduros generaron una recarga hídrica de 575.1 mm/año (230 m³/año), y la zona testigo 161.12 mm/mes (64.4 m³/año). El control de arbustos incrementó los residuos y la humedad en el suelo. El trabajo concluye que las zonas de Huishna y Acopalca son áreas con potencial de Recarga hídrica, ya que los pinos mostraron valores positivos durante la realización de la investigación. Este estudio presenta resultados para la zona Huishna con presencia de pinos jóvenes, tiene una infiltración pluvial anual de 654.1 mm/año, así mismo presenta que la evapotranspiración real (ETR) es de 592.6 mm/año, la recarga hídrica por estas plantaciones es de 290.6 mm/año, así mismo menciona que la recarga hídrica para una zona reforestada de 400 m², es 116.2 m³/año. También presenta datos de recarga hídrica de la zona testigo con un valor de 161.12 mm/año (23).

La tesis “Contribución a la recarga hídrica de acuíferos por plantaciones de Colle (*Buddleja coriácea*) como medida de adaptación al cambio climático en la cuenca media del Shullcas”, cuyo objetivo fue determinar si las plantaciones del *Buddleja coriácea* contribuyen significativamente en la recarga hídrica de acuíferos en la subcuenca del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el año 2014. Utilizó el método balance de suelos propuesto por Schosinsky & Losilla (2000) para la determinación de la recarga hídrica. La investigación presenta como resultados que existe diferencia significativa entre los valores de recarga hídrica de las parcelas con presencia de *Buddleja coriácea* y las parcelas sin presencia de plantaciones de *Buddleja coriácea*, las mismas que registraron valores menores de escorrentía, también se demostró que el mayor contenido de materia orgánica influye positivamente en la recarga hídrica con un coeficiente de relación igual a 0.88. El trabajo concluye que las parcelas con plantaciones de *Buddleja coriácea* alcanzaron un 13.24 % y 19.5 % de recarga hídrica de las precipitaciones en comparación con las parcelas sin plantaciones de *Buddleja coriácea* que registraron solo un 7.4 % en la recarga hídrica de acuíferos en la

subcuenca del río Shullcas como medida de adaptación frente al cambio climático. Este estudio presenta resultados de recarga hídrica potencial en la zona de estudio Tingo Huishna de 206.68 mm/año con plantaciones de *Buddleja coriácea* y pastos naturales como el ichu. La zona de Huishna de solo pastos presenta una Rp de 361.96 mm/año y la zona testigo tiene Rp de 93.65 mm/año (24).

El trabajo de Servicio Educativos Promoción y Apoyo Rural (SEPAR) Y Centro de Estudios y Promoción Del Desarrollo (DESCO), (2010) sobre Reforestación en la subcuenca del río Shullcas. Este proyecto contribuye a largo plazo a incrementar la captación y retención de agua, incrementando la recarga hídrica del agua superficial y subterránea en toda la subcuenca especialmente para el uso múltiple en la parte media y baja donde se encuentra la población urbana de Huancayo y distritos. El impacto ambiental en el mediano y largo plazo será positivo, debido a que la biomasa forestal adecuadamente manejada, cumplirá funciones sostenibles en la dimensión: social, económico, cultural y ecológica (13).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. La cordillera de los andes peruanos

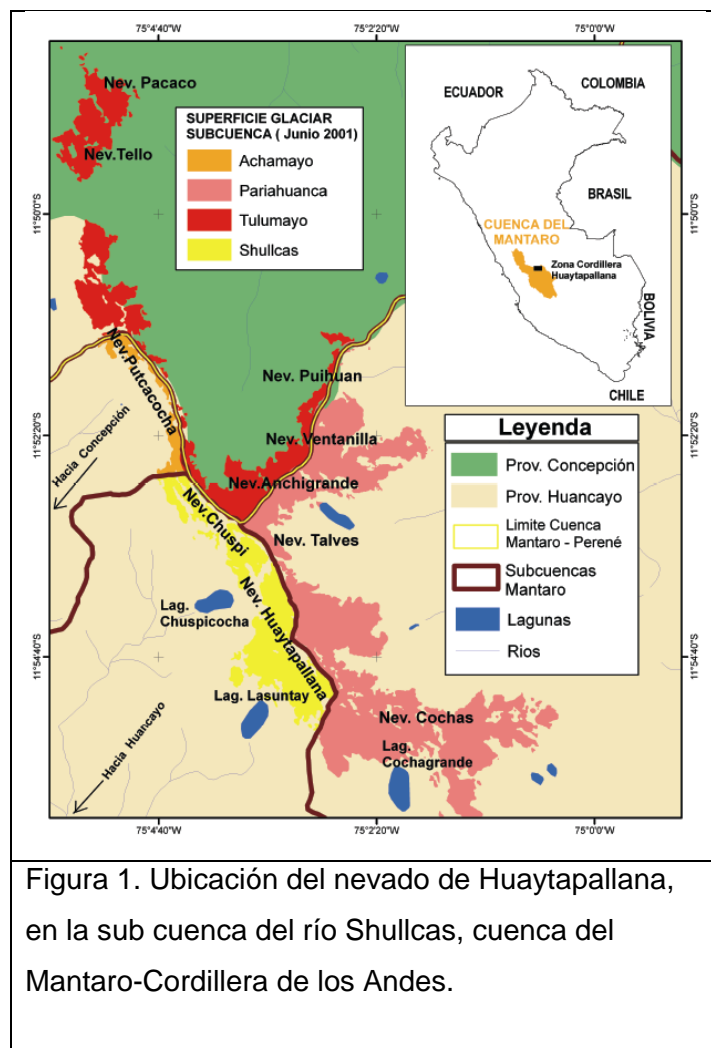
La cordillera de los andes, se ha formado por interacción de la placa de Nazca y la placa Sudamérica, por el arrugamiento y levantamiento del margen continental oeste de la placa Sudamericana. En general se considera que la orogenia de los andes tuvo lugar durante 10 millones de años en promedio. Durante la orogenia de los andes, se formaron tres segmentos mayores, los andes del norte, los andes centrales y del sur. Los andes centrales abarca superficies desde los 5° hasta los 33° S, conforma las zonas más altas y extensas de la cadena montañosa (25).

La cordillera se extiende de Norte a Sur desde Venezuela hasta Chile, entre los 11° de latitud norte y 55° de latitud sur. Los andes proporciona a Sudamérica pisos térmicos que abarcan desde niveles del mar hasta por encima de los 5000 msnm Conforman así altas cumbres, vastas altiplanicies, cuencas interiores y largos valles longitudinales (26).

2.2.2. Cordillera de Huaytapallana

La cordillera de Huaytapallana está ubicada en la cordillera oriental de los andes centrales en el departamento de Junín ($11^{\circ}35'$ - $11^{\circ}58'$ latitud sur y $74^{\circ}48'$ - $75^{\circ}17'$ longitud oeste), cuyas aguas drenan a la cuenca amazónica por medio de los ríos Mantaro y Perene. Presenta 105 glaciares con una superficie de 26.40 km^2 , con orientación de este a sureste (9).

La cordillera de Huaytapallana, contiene a los nevados de Pacao, Tello, Putcacocha, Anchigrande, Chuspi, Talves, Puihuan, Huaytapallana, Ventanilla y Cochabambas. Morfológicamente es un sistema de glaciares de circo, ubicada en la cabecera del valle del Mantaro. Su distribución tiene forma de anfiteatro, con paredes escarpadas y empinadas. Forma parte de la cuenca del Mantaro y es compartido por 4 grandes subcuencas: La subcuenca del río Shullcas, del río Pariahuanca, río Achamayo y río Tulumayo (27). Ver figura 1.



2.1.1. Nevado Huaytapallana

Este nevado tiene aproximadamente 32 km, se encuentra ubicado en las coordenadas $11^{\circ}54.48'$ - $75^{\circ}3.23'$ latitud sur y longitud sur respectivamente, posee picos como Huntay Grande, Huntay Norte, Chuspi, Chulla, Ichu, Yanachanca y Tello, considerando el pico más alto de 5768 msnm. Tiene una morfología de modelado glaciar, presenta seis lagunas, Ancapuachanan, Carhuacocha, Chuspicocha, Cocha Grande, Lazo Huntay y Pumacocha los cuales dan origen a tres importantes ríos como son, río Yuracyacu, río Chiapuquio y río Shullcas, este último es originado por el drenaje de las lagunas Lazo Huntay y Chuspicocha (27).

2.1.2. Ciclo hidrológico

El agua constituye la unidad básica de la vida, alrededor del 60 % de toda la tierra es agua. El 97,2 % se encuentra en los cuerpos oceánicos, el 2 % se encuentra en las masas glaciares, el 0.6 % está almacenado como reserva en los sistemas de aguas subterráneas y solo el 0.02 % está disponible superficialmente en lagos, ríos, entre otros. El agua en la atmósfera constituye un porcentaje muy bajo de 0.0002 %, sin embargo la velocidad con la cual se desplaza es alta, de ocho a diez días se cierra un ciclo completo, mediante los cambios de estado que sufre el agua. Los estados del agua, sólido, líquido y gaseoso, y su desplazamiento constituyen el ciclo hidrológico. Los desplazamientos más importantes son la evaporación y transpiración, los cuales permiten el ascenso hacia la atmósfera, y la precipitación, que permite su retorno a los diferentes subsistemas (28).

2.1.2.1. Precipitación

La precipitación se manifiesta en forma de lluvia, llovizna, nieve y granizo; el ascenso de las masas de aire y la diferencia de temperatura, crea un estado en el cual toda la masa de aire va perdiendo temperatura más allá del punto de rocío, las gotas de agua de pequeños tamaños se atraen y se unen de manera que su masa es atraída por la gravedad, se crea la precipitación. Cuando se habla de precipitación, se debe diferenciar por cantidad e intensidad, así se pueden clasificar en varios tipos. Las vías por las cuales las masas de aire ascienden son seis básicamente. (28).

2.1.2.1.1. Distribución de la precipitación

En el Ecuador, considerada como zona intertropical, se presentan tres tipos de zonas constituidas por marcadas precipitaciones. La zona central presenta lluvia abundante casi todo el año. Otras dos zonas contiguas, la primera presenta lluvias en verano pero sequía en invierno y la zona de escasa lluvia y casi nula en invierno. En la parte subtropical las precipitaciones son escasas casi todo el año. Casi en toda el área intertropical las precipitaciones son continuas, sin embargo existe una marcada estacionalidad que genera la dependencia

de los sistemas agrícolas. La intensidad de precipitación es representado por la cantidad en milímetros de agua precipitada por unidad de tiempo, existen valores altos de hasta 1168 mm por día, tal es el caso de Baguio en Filipinas. Cuando buscamos relacionar la intensidad con la duración, cabe mencionar que a mayor intensidad menor es el tiempo de precipitación. En regiones continentales el comportamiento de las mayores intensidades de precipitación está asociada con el máximo de temperatura. (29).

2.1.2.1.2. Medida de la precipitación

La medida de datos de precipitación es la pluviometría y brinda datos de intercambio de agua entre la tierra y la atmósfera. La unidad de medida es el milímetro, este debe ser tomado dentro de una superficie plana y horizontal, así un milímetro de agua precipitado equivale a un litro de agua por metro cuadrado. La medida de la precipitación en una cuenca se hace difícil de acuerdo al factor orográfico. Los datos de precipitación en una cuenca son las interpolaciones con base de datos del total de lluvias en toda la cuenca. (29).

A. Pluviómetros

Consiste en un cilindro recto, de sección conocida, presenta una boca y un colector. La boca es un anillo biselado y cortante, hecho de un material inalterable a la intemperie, evita salpicaduras y promueve a que la gota que cae en el borde quede partida, acogiendo solo la parte interceptada por esta. El colector provisto de una cámara de aire, evita que el agua recogida se caliente y así disminuya la evaporación (29).

B. Pluviógrafos

Instrumentos cuyo fin es medir la distribución de la lluvia a lo largo del día en un determinado lugar, por tanto

permite conocer la cantidad de lluvia a través del tiempo y también su intensidad (29).

2.1.2.2. Evapotranspiración

La evaporación es la pérdida de agua del terreno adyacente a la planta y es causada por el aumento de energía cinética de las partículas del agua, debido a la radiación solar y otros factores como viento, presión, entre otros. La transpiración es la eliminación del agua en plantas por los estomas, constituye cerca del 95 % de todo el agua absorbido. El uso consuntivo o evapotranspiración hace referencia la combinación de la transpiración y la evaporación (30).

A. Evapotranspiración potencial y real

La evapotranspiración es la cantidad de agua necesaria para que se cumpla la demanda de transpiración de la planta y la evaporación del medio en que se encuentra. La evapotranspiración de referencia o potencial (ET_0) representa la tasa de evapotranspiración de gramíneas, con longitudes de entre 8 y 15 cm, situadas en superficies uniformes, con crecimiento activo y con el requerimiento de agua disponible. La evapotranspiración real o de cultivo ($ET_{cultivo}$) es aquella que representa la evapotranspiración de un cultivo en una zona con buenas condiciones de fertilidad y humedad, además sin presencia de enfermedades y un potencial alto de producción (30).

B. Factores que afectan la evapotranspiración

Los elementos climáticos como radiación (cambio de fase del agua) y las altas temperaturas, humedad relativa baja (mayor capacidad de almacenamiento de vapor de agua) y grandes velocidades de viento (desplazamiento de vapor de agua) conllevan a una mayor evapotranspiración. El tipo de cultivo con referencia a su altura, etapa de crecimiento, duración del ciclo vegetativo y densidad de

siembra afectan a la evapotranspiración, por ejemplo, si la vegetación es exuberante, alta y densa tendrá una mayor ETP. Las características del suelo en su mayoría físicas, por ejemplo, suelo arenoso con baja densidad de retención de humedad y con bajo volumen de raíces tendrá afectaran en la evapotranspiración. El contenido de humedad en el suelo, determinado por la capacidad del este en almacenar agua después de dos días de un riego (provee agua da fácil acceso) y el tipo de riego generaran también un efecto en la ETP (30).

C. Medición de la ETP

Para determinar la ETP de un cultivo ($ET_{cultivo}$), se deben de conocer primero la ETP de referencia (ET_0) y el coeficiente de cultivo (Kc). (30)

La fórmula para el cálculo es la siguiente:

$$ET(cultivo) = ET_0 \times Kc$$

Donde ET_0 es la ETP de referencia en unidades milimétricas (mm) y Kc es el coeficiente del cultivo sin ninguna unidad (adimensional)

Para calcular ET_0 se pueden utilizar desde métodos directos a indirectos (30).

D. Métodos directos

Están basados en el balance hídrico, obtenidos a partir de la humedad antes y después de cada riego. Así se conoce el consumo de agua de las plantas en los intervalos que anteceden y siguen al riego, hasta obtener la sumatoria del consumo de agua en todo el ciclo del cultivo. Los métodos directos de la ETP son el lisímetro, el evaporímetro de Thornthwaite y el gravimétrico que determina en forma directa el uso consuntivo (30).

- Evapotranspirómetro de Thornthwaite

Es un tanque de hierro de 4 m² de superficie y 0.40 m de profundidad. Sirve en la determinación de la ETP en forma directa. El tanque se profundiza en el suelo, se rellena de tierra y se siembra el cultivo de estudio. Este también estará provisto de un tanque alimentador, un tanque regulador y una tubería de conexión en el sistema (30).

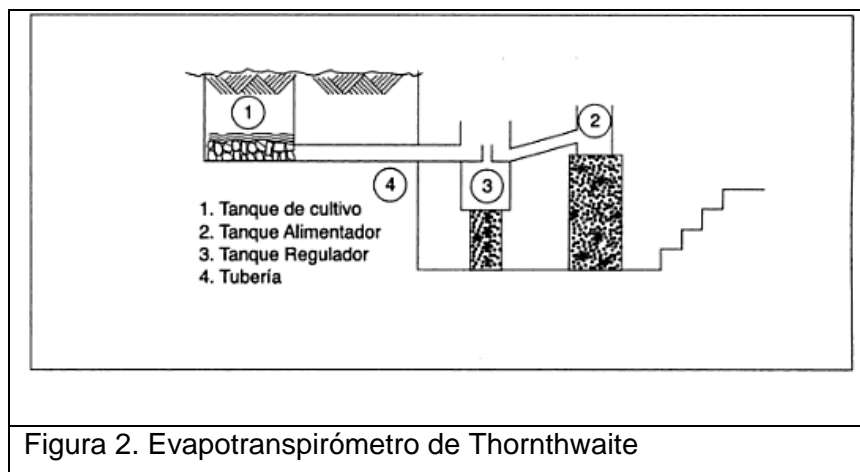


Figura 2. Evapotranspirómetro de Thornthwaite

Fuente: (30)

E. Coeficiente de cultivo K_c

Es el valor que depende de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas del cultivo. Depende de la capacidad de la planta de extraer el agua en el suelo, según su desarrollo vegetativo dado en ese tiempo. No forma parte de los métodos directos. Entonces el K_c resulta de la relación entre la ETP del cultivo durante una etapa definida, con la ETP de referencia. (30)

$$K_c = \frac{ET_{\text{cultivo}}}{ET_o}$$

Entonces al tener la ETP para el cultivo en un determinado periodo se aplica en la fórmula de ET de cultivo.

$$ET(\text{cultivo}) = ET_o \times K_c$$

Con respecto a la etapa que se debe de definir, este debe ser de dos maneras.

- El ciclo vegetativo del cultivo
Los datos provienen del tipo de cultivo, el clima y la fecha de siembra, siendo este mayor cuando el clima es frío.
- Etapas de desarrollo vegetativo
Está dividido en cuatro fases en función del clima y del cultivo. La fase inicial está comprendida desde la germinación hasta el crecimiento inicial (10 % de cobertura vegetal). La fase de desarrollo brinda los datos de máximo K_c , de manera que la cobertura vegetal alcanza hasta un 70 % a 80 %. Fase de mediados del periodo, comprende las fases de floración y fructificación y en algunos hasta la recolección. La fase final del periodo comprende la plena maduración y la fase de cosecha del mismo (30).

2.1.2.3. Infiltración del suelo

La infiltración compone el volumen de agua en movimiento descendente en el suelo, debido a la fuerza de gravedad y la capilaridad de dicho suelo. Existen pérdidas constituidas por la intercepción de la vegetación, retención en sistemas de depresiones o charcos que finalmente se evaporarán y otros mecanismos. Así la infiltración compone las pérdidas más considerables de agua. El suelo tiene una capacidad de infiltración dada por la mayor cantidad de agua que puede absorber en una unidad de tiempo. En una tormenta, en un caso hipotético si el suelo está totalmente seco, tendrá un máximo de capacidad de absorción de agua, siendo esta mayor que la intensidad de lluvia (31).

$$i < f_p, f = i$$

Donde f es la infiltración, expresada como lámina por unidad de tiempo (mm/h); f_p es la capacidad de infiltración (mm/h) e i es la intensidad de la lluvia (31).

Las fuerzas de capilaridad son mayores que la fuerza gravitacional, sin embargo, después de un tiempo si la lluvia continúa intensa, la humedad del suelo aumenta proporcionando la saturación del suelo en un determinado tiempo. En el momento de saturación, las depresiones superficiales contienen el agua provocando encharcamientos y flujos superficiales, después de este tiempo, si las precipitaciones continúan, la superficie de saturación va aumentando hasta llegar a un tiempo en el cual la capilaridad pierde importancia. En un tiempo $t = \infty$ el suelo llega a un límite de saturación, la fuerza gravitatoria produce que la capacidad de infiltración sea constante. Si las precipitaciones cesan en el tiempo de encharcamiento el agua de los charcos y flujo superficial van formando parte de la infiltración del suelo y de la evaporación. Sin embargo, este sistema es afectado por diversos factores como la textura del suelo, cobertura vegetal, uso del suelo, entre otros (31).

A. Tipos de infiltración

La velocidad de infiltración es la relación de la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, la unidad de medida es en cm/h o mm/h. La infiltración instantánea o velocidad de infiltración es aquella con que el suelo absorbe el agua en un tiempo dado, su disminución puede llegar a ser constante con respecto al tiempo. La infiltración acumulada es la lámina que acumula el suelo durante un tiempo y este aumenta con el tiempo. La infiltración media es la velocidad de infiltración durante un tiempo acumulado, siendo también afectado por el tiempo con respecto a su disminución. La infiltración básica es la velocidad de infiltración cuando el suelo alcanza un valor

constante de infiltración, se considera que se ha alcanzado cuando la disminución es del 10 % en una hora (30).

VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN DEL AGUA SEGÚN LA TEXTURA DEL SUELO	
TEXTURA DEL SUELO	VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN (mm/h)
Suelo arcilloso	1-5
Suelo limoso	8-12
Suelo arenoso	25-50

Figura 3. Valores de infiltración según textura del suelo

Fuente: (30).

B. Medida de infiltración

Par medir la infiltración en parcelas con riego permanente se utilizan cilindros metálicos, de 30 y 45 cm de diámetro y 45 cm de altura; el cilindro menor se introduce 10 cm en el suelo y se sobrepone el cilindro mayor en forma concéntrica y a la misma profundidad con una regla graduada en centímetros, con el cero al nivel del suelo.

Los métodos para obtener datos de infiltración se basan en la obtención de la velocidad de infiltración y la infiltración acumulada, para la obtención de valores exactos existen 2 formulas, la fórmula de Horton y la fórmula de Kostiakov-Lewis, fórmulas que ajustan los datos y nos permiten obtener mayor veracidad. Para la velocidad de infiltración:

$$I = kt^{-n}$$

Donde, I es la infiltración instantánea en (mm/h o cm/h), k es la velocidad de infiltración durante el intervalo inicial ($t=1$), t es el tiempo en minutos y n es el exponente adimensional negativo entre 0 y -1, el cual corresponde a la pendiente de la cuenca e indica como la velocidad de infiltración disminuye con el tiempo (30).

Para la infiltración acumulada se integra la ecuación de Kostiakov, la fórmula es la siguiente:

$$Ia = \frac{K}{(n + 1) \times 60} \times kt^{-n}$$

Donde, Ia es la infiltración acumulada en cm y t es el tiempo acumulado en minutos.

Para estimar la infiltración básica del suelo se sugiere utilizar el siguiente método: Utilizando el método de Porchet o cilindro invertido. El procedimiento es el siguiente:

- Para realizar esta prueba es necesario limpiar el área, hacer un agujero utilizando un barreno.
- Se excava un agujero con radio y altura conocida, se le agrega agua cerca del punto de saturación del suelo y se toman las lecturas en intervalos de tiempo conocidos.
- El radio del cilindro se conoce como R , la altura conocida h , y el cambio de tiempo dt para encontrar la capacidad de infiltración f .
- Para determinar f se utiliza la siguiente ecuación:
$$f = (R/2(t_2-t_1)) * \ln ((2h_1 + R)/(2h_2 + R))$$
- Y para determinar f , basta medir pares de valores (h_1, t_1) , (h_2, t_2) , de forma que t_2 y t_1 no difieran demasiado e ingresen con ellos en la expresión dada (30).

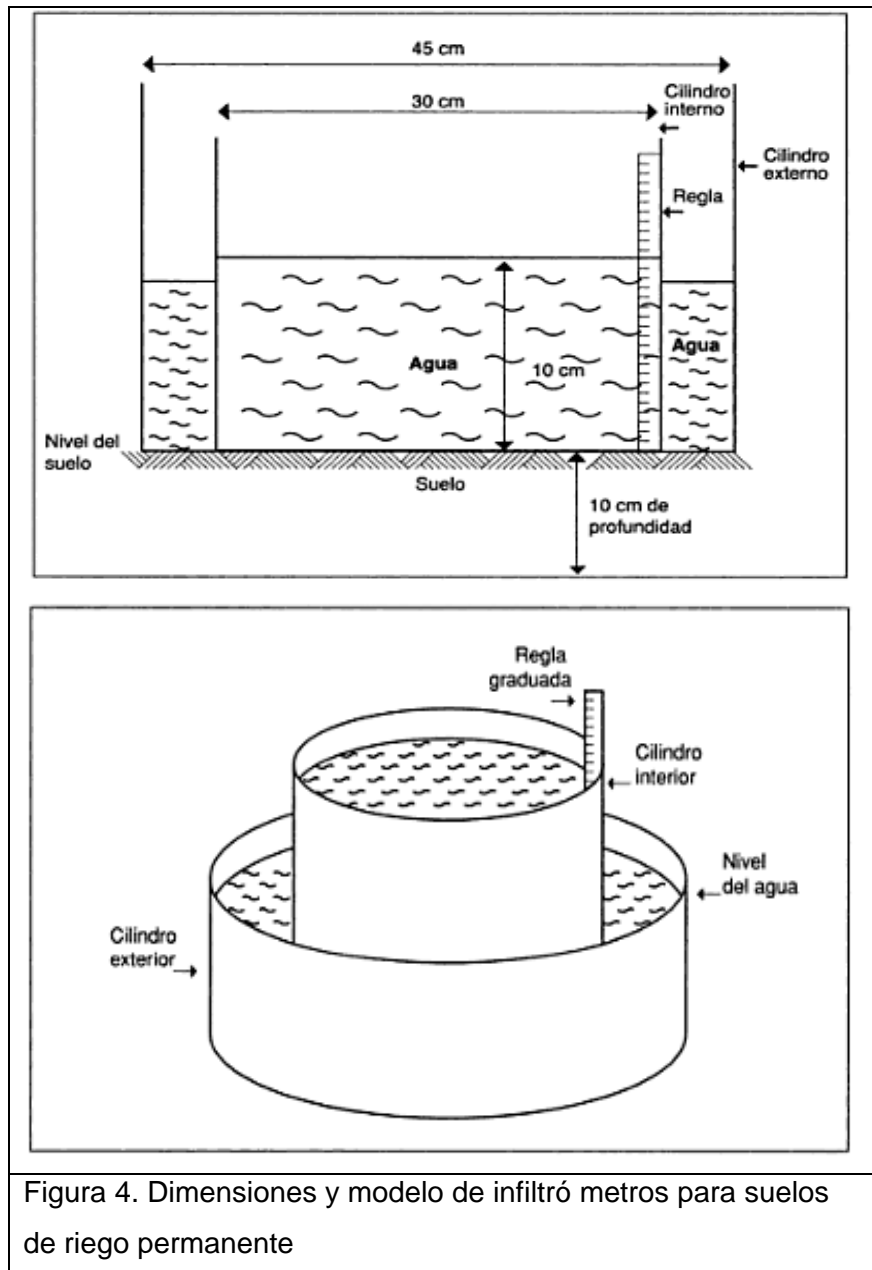


Figura 4. Dimensiones y modelo de infiltrómetros para suelos de riego permanente

Fuente: (30).

2.1.2.4. Escurrimiento

El escurrimiento está dado por el agua precipitada que circula por encima y debajo de la superficie de la cuenca, llegando al único punto de drenaje. Después de la intercepción y evaporación del agua por parte de los sistemas de vida, una parte traza caminos para llegar al punto de drenaje de la cuenca. Existen tres caminos, el escurrimiento superficial, subsuperficial y subterráneo (31).

A. Esgurrimiento superficial

El escurrimiento del agua se da después de que el agua infiltrada en las capas de la tierra haya provocado la saturación de la misma. Al llenar las depresiones en el terreno el agua escurrir por la superficie, en forma de flujo superficial, mientras el flujo va avanzando, es consumido por terrenos donde habrá una infiltración y evaporación hasta alcanzar una corriente para su descarga (escurrimiento en corrientes). Así el flujo en el terreno y escurrimiento en corriente conformarán la escurrencia superficial (31).

B. Esgurrimiento subsuperficial

Una parte del agua de precipitación tendrá un escurrimiento cercano a la superficie, conformando el escurrimiento subsuperficial. Cuando el escurrimiento desemboca en cuerpos de agua subterráneos, el escurrimiento es de tipo subterráneo (31).

C. Esgurrimiento Subterráneo

La salida del escurrimiento subterráneo supone un tiempo de hasta años, por tal motivo su permanencia en estos cuerpos es relevante en cuanto a la alimentación a las corrientes sobre todo por la estacionalidad; todo ello conforma el escurrimiento base. En el escurrimiento subsuperficial el factor permeabilidad determina la inclusión del escurrimiento subsuperficial en el escurrimiento superficial o subterráneo, si el escurrimiento es relativamente rápido pasará a formar parte del superficial, caso contrario pasará a formar parte del escurrimiento subterráneo (31).

2.1.3. Agua subterránea

Constituye la fase subterránea del ciclo hidrológico. El agua subterránea es aquella situada dentro de la litósfera. En general, su

presencia se debe a la infiltración del agua precipitada y en menor cantidad a otros factores como magmatismo y volcanismo. Están contenidas en rocas de diferentes características de almacenamiento y transmisión de agua (32).

2.1.3.1. Distribución del agua en el suelo y tipos de acuíferos

De acuerdo a la distribución del agua en el subsuelo hay dos zonas de permanencia. La zona de aireación está constituido por tres franjas: la franja del agua, presenta agua de tipo higroscópica (es la que el suelo absorbe y forma películas alrededor de las partículas), agua capilar (agua en los intersticios del suelo disponible para las plantas) y el agua libre (agua influenciada por la gravedad que se moverá hacia abajo una vez satisfecha la humedad del suelo); la franja intermedia, aquella que comunica a las franjas del agua y capilar; la franja capilar, aquella que contiene agua que ascenderá a la zona de saturación. La zona de saturación es donde se encuentra el agua subterránea propiamente dicha, constituye un manto freático como capa saturada y una superficie freática como límite de la zona de agua subterránea. En general la dinámica está dada por el movimiento del agua hacia el manto freático por filtración, y una vez en el adquiere un movimiento lento llamado percolación (29).

2.1.3.1.1. Acuíferos libres

Es aquel donde el agua está en contacto directo con la atmósfera por medio de poros y fisuras en la roca. Contiene el manto freático o capa saturada y una superficie freática que está a la presión atmosférica. Por debajo de la superficie freática, un punto cualquiera tendrá una presión mayor constituido por la presión atmosférica más la presión de la columna de agua (32).

2.1.3.1.2. Acuíferos confinados

Es aquel que está aislado de la presión atmosférica debido a su estructura geológica impermeable. En cualquier punto del

acuífero la presión será mayor a la presión atmosférica, además siempre estará saturado de agua. Si se realiza un sondeo, el agua confinada ascenderá al buscar un equilibrio en la presión, este fenómeno se denomina artesianismo. A la cota que alcanzaría el agua en el interior de un sondeo ranurado en un punto del acuífero se le denomina nivel piezométrico, y al lugar geométrico del nivel piezómetro de todos los puntos del acuífero se le denomina superficie piezométrica (32).

2.1.3.1.3. Manantiales

Un manantial es una zona o lugar de la superficie del terreno, en la que de modo natural fluye o aflora una cantidad determinada de agua proveniente de un acuífero. Una porción de las precipitaciones en las partes altas de las cuencas infiltran en el suelo, forman acuíferos, las aguas en su recorrido en forma horizontal y según el relieve, reaparecerá en superficies en sitios más o menos alejados de la zona de recarga natural (33).

A. Manantiales de laderas

En zonas altoandinas, los manantiales se relacionan con el relieve de la zona, generalmente los acuíferos son cortados por la topografía. Si presenta un sustrato impermeable, el agua recorrerá por acción de la gravedad, desembocando o apareciendo en forma superficial, por lo general en zonas altoandinas salen por las laderas de los cerros. Los manantiales de ladera concentrados, son identificados por su saliente definida y puntual. Los manantiales de ladera difusos surgen en sectores más amplios y son conocidos como ciénegos. Los manantiales de fondo, se caracterizan por su saliente de manera ascendente en zonas bajas o fondos de valles, generalmente provienen de un acuífero confinado (33).

2.1.4. Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrológica es la unidad básica de la hidrología, donde el sistema de drenaje tiene el mismo punto de descarga. Existen 2 tipos de cuencas, la cuenca endorreica posee el punto de descarga, está dentro de los límites del sistema conectado de drenaje (límites de cuenca); la cuenca exorreica tiene el punto de descarga, se encuentra en los límites de la cuenca. El ciclo hidrológico en una cuenca se expresa como un estímulo, cuya respuesta es la descarga o escurrimiento en la salida. Esta relación se ve afectada por diversos fenómenos que son controlados por la geomorfología y presencia de vida en la cuenca. El fenómeno de escurrimiento es controlado por características de geomorfología con área de la cuenca y tipo de suelo. El fenómeno de velocidad de respuesta o descarga es controlado por el orden de las corrientes, pendiente de la cuenca, cauces, entre otros (31).

2.1.4.1. Partes de una cuenca

Para definir las partes de una cuenca debemos conocer los componentes de la misma. Una cuenca es un sistema y se compone de varias subcuencas. subcuenca es un conjunto de microcuencas con un solo cauce, microcuenca es el área con drenaje hacia el cauce principal de la subcuenca, quebrada es el área con drenaje principal de una microcuenca. Entonces como componente de una cuenca se identifican, cuenca alta a aquella área montañosa o cabecera de cerros limitadas por una divisoria de aguas, cuenca media a aquella donde las aguas de las partes altas se juntan y se dirigen a un río principal con cauce definido, cuenca baja o zonas transicionales a aquella área donde se ubica el río principal que desemboca a ríos mayores (34).

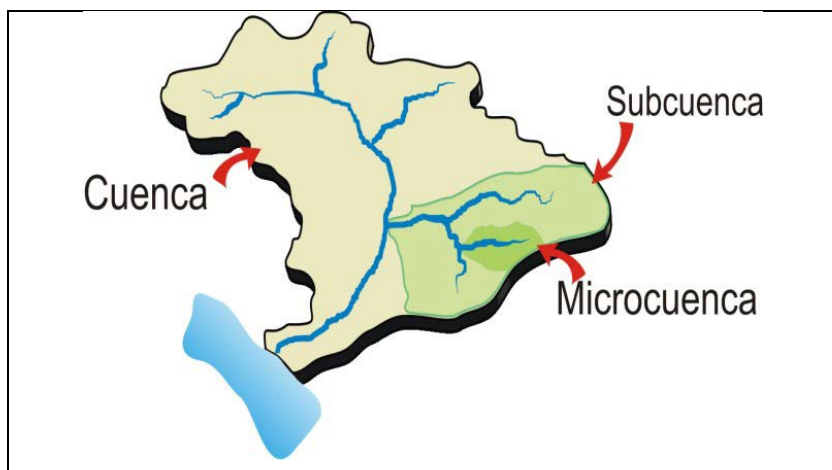


Figura 5. Cuenca, subcuenca y microcuenca

Fuente: (34)

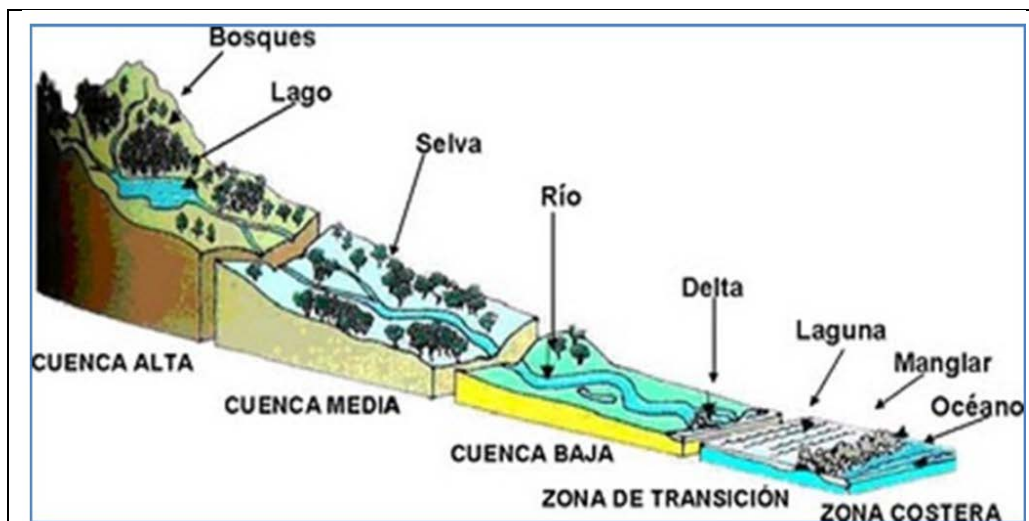


Figura 6. Partes de una cuenca

Fuente: (34)

2.1.4.2. Zonas de la Cuenca

La cuenca hidrográfica está dividida en zonas, el cual permite analizar el comportamiento de la misma y los componentes del balance hídrico, de esta manera tenemos lo siguiente:

- Zona de cabecera, parte alta donde se realiza la captación de agua, es la zona de mayor vulnerabilidad hidrológica.
- Zona de captación y transporte, parte donde se capta y transporta la mayor parte del agua que entra al sistema,

conforman una mezcla de aguas de diferentes características físico-químicas.

- Zona de emisión, aquella que emite sus aguas hacia una corriente más caudalosa proveniente de las zonas que la preceden (34).

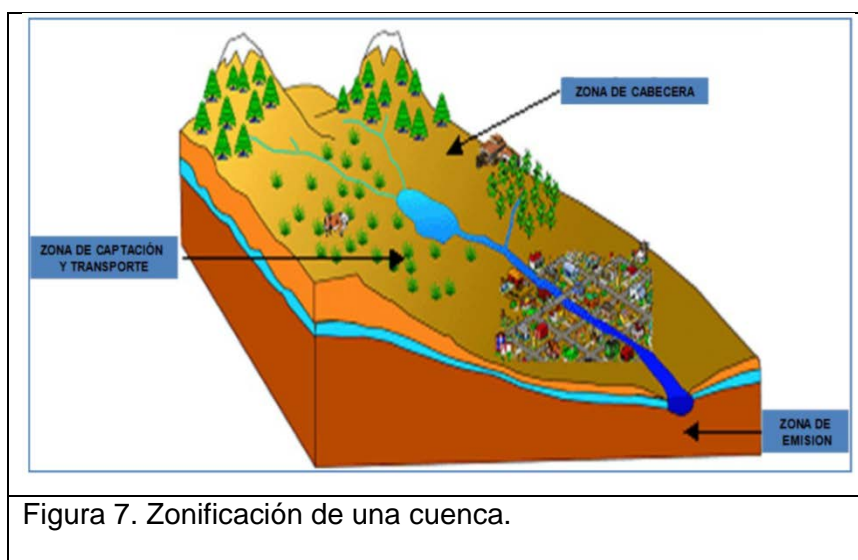


Figura 7. Zonificación de una cuenca.

Fuente: (34).

2.1.5. Recarga hídrica de acuíferos

La recarga de acuíferos se realiza por medio del balance hídrico, sin embargo, el conocimiento y evaluación está influenciado por múltiples factores. Es el proceso mediante el cual un acuífero recibe agua, las fuentes de agua proceden de diferentes fuentes tales como, agua de precipitación, aguas superficiales, aguas de transferencia de otros acuíferos. Los procesos de recarga están dados por la infiltración de la lluvia en su gran mayoría y en suelos de gran capacidad de infiltración. La cantidad de agua captada por el acuífero es limitada ya que la capacidad de almacenamiento del acuífero no es infinita, esto depende del espesor y profundidad del acuífero (35).

2.1.5.1. Factores que afectan la recarga de acuíferos

La recarga hídrica depende del régimen de precipitación, de la escorrentía superficial, y del caudal de los ríos; así mismo varía o depende de acuerdo a la permeabilidad de los suelos, de su

contenido de humedad, de la duración e intensidad de la lluvia y del patrón de drenaje de la cuenca. También la pendiente de la superficie constituye un factor importante, puesto que las muy inclinadas favorecen la escorrentía superficial y, si son menos fuertes, retienen por más tiempo el agua favoreciendo la infiltración (INAB 2003) en (35).

Los acuíferos recargan en cualquier área en que: a) exista suelo o roca permeable en superficie, b) tengan comunicación hidráulica con los acuíferos, y c) que esté temporalmente en contacto con agua. Todos estos factores definen la recarga, ocurren en diferentes grados relativos en las capas que subyacen a los acuíferos. Para conocer y delimitar las principales zonas de recarga de un acuífero y su mecánica de funcionamiento, se necesitan muy variados y específicos estudios hidrogeológicos (Losilla 1986) en (35).

2.1.5.1.1. El clima

Los factores que afectan la recarga hídrica son, la evapotranspiración, debido a las pérdidas de agua por la transpiración de las plantas y la evaporación del agua y la precipitación pluvial (35).

2.1.5.1.2. El suelo

Suelos impermeables o compactos impiden o dificultan la infiltración o recarga hídrica, mientras que suelos permeables facilitan y garantizan la recarga en los acuíferos. Las características del suelo que influyen en la recarga son, la textura, la densidad aparente, grado de saturación del suelo (contenido de humedad) y la capacidad de infiltración (35).

2.1.5.1.3. Topografía

Esta influye debido al tiempo de contacto que permite entre el agua con la superficie pendientes fuertes, favorecen la escorrentía superficial, disminuyen el tiempo de contacto del

agua con la superficie y reducen la infiltración del agua o recarga de los acuíferos (35).

2.1.5.1.4. Estratigrafía geológica

Es muy importante estudiar la estratigrafía de la zona, es decir, conocer la disposición de los diferentes materiales geológicos en los distintos estratos o capas del suelo hasta llegar a la zona saturada (agua subterránea), ya que estos pueden afectar considerablemente la cantidad de recarga hídrica (35).

2.1.5.1.5. Cobertura vegetal

Esta disminuye la escorrentía superficial, permitiendo mayor contacto del agua con la superficie y facilitando el proceso de infiltración del agua, por otro lado gran parte de la lluvia que cae es depositada en la cobertura vegetal como intersección; en este factor es necesario considerar la profundidad radicular y la capacidad de retención vegetal (35).

2.1.5.1.6. Escurrimiento

El agua que cae proveniente de las precipitaciones forma flujos superficiales, subsuperficiales y subterráneos los cuales son captados por los cauces de los ríos (35).

2.1.6. Balance hídrico

Deriva del principio de la conservación general del agua. El agua al evaporarse desde el suelo, o ser eliminado por vía transpiración por la planta solo cambia de estado, no se pierde, al juntar ambos procesos, se cuantifica mediante la evapotranspiración. Cuando filtra hacia los sistemas de aguas subterráneas, aún está presente en forma de drenaje. Cuando escurre por la superficie del suelo, el agua es agua de escurrimiento. Cuando se encuentra en el suelo constituye una reserva (35).

“La ecuación de continuidad, o de balance hidrológico, es la ley más importante en Hidrología, y aunque su expresión es muy simple, la

cuantificación de sus términos es normalmente complicada, principalmente por la falta de medidas directas y por la variación espacial de la evapotranspiración, de las pérdidas profundas (acuíferos) y de las variaciones del agua almacenada en una cuenca. En respuesta a estas dificultades, generalmente se admiten dos asunciones, la primera supone que las pérdidas profundas son despreciables (se considera, por tanto, que la cuenca es impermeable), y la segunda admite que las variaciones del agua almacenada en la cuenca son despreciables para un período suficientemente largo, el cual normalmente es un año [...]” (35).

“El balance hídrico es una representación teórica de los intercambios de agua entre las plantas, el suelo y la atmósfera, este nos permite cuantificar los recursos hídricos a diferente escala como parcela, finca, cuenca, región y las modificaciones del mismo por influencia de las técnicas de manejo de la agricultura y de las actividades del hombre en general [...]” (35).

“El balance hidrológico nos proporciona información acerca de la oferta hídrica, es decir con cuanto disponemos de agua para las diversas actividades; mientras que la demanda hídrica está condicionada por el consumo en metros cúbicos necesarios para satisfacer los diferentes usos, esto nos dimensiona la importancia de contar con balance hídrico; ya que nos brinda los elementos precisos en la toma de decisiones en torno al aprovechamiento de los recursos hídricos de una forma racional y sostenible. (Jiménez 2006) en (35 pág. 39). La ecuación de balance hídrico esta expresada en: Precipitación (+ agua de otras cuencas) = evapotranspiración + escorrentía superficial + escorrentía subterránea (+ agua de otras cuencas) +/- almacenamiento [...]” (35).

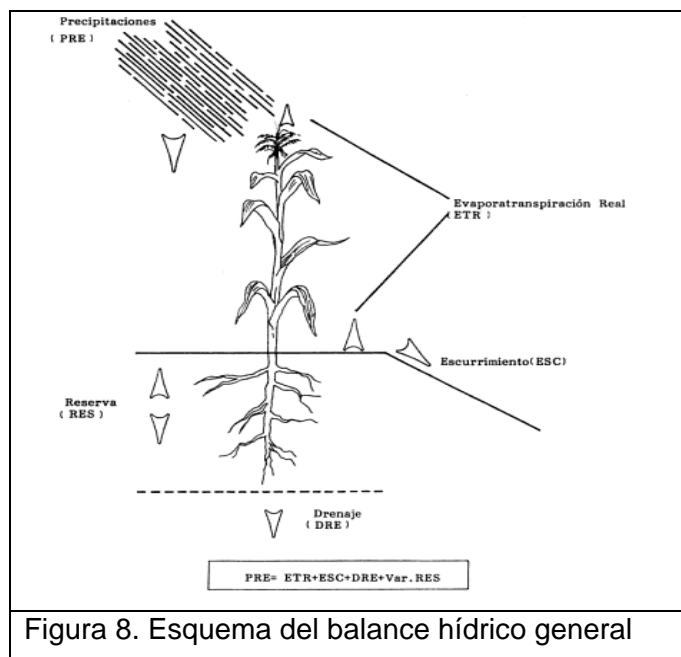


Figura 8. Esquema del balance hídrico general

Fuente: (36).

2.1.6.1. Balance hídrico de Suelos

Para determinar el balance hídrico se requieren determinar 4 parámetros, los cuales son, la fracción de lluvia que es interceptada por el follaje, la infiltración del agua de lluvia hacia el suelo, generada por la precipitación que llega a su superficie, se debe realizar un balance de suelos, que nos permita estimar el agua que drena del suelo hacia el acuífero, que se encuentra ubicado debajo del suelo; al tener todos los datos se integran en la ecuación final de recarga de acuíferos (37).

2.1.6.1.1. Fracción de lluvia interceptada por el follaje

La precipitación en la zona determina la infiltración, así si las precipitaciones son menores a 5 mm mensuales, no van a generar infiltración, esto debido a que, en promedio en un mes con lluvia, el follaje retiene 5mm, evitando que llegue al suelo. También está establecido que el 12 % de las precipitaciones mensuales son retenidas por el follaje, sin embargo este porcentaje puede variar según vegetación (en bosques densos el valor es de 20 %). Definiremos como coeficiente de follaje

(Cfo) al porcentaje de la lluvia mensual que es retenida en el follaje, expresado en tanto por uno (37).

Para el 12% de retención: Cfo = 0,12.

Para el 20% de retención: Cfo = 0,20.

“Para calcular la retención de lluvia mensual interceptada por el follaje (Ret), se aplicará la siguiente ecuación: [...]” (37).

La ecuación 1, ecuación para el cálculo de la retención mensual de lluvia por follaje

Si P es menor o igual a 5 mm/mes, entonces:

$$Ret = P$$

Si el producto (P)(Cfo) es mayor o igual de 5 mm/mes, entonces

$$Ret = (P) (Cfo)$$

Si P es mayor de 5mm/mes y el producto (P) (Cfo) menor de 5, entonces:

$$Ret = 5.$$

Donde:

P = Precipitación mensual del mes [mm/mes].

Ret = Retención de lluvia en el follaje [mm/mes].

Cfo = Coeficiente de retención del follaje, para bosques muy densos Cfo = 0,20, otros Cfo = 0,12 [adimensional]. (37)

2.1.6.1.2. Infiltración

“Uno de los factores que más influye en la infiltración de la lluvia en el suelo, es el coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo (Kfc), que está dado tentativamente por la siguiente ecuación: [...]” (37).

$$Kfc = 0,267 \ln (fc) - 0,000154fc - 0,723$$

Donde:

Kfc [adimensional] = Coeficiente de infiltración (fracción que infiltra por textura del suelo).

fc [mm/día] = Infiltración básica del suelo.

“Para aplicar esta ecuación, el rango de f_c ha de encontrarse entre 16 a 1568 mm/día. Para valores de f_c menores a 16 mm/día, $K_{fc} = 0,0148f_c/16$. Para valores de f_c mayor a 1568 mm/día, $K_{fc} = 1$. Con las observaciones mencionadas en el párrafo anterior, el cálculo del coeficiente de infiltración por textura del suelo, se representa en la siguiente ecuación: [...]” (37).

La ecuación 2, ecuación para calcular el coeficiente de infiltración por textura de suelo (K_{fc}) es la siguiente:

Si f_c se encuentra entre 16 y 1568 mm/día entonces:

$$K_{fc} = 0,267 \ln(f_c) - 0,000154f_c - 0,723$$

Si f_c es menor a 16 mm/día entonces: $K_{fc} = 0,0148f_c/16$

Si f_c es mayor de 1568 mm/día entonces: $K_{fc} = 1$

“El valor de f_c corresponde a la permeabilidad del suelo saturado, en los primeros 30 centímetros de profundidad, por considerar que este es el espesor que está en contacto directo con el agua de lluvia. Dicho valor se obtiene en el campo, con la prueba de anillos aplicada en la superficie del terreno. También se puede obtener con el permeámetro de Guelph o con la prueba de Porchet, ambas aplicadas a una profundidad no mayor de 30 cm. Sin embargo, pueden existir diferencias entre los métodos utilizados [...]” (37).

“El valor de K_{fc} , fue derivado para los valores de lluvia mensual. Por lo tanto, la fracción que infiltra debido a la textura del suelo, nos permite obtener la infiltración mensual debido a este concepto. Además del coeficiente de infiltración debido a la textura del suelo, influye la pendiente del terreno y la vegetación. Estos coeficientes, vienen a conformar el

coeficiente de infiltración del suelo (C_i), basado en la siguiente ecuación: [...]” (37).

Ecuación 3, ecuación para el cálculo del coeficiente de infiltración del suelo:

Si $K_p + K_v + K_{fc}$ es mayor de 1, entonces: $C_i = 1$.

Si $K_p + K_v + K_{fc}$ es menor o igual a 1, entonces:

$$C_i = K_p + K_v + K_{fc}.$$

Donde:

C_i = Coeficiente de infiltración [adimensional].

K_p = Fracción que infiltra por efecto de pendiente [adimensional]. (Figura N° 9).

K_v = Fracción que infiltra por efecto de cobertura vegetal [adimensional] (Figura N° 9).

K_{fc} = Fracción que infiltra por textura del suelo [adimensional] (ecuación 2).

“El coeficiente de infiltración es el factor por el cual hay que multiplicar la precipitación mensual para obtener el agua que se infiltra mensualmente hacia el suelo. En una zona dada, entre menor sea la pendiente del terreno y mayor sea su cobertura vegetal, la velocidad de escurrimiento se retrasa, generando una mayor infiltración [...]” (37). Los valores sugeridos de estos componentes, que conforman el coeficiente de infiltración se muestran en la figura 11.

Por pendiente:	Pendiente	Kp
Muy plana	0,02%-0,06%	0,30
Plana	0,3%-0,4%	0,20
Algo plana	1%-2%	0,15
Promedio	2%-7%	0,10
Fuerte	mayor de 7%	0,06

Por cobertura vegetal:	Kv
Cobertura con zacate menos del 50%	0,09
Terrenos cultivados	0,10
Cobertura con pastizal	0,18
Bosques	0,20
Cobertura con zacate más del 75%	0,21

Figura 9. Componentes del coeficiente de infiltración

Fuente: (37).

2.1.6.1.3. Cálculo de infiltración pluvial mensual

“En el cálculo de la precipitación que infiltra mensualmente, se han de considerar los siguientes factores: la precipitación mensual, la retención pluvial mensual en el follaje (ecuación 1) y el coeficiente de infiltración (ecuación 3). El cálculo de la precipitación que infiltra mensualmente (P_i) al suelo, está dado por la ecuación 4: [...]” (37).

$$P_i = (C_i) (P - Ret)$$

Donde:

P_i = Precipitación que infiltra mensualmente al suelo en [mm/mes].

C_i = Coeficiente de infiltración [adimensional] (ecuación 3)

P = Precipitación mensual en [mm/mes] (dato meteorológico).

Ret = Retención de lluvia mensual por follaje en [mm/mes] (ecuación 1).

En ningún caso el coeficiente de infiltración (C_i) ha de ser mayor de 1, si así fuese, se le asigna a C_i el valor de 1.

2.1.6.1.4. Escorrentía superficial

“La escorrentía superficial generada por la lluvia mensual, corresponde a la precipitación mensual menos la retención de lluvia en el follaje menos la infiltración. La escorrentía mensual se calcula con la ecuación 5 : [...]” (37).

$$ESC = P - Ret - P_i$$

Donde:

ESC = Escorrentía superficial en mm/mes.

P = Precipitación en mm/mes (dato meteorológico).

Ret = Retención de lluvia mensual por follaje en mm/mes (ecuación 1).

P_i = Precipitación que infiltra mensualmente al suelo en mm/mes (ecuación 4).

2.1.6.1.5. Balance del suelo

“Para el balance del suelo, en primera instancia se requiere la infiltración mensual al suelo, generada por la lluvia. Dicho cálculo se obtiene de acuerdo con el apartado de “Infiltración” descrito anteriormente. Posteriormente, es necesario conocer la capacidad de campo y punto de marchitez del suelo. Estos valores, se obtienen directamente del laboratorio de suelos o se pueden estimar (figura N^o 12). También es necesario conocer la profundidad aproximada de las raíces extractoras de agua, en la zona donde se ha de realizar el balance. O sea, el balance se realizará en un prisma rectangular, que tiene en la cara superior un cuadrado de 1 m de lado y de profundidad, la de las raíces, con capacidad de absorción del agua en el suelo [...]” (37).

“La forma natural de extracción de agua del suelo es mediante la transpiración de las plantas. Dicha extracción se realiza mediante las raíces; por lo tanto, la extracción de agua se realizará en una franja de suelo que tiene una profundidad variable (figura N° 13). La máxima humedad que puede tener un suelo que no se encuentre saturado, es igual a la capacidad de campo, es entonces cuando la planta tiene la máxima capacidad de transpiración. La mínima humedad que puede tener un suelo es aproximadamente igual al punto de marchitez, pues con humedades menores la planta muere. De lo anterior se deduce que un suelo, no saturado, a profundidades mayores que la profundidad de raíces se encuentra a capacidad de campo [...]” (37).

TEXTURA DEL SUELO	Porcentaje por peso de suelo seco		
	PMP%	CC%	Densidad aparente (g/cm ³)
Arenoso	2-6	6-12	1,55-1,80
Franco-arenoso	4-8	10-18	1,40-1,60
Franco	8-12	18-26	1,35-1,50
Franco-arcilloso	11-15	23-31	1,30-1,40
Arcillo-arenoso	13-17	27-31	1,25-1,35
Arcilloso	15-19	31-39	1,20-1,30

Figura 10. Punto de marchitez permanente y capacidad de campo en porcentaje por peso de suelo seco de diferentes texturas de suelos

Fuente: (37)

PROFUNDIDAD DE RAÍCES	
Cultivo	Metros
Alfalfa (pastos)	1-2
Algodón	1-1,7
Banano	0,5-0,8
Caña de azúcar	1,20-2
Frijol	0,5-0,7
Cebolla	0,3-0,5
Cítricos	1,20-2,0
Zacate	0,3-0,5
Bosques	2,0-3,0

Figura 11. Profundidad de raíces de diferentes cultivos

Fuente: (37).

2.1.6.1.6. Evapotranspiración

“La evapotranspiración en una zona de cultivo se define como la transpiración de la planta, cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo, más la evaporación del suelo. La mayor capacidad de evapotranspiración de un cultivo es cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo. Sin embargo, cuando la humedad del suelo es menor que la capacidad de campo, las hojas de las plantas van cerrando los estomas, con el propósito de transpirar menos y así economizar el agua. Se asume que la evapotranspiración potencial real va a ser proporcional a la humedad del suelo, comparada con la diferencia de humedad entre la capacidad de campo y el punto de marchitez. Esto es, si una planta a capacidad de campo evapotranspira 3 mm por día, siendo la capacidad de campo del suelo 12 %, el punto de marchitez permanente de 2 % y el suelo se encuentra a una humedad de 6 %, la evapotranspiración potencial real (ETPR) de la planta será de acuerdo a la ecuación 6 : [...]” (37).

$$ETPR = (HS - PM) (ET) / (CC - PM)$$

$$ETPR = [(6 - 2) / (12 - 2)] * 3 = 1,2 \text{ mm/d}$$

Donde:

ETPR [mm/día] = Evapotranspiración potencial real

HS [%] = Humedad del suelo

ET [mm/día] = Evapotranspiración de la planta a capacidad de campo.

CC [%] = Capacidad de campo

PM [%] = Punto de marchitez permanente

“Cada planta tiene una evapotranspiración diferente y va a depender de la temperatura de ambiente, humedad relativa, radiación solar, velocidad de viento y grado de desarrollo de la planta. En una cuenca o en una zona arbitraria de la cuenca, es casi imposible determinar la evapotranspiración de la vegetación, debido a la gran variedad de vegetación y grado de desarrollo de las plantas existentes en una cuenca o en una zona de la misma. Por este motivo, es conveniente asumir una evapotranspiración, que se estime como promedio de la cuenca. Esta evapotranspiración promedio de la cuenca, la asumiremos que es igual la evapotranspiración potencial (ETP). Para el cálculo de la evapotranspiración potencial, existen una serie de ecuaciones, algunas de ellas requieren una serie de datos, que pocas estaciones meteorológicas los tienen. Por este motivo, se utilizará la ecuación 7 de Blaney & Criddle [...]” (37).

$$ETP \text{ (mm/mes)} = (8,10 + 0,46T) Ps$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial en [mm/mes]

T = Temperatura media mensual en [grados centígrados] (dato meteorológico)

Ps = Porcentaje de horas de luz solar mensual, con respecto al año [%]

2.1.6.1.7. Recarga al acuífero

“Para ser consistente con las unidades de los parámetros que se utilizarán en adelante, tal como capacidad de campo, punto de marchitez, humedad del suelo, precipitación y evapotranspiración se utilizarán unidades en milímetros. Para poder convertir la humedad del suelo, punto de marchitez y capacidad de campo a milímetros, los pasaremos de porcentaje por peso de suelo seco, tal como aparecen en tablas o laboratorio de suelos, a porcentaje por volumen mediante la ecuación 8: [...]” (37).

$$\% \text{ por volumen} = (\% \text{ por peso de suelo seco}) (\text{densidad aparente})$$

“Cuando ocurre la precipitación, el agua que infiltra se acumula en los poros del suelo, para llevarlo a capacidad de campo, que es la máxima acumulación de agua que puede tener un suelo no saturado. Posteriormente, una vez terminado el aguacero, se lleva a cabo la evapotranspiración, tomando las raíces el agua que se encuentra en los poros del suelo. Si la cantidad de infiltración de la lluvia es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y llenar la necesidad de evapotranspiración, el sobrante del agua que infiltra, percola para recargar al acuífero. Al siguiente coeficiente, contenido en la ecuación 6, lo designaremos coeficiente de humedad (Ch). [...]” (37).

$$Ch = (\text{humedad de suelo} - \text{punto de marchitez}) / (\text{capacidad de campo} - \text{punto de marchitez})$$

“Al iniciar un mes cualquiera, el suelo tendrá una humedad inicial (HS_i). Si no existiese evapotranspiración, la precipitación que infiltra (P_i) vendría a aumentar la humedad en el suelo,

permitiendo una mayor evapotranspiración. Si no consideramos la evapotranspiración, el coeficiente de humedad, al final del mes, sería ($C1$), con la ecuación 10: [...]” (37).

$$C1 = (HSi - PM + Pi) / (CC-PM)$$

Donde:

$C1$ = Coeficiente de humedad al final del mes antes de que ocurra la evapotranspiración.

HSi = Humedad al inicio del mes, humedad de suelo inicial en [mm].

PM = Punto de marchitez en [mm].

Pi = Precipitación que infiltra en [mm/mes].

CC = Capacidad de campo en [mm].

Si consideramos que ocurre la evapotranspiración, una vez ocurrida la infiltración, el coeficiente de humedad, al final del mes sería $C2$, ecuación 11: [...]” (37).

$$C2 = (HSi - PM + Pi - ETR1) / (CC-PM)$$

$$ETR1 = (C1) (ETP)$$

Donde:

$C2$ = Coeficiente de humedad al final del mes, después de que ocurra la evapotranspiración.

$ETR1$ = Evapotranspiración potencial real [mm/mes], considera la humedad correspondiente al coeficiente $C1$.

ETP = Evapotranspiración potencial [mm/mes].

“El valor de $C1$ corresponde al coeficiente de humedad máximo, ya que considera la humedad del suelo al inicio del mes, más la infiltración de la lluvia, sin ocurrir la evapotranspiración. El valor de $C2$, corresponde al coeficiente de humedad mínimo, ya que está calculado considerando la humedad del suelo anterior, restándole la evapotranspiración mensual, estimada con el coeficiente de humedad máximo, $C1$.

Por lo tanto, el coeficiente $C2$ se aproxima al coeficiente de humedad al final del mes. Como la infiltración y la evapotranspiración ocurre durante el mes, se estima que el coeficiente de humedad del mes corresponde al promedio de $C1$ y $C2$; o sea, $(C1+C2)/2$; esto quiere decir que la evapotranspiración potencial real ocurrida en un mes dado según la ecuación 12: [...]” (37).

$$ETPR (mm/mes) = ((C1+C2) /2) ETP$$

Donde:

$ETPR$ = Evapotranspiración real tentativa promedio, en una zona, ocurrida durante el mes [mm/mes]

$C1$ = Coeficiente de humedad máximo, sin considerar la evapotranspiración.

$C2$ = Coeficiente de humedad mínimo considerando evapotranspiración calculada con $C1$.

ETP = Evapotranspiración potencial [mm/mes]

“Ninguno de los coeficientes de humedad, $C1$ y $C2$, pueden ser superiores a 1, ni menores a 0. En caso que $C1$ o $C2$, sea mayor de 1, se tomará igual a 1. Si $C1$ o $C2$ son negativos se tomarán con valor de 0 [...]” (37).

“Definiremos como humedad disponible (HD), aquella humedad que pueden tomar las raíces de las plantas, para poder evapotranspirar. La humedad disponible está dada por la ecuación 13 [...]” (37).

$$HD (mm/mes) = HSi + Pi - PM$$

Donde:

HD = Humedad disponible [mm/mes].

HSi = Humedad de suelo inicial (al inicio del mes) [mm].

Pi = Precipitación que infiltra [mm/mes].

PM = Punto de marchitez [mm].

“Si la humedad disponible es menor que la ETPR de la ecuación 12, la planta no podrá evapotranspirar dicha cantidad, sino que evapotranspirará únicamente la humedad disponible, debido a que no hay suficiente humedad para evapotranspirar la cantidad de agua indicada en la ecuación 12. Sin embargo, si la humedad disponible (*HD*) es mayor que la cantidad de agua indicada en la ecuación 12, la planta evapotranspirará la cantidad expresada en dicha ecuación. Por lo tanto, la evapotranspiración real representado por la ecuación 14 será. [...]” (37).

Ecuación para el cálculo de evapotranspiración real (*ETR*):

Si $((C1+C2) / 2)$ ETP es menor o igual a *HD*, entonces:

$$ETR (mm/mes) = ((C1+C2) / 2) ETP$$

Si $((C1+C2) / 2)$ ETP es mayor que *HD*, entonces:

$$ETR (mm/mes) = HD$$

Donde:

ETR = Evapotranspiración real promedio de la zona, ocurrida durante el mes [mm/mes].

C1 = Coeficiente de humedad máximo, sin considerar la evapotranspiración [adimensional].

C2 = Coeficiente de humedad mínimo considerando evapotranspiración calculada con *C1*, [adimensional].

ETP = Evapotranspiración potencial [mm/ mes].

HD = Humedad disponible [mm/mes]

“Para poder realizar el cálculo de la recarga del acuífero, se requiere conocer la humedad del suelo al final del mes, humedad de suelo final (*HSf*), la cual no puede ser mayor que la capacidad de campo y se obtiene con la ecuación 15 [...]” (37).

Ecuación para el cálculo de *HSf*.

Si $(HD + PM - ETR)$ es menor que la capacidad de campo, entonces:

$$HSf = HD + PM - ETR$$

Si $(HD + PM - ETR)$ es mayor o igual que la capacidad de campo, entonces:

$$HSf = CC$$

La HSf en ningún momento puede ser mayor a la CC .

Donde:

HSf = Humedad del suelo final (final de mes) [mm].

HD = Humedad disponible [mm/mes].

PM = Punto de marchitez [mm].

ETR = Evapotranspiración real [mm/mes].

CC = Capacidad de campo [mm].

“Además del cálculo de la ecuación para la humedad del suelo al final del mes, es necesaria la humedad de suelo al inicio del mes, o sea, humedad inicial (HSi). La humedad inicial de un mes dado según la ecuación 16: [...]” (37).

HSi = Es igual a la humedad de suelo final del mes anterior
(HSf de ecuación 15):

HSi = Humedad del suelo inicial (inicio de mes) [mm].

HSf = Humedad del suelo final (final de mes) [mm].

2.1.6.1.8. Cálculo de la recarga potencial del acuífero

“La recarga al acuífero se lleva a cabo, si la cantidad de agua que infiltra es suficiente para llevar al suelo a capacidad de campo y además satisfacer la evapotranspiración de las plantas. El agua sobrante, una vez satisfecha la capacidad de campo y la evapotranspiración, es la que recarga al acuífero, la que se calcula con la ecuación siguiente [...]” (37).

$$Rp = Pi + HSi - HSf - ETR$$

Donde:

Rp = Recarga potencial mensual en mm/mes.

Pi = Precipitación que infiltra en mm/mes.

HSf = Humedad del suelo al final del mes en mm.

ETR = Evapotranspiración real en mm/mes.

2.1.7. El suelo

El suelo es un material mineral no consolidado que sirve de base para el asentamiento de plantas, su origen está determinado por factores ambientales en un determinado momento, este suelo no tiene la misma composición del origen, además tiene características físicas, biológicas, químicas y morfológicas. Un suelo tiene 4 principales componentes, tiene atmósfera, hidrósfera, materia orgánica y minerales, un suelo ideal, considerado porcentualmente por peso y por fracción unitaria volumétrica, presenta las siguientes proporciones, 45 % de minerales todo componente inorgánico, 5% de materia orgánica, todo resto de residuos orgánicos, 25 % de Agua y 25 % de aire. El contenido de materia orgánica va desde 0 a 10 % en suelos minerales y va inversamente proporcional a la profundidad (38).

Para poder estudiar el suelo se realiza un corte en el de manera vertical, conformando el perfil del suelo. El perfil muestra las diferentes capas del suelo denominadas horizontes, al muestrearlos por separado ayudan a describir, estudiar la composición de cada uno. La denominación de los horizontes fue introducido por Dokuchaev, comenzando por las letras del abecedario como A, B, C otros. Para estudiar y describir al suelo se estudió los rasgos morfológicos, ya que estos nos darán a conocer su proceso de formación, la condición actual de suelo, su comportamiento con las plantas y su respuesta frente a los cambios (38).

2.1.7.1. Relación suelo – paisaje

Gerard (1980) establece el modelo de formación de suelos con respecto a la relación del suelo con el paisaje, de manera que estudia la formación de los suelos en determinados paisajes, la distribución y características de estos. Se enfoca en los procesos que originaron dicho paisaje, su variación tanto vertical como horizontal. El relieve, referido a la topografía, por ejemplo, si este es muy inclinado, el suelo será muy delgado por la intensa erosión, así estos lugares constituyen terrenos de formación de suelos ideales. (38)

2.1.7.2. Perfil del suelo

Diferentes capas del suelo en disposición paralela a la superficie del suelo. Constituye las capas u horizontes presentes en un suelo, serán visualizadas tras realizar una calicata. Un suelo con un perfil hipotético diferenciado por propiedades de textura, estructura, color y consistencia tendrá 5 horizontes maestros. Se simboliza con números arábigos (O, A, B, C, R) y presenta la idea que dentro de un mismo horizonte existen capas que varían en características. (39)

2.1.7.2.1. Horizonte O

Parte más activa biológicamente y la más importante ecológicamente. Permite la conservación y fertilidad del suelo. Los descomponedores activos se sitúan en esta capa. Generalmente el horizonte O es muy reducido o no existe en suelos cultivados. (39)

2.1.7.2.2. Horizonte A

Tiene un alto porcentaje de materia orgánica con respecto a los horizontes siguientes, debido a su proximidad con la superficie. Es la parte del suelo donde los procesos de lixiviación y eluviación generan pérdida de minerales. (39)

2.1.7.2.3. Horizonte B

Denominado horizonte de iluviación por su gran ganancia de minerales. Almacena también otros materiales lixiviados como carbonatos, nitratos, sulfatos de hierro, calcio y aluminio. (39)

2.1.7.2.4. Horizonte C y R

El horizonte C está compuesto de material parental o roca madre, pero en forma desagregada y descompuesta. Es un horizonte infértil pasando gradualmente hacia abajo a la roca madre. El horizonte R lo conforma la roca madre. (39)

2.1.7.2.5. Otros horizontes

Al describir un perfil se pueden determinar otros horizontes.

A. Horizontes transicionales

“Corresponden a capas situadas entre horizontes maestros contiguos. El horizonte transicional tiene características dominantes de un horizonte y subordinados de otro, por ejemplo los siguientes: [...] (40)

AB: Horizonte transicional con características de A y subordinadas de B.

Ba: Horizonte transicional con características de B y subordinadas de A.

B. Horizontes mezclados

“Corresponden a capas entre dos horizontes maestros contiguos. Se encuentran mezclados, pero con más del 50 % por volumen de uno de ellos que se identifica claramente, por ejemplo los siguientes: [...] (40).

A&B: Horizonte mezclado en el que más del 50 % por volumen del horizonte se identifica con A.

B&A: Horizonte mezclado en el que más del 50 % por volumen del horizonte se identifica con B.

2.1.7.3. Propiedades físicas de los suelos relacionados a la planta.

Es necesario conocer las propiedades del suelo, ya que estas influirán en los mecanismos de almacenamiento y distribución del agua y el desarrollo de las plantas. (40)

2.1.7.3.1. Textura de suelos

Determina las propiedades hídricas del suelo, la cantidad de aireación y la consistencia debido a su relación con la humedad. Está referido a la proporción relativa, en porcentaje de los componentes minerales del suelo con diámetros menores a 2 mm. Las partículas mayores de 2.0 mm de diámetro son la grava, la arena es de fácil reconocimiento por su apariencia y al tacto, mientras que las partículas de arcilla tienen apariencia al tacto de polvo y no es visible fácilmente (diámetro). (40)

SISTEMA INTERNACIONAL (ISSS- ATTERBERG)		SISTEMA NORTEAMERICANO (USDA)	
Nombre de la fracción	Ambito en diámetros (mm)	Nombre de la fracción	Ambito en diámetros (mm)
Arena gruesa	2.0 a 0.2	Arena muy gruesa	2.0 a 1.0
Arena fina	0.2 a 0.02	Arena gruesa	1.0 a 0.5
Limo	0.02 a 0.002	Arena media	0.5 a 0.25
Arcilla	menor de 0.002	Arena fina	0.25 a 0.10
		Arena muy fina	0.10 a 0.002
		Arcilla	menor de 0.002

Figura 12. clasificaciones por tamaño de partículas del suelo en 2 diferentes sistemas

Fuente: (40)

A. Determinación de la textura

Se determina en laboratorio mediante el Método de Bouyoucos. La muestra se seca, tamiza, separa en fracciones mayores a 2 mm de diámetro, se destruye materia orgánica y se trata con agentes dispersantes. Los materiales después de la dispersión sedimentan y dependiendo de sus radios, configuración o forma, peso y

densidad según la Ley de Stokes se determina la textura del suelo. Todo el proceso de sedimentación se lleva a cabo en hidrómetros calibrados que miden variaciones de densidad del medio (40). De acuerdo al porcentaje textural que se obtiene del hidrómetro se determina el nombre textural según las doce clases texturales. (30)

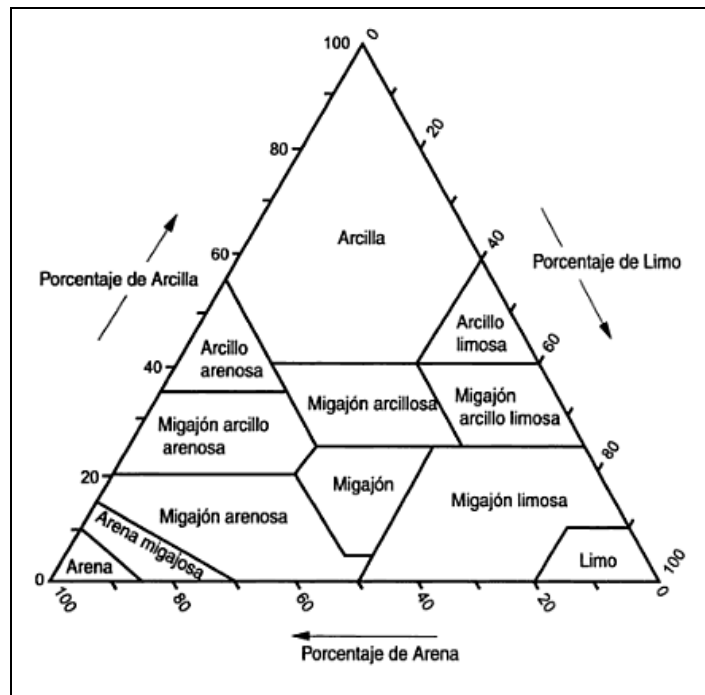


Figura 13. Doce clases texturales del suelo

Fuente: (39).

B. Granulometría de suelos

El análisis granulométrico determinará la proporción de sus diferentes constituyentes, clasificados según el tamaño. Consiste en el tamizado de una muestra mediante tamices, el peso de los rechazos de cada tamiz será relacionado con el peso total de la muestra tamizada, mediante el uso de una curva granulométrica a una escala logarítmica (41).

2.1.7.3.2. Estado de humedad

Referido al contenido de agua que hay en un determinado horizonte en el momento de estudio del suelo. La medición de la humedad se realiza subjetivamente. En laboratorios para cuantificar la humedad se necesita de un muestreo especial en recipientes herméticos y posterior análisis. Los valores subjetivos son de tipo 1 (suelo seco), tipo 2 (suelo húmedo), tipo 3 (suelo encharcado) (38).

2.1.7.3.3. Materia orgánica de los suelos

Los suelos contienen materia orgánica procedente de los productos de alteración de las plantas, animal y microorganismos. La materia orgánica está compuesta por lo general de materia orgánica fresca no humificada y humus. La materia no humificada está conformado por biomasa vegetal (mayoritaria), senescente (necromasa) procedente de la parte aérea de la vegetación y raíces, restos, deyecciones y secreciones animales; de biomasa microbiana, microfauna menores de 5×10^{-3} , se encuentran muy poco alterados y no están unidas a la fracción mineral. El humus esta constituido por sustancias resultantes de la alteración de productos sintetizados por las plantas y microorganismos, están unidos débilmente a la fracción mineral. Dependiendo de la cantidad y calidad de la materia orgánica el suelo se comportará benéficamente con la planta y el agua. Influye en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Confiere estabilidad a los agregados, porosidad y aireación al suelo, movimiento de agua en el suelo, capacidad de retención de agua disponible para las plantas y prevención de los procesos erosivos (38).

2.1.7.4. Agua del suelo

El agua en el suelo forma parte del ciclo hidrológico, presenta comportamiento dinámico que varía a escala diaria. El crecimiento de plantas depende del agua en el suelo, por su comportamiento y el equilibrio térmico que le confiere al suelo. Las raíces aprovechan

el agua disponible en el suelo de la zona insaturada, por tanto los aspectos de humedad del suelo son importantes (38).

2.1.7.4.1. Contenido de agua en suelo

Se refiere a la cantidad del agua en el suelo en masa o volumen que se halla en cada disposición de un suelo en un momento determinado. El suelo es capaz de retener agua en forma de humedad, El método gravimétrico determina la humedad del suelo en masa, por pérdida de peso después del secado de la muestra, sin embargo se debe tomar en cuenta que la humedad del suelo es variable tanto en tiempo como espacio. (38).

2.1.7.4.2. Capacidad de retención de agua disponible (CRAD)

Es la capacidad de retención de agua que estará disponible para las plantas, se evalúa mediante la denominada capacidad de campo y punto de marchitamiento permanente. La capacidad de campo es el contenido de agua en el suelo después de 48 horas de un riego o de lluvia abundante, ya que después de este se supone que hay un drenaje lento del agua en el suelo. (38)

A. Capacidad de campo

Es el contenido máximo de agua que puede retener el suelo cuando la mayoría de la macroporosidad está ocupada por aire. Se estima a partir de valores del contenido de agua que retiene una muestra de suelo a condiciones de presión de 33 kPa, en un equipo de placa de presión, sin embargo lo ideal es la medición in situ (38).

B. Punto de marchitamiento permanente

Expresa el contenido de agua debajo del cual las plantas mesófilas no son capaces de extraer agua del suelo, es el límite inferior del agua retenida

por fuerzas capilares absorbible por las raíces. Es estimado como el contenido de agua que retiene una muestra de suelo a una presión de 1500 kPa en un equipo de placa de presión (38).

2.1.8. Ecología

La ecología pretende explicar científicamente las cuestiones ambientales que hoy en día se están dando, de manera que determina los beneficios ambientales, así como la causa y consecuencias de su destrucción. Al realizar una relación de los organismos con su medio, comprendido por los factores físicos, biológicos y sociales genera respuestas proporcionando comprensión de los distintos procesos que ocurren, en relación al tiempo y espacio dentro de un ecosistema (42).

2.1.8.1. Ecosistema y zonas de vida

El ecosistema está constituido por comunidades de organismos y el medio físico donde se desenvuelven, interactuando con una unidad ecológica en un espacio y tiempo determinado. Las zonas de vida son asociaciones de una unidad natural en la cual la vegetación, la actividad animal, el clima, la fisiografía, la formación geológica y el suelo, están interrelacionados, de manera que se forma una única fisonomía típica. Para definir las asociaciones no se realizan con base en especies taxonómicas, ya que es difícil su comprensión, entonces se utilizan los factores ambientales del ecosistema y así poder agrupar categorías de las unidades naturales. Los factores ambientales para definir la asociación son básicamente el calor, precipitación y humedad, ya que estos afectan marcadamente en los sistemas y por tanto en las especies. Las asociaciones conforman zonas de vida, que en definición son un conjunto de unidades de paisajes o medios ambientes que varían y están balanceadas según los factores antes mencionados. Cabe mencionar que estas asociaciones o zonas de vida difieren del término bioma (43).

2.1.8.2. Clasificación ecológica

La clasificación de las zonas de vida del mundo del Dr. Leslie R. Holdridge, establece 84 zonas de vida según su distribución geográfica y 17 según características transicionales. La clasificación está hecha con base en tres zonas terrestres, la franja tropical, subtropical y templada cálida. El sistema de Holdridge, refleja la relación de la vegetación con los factores climáticos (43).

2.1.8.3. Diagrama

Representa gráficamente las zonas de vida, es aplicable tanto para el hemisferio comprendido por el ecuador geográfico como también para el polo norte o el polo sur. Al considerarlo horizontalmente, muestra las posiciones climáticas de las zonas de vida basales o al nivel del mar, desde el ecuador geográfico hasta el polo norte o el polo sur. Desde el lado vertical, el diagrama muestra las posiciones relativas y las dimensiones en altura de las varias zonas de vida altitudinales, superpuestas sobre las zonas de vida basales de cada región latitudinal. La representación se adapta a la curvatura de la tierra ya que las representaciones de las zonas de vida pueden divisarse mentalmente como un conjunto de barras de seis lados que se extienden desde el ecuador hacia el norte o hacia el sur. Cuando cada barra de zona de vida tendrá una cara hexagonal que estará diferenciada por la verticalidad u horizontalidad, así para la zona de vida basal será horizontal. Los parámetros que se toman en cuenta para determinar las zonas de vida son los valores promedios anuales de calor, la precipitación y la humedad. Cabe mencionar que dentro de las barras hexagonales de la figura tridimensional se representa series de zonas de vida con idénticos ámbitos de los factores antes mencionados y que se llega a la diferenciación por otros factores climáticos adicionales, como longitud del día, presión atmosférica y variaciones de la radiación (43).

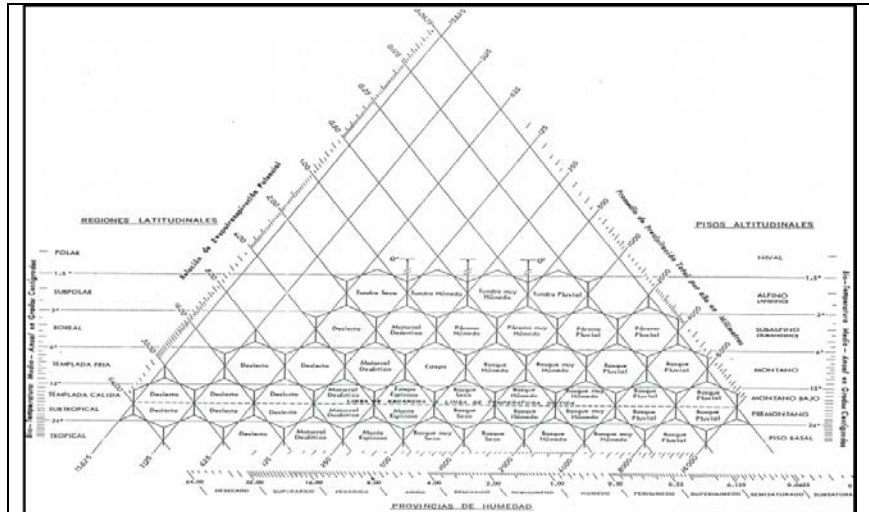


Figura 14. Zonas de vida clasificadas según el sistema propuesto por Holdridge.

Fuente: (43).

2.1.8.4. Zonas de Vida en la subcuenca del río Shullcas

La subcuenca presenta 5 zonas de vida, siendo el Páramo muy húmedo subalpino tropical (pmh - SaT) el más extenso, abarcando el 53.28 % de la superficie total (44).

- I. Bosque seco-Montano Bajo Tropical (bs - MBT): Abarca el 14.42 % de la superficie de la subcuenca, se encuentra por debajo de los 3400 msnm hasta el nivel del río Mantaro, posee un clima subhúmedo y templado, precipitaciones promedio anuales entre 500 y 700 mm y una temperatura media anual de entre 15 y 12°C. Esta zona permite el desarrollo de la agricultura de secano (44).
- II. Bosque húmedo-Montano Tropical (bh - MT): Abarca el 18.84 % de la superficie, se encuentra entre 3400 y 4000 msnm, posee un clima húmedo, precipitaciones anuales de entre 700 y 900 mm y temperatura media de entre 9 y 12 °C. Esta zona permite la actividad agropecuaria y forestal (44).

- III. Paramo muy húmedo-Subalpino Tropical (pmh - SaT): Se localiza entre los 3900 y 4500 msnm, posee un clima perhúmedo y frígido, precipitaciones promedio de entre 600 y 1000 mm y temperaturas media anual de entre 6 y 3 °C. Esta zona se caracteriza por eventos de heladas, pendientes empinadas de 25 y más de 50 %, y pastizales para la producción de ovinos y camélidos (44).
- IV. Tundra pluvial-alpino Tropical (tp - AT): Abarca el 10.30 % de la superficie de la subcuenca, se ubica sobre los 4500 msnm, caracterizado por un clima superhúmedo, frígido a gélido, con precipitaciones anuales mayores de 1000 mm y temperatura media anual de entre 3 y 1.5 °C (44).
- V. Nival Tropical (NT): Abarca el 3.16 % de la superficie de la subcuenca, se ubica por encima de los 4800 msnm, presenta temperatura media anual por debajo de 1.5 °C, con precipitaciones que varían de entre 500 y 1000 mm. Se caracteriza por ser el área de potencial hídrico, presentar áreas mínimas de cobertura edáfica y vegetal con presencia de líquenes y crustáceos fijados en rocas (44).

2.1.8.5. Praderas altoandinas

Las praderas altoandinas o pastizales altoandinas se definen como aquellas áreas dominadas por vegetación natural que desarrolla a partir de los 3500 msnm en suelos con baja aptitud para la agricultura (45). “Está constituida por las tierras que producen forraje nativo para el consumo animal y que son revegetadas natural o artificialmente, para proveer una cubierta de forraje que se maneja como vegetación nativa [...] (46). El pastizal natural comprende una asociación de plantas y especies vegetales que incluyen: gramíneas, es decir, pastos; leguminosas

forrajeras; seudopastos, es decir, plantas semejantes a los pastos; y las hierbas. Además, señala que las comunidades vegetales naturales se conocen con diferentes nombres, por ejemplo, potreros y praderas (en las praderas se alimentan tanto los animales domésticos como los silvestres) (46).

2.1.8.6. Tipos de pastizal

“El tipo de pastizal se define como aquella unidad de vegetación con características fisionómicas propias que las diferencian de unidades adyacentes [...] (47). Los tipos de pastizales de la Región Andina, como en toda zona altoandina, mayormente se encuentran distribuidos por especies de gramíneas (Poáceas), cuyos géneros más representativos son: *Festuca*, *Calamagrostis*, *Stipa* y *Poa*, emporio de riqueza nacional en lo que se refiere a pastizales nativos; y solo una pequeña proporción está conformado por especies de otras familias; tales como las leguminosas, Asteráceas, Cyperáceas, Juncáceas y Malváceas (48).

2.1.8.7. Condición de pastizal

De acuerdo a la visión ecológica, la condición se refiere al grado de retrogresión o alejamiento de la vegetación actual tiene respecto a la vegetación clímax, entendiéndose como vegetación clímax a la comunidad final o estable en una serie sucesional, que está en equilibrio con el ambiente químico y físico. Mientras más grande es la proporción de plantas deseables, mejor es la condición del pastizal, así como el estado de salud de éste. Una planta forrajera, en forma natural, sin que se le pastoree, puede crecer hasta su máxima expresión; es decir, hasta lo que se llama su clímax (condición excelente). Pero de acuerdo a cómo se le pastoree, la planta crecerá menos sino se le hace daño (condición buena). Pero, si el daño es mayor por sobrepastoreo, la planta será pequeña en comparación con su clímax (condición pobre o muy pobre) (46).

2.1.8.8. Pastizales altoandinos

La vegetación en la zona altoandina está dominada por los Pajonales, césped de puna y bofedales altoandinos (49).

2.1.8.8.1. Pajonal

Es el tipo de vegetación que ocupa la mayor extensión en la zona altoandina; se ubica entre 3700 y 4300 msnm, aproximadamente. Se caracteriza por presentar una cobertura más o menos denso, pastizal de baja calidad (palatabilidad baja a moderada). Los géneros más importantes son *Festuca*, *Calamagrostis* y *Stipas*. El nombre de pajonal es debido a que predominan las gramíneas altas o ichus como la chilligua (*Festuca dolichophylla*), el ira ichu (*Festuca orthophylla*), llama ichu (*Stipa ichu*), hatun porke (*Calamagrostis antoniana*) y el huaylla ichu (*Calamagrostis intermedia*) de hasta 100 cm; y estas especies muestran una apariencia de un suelo cubierto por pastos altos de color casi siempre amarillentos (49).

2.1.8.8.2. Césped de Puna

Es otro tipo de vegetación que ocupa mayor extensión en la zona altoandina; se ubica entre 4200 y 4700 msnm, aproximadamente, se caracteriza por presentar una cobertura variable (cobertura baja a alta), pastizal de buena calidad (palatabilidad regular a buena), dependiendo de la especie doméstica y ubicación del pastizal. En esta vegetación predominan plantas pequeñas de porte almohadillado y arrosetado, de hasta 20 cm de altura. Entre los géneros y especies de importancia relativa variable dependiendo de la ubicación, destacan el pacu pacu (*Aciachne pulvinata*), mula pilli (*Liabum ovatum*), pilli rosado (*Werneria nubigena*), pasto estrella (*Azorella diapensoides*), thurpa (*Nototriche longirostris*), pachaca (*Scirpus rigidus*), *Poa perligulata* y algunas especies

del género *Calamagrostis* (*C. rígida*, *C. rigescens* y *C. vicunarum*); estas especies muestran una apariencia de un suelo cubierto por pastos de color amarillento en época seca y de color verde en época de lluvias (49).

2.1.8.8.3. Bofedales

Son áreas hidromórficas permanentes o estacionales, distribuido a manera de “manchas” en toda la pradera altoandina del departamento. A aquellas que presentan agua constante y tienen buena profundidad de acumulación de material orgánico (turba), se les conoce con el nombre de bofedales llamados también “occonales” y/o “turberas”. Funcionan como eficientes almacenes de agua de calidad. Se les encuentra a partir de los 3800 msnm, aproximadamente. Se caracteriza por presentar una cobertura densa y compacta. Los bofedales conforman un recurso alimenticio importante, fuente forrajera permanente para la actividad pecuaria altoandina, referido principalmente a los camélidos sudamericanos y ovinos. En los humedales predominan plantas pequeñas de porte almohadillado o en cojín. Entre los géneros y especies más importantes, destacan la kunkuna (*Distichia muscoides*), “champa estrella” (*Plantago rígida*) también hierbas como el libro (*Alchemilla diplophylla*), sillu sillu (*Alchemilla pinnata*), pilli (*Hypochoeris taraxacoides*) y puna pilli (*Werneria, pigmaea*); esta vegetación muestra una apariencia siempre verde por la humedad permanente (49).

2.1.9. Teoría de la relación pasto - agua y suelo

Esta relación ejerce una fuerte influencia en la agricultura de riego, ya que ejerce efectos en las condiciones de movimiento y penetración de agua a través del suelo, capacidad de retención de humedad, así como cantidad de agua requerida por la planta para su desarrollo (50).

2.1.9.1. Relación agua - planta

La relación es básicamente fisiológica. El agua procedente de la lluvia es incorporada por el suelo, del agua precipitada, parte de él se pierde por escurrimiento superficial, parte se pierde por percolación y evaporación y alguna otra pasará al nivel freático, una parte es retenida por el suelo a disposición de la planta para su absorción. Sin embargo, parte del agua absorbido por la planta se perderá por evapotranspiración. El agua es absorbida por las plantas por las raíces. Los movimiento asociados a la absorción son: el movimiento de difusión, movimiento molecular debido a la energía cinética; movimiento de ósmosis, es la difusión de partículas de una sustancia a otra entre membranas de diferente permeabilidad; movimiento de turgencia, es la fuerza que experimentan las paredes celulares; presión de succión es la diferencia entre presión osmótica y de turgencia, medido en atmósferas variando de 5 a 15 atm, si la presión osmótica es mayor el agua penetrará a la planta, si es menor el agua no penetrará; plasmólisis, es cuando se produce salida de agua hacia el exterior; de plasmólisis, cuando por agregación de agua desaparece la plasmólisis; transpiración, cuando existe pérdida de agua a través de los estomas (50).

2.1.9.1.1. Clases de agua en la planta

Existen 2 clases de agua en la planta, agua de constitución y agua de vegetación. El agua de constitución varía de acuerdo al tipo de vegetación, la época de crecimiento, así va desde 60 % en árboles frutales hasta 90 % en hortalizas, situándose su mayor porcentaje en la etapa de floración. El agua de vegetación es la que transporta los nutrientes para luego evaporarse. La cantidad de agua requerida para los procesos es denominada consumo global y está constituida por los tipos de agua en la planta, además del agua evaporada del suelo, perdida por percolación y agua utilizada por malezas (50).

2.1.9.2. Relación suelo - agua

Encargado de brindar la humedad adecuada a la planta para que esta realice con normalidad su ciclo. Esta relación expresa como el agua se mueve en el suelo, las fuerzas que intervienen en el movimiento y cantidad de agua a disposición de la planta (50).

2.1.9.2.1. Clases de agua en el suelo

El agua libre o de gravitación, está conformado por el agua que se moviliza en el suelo por efectos de gravedad, este continuará drenando por varios días a través de los macroporos, aunque se suspenda la aplicación de agua. Ocupa un límite por encima de la capacidad de retención del suelo, por tanto, cuando se está en un suelo bien drenado, el agua libre o de saturación en la zona de las raíces se desplaza antes de causar daños a la planta. El agua de gravitación esta libremente retenida. El agua influye directamente en la presencia y profundidad del nivel freático (50).

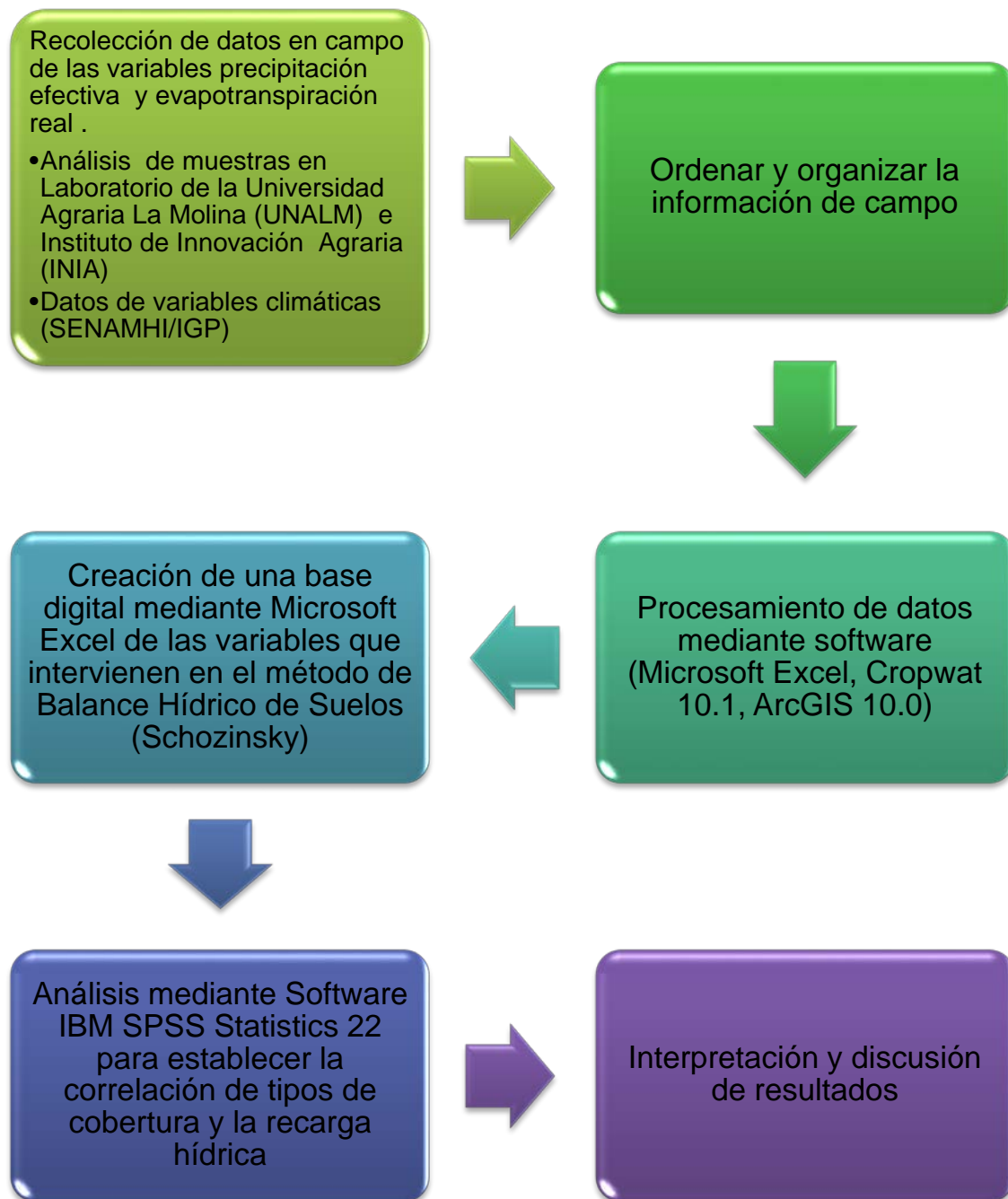
El agua capilar es aquella que se moviliza utilizando los poros más pequeños del suelo, su movimiento es debido a la fuerza de capilaridad. No toda el agua capilar es utilizada por la planta ya que por lo general esta se mueve a los lugares de déficit de humedad. El agua higroscópica es el agua que se moviliza en forma de vapor de agua. En ocasiones cuando la evaporación de la superficie y el consumo de agua por la planta reducen el contenido de humedad capilar, alcanzando el límite de humedad sin aplicación de agua se origina el movimiento de agua en forma de vapor, que no es aprovechable por la planta (50).

2.1.9.3. Relación suelo - planta

Determina el crecimiento de raíces con respecto a las condiciones del suelo. El crecimiento de raíces no solo depende de las características de la planta sino también de la disponibilidad de capas permeables o impermeables cerca de la superficie, un nivel

freático fluctuante o muy superficial, salinidad y otros, que modificarán la forma y penetración del sistema radical (50).

2.2. Modelo Teórico de investigación



2.3. Definición de términos básicos

- Acuíferos: “Formación geológica permeable capaz de almacenar, transmitir y proporcionar cantidades aprovechables de agua [...]” (51).
- Año Hidrológico: “Período continuo de 12 meses seleccionados de manera tal que las variaciones globales del almacenamiento sean mínimas para así minimizar la cantidad de agua sobrante de un año que se incorpora al siguiente [...]” (51).
- Balance Hídrico: “1) Evaluación de los aportes y descargas de agua de un acuífero o una cuenca hidrográfica para un período de tiempo determinado. 2) Cálculo numérico basado en el principio de que el flujo de salida de una cuenca hidrográfica o masa de agua determinadas debe ser igual al flujo de entrada más o menos la variación en el almacenamiento [...]” (51).
- Cambio climático: “Modificación a largo plazo del clima producido por uno o más de los siguientes factores: i) cambios internos dentro del sistema climático; ii) interacción entre componentes climáticos; iii) cambios en fuerzas externas originados por fenómenos naturales o por actividades humanas [...]” (51).
- Capacidad de campo: “Cantidad de agua retenida en el suelo cuando ha drenado el agua por acción de la gravedad [...]” (51).
- Evapotranspiración real: “Cantidad de agua evaporada y transpirada desde el suelo y la cubierta vegetal [...]” (51).
- Glaciar: “Acumulación de hielo de origen atmosférico que se mueve sobre el suelo, generalmente de forma lenta, durante un período de tiempo largo [...]” (51).
- Impactos (climáticos): “Consecuencia del cambio climático sobre los sistemas naturales y humanos. Dependiendo de las consideraciones de

la adaptación, se puede distinguir entre impactos potenciales e impactos residuales [...]” (52).

- Infiltración: “Flujo de agua que penetra en un medio poroso a través de la superficie del suelo [...]” (51).
- Pastoreo: “Hace referencia a la gestión o cuidado del ganado. En ese sentido, es el ganado el que pasta o paca y el pastor, el que pastorea. A pesar de ello, es habitual identificar la acción de pastar o pacer (también pasto, según el Diccionario de la Real Academia Española, 1992) con pastoreo, y así se habla de pastoreo intensivo, sistemas de pastoreo, sobrepastoreo, etc. haciendo referencia al consumo de las plantas por el ganado [...]” (53).
- Pastos: “es cualquier recurso vegetal que sirve de alimento al ganado (y, por extensión, la fauna silvestre) bien en pastoreo o como forraje. En ese sentido, hay pastos herbáceos y pastos leñosos: subarborescentes, arbustivos o arbóreos [...]” (51).
- Precipitación efectiva: “es la fracción del agua de lluvia que se infiltra en el suelo, por consiguiente, la que se moverá por el suelo, se almacena, hace posibles las reacciones químicas, los procesos edafogénicas, la vida en el suelo y la de las plantas [...]” (38).
- Punto de marchitez permanente: “Contenido de humedad del suelo por debajo del cual las hojas de las plantas que crecen en el mismo adquieren una marchitez permanente [...]”
- Sistemas silvopastoriles: “Constituyen una opción de producción pecuaria que involucra la presencia de las leñosas perennes (árboles o arbusto), e interactúan con los componentes tradicionales (follajes herbáceas y animales), todos ellos bajo un sistema de manejo integral [...]” (54).

- Vulnerabilidad: “medida en que un sistema es capaz o incapaz de afrontar los efectos negativos del cambio climático, incluido la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad está en función del carácter, la magnitud y el índice de variación climática a que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación [...]” (55).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo y nivel de investigación

El método es el hipotético-deductivo, también llamado método de contrastación de hipótesis, se trata de establecer la verdad o falsedad de las hipótesis, a partir de la verdad y falsedad de las consecuencias observacionales (56). Se planteó como hipótesis conocer la relación de la cobertura vegetal de pastos naturales con una mayor recarga hídrica, a partir de esta hipótesis se correlacionan dos variables importantes, la precipitación efectiva y la evapotranspiración real con la recarga hídrica.

3.1.1. Método de investigación específico

De acuerdo a la bibliografía encontrada existen varios métodos de determinación de la recarga hídrica, de los cuales se pueden citar el Método de balance hídrico de Thornthwaite, Método de balance hídrico de un ecosistema de Holdridge, Método para determinar la recarga de agua subterráneas (RAS), Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural (DARHN) y el Método de recarga potencial de Acuíferos mediante el balance hídrico de suelos por Gunther Schosinsky. El método de Thornthwaite tiene el supuesto de que toda la precipitación es efectiva y disponible para la evapotranspiración, utilizando así las variables de precipitación, escorrentía, infiltración y evapotranspiración real, de tal manera que a partir de la evapotranspiración es posible realizar

el balance. El método de Holdridge posee el diseño aplicado a bosques tropicales, los métodos RAS y DARHN, son el resultado de una combinación de otros métodos en el cual está incluido el de Schosinsky. Es así como el método de Schosinsky fue elegido debido a que incluye variables ambientales físicas y biológicas de naturaleza cuantitativa tales como la precipitación mensual, la retención pluvial, la capacidad de infiltración de los suelos, cobertura vegetal, la profundidad de raíces, evapotranspiración, uso del suelo y pendiente del terreno, los que pueden ser obtenidos en laboratorio, salidas a campo y por estaciones meteorológicas; así mismo este método está basado en el principio de la conservación de la materia donde las entradas son por infiltración del agua al suelo y las salidas son por evapotranspiración de las plantas, más la descarga a los acuíferos (21). La Organización de las Naciones Unidas para la Educación ciencia y la cultura (UNESCO) valida esta metodología en la Revista del Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe con el estudio “Determinación de la Recarga Hídrica Potencial en la Cuenca Hidrográfica Guara, de Cuba” (57).

El método de cálculo de recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos propuesto por Gunther Schosinsky tiene los siguientes pasos:

3.1.1.1. Delimitación de las zonas de estudio.

Para ubicar las zonas de estudio se utilizó el método de observación directa. Dentro de la subcuenca del río Shullcas, se identificó zonas de estudio potenciales por la presencia de pastos.

- A. Zona Huaytapallana, cuya característica fue, estar constituido solo por pastos naturales.
- B. Zona Huishna, cuya característica fue, estar constituido por pastos y especies arbóreas en crecimiento como el *Pinus radiata*, *Buddleja coriácea*, *Polylepis racemosa* y zanjas de infiltración.
- C. Zona Testigo, cuya característica es, no contar con ningún tipo de cobertura vegetal.

Se utilizó el método de criterio de experto para determinar los cuadrantes como áreas de estudio. Se utilizó fichas de información para la salida a campo (anexo 4).

- A. Zona Huaytapallana, especies de pastos, se utilizó cuadrantes de 16 m².
- B. Zona Huishna, especies arbóreas y pastos, se utilizó cuadrantes de 16 m².
- C. Zona Testigo, sin vegetación, se determinó un cuadrante de 400 m².

Los materiales a utilizar son:

- Estacas de madera de 1.20 m de altura.
- Pintura en aerosol color anaranjado.
- Martillo.
- Cuerdas.

3.1.1.2. Caracterización vegetal de las zonas de estudio

Para la medida de la pendiente se utilizó un clinómetro elaborado; para la caracterización vegetal se utilizó el método de observación directa y el método de parcelas tipo Whittaker (Anexo 5).

- A. División del área de 16 m² de la zona Huaytapallana y Huishna en 16 subáreas de 1m².
- B. Identificación de especies predominantes en el área.
- C. Cuantificación de individuos por especie y por subáreas.
- D. Determinación del tamaño de pastos en la cuantificación.
- E. Descripción del área circundante y presencia de especies y sistemas

Se determinó los tipos de cobertura vegetal para la subcuenca. Así mismo, se identificaron los coeficientes de cobertura vegetal (Kv), en la ecuación de Schosinsky, estos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores de infiltración básica por efectos de la pendiente (Kv).

Tipo de cobertura	Coefficiente
Cobertura con zacate menos del 50 %	0.09
Terrenos cultivados	0.10
Cobertura con pastizal	0.18
Bosques	0.20
Cobertura con zacate más de 75 %	0.21

Fuente: (37)

Se determinaron los rangos de pendiente para la subcuenca. Así mismo, se identificaron los coeficientes por pendiente (Kp) en la ecuación de Schosinsky (2006), estos se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de infiltración básica por efectos de la pendiente (Kp).

Tipos de pendiente	%	Coefficiente
Muy plana	0.02 – 0.06	0.30
Plana	0.3 – 0.4	0.20
Algo plana	1 – 2	0.15
Promedio	2 – 7	0.10
Fuerte	> 7	0.06

Fuente: (37)

3.1.1.3. Muestreo de suelos

A. Se utilizó el método de calicata para determinar el perfil del suelo y obtener muestras (Anexo 6).

- Dimensionamiento del área de 1 m por 0.7 m, mediante el uso del flexómetro, en el centro de cada cuadrante por cada zona.

- Excavación hasta visualizar los diferentes horizontes en el suelo.
- Obtención de las dimensiones de cada horizonte encontrado y del tamaño de raíz presente.
- Muestreo de los horizontes Ap. (horizonte orgánico), horizonte C y otros utilizando bolsas herméticas previamente rotuladas.
- Tomar las coordenadas de la calicata utilizando el GPS.

B. Se utilizó el método de muestreo por juicio de experto en la obtención de muestras para conocer las propiedades físico químicas básicas del horizonte Ap (Anexo 6).

- Visualizar el horizonte Ap.
- Realizar un raspado de aproximadamente 3 cm de la superficie del terreno en cada punto de muestreo, para eliminar la cobertura vegetal.
- Extraer muestra de todo el horizonte Ap.

C. Para determinar la profundidad de raíces extractoras se utilizó la wincha y la bitácora de anotaciones.

D. Se determinó el tipo de suelo mediante análisis en el laboratorio certificado de la Universidad Nacional Agraria La Molina-LIMA.

- a. Textura de suelos, porcentaje de arcilla, limo y arena.
- b. Densidad aparente de suelos en g/cm³ (D aparente).
- c. Capacidad de campo en porcentaje por volumen (CC).
- d. Punto de marchitez en porcentaje por volumen (PMP).
- e. Humedad del suelo en porcentaje por volumen.

E. Se determinó las propiedades químicas, mediante el análisis en el laboratorio certificado del Instituto Nacional de Investigación Agraria-INIA-HUANCAYO.

- a. Porcentaje de materia orgánica (M.O.).
- b. pH de los suelos.
- c. Porcentaje de nitrógeno (N), presencia de fósforo (P) y potasio (K).

3.1.1.4. Determinar la distribución de las precipitaciones

Mediante una solicitud al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) se tuvo acceso a los datos de precipitación para las 3 zonas de estudios (Anexo 7 y 8).

- A. Para la zona Huishna se utilizó los registros de información de la estación de Acopalca situada en 11°55'38.82"S y 75°06'58.5"O a 3839 msnm, del periodo comprendido entre julio 2013 y junio 2014.
- B. Los datos para las zonas Huaytapallana y Testigo se obtuvieron de la estación Lazo Huntay situada en 11°55'36"S y 75°3'42" O a 4684 msnm, para el periodo julio 2013 - junio 2014.

3.1.1.5. Determinar la infiltración básica de suelos (fc).

Mediante el método de Porchet o cilindro invertido (Anexo 9).

- Cilindro de 1.10 m de altura y 60 cm de radio.
- Recipientes y /o contenedores.
- Plástico de 2 X 2 m.
- Cronómetro.
- Cinta métrica.
- Barreno.
- Pala.
- Pico.
- Libreta de anotaciones

El procedimiento consistió en:

- Limpiar el área y hacer un agujero utilizando un barreno.
- Se excavó un círculo de radio 60 cm, y profundidad 10 cm.
- Se colocó el cilindro sobre el círculo formado, previamente, y la cinta métrica fue adherida al cilindro para una mejor lectura.
- Se utilizó el plástico para contener el agua a infiltrar, después se retiró el plástico y se inició la toma de lecturas en intervalos de 5 minutos.

Después de la obtención de los datos en campo, se aplicó la ecuación para hallar la infiltración básica del suelo (f_c):

$$f_c = \frac{R}{2}(t_2 - t_1) \times \ln\left(\frac{(2h_1 + R)}{(2h_2 + R)}\right) \quad (1)$$

Donde f_c (mm/día) = infiltración básica del suelo

R =radio del cilindro (cm)

t_2, t_1 = pares de valores de tiempo (min)

h_2, h_1 = pares de valores de altura (cm)

3.1.1.6. Determinar el coeficiente de infiltración del suelo (C_i)

Una vez obtenido el f_c , la ecuación de balance hídrico de Schosinsky (2006) se determinó el coeficiente de infiltración por textura de suelos (K_{fc}):

Si f_c se encuentra entre 16 a 1568 mm/día (2)

$$\rightarrow K_{fc} = 0.267 \ln(f_c) - 0.000154(f_c) - 0.723$$

$$\text{Si } f_c < 16 \text{ mm/día} \rightarrow K_{fc} = \frac{0.0148f_c}{16} \quad (3)$$

$$\text{Si } f_c > 1568 \text{ mm/día} \rightarrow K_{fc} = 1 \quad (4)$$

Utilizando los datos adimensionales de la fracción que se infiltra por efecto de la pendiente (K_p), fracción que infiltra por efecto de la cobertura (K_v) y fracción que infiltra por textura de suelos (K_{fc}) se obtiene el coeficiente de infiltración del suelo (C_i adimensional).

$$\text{Si } (K_p + K_v + K_{fc}) > 1 \rightarrow C_i = 1 \quad (5)$$

$$\text{Si } (K_p + K_v + K_{fc}) \leq 1 \rightarrow C_i = K_p + K_v + K_{fc} \quad (6)$$

3.1.1.7. Determinar la interceptación de la lluvia en el follaje

Los valores de coeficiente de follaje (C_{fo}) son dados en la ecuación de Schosinsky (2006), para todo tipo de follaje el coeficiente de retención de la lluvia por follaje $C_{fo} = 0.12$, sin embargo, para áreas con cobertura boscosa densa el $C_{fo} = 20$.

Así mismo, el cálculo de la retención de lluvia mensual interceptada por el follaje (Ret).

$$\text{Si } P \leq \frac{5mm}{mes}, Ret = P \quad (7)$$

$$\text{Si } (P * C_{fo}) \geq \frac{5mm}{mes}, Ret = (P * C_{fo}) \quad (8)$$

$$\text{Si } P > \frac{5mm}{mes} \text{ y } (P * C_{fo}) < \frac{5mm}{mes}, Ret = 5 \quad (9)$$

Donde P = precipitación mensual (mm/mes)

Ret = retención de lluvia por follaje (mm/mes)

Cfo = Coeficiente de retención del follaje.

3.1.1.8. Determinar la humedad inicial del suelo (HSi)

Una de las variables importantes en la ecuación de Schosinsky es la humedad inicial del suelo (HSi) en un mes exacto, para nuestro estudio agosto es el mes indicado, porque es parte de la temporada de estiaje, donde la evapotranspiración supera la precipitación que infiltra, así al final del ciclo anual, la humedad final determinado para el último mes (julio) fue igual a la humedad inicial del mes de agosto.

Como los valores dados por el laboratorio se encuentran en % por peso de suelo seco, se determinó la humedad del suelo inicial en mm.

$$Hsi \% \text{ por volumen} = HSi \% \text{ de peso de suelo seco} \times Da \quad (10)$$

Donde:

Da = densidad aparente en (g/cm³)

Una vez obtenido el HSi en porcentaje por volumen llevamos a mm:

$$Hsi = Hsi \% \text{ por volumen} * Pr \quad (11)$$

Donde

HSi = humedad del suelo inicial en mm

Pr = profundidad de raíces (mm)

Para determinar los valores de HSi de los meses restantes se utilizó la humedad del suelo final del mes anterior (HSf).

Se realizó el mismo procedimiento para llevar los valores de laboratorio en porcentaje por peso de suelo seco del Punto de marchitez permanente (PM) y capacidad de campo (CC) a mm.

3.1.1.9. Determinación de la precipitación que infiltra (P_i)

Utilizando los datos de la precipitación mensual (P), el coeficiente infiltración (C_i) y la retención por follaje (Ret), se determinó la cantidad de precipitación que infiltra en cada mes (P_i).

$$P_i = C_i \times (P - Ret) \quad (12)$$

Donde P_i = precipitación que infiltra mensualmente al suelo (mm/mes)

C_i = coeficiente de infiltración (adimensional)

P = precipitación mensual (mm/mes)

Ret = retención de lluvia por follaje (mm/mes)

3.1.1.10. Escorrentía superficial (ESC)

Se determinó utilizando los datos de precipitación (P), retención por follaje (Ret) y precipitación que infiltra (P_i).

$$ESC = P - Ret - P_i \quad (13)$$

Donde ESC = escorrentía superficial (mm/mes)

P = precipitación mensual (mm/mes)

Ret = retención de lluvia por follaje (mm/mes)

P_i = precipitación que infiltra mensualmente al suelo (mm/mes)

3.1.1.11. Determinar el coeficiente de humedad máximo (C_1)

El C_1 representa el coeficiente de humedad máximo ya que utiliza la humedad al inicio del mes y sin evapotranspiración.

$$C_1 = \frac{HSi - PM + Pi}{CC - PM} \quad (14)$$

Donde:

C_1 = Coeficiente de humedad al final del mes antes de que ocurra la evapotranspiración.

HSi = Humedad al inicio del mes, humedad de suelo inicial en [mm].

PM = Punto de marchitez en [mm].

Pi = Precipitación que infiltra en [mm/mes].

CC = Capacidad de campo en [mm].

3.1.1.12. Determinar la Evapotranspiración potencial (ETP)

Los datos se obtuvieron del SENAMHI e IGP. Se utilizó el programa CROPWAT de la Organización Mundial para la Agricultura y la Alimentación (FAO), a través de datos climáticos mensuales y la ecuación de Penman –Monteith se obtuvo la evapotranspiración de cultivo de referencia ET_o , para este estudio equivale a la ETP.

3.1.1.13. Determinar la evapotranspiración potencial real (ETR_1)

Es determinado a partir de la evapotranspiración potencial (ETP) y el coeficiente de humedad máximo C_1 .

$$ETR_1 = C_1 \times ET_o \quad (15)$$

Donde:

ETR_1 = Evapotranspiración potencial real [mm/mes], considera la humedad correspondiente al coeficiente C_1 .

ETP = Evapotranspiración potencial [mm/mes].

3.1.1.14. Determinar el coeficiente de humedad mínimo (C_2)

El C_2 representa el coeficiente de humedad mínimo ya que utiliza la humedad del suelo del mes anterior, además de restar la evapotranspiración.

$$C_2 = \frac{HSi - PM + Pi - ETR_1}{CC - PM} \quad (16)$$

Donde:

C_2 = Coeficiente de humedad al final del mes, después de que ocurra la evapotranspiración.

ETR1 = Evapotranspiración potencial real [mm/mes], considera la humedad correspondiente al coeficiente C_1 .

ETP = Evapotranspiración potencial [mm/mes].

3.1.1.15. Determinación de la humedad disponible (HD)

Representa la humedad disponible en mm/mes que la cobertura vegetal presente puede utilizar para el proceso de evapotranspiración.

$$HD = HSi + Pi - PM \quad (17)$$

Donde:

HD = Humedad disponible [mm/mes].

HSi = Humedad de suelo inicial (al inicio del mes) [mm].

Pi = Precipitación que infiltra [mm/mes].

PM = Punto de marchitez [mm].

3.1.1.16. Determinación de la Evapotranspiración real (ETR)

Hallando ETRP (mm/mes)

$$ETRP = \frac{C_1 + C_2}{2} \times ETP \quad (18)$$

Hallando ETR (mm/mes)

$$Si \ ETRP \leq HD \rightarrow ETR = ETRP \quad (19)$$

$$Si \ ETRP > HD \rightarrow ETR = HD \quad (20)$$

3.1.1.17. Determinación de la humedad del suelo final (HSf)

Para la determinación de la humedad del suelo final se utilizaron variables anteriores.

$$Si HD + PM - ETR < CC \rightarrow HSf = HD + PM - ETR \quad (21)$$

$$Si HD + PM - ETR \geq CC \rightarrow HSf = CC \quad (22)$$

Donde:

HSf = Humedad del suelo final (final de mes) [mm].

HD = Humedad disponible [mm/mes].

PM = Punto de marchitez [mm].

ETR= Evapotranspiración real [mm/mes].

CC = Capacidad de campo [mm].

3.1.1.18. Balance hídrico de suelos

Se estima el balance hídrico del suelo, utilizando el modelo de Schosinsky (2006), en la cual se ingresaron las variables halladas anteriormente en una única ecuación (Anexo 10).

$$Rp = Pi + HSi - HSf - ETR \quad (23).$$

Donde:

Rp: Recarga potencial mensual en mm/mes.

Pi: Precipitación que infiltra en mm/mes.

HSi: Humedad inicial del suelo en mm.

HSf: Humedad final del suelo en mm.

ETR: Evapotranspiración real en mm/mes.

3.1.2. Tipo de investigación

Investigación aplicada, los resultados de la investigación derivaran de la aplicación de conocimientos científicos y metodológicos ya establecidos en el problema. La investigación aplicada es aquella que soluciona problemas prácticos (56). El resultado de esta investigación

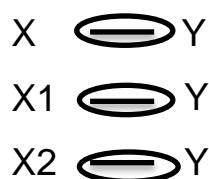
resuelve el problema de la elección de pastos naturales como especie a reforestar no solo por su aporte económico sino también por su aporte en la gestión ambiental y permite reconocer el potencial de recarga hídrica en zonas con condiciones de uso de suelo diferentes.

3.1.3. Nivel de investigación

Nivel de investigación correlacional, ya que se determinó la relación entre la recarga hídrica y la cobertura vegetal de pastos naturales, en ningún momento se intenta explicar que una sea la causa de la otra, de tal manera que la correlación examina asociaciones pero no relaciones causales; así también una investigación correlacional permite saber cómo se puede comportar una variable conociendo el comportamiento de otra variable relacionada (56). Tal es el caso de esta investigación donde se da a conocer que la cobertura de pastos naturales genera una menor recarga hídrica en comparación con otros tipos de cobertura.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea con el fin de responder al planteamiento del problema. En esta investigación el diseño es no experimental, transeccional correlacional-causal. No experimental, porque no se manipularon las variables, se observaron los fenómenos tal como se dan en su contexto natural, tal es el caso de la determinación de la precipitación que infiltra, la evapotranspiración real y la recarga hídrica. Transeccional o transversal, los análisis y/o pruebas para determinar las variables fueron realizadas en un solo momento, en un tiempo único. Tipo Correlacional –causal, se describe relaciones entre dos o más variables en un momento determinado. Así mismo esta investigación se ha limitado a relaciones no causales, los cuales se fundamentan en el planteamiento e hipótesis correlacionales (56).



- X: Cobertura vegetal
- Y: Recarga hídrica
- X₁: Precipitación efectiva
- X₂: Evapotranspiración real

3.3. Población y muestra

Población: En esta investigación se delimitó como población a la cobertura vegetal de un área de 198.59 km² correspondiente a la subcuenca del río Shullcas, debido a la importancia de esta subcuenca como fuente de abastecimiento del recurso hídrico, por la presencia del nevado de Huaytapallana y su vulnerabilidad al cambio climático, así como por la variedad de especies arbóreas, pino, colle, quinal y pastizales (13).

Se utilizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, donde la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador (56). El área muestreada fue de 432 m², debido a la gran extensión de la subcuenca se decidió determinar tres áreas de estudio. Huishna, por la presencia de especies de reforestación del proyecto PRAA, el cual implica especies de 3 años a la fecha del estudio; Huaytapallana, por la presencia de solo pastos naturales, sin ningún tratamiento; y Testigo por no poseer ningún tipo de cobertura sin ninguna intervención antrópica. (13)

3.4. Técnicas de recolección de datos

ITEM	TECNICAS DE RECOLECCION DE DATOS	INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS
Delimitación de la zona de estudio	Observación directa en campo	-Ficha de obtención de datos -Mapa de la subcuenca del río Shullcas -Software ARCGIS 10.0
Pendiente	Calculo de pendiente	-Clinómetro elaborado - Bitácora de registro de datos

Caracterización vegetal	-Observación directa -Parcelas tipo Whittaker	-Bitácora de registro de datos -wincha
Caracterización de suelos	-Observación directa de los horizontes -Observación directa de profundidad de raíces -Muestreo de suelos -Prueba de textura, densidad aparente, capacidad de campo, punto de marchites permanente y humedad de suelos. -Prueba de determinación de materia orgánica, pH y porcentaje de NPK.	-bitácora de registro de datos -wincha -Calicata -Laboratorio UNALM-LIMA -Laboratorio INIA-HUANCAYO
Distribución de precipitaciones	Procesamiento de datos	-Data base de precipitaciones obtenidas del SENAMHI -Software Excel
Evapotranspiración potencial	Procesamiento de datos	-data base de velocidad del viento, humedad relativa, temperatura media obtenidas del SENAMHI -data base de radiación solar obtenidas del IGP -Software CROPWAT 10.1
Punto de marchitez permanente	-Prueba química de suelos	-Laboratorio UNALM-LIMA
Capacidad de campo	-Prueba química de suelos	-Laboratorio UNALM-LIMA
Infiltración básica de suelos	-Prueba de infiltración básica - Observación directa en campo	-Cilindro de Porchet - bitácora de registro de datos

Intercepción de lluvia por follaje	Procesamiento de datos	Formula de determinación de la retención de lluvia por follaje
Precipitación que infiltra	Procesamiento de datos	Formula de determinación de la precipitación que infiltra
Escorrentía superficial	Procesamiento de datos	Formula de determinación de la escorrentía superficial
Coefficiente de humedad máximo	Procesamiento de datos	Formula de determinación del Coeficiente de humedad máximo
Evapotranspiración potencial real	Procesamiento de datos	Formula de determinación de la Evapotranspiración potencial real
Coefficiente de humedad mínimo	Procesamiento de datos	Formula de determinación del Coeficiente de humedad mínimo
Humedad disponible	Procesamiento de datos	Formula de determinación de la humedad disponible
Evapotranspiración real	Procesamiento de datos	Formula de determinación de la Evapotranspiración real
Humedad final del suelo	Procesamiento de datos	Formula de determinación de la Humedad final del suelo
Balance hídrico	Procesamiento de datos	Formula de determinación del Balance hídrico

3.5. Técnicas de análisis de datos

Los datos se analizaron con la prueba estadística de Prueba de Kolmogorov Smirnov para determinar la distribución normal y el coeficiente de correlación de Spearman para determinar las relaciones mediante el Software IBM SPSS Statistics 22.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

Resultados de caracterización de zonas de estudio:

Las zonas de estudio presentan coberturas de tipo herbazal de tundra para la zona Huaytapallana y pajonal o césped de puna para la zona Huishna (anexo 11). Según la clasificación de zonas de vida del sistema Holdridge la subcuenca del río Shullcas presenta 5 zonas de vida, las áreas de estudio se sitúan en 2 de ellas (anexo 12). En la siguiente tabla se muestra las principales especies vegetales encontradas.

Tabla 3. Caracterización vegetal

Áreas de estudio	Características de las zonas de estudio		
	Altitud (msnm)	Zonas de vida	Vegetación
Huishna	4292	Paramo muy húmedo -Subalpino Tropical (pmh - SaT)	<i>Stipa sp.</i> , <i>Festuca dolichophylla</i> , otros.
Huaytapallana	4748	Tundra pluvial -alpino Tropical (tp - AT)	<i>Calamagrostis sp.</i> , líquenes, <i>Stipa sp.</i> <i>Distichia muscoide</i> , <i>Distichia filamentosa</i> , <i>Gentianella hirculus</i>
Testigo	4692	Tundra pluvial -alpino Tropical (tp - AT)	

Fuente: Elaboración propia.

Específicamente la zona de estudio Huishna presenta cobertura de pastos con predominancia de *Stipa sp.*, seguido de *Festuca dolichophylla*. La figura 15 presenta la altura promedio de la *Stipa sp.* para la época de ríaje y estiaje, además de la cantidad de individuos por grupos.

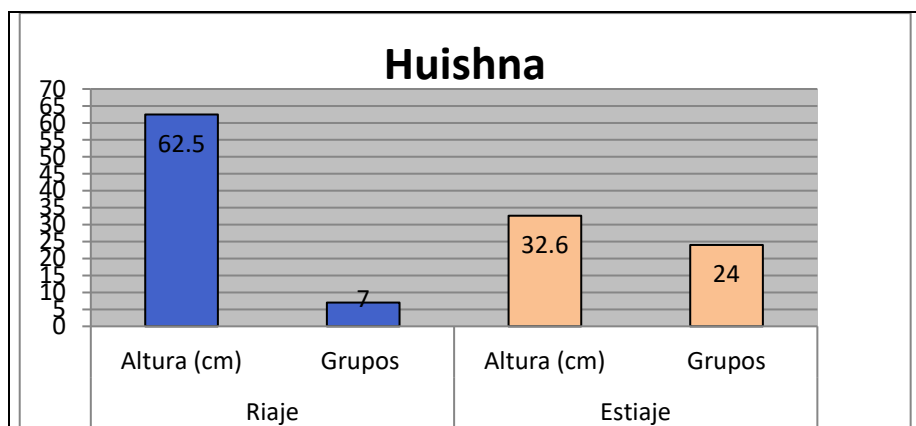
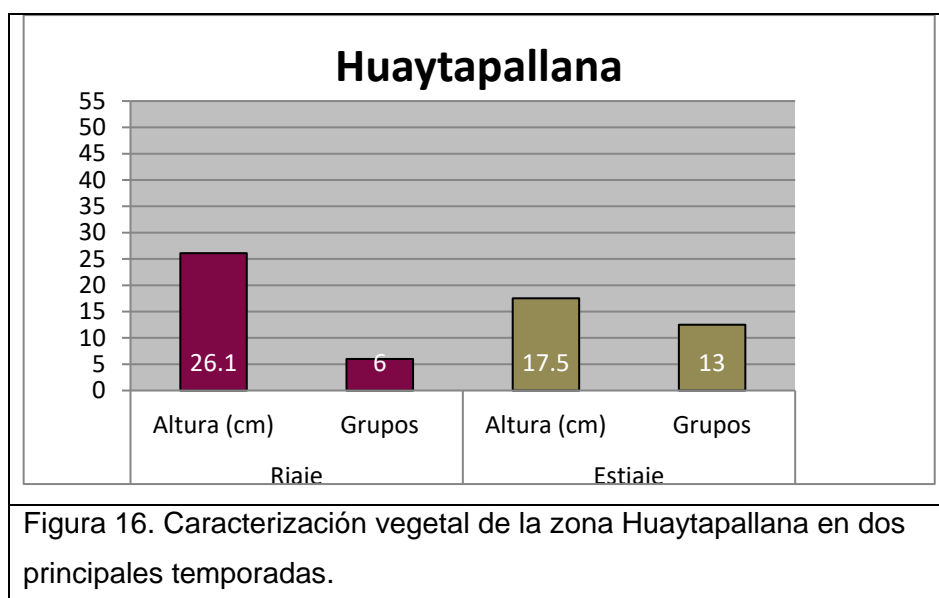


Figura 15. Caracterización vegetal de la zona Huishna en dos principales temporadas.

Fuente: Elaboración propia.

En la zona de estudio Huaytapallana, la predominancia de gramíneas está dado por la especie *Calamagrostis sp.*, seguido de la *Stipa sp.* La figura 16 presenta la

altura promedio de la *Stipa sp.* para la época de ríaje y estiaje, además de la cantidad de individuos por grupos.



Fuente: Elaboración propia.

Distribución de precipitaciones:

En la siguiente tabla se muestra que las precipitaciones son marcadas para la estación seca y lluviosa, evidenciándose en valores altos desde diciembre hasta marzo, y valores bajos para los meses de junio, julio y agosto (Anexo 13).

Tabla 4. Valores de precipitación mensual y anual

Estación	Ubicación Geografica	PRECIPITACION MENSUAL (mm)												ANUAL (mm)
		JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	
HUAYTAPALLANA	Latitud sur 11°55'36"													
	Longitud oeste 75°3'42"	20.3	21.1	54.9	142.7	89.7	226.8	216.9	156.0	204.7	76.7	36.8	7.4	1254.0
	Altitud: 4684 m.s.n.m.													
ACOPALCA	Latitud sur 11°55'38.82"													
	Longitud oeste 75°06'58.5'	25.0	31.6	95.2	105.5	65.4	164.4	187.5	108.9	175.0	45.1	31.3	1.2	1036.1
	Altitud: 3839 m.s.n.m.													

Fuente: Elaboración propia.

Evapotranspiración potencial

En la siguiente tabla se muestra valores de evapotranspiración potencial, para la zona Huishna se utilizaron datos de la estación Acopalca y para la zona Huaytapallana y Testigo se utilizó la estación Huaytapallana. Los resultados muestran que las precipitaciones son mayores en la zona Huaytapallana y Testigo (Anexo 14 y 15).

Tabla 5. Valores de Evapotranspiración potencial (ETP).

Estación	Ubicación Geografica	ETO (mm)												ANUAL (mm)
		JUL	AGOS	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	
HUAYTAPALLANA	Latitud sur 11°55'36"													
	Longitud oeste 75°3'42"	64.8	75.33	86.93	90.98	94.74	87.2	90.35	77.96	82.28	74.53	73.93	70.41	969.4
	Altitud: 4684 m.s.n.m.													
ACOPALCA	Latitud sur 11°55'38.82"													
	Longitud oeste 75°06'58.5"	66.45	78.76	91.41	97.46	99.96	94.78	91.39	82.65	87.6	78.96	79.86	70.22	1019.5
	Altitud: 3839 m.s.n.m.													

Fuente: Elaboración propia.

Caracterización de suelos de las zonas de estudio:

La figura 17, muestra la textura de los suelos de estudio, según la clasificación del triángulo de texturas de la USDA. La zona Testigo presenta una textura de Franco arcillo arenoso (F-a-Ar) a Franco arenoso (F-Ar). La zona Huaytapallana presenta una textura de Franco arenoso (F- Ar) a Arenoso franco (Ar-F) y la zona Huishna presenta una textura de Franco arenoso (F-Ar) (Anexo 16).

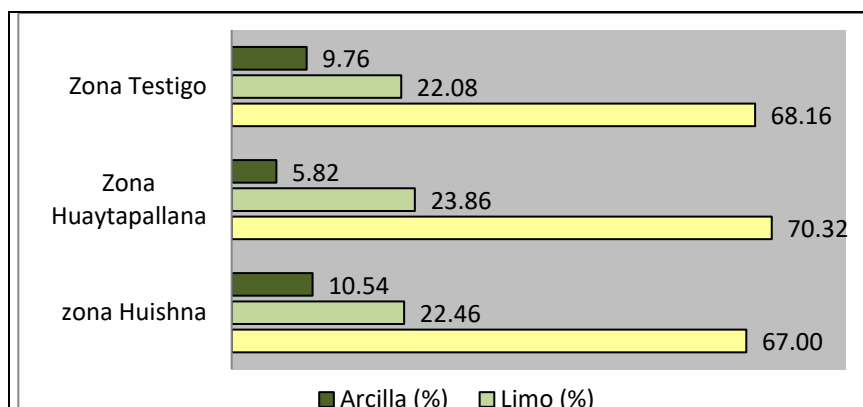


Figura 17. Contenido de principales agregados de los suelos de las zonas de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6, se presenta la humedad inicial (HSi), punto de marchitez permanente (PMP) y capacidad de campo (CC) en mm para el mes de agosto en las tres zonas de estudio, así Huishna presenta la mayor capacidad de almacenamiento de agua, no obstante, el punto de marchitez es también elevado, la humedad en el mes de agosto es alta, considerando que la época es de estiaje. Para Huaytapallana, una zona de mayor densidad de cobertura vegetal, el valor de humedad inicial del suelo está por encima de su capacidad de campo, para la

zona testigo los valores son los mínimos, en general los valores de capacidad de campo son directamente proporcionales al punto de marchitez permanente (Anexo 17 y 18).

Tabla 6. Valores de PM, CC, HSi y Dap para el mes de agosto.

	<i>HSi</i> (mm)	<i>PM</i> (mm)	<i>CC</i> (mm)	<i>D aparente</i> (g/cm ³)
<i>Zona Huishna</i>	85.07	52.74	85.14	0.76
<i>Zona</i>				
<i>Huaytapallana</i>	69.25	36.93	61.16	0.45
<i>Zona Testigo</i>	0.85	0.74	1.63	1.82

Fuente: Elaboración propia.

La figura 18, muestra las principales propiedades del suelo. La zona Huishna presenta un suelo con alta materia orgánica, de característica fuertemente ácido, contenido de N, P y K, medio, bajo y bajo respectivamente. La zona Huaytapallana presenta un suelo con alta materia orgánica, de característica extremadamente ácido, contenido de N, P y K, medio, bajo y bajo respectivamente. La zona Testigo presenta un suelo con muy baja materia orgánica, de característica medianamente básico, contenido de N, P y K, muy bajo, bajo y medio respectivamente (Anexo 19,20 y 21).

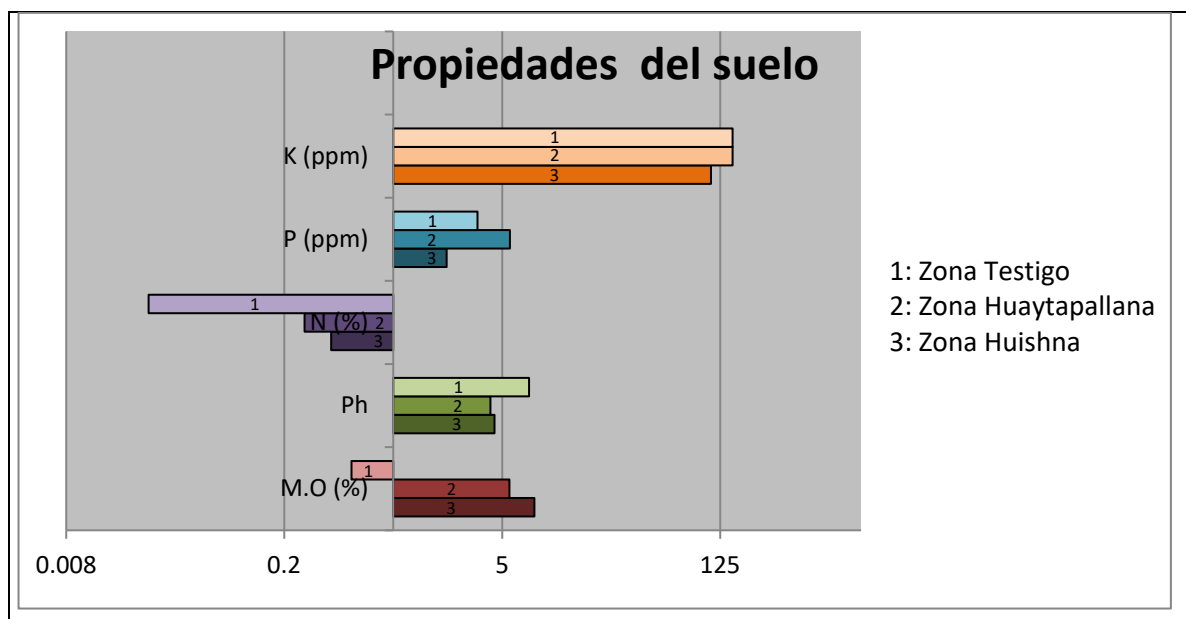


Figura 18. Propiedades de los suelos de las zonas de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Velocidad de infiltración:

La figura 19, muestra la velocidad de infiltración de la zona Huishna, posee una velocidad alta, en promedio 660 mm/h, posee una tendencia logarítmica donde en los primeros minutos los valores de infiltración llegan cerca de los 1600 mm/h, después de media hora la velocidad se reduce hasta unos 420 mm/h, finalmente se hace más constante (Anexo 22).

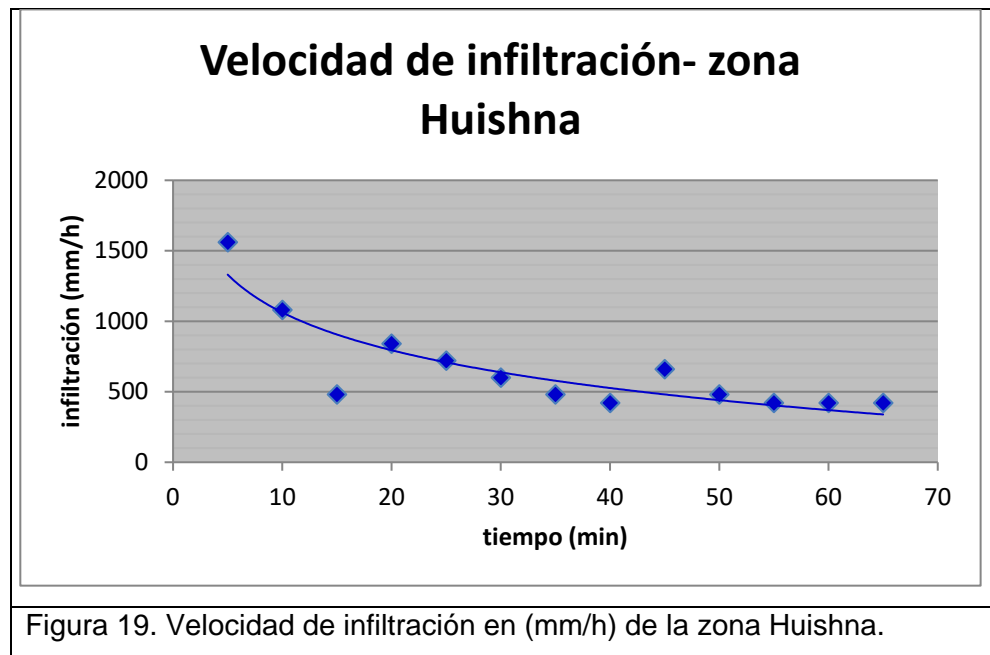
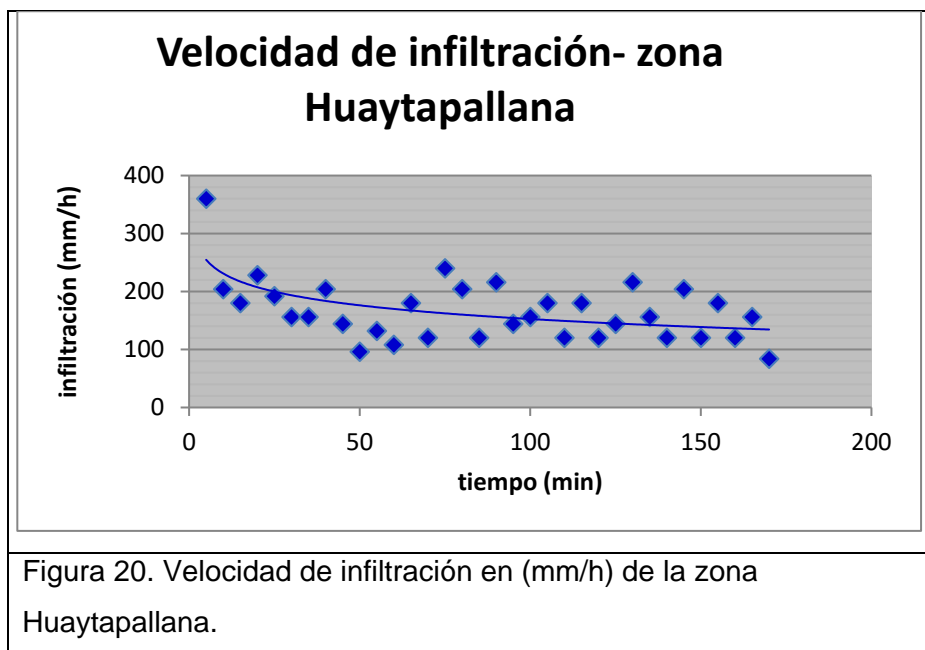


Figura 19. Velocidad de infiltración en (mm/h) de la zona Huishna.

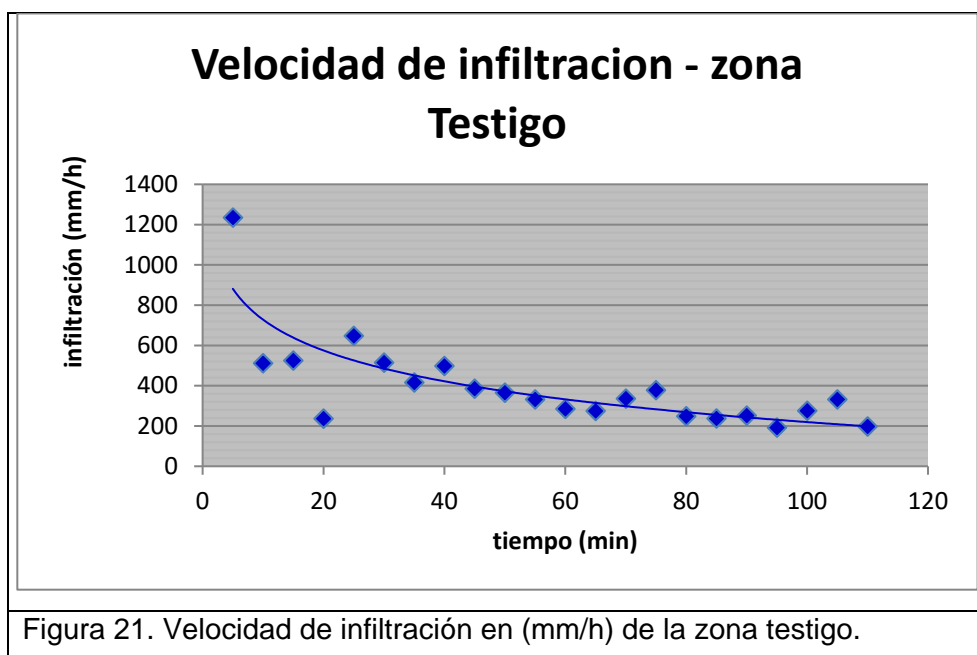
Fuente: Elaboración propia.

La figura 20, muestra la velocidad de infiltración de la zona Huaytapallana, posee una velocidad baja, en promedio 166 mm/h, posee una tendencia logarítmica donde en los primeros minutos los valores de infiltración llegan cerca de los 360 mm/h, así después de una hora y 50 min la velocidad se reduce hasta unos 84 mm/h, para así hacerse más constante (Anexo 23).



Fuente: Elaboración propia.

La figura 21, muestra la velocidad de infiltración de la zona Testigo, posee una velocidad alta, en promedio de 395 mm/h, posee una tendencia logarítmica, en los primeros minutos los valores de infiltración llegan cerca de los 1235 mm/h, así después de 1 hora y 40 min la velocidad se reduce hasta unos 198 mm/h, y luego se hace constante (Anexo 24).



Fuente: Elaboración propia.

Resultados de la infiltración básica del suelo

En la tabla 7, se muestran los valores de infiltración básica del suelo (f_c), y se determina la capacidad de infiltración en un suelo saturado en mm/día, así la zona Huishna, posee la mayor infiltración básica, seguido de la zona testigo y Huaytapallana (Anexo 25, 26 y 27).

Tabla 7. Infiltración básica del suelo en (mm/día) de las 3 zonas.

	<i>Huishna</i>	<i>Huaytapallana</i>	<i>Testigo</i>
<i>f_c (mm/día)</i>	262.98	21.25	125.5
<i>f_c (cm/h)</i>	1.1	0.1	0.52

Fuente: Elaboración propia.

Coeficiente de infiltración de suelos C_i :

En la Tabla 8, los K_{fc} de las zonas no varían ampliamente, así mismo con la influencia de la pendiente y vegetación, el coeficiente de infiltración de Huishna es cercano a 1, de Huaytapallana es 0.4 y de testigo es 0.6. La zona Huishna tiene pendiente fuertemente empinada, la zona Huaytapallana tiene pendiente moderadamente inclinado y la zona testigo tiene pendiente fuertemente empinada (Anexo 28).

Tabla 8. Coeficiente de infiltración de suelo para las tres zonas de estudio

<i>Zona</i>	<i>K_{fc}</i>	<i>Pendiente (%)</i>	<i>K_p</i>	<i>k_b</i>	<i>C_i</i>
<i>Huishna</i>	0.72	50	0.06	0.18	0.96
<i>Huaytapallana</i>	0.09	7	0.10	0.18	0.37
<i>Testigo</i>	0.55	30	0.06	0.01	0.62

Fuente: Elaboración propia.

Profundidad de raíces

La figura 22, muestra la principal caracterización del suelo de las zonas de estudio, la zona radicular de Huishna es mayor a la de los pastos de Huaytapallana, debido a la mayor presencia del género *Stipa ichu*, el horizonte orgánico para la zona Huishna es tres veces mayor que en Huaytapallana, sin embargo, los siguientes horizontes A y C son muy pequeños en comparación con la zona Huaytapallana.

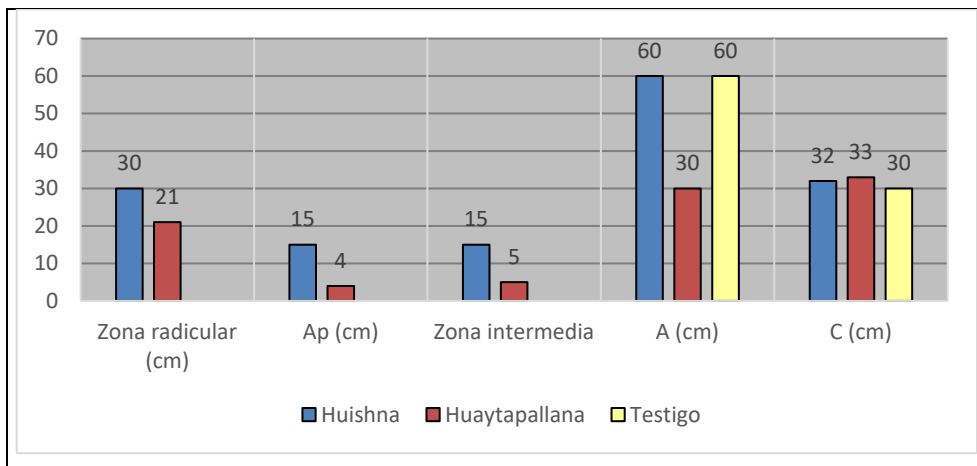


Figura 22. Dimensiones de la zona radicular y los horizontes de los suelos

Fuente: Elaboración propia.

Fracción de lluvia interceptada por el follaje (Ret)

La figura 23, muestra los valores de precipitación retenidos por las diferentes coberturas, para la zona Huaytapallana las retenciones son mayores llegando a un máximo de casi 30 mm el cual se da en enero; en la zona testigo la retención máxima es de 11.3 mm para diciembre y la mínima es de 0.1 para julio. Solo en el mes de septiembre la retención en la zona Huishna es mayor que la zona Huaytapallana.

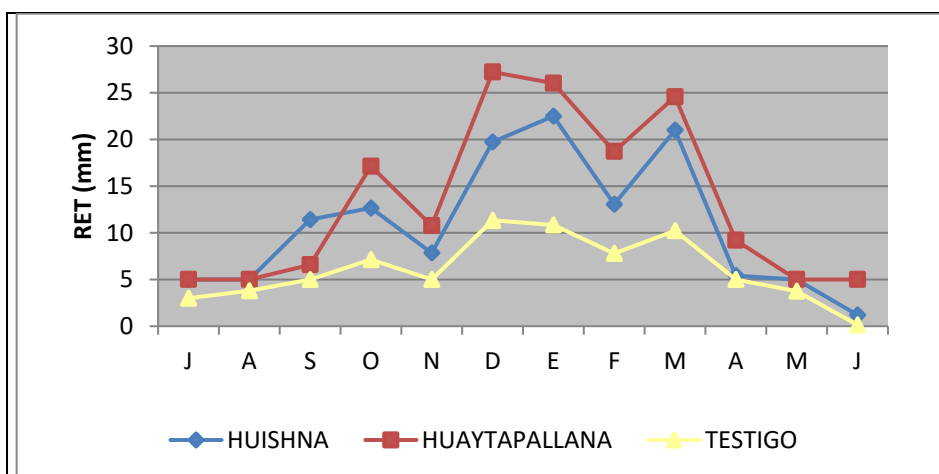


Figura 23. Fracción de lluvia retenida por las diferentes coberturas en mm/mes.

Fuente: Elaboración propia.

Precipitación efectiva mensualmente (Pi)

En la figura 24, presenta las cantidades de agua en mm que queda disponible para infiltración en el suelo; siendo la zona Huishna (873.9 mm) con mayor precipitación efectiva, seguido de la zona testigo (729.7 mm) y Huaytapallana (404.5 mm); los meses de diciembre, enero febrero y marzo, son de mayor infiltración, superando los 120 mm, coincidiendo con la época de riego. El mes de junio es un mes crítico por estar por debajo de los 5 mm de precipitación efectiva en las zonas de Huaytapallana y testigo, mientras que en la zona Huishna es nula.

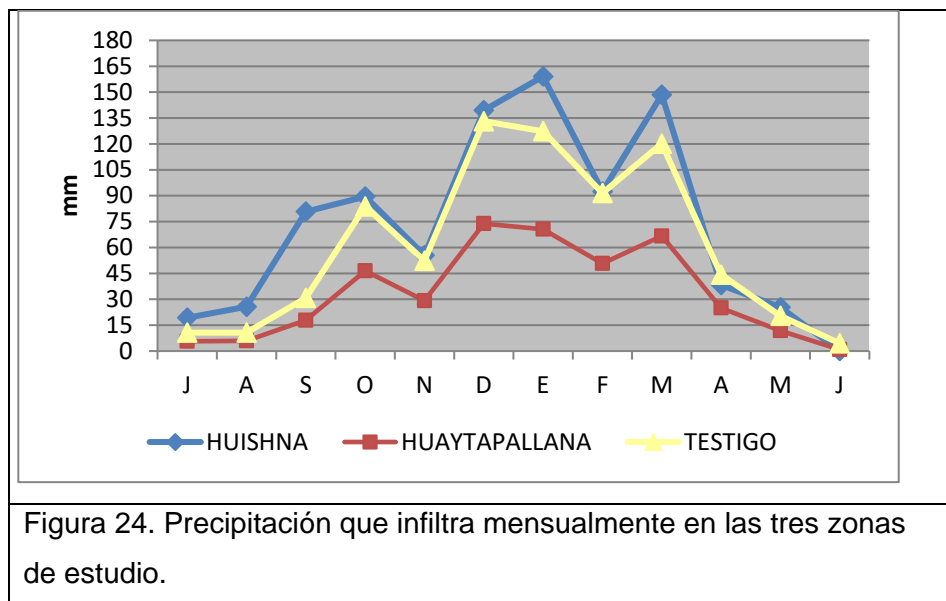


Figura 24. Precipitación que infiltra mensualmente en las tres zonas de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Escorrentía superficial (ESC)

En la figura 25, presenta las cantidades de agua en mm/mes que escurre por la superficie de las zonas; siendo esta mayor en la zona Huaytapallana llegando a más de 110mm para los meses de diciembre, enero y marzo, la zona con menor escorrentía es Huishna el cual está por debajo de los 10 mm durante todo el año.

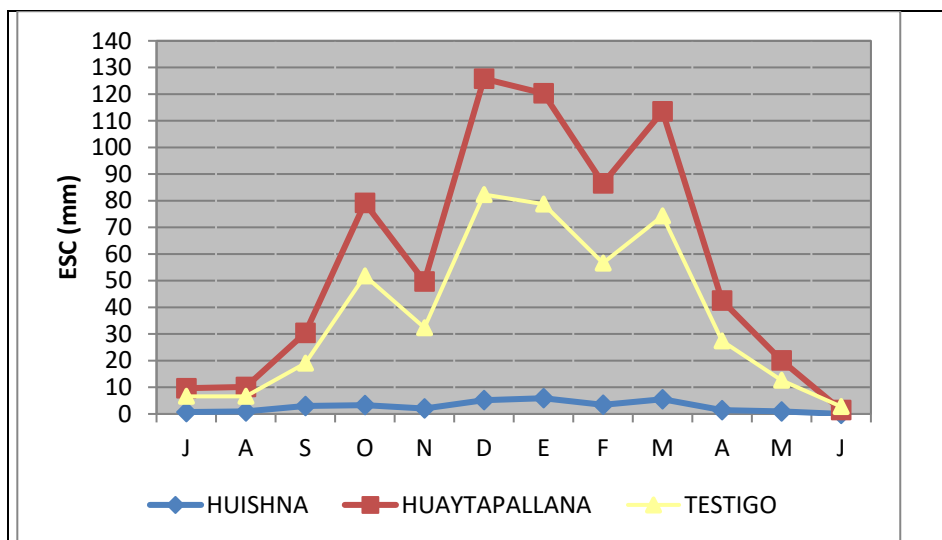


Figura 25. Escorrentía superficial en las tres zonas de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

Evapotranspiración real (mm/mes)

En la figura 26, muestra la evapotranspiración real, los meses de junio, julio y agosto, la ETR son menores para las tres zonas, esto indica que en esos meses la planta llega al punto de marchitez permanente, mientras que en los siguientes meses la demanda está cubierta. Es evidente que en la zona Huishna la evapotranspiración es mayor con un valor de 703.6 mm frente a la zona Huaytapallana con 391 mm.

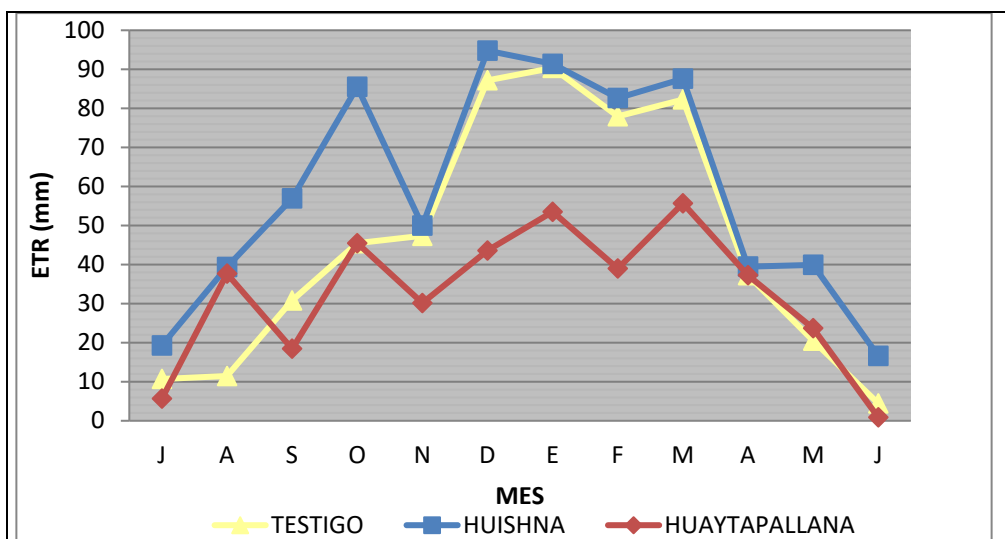


Figura 26. Evapotranspiración real (ETR) en mm/mes

Fuente: Elaboración propia

Recarga potencial de acuíferos

En la tabla 9, se muestra la recarga potencial de acuíferos frente a las diferentes zonas de estudio, la zona Huishna posee el mayor potencial, seguido de la zona testigo y por último la zona Huaytapallana, se evidencia los meses de estiaje donde la recarga es nula, en la zona Huaytapallana la recarga potencial solo se da en los meses de ríaj de diciembre a marzo (Anexo 29,30 y 31).

Tabla 9. Recarga potencial en mm/mes en las3 zonas de estudio.

MES	RP		
	HUIHNA	HUAYTAPALLANA	TESTIGO
JULIO	0	0	0
AGOSTO	0	0	0
SEPTIEMBRE	10.033	0	0
OCTUBRE	4.002	0	38.215
NOVIEMBRE	5.514	0	4.942
DICIEMBRE	44.719	5.984	45.943
ENERO	67.71	17.08	36.982
FEBRERO	9.756	11.775	13.59
MARZO	60.894	10.926	37.895
ABRIL	0	0	7.044
MAYO	0	0	0
JUNIO	0	0	0
ANUAL	202.6	45.8	184.6

Fuente: Elaboración propia.

Recarga anual en porcentaje

En la tabla 10, muestra la recarga de acuíferos de las tres zonas de estudio, en las 3 zonas la recarga potencial no es significativa comparado con la precipitación, sin embargo, la zona Huishna posee el mayor potencial de recarga, la zona Huaytapallana posee recarga potencial inferior al 5 %.

Tabla 10. Porcentaje de recarga con respecto a la precipitación total anual en mm/año.

Zona de Estudio	Resumen de resultados mm/año						% Rp
	P (mm)	Pi (mm)	Ret(mm)	ESC (mm)	ETR (mm)	Rp (mm)	
HUISHNA	1036.1	873.86	129.84	32.4	703.56	202.63	20
HUAYTAPALLANA	1253.99	404.49	160.21	689.29	391.05	45.76	4
TESTIGO	1253.99	729.71	73.05	451.23	545.87	184.61	15

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Prueba de hipótesis

Se utilizaron los datos de Rp mensual para cada zona de estudio de la siguiente manera:

Huishna	Rp	Huaytapallana	Rp	Testigo	Rp
1	0	2	0	3	0
1	0	2	0	3	0
1	10.03	2	0	3	0
1	4	2	0	3	38.22
1	5.51	2	0	3	4.94
1	44.72	2	5.98	3	45.94
1	67.71	2	17.1	3	36.98
1	9.76	2	11.8	3	13.59
1	60.89	2	10.9	3	37.9
1	0	2	0	3	7.04
1	0	2	0	3	0
1	0	2	0	3	0

Dónde:

1: Huishna

2: Huaytapallana

3: Testigo

H_i : El tipo de cobertura vegetal presenta una alta correlación con la recarga hídrica de la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio- 2013 hasta junio 2014.

HIPOTESIS ESTADISTICA

$H_0 : \rho = 0$ (No hay correlación significativa)

$H_i : \rho \neq 0$ (Si hay correlacion significativa)

		Cobertura vegetal	Recarga hídrica
Rho de Spearman	Cobertura vegetal	Coeficiente de correlación	1,000
		Sig. (bilateral)	,018
		N	36
Rho de Spearman	Recarga hídrica	Coeficiente de correlación	,018
		Sig. (bilateral)	,919
		N	36

De acuerdo con el valor obtenido (sig=0919) se acepta la hipótesis nula, por tanto, no existe correlación entre la recarga potencial y los tipos de cobertura vegetal. El valor de $p=0.018$ muestra que la correlación es muy baja, es decir no hay suficiente evidencia estadística para afirmar que la recarga potencial de las 3 zonas de estudio está relacionado con el tipo de cobertura vegetal. De este modo se evidencia que el factor influyente presente en la zona Huaytapallana es el uso del suelo, por tener un menor aporte y presentar sobrepastoreo. Este resultado evidencia que no solo se debe tener en cuenta el tipo de cobertura vegetal, sino también el uso del suelo.

4.3. Discusión de resultados

La zona Huishna presenta suelo fuertemente ácido, con alta materia orgánica, valores de N medio, pendiente fuertemente empinada y de textura F-Ar para ambos horizontes. La zona Huaytapallana presenta un suelo extremadamente ácido, con alta materia orgánica, valores de N medio, pendiente moderadamente inclinada y de textura F-Ar y Ar F para los horizontes A y C respectivamente. La zona Testigo presenta suelos medianamente básicos, con muy baja presencia de materia orgánica, valores de N muy bajo, pendiente fuertemente empinada y de textura F-a-Ar y F-Ar para los horizontes A y C respectivamente. En el estudio de Evaluación de

praderas del Proyecto de Conservación de Praderas (58), la parcela Huishna es un suelo hidromórfico que tiene textura de F-Ar y F, de acidez fuerte, materia orgánica alta y pendiente fuertemente empinada; la parcela Sarnajampina también es suelo hidromórfico, de textura F, F-a-Ar, F-Ar, con acidez fuerte, niveles medio de materia orgánica y de pendiente moderadamente inclinada. Estos datos ratifican los resultados dados por los análisis en campo y laboratorio realizado en la parcela Huishna y Huaytapallana. Esto se debe a que tanto la zona Huishna como Huaytapallana tienen cobertura vegetal, el cual favorece a la acumulación de materia orgánica, sin embargo, esta materia orgánica puede estar causando la acidez que presentan estos suelos por liberación de ácido carbónico, que para el caso de Huaytapallana de pH extremadamente ácido, es reforzado con la quema y el sobrepastoreo. Ello también se evidencia en la disponibilidad baja de nitrógeno, debido a tasas de mineralización baja. La zona Testigo al no presentar cobertura vegetal y pendiente fuertemente empinada tiene baja materia orgánica (38).

La precipitación que infiltra en la zona Huaytapallana de cobertura vegetal de pastos naturales (404.5 mm anuales) es menor en comparación con las dos zonas. Se evidencia la influencia del uso del suelo debido a que en la zona Huaytapallana se practica el sobrepastoreo, el cual genera un apisonamiento modificando la estructura del suelo y su capacidad de infiltración. El estudio "Escorrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica" (17) concluye que las pasturas nativas sobrepastoreadas tienen una baja capacidad de infiltración debido principalmente al sobrepastoreo, que conduce a la compactación de los suelos y disminuye el espacio poroso y la capacidad de infiltración. El estudio "Efecto del sobrepastoreo en un pastizal de altura. Cumbres de Humaya. Catamarca. Argentina" (20), concluye que el sobrepastoreo, impacta negativamente en las estructuras vegetales con una baja acumulación de biomasa y haciendo que el suelo con presencia de intensidad de carga animal se compacte modificando severamente la infiltración del agua en el suelo, estos estudios respaldan las afirmaciones dadas.

La evapotranspiración real en la zona Huaytapallana con cobertura vegetal de pastos naturales (391 mm anuales) es menor en comparación con las dos zonas. La relación del agua y la planta está determinada por la disponibilidad del agua en el suelo y los procesos que realiza la planta, sobre todo la evapotranspiración. Según (22) en su estudio evalúa la evapotranspiración en *Pinus radiata* en tres edades y condiciones (26 años, 9 años con manejo tradicional y 9 años destinado a silvopastoreo) y una pradera natural, donde determina que la disminución de reservas de agua en la pradera es considerablemente menor que la de las tres plantaciones. En la zona Huaytapallana la ETR es menor comparado con la zona Huishna de plantaciones arbóreas debido a que está relacionado con los valores de humedad, punto de marchitez y capacidad de campo, siendo estos valores menores.

Los resultados de este estudio indican que la zona de cobertura de pastos naturales Huaytapallana tiene la menor recarga hídrica ($R_p = 45.756$ mm/año), en comparación con los demás sistemas. Ello se debe a que el sobrepastoreo ha modificado las propiedades físicas del suelo, ya que la R_p está determinada por el uso de suelos, es lógico que la zona Huishna presente mayor recarga hídrica (202.6 mm/año), ya que para este estudio presenta un uso de suelo de protección-forestal, por haber sido intervenido en el proyecto PRAA, mediante conservación de las pasturas naturales, reforestación con especies arbóreas y cercado del área. El estudio "Áreas de recarga de la parte media-alta de las microcuencas Palo, Marín y San Rafaelito, San Carlos, Costa Rica" (21) menciona que si bien los valores de R_p se han obtenido en un momento y espacio dado, es el cambio en las propiedades físicas del suelo, la erosión, la compactación del suelo y una mayor escorrentía las que pueden provocar a futuro una disminución de la R_p , afirma que tanto el tipo de cobertura vegetal, como el manejo que se le dé, son aspectos primordiales en términos de favorecer la R_p a largo plazo.

En el estudio "Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas" (22), los valores de tasa de infiltración básica promedio en la subcuenca del río Shullcas para las tierras forestales son ocho veces mayor en comparación con tierras de

pastoreo. El estudio “Recarga de aguas subterráneas en la cuenca del Río Poás” (16), evaluó la recarga hídrica en suelos con diferentes usos, en suelos con pastos la recarga hídrica fue superior a las zonas de bosques, cabe mencionar que dicha zona está conformada por un bosque primario con una mínima extensión y el bosque no primario parcialmente deforestado con mayor extensión, concluye que la cantidad de agua para recarga está determinada por varios factores, principalmente por el clima y por el uso de suelos. Estos estudios refuerzan los resultados obtenidos en la zona Huishna y presentan al uso de suelo como una variable determinante en la Rp.

Las tesis “Determinación de la recarga hídrica de acuíferos generados por el pino (*Pinus radiata*) como medida de adaptación al cambio climático” (23) presenta valores de recarga hídrica de 290.6 mm/año en la zona Huishna, así mismo la tesis “Contribución a la recarga hídrica de acuíferos por plantaciones de Colle (*Buddleja coriácea*) como medida de adaptación al cambio climático en la cuenca media del Shullcas” (24) presenta que la recarga hídrica potencial en la zona Tingo Huishna es de 206.68 mm/año, en este estudio la Rp en Huishna es de 202.6 mm/año . Los valores de recarga potencial del primer estudio no son congruentes con los encontrados en el segundo estudio y el presente, siendo estas zonas de estudio aledañas, solo se puede atribuir esta diferencia al empleo del mismo método bajo diferentes criterios. Así mismo dichos estudios no hacen referencia al uso de suelo como factor determinante en la recarga hídrica, sin embargo, presentan a Huishna como un área con gran potencial de recarga hídrica, y áreas con cobertura de árboles maduros, con Rp superiores, para el caso del primer estudio está referido a una zona de bosque de *Pinus radiata* con uso de suelo forestal, intervenido y cercado.

CONCLUSIONES

1. El tipo de cobertura vegetal no está relacionado con la recarga potencial de las 3 zonas de estudio de manera significativa, con un valor de índice de correlación de Spearman de $\rho=0.018$, esto debido a que tanto el tipo de cobertura vegetal y el uso de suelos son factores determinantes en la recarga hídrica.
2. El tipo de cobertura vegetal no se relaciona con la recarga potencial de las tres zonas de estudios ($\rho=0.018$). El factor determinante en la recarga hídrica fue el uso de suelo, la zona Huaytapallana generó la menor recarga potencial (45.756 mm/año), solo un 4 % de las precipitaciones anuales, a causa de un pastoreo intensivo y compactación de suelos con disminución del espacio poroso y de su capacidad de infiltración.
3. La precipitación efectiva de la zona de cobertura vegetal de pastos naturales Huaytapallana, fue de 404.5 mm anuales mientras para la zona Huishna fue de 873.9 mm, evidenciándose una menor disponibilidad de agua para procesos posteriores en la zona Huaytapallana, de toda la precipitación que ingresa tanto en Huishna como en Huaytapallana, el mayor porcentaje es por el coeficiente de infiltración básica de los suelos (C_i).
4. La evapotranspiración real (ETR) de la zona de cobertura vegetal de pastos naturales Huaytapallana, fue de 391.0, mucho menor que la zona Huishna. La ETR se determina mediante la ETP, dado por la interacción de variables climáticas, las cuales son similares para ambas zonas, sin embargo los valores de humedad, punto de marchitez y capacidad de campo, son menores en Huaytapallana, los cuales son determinantes en la ETR.
5. Como medida de adaptación al cambio climático, se proponen proyectos de reforestación, en los cuales el uso del suelo será determinante en el potencial de recarga hídrica. Los meses de mayores potenciales de recarga hídrica y

aprovechamiento de agua son diciembre, enero, febrero y marzo para todas las zonas de estudio.

RECOMENDACIONES

1. Realizar pruebas de infiltración básica en suelos sin cobertura vegetal para poder tener referencias de resultados de infiltración básica del suelo.
2. Utilizar cilindros de infiltración de doble anillo siguiendo la metodología de Porchet, sin embargo, también se pueden utilizar cilindros de un solo anillo, pero de menor diámetro y altura.
3. Determinar el índice de cultivo para suelos descubiertos o sin presencia de cobertura vegetal, según la FAO se puede utilizar la fórmula para la determinación del coeficiente inicial de cultivo o determinando el coeficiente para la evaporación del suelo mediante el coeficiente dual del cultivo.
4. Localizar zonas de pastos donde la profundidad de suelos no difiera tanto con las zonas de pastos y especies arbóreas, para obtener mejores criterios de comparación.
5. Estudiar la influencia del sobrepastoreo en la infiltración básica de suelos.
6. Para proyectos de conservación hídrica se debe de establecer el uso de suelo que tendrá dicha área, para así asegurar áreas de recarga significativas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **LLOSA LARRABURE, Jaime, PAJARES GARAY, Erick, y TORO QUINTO, Oscar.** *Cambio climático, crisis del agua y adaptación en las montañas andinas: Reflexión, denuncia y propuesta desde los Andes.* Lima : desco: Red Ambiental Peruana, 2009.
2. **BERNEX, Nicole y TEJADA, Manuel.** *Cambio climático, retroceso glaciar y gestión integrada de los recursos hídricos.* Lima : s.n., 2010.
3. **PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE.** *Perspectivas del Medio Ambiente: America Latina y El Caribe. Sistema Nacional de Información Ambiental.* [En línea] 2010. [Citado el: 20 de octubre de 2016.] <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/geo-lac-3-perspectivas-medio-ambiente-america-latina-caribe>.
4. **EL PERUANO.** Glaciares en Peligro. *Gestión Hídrica.* Especial, 29 de agosto de 2013.
5. **ALA MANTARO: ADMINISTRACIÓN LOCAL DE AGUA MANTARO.** *Evaluación de Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Río Mantaro.* Lima, Perú : s.n., diciembre de 2010.
6. **INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ.** Diagnóstico de la Cuenca del Mantaro bajo la visión del cambio climático. *Sistema Nacional de Información Ambiental.* [En línea] noviembre de 2005. [Citado el: 23 de octubre de 2016.] <http://sinia.minam.gob.pe/documentos/diagnostico-cuenca-mantaro-bajo-vision-cambio-climatico>.
7. **GOBIERNO REGIONAL DE JUNÍN.** *Enfrentando el Cambio - Estrategia Regional de Cambio.* 1ª ed., Huancayo, Perú : Imprenta RIOS S.A.C., 2010.
8. **SERVICIOS EDUCATIVOS PROMOCIÓN Y APOYO RURAL Y CENTRO DE ESTUDIOS Y PROMOCIÓN DEL DESARROLLO.** *Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales -PRAA. Reforestación en la Subcuenca del río Shullcas.* Huancayo : s.n., 2010.
9. **CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA.** Diagnóstico de la subcuenca del río Shullcas. [En línea] diciembre de 2016. [Citado el: 20 de agosto de 2018.] <https://www.catie.ac.cr/climate-smart-territories-peru-project/wp-content/uploads/2-Diagnostico-Shullcas-editadov3.pdf>.
10. —. Estudio de la vegetación en áreas de intervención en la subcuenca del río Shullcas. *Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza.* [En línea] marzo de 2017. [Citado el: 18 de noviembre de 2017.] https://www.catie.ac.cr/climate-smart-territories-peru-project/wp-content/uploads/Estudio_vegetacion2.pdf.

11. **RODRIGUEZ MATOS, Ana Luisa.** *Determinación de la recarga hídrica de acuíferos generados por el pino (Pinus radiata) como medida de adaptación al cambio climático.* Memoria de licenciatura inédita, Universidad Continental. Huancayo : s.n., 2015. pág. 233.
12. **MARAVI ARRIOLA, Fabiola Evelin.** *Contribución a la recarga hídrica de acuíferos por plantaciones de Colle (Buddleja coriacea) como medida de adaptación al cambio climático en la cuenca media del Shullcas.* Memoria de licenciatura inédita, Universidad Continental. Huancayo : s.n., 2015. pág. 151.
13. **GLIESSMAN, Stephen R.** *Agroecología: Procesos ecológicos en Agricultura Sostenible.* Turrialba : CATIE, 2002, pág. 359.
14. **ORGANIZACION METEOROLÓGICA MUNDIAL.** *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.* Ginebra : Organización Meteorológica Mundial, 2012. ISBN 978-92-63-03385-8.
15. **RIOS, Ney, ANDRADE, Hernan e IBRAHIM, Muhammad.** *Evaluación de la recarga hídrica en sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos.* Colombia : Zootecnia tropical, 2008. págs. 183-186.
16. **LIGIA, Hernando.** *Recarga de aguas subterráneas en la cuenca del río Poas.* Costa Rica : s.n., 1993. págs. 137-151. I semestre de 1993.
17. **RIOS, Ney et al.** *Escurrentía superficial e infiltración en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el trópico subhúmedo de Nicaragua y Costa Rica.* Costa Rica : s.n., 2007.
18. **HUBER, Anton, OYARZUN Carlos y ELLIES, Achim.** *Balance hídrico en tres plantaciones de pinus radiata y una pradera II : Humedad del suelo y evapotranspiración.* Chile : BOSQUE, 1985. págs. 74-82. ISSN 0717-9200.
19. **JOBAGY, Esteban., ACOSTA, Ana. y NOSETTO, Marcelo.** *Rendimiento hídrico en cuencas primarias bajo pastizales y plantaciones de pino de las sierras de Córdoba (Argentina).* Argentina : Ecología Austral, 2013. págs. 87-93. ISSN 1667-782X.
20. **DE LA ORDEN, E.A., QUIROGA, A., RIBERA JUSTINIANO, D., y MORLANS, M.C.** *Efecto del sobrepastoreo en un pastizal de altura.* Argentina : J. Cortina, 2006. págs. 142-147.
21. **BLANCO, Harold.** *Áreas de recarga de la parte media-alta de las microcuencas Palo, Marín y San Rafaelito, San Carlos, Costa Rica.* Costa Rica : Research Journal, 2010. págs. 181-204. ISSN: 1659-441X.
22. **CARLOS GOMEZ, Guillermo et al.** *Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas.* Huancayo : s.n., 2013.
23. **BERNAL, Isabel y TAVERA, Hernando.** *Geodinámica, Sismicidad y Energía en Perú.* Lima, Perú : Instituto Geofísico del Perú, 2002.

24. **FEO BASTO, Jose Vicente.** Diversidad de paisajes de América. [ed.] William MEJIA BOTERO. *Latitudes 7, Geografía de América*. 1ª ed. Colombia : Norma S.A., 2002, pág. 23.
25. **AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA.** *Inventario Nacional de Glaciares y Lagunas*. Huaraz, Perú : s.n., julio de 2014.
26. **INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ.** *Cambio Climático en la cuenca del río Mantaro: Balance de 7 años de estudio*. INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ, Lima, Perú : Biblioteca Nacional del Perú, julio de 2010.
27. **HEUVELDOP, Jochen et al.** El ciclo hidrológico. *Agroclimatología Tropical*. Costa Rica : Universidad Estatal a Distancia (EUNED), 1986, pág. 371.
28. **MADEREY RASCON, Laura E.** Precipitación. [aut. libro] Elena Maderey. *Principios de Hidrografía: Estudio del ciclo Hidrológico*. 1ª ed. México : Universidad Autónoma de México, 2005, pág. 100. Colaboración de JIMENEZ ROMAN, Arturo.
29. **VALVERDE CORNEJO, Juan Carlos.** Infiltración del agua en el suelo. *Riego y Drenaje*. 1ª ed. San José : Universidad Estatal a Distancia, 2007, pág. 244.
30. **APARICIO MIJARES, Francisco J.** Evapotranspiración y transpiración. [aut. libro] Francisco Aparicio. [ed.] Grupo Noriega. *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. 1ª ed. México : Limusa Noriega, 2010, pág. 299.
31. **MARTINEZ ALFARO, Pedro E., MARTINEZ SANTOS, Pedro y CASTAÑO CASTAÑO, Silvino.** El agua en las rocas. *Fundamentos de hidrogeología*. España : Mundi-Prensa Libros S.A., 2006, pág. 284.
32. **RUBIO CAMPOS, Juan Carlos.** Acuíferos y manantiales. *Guía de manantiales de la provincia de Granada: una visión sobre su origen y naturaleza*. s.l. : IGME, 2006, pág. 30.
33. **ORDOÑEZ GALVEZ, Juan Julio.** *Aguas Subterráneas-Acuíferos*. [ed.] Sociedad Geográfica del Perú Lima. 1ª ed., Lima, Perú : Biblioteca Nacional del Perú, 2011. 978-9972-602-78-8.
34. **MATUS SILVA, Oscar Danilo.** *Elaboración participativa de una metodología para la identificación de zonas potenciales de recarga hídrica en subcuencas hidrográficas, aplicada a la subcuenca del río Jucuapa, Matagalpa Nicaragua*. Tesis magistral, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba : s.n., 2007.
35. **MARAUX, Florent y RAPIDEL, Bruno.** *Simulación del balance hídrico*. s.l. : Bib. Orton IICA/CATIE, 1990.
36. **SCHOSINSKY, Gunther.** *Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos*. San José : s.n., 2006. págs. 13-30.
37. **PORTA, Jaime, LOPEZ-ACEVEDO, M., ROQUERO, C.** El suelo como ente natural: Organización. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. 3ª ed. Madrid : Mundi -Prensa, 2003, pág. 960.

38. **NUÑEZ SOLIS, Jorge.** El perfil del suelo. *Fundamentos de edafología*. 1ª ed. San José : Universidad estatal a distancia EUNED, 2000, pág. 188.
39. **SANZ LLANO, J.** Identificación y clasificación de los suelos. *Mecánica de suelos: Reunión de Ingenieros*. París : Editores Técnicos Asociados S.A., 1975, pág. 221.
40. **CALIXTO FLORES, Raúl, HERRERA REYES, Lucila, HERNANDEZ GUZMAN, Verónica D.** Ecología y medio ambiente. *Ecología y medio ambiente*. México D.F. : Cengage Learning Editores, S.A., 2008.
41. **HOLDRIDGE, Leslie R.** El diagrama de las zonas de vida. [aut. libro] Leslie HOLDRIDGE. *Ecología basada en las zonas de vida*. Quinta reimpression. San José : Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 1978, págs. 13-26.
42. **INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL (INDECI) - CEPIG.** *Probable desembalse de la laguna Chuspicocha en el nevado de Huaytapallana y su probable impacto en la ciudad de Huancayo-Junín*. Lima, Perú : s.n., 2016.
43. **DIRECCIÓN ZONAL AGRORURAL PUNO.** *Manejo y conservación de praderas altoandinas: " Mejores suelos, mejores productos, mejor calidad de vida para el productor agrario*. Lima, Perú : s.n., 2014.
44. **FLORES MARTINEZ, Arturo.** Glosario de términos forrajeros. *Manual de Pastos y Forrajes Altoandinos*. Perú : ITDG AL, OIKOS, 2005, pág. 53.
45. **GILVONIO MUCHA, Clipton Aley.** *Zonificación agrostológica de las especies deseables en las praderas nativas altoandinas de la comunidad de CCarhuancho-Huancavelica*. Tesis de licenciatura, Universidad de Huancavelica. Huancavelica : Proyecto TTA, 2013.
46. **TOVAR, Oscar y OSCANOA, Luis.** *Guía para la identificación de pastos naturales alto andinos de mayor importancia ganadera*. 1ª ed. Huaráz : Instituto de Montaña, 2002.
47. **GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO.** *Indicadores ambientales Ayacucho*. Ayacucho, Perú : s.n., 2014.
48. **LEITON SOUBANNIER, Juan Santiago.** Relación suelo-agua-planta. *Riego y drenaje*. San José : Universidad Estatal a Distancia, 1985, pág. 180.
49. **COLEGIO DE POSTGRADUADOS.** Línea prioritaria de investigación: Plan estratégico. [En línea] c.a. 2007. [Citado el: 02 de julio de 2017.] http://www.colpos.mx/wb_pdf/Investigacion/LPI/lpi-8/PE%20LPI%208.pdf.
50. **SAN MIGUEL, A.** Pastos Naturales Españoles. *Universidad Politécnica de Madrid (UPM)*. [En línea] 2001. [Citado el: 02 de julio de 2017.] http://www2.montes.upm.es/Dptos/Dsrn/SanMiguel/PUBLICACIONES/2001-2005/SanMiguel_2001_Pastos_naturales.pdf.
51. **PEZO, Danilo e IBRAHIM, Muhammad.** Sistemas silvopastoriles. *Sistemas silvopastoriles*. 2ª ed. Costa Rica : Turrialba, C.R., 1999, Vol. (2).

52. **GUZMAN HANNESSEY, Manuel.** Glosario de términos y autores. *La generación del cambio climático: una aproximación desde el enfoque del caos.* 2ª ed. s.l. : Universidad del Rosario, 2010, pág. 388.

53. **HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto, FERNANDEZ COLLADO, Carlos y BAPTISTA LUCIO, Marial del Pilar.** Metodología de la investigación. *Metodología de la investigación.* 5ª ed. México D.F. : McGRAW-HILL, 2014.




54. **RODRIGUEZ, Dulce María y PEREZ ALVAREZ, Pedro.** *Determinación de la recarga hídrica potencial en la cuenca hidrográfica Guara, de Cuba.* s.l. : UNESCO, 2014. págs. 58-70. ISSN 1688-2873.

55. **RIVERA VELÁSQUEZ, Irma.** *Evaluación de praderas del Proyecto Conservación de Praderas.* [ed.] SENAMHI. 1ª ed., Lima, Perú : Ministerio del Ambiente – MINAM, mayo de 2013.

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

CORRELACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL DE PASTOS NATURALES CON LA RECARGA HÍDRICA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SHULLCAS COMO MEDIDA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL PERIODO JULIO - 2013 HASTA JUNIO - 2014

PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Cómo se relaciona la cobertura vegetal de pastos naturales con la recarga hídrica de la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio - 2013 hasta junio - 2014?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Identificar cómo se relaciona la cobertura vegetal de pastos naturales con la recarga hídrica de la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio - 2013 hasta junio -</p>	<p>A NIVEL INTERNACIONAL:</p> <ul style="list-style-type: none"> • RIOS, N, ANDRADE, H, & IBRAHIM, M. <i>Evaluacion de la recarga hidrica en sistemas silvopastoriles en paisajes ganaderos.</i> Costa Rica : Zootecnia tropical, 2008. pp. 183-186. • LIGIA, H. <i>Recarga de aguas subterranas en la cuenca del río Poas.</i> Costa Rica : s.n., 1993. 	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>El tipo de cobertura vegetal presenta una alta correlación con la recarga hídrica de la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio- 2013 hasta junio 2014.</p>	<p>VARIABLES GENERALES</p> <p>Variable 1</p> <p>Cobertura vegetal</p> <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pastos naturales - Especies arbóreas y pastos naturales - Área sin cobertura <p>Variable 2</p>	<p>Tipo:</p> <p>Investigación Aplicada</p> <p>Nivel:</p> <p>Correlacional.</p> <p>Diseño:</p> <p>No experimental, diseño transeccional o transversal del tipo correlacional – causal</p> <p>X  Y</p> <p>X1  Y</p> <p>X2  Y</p>

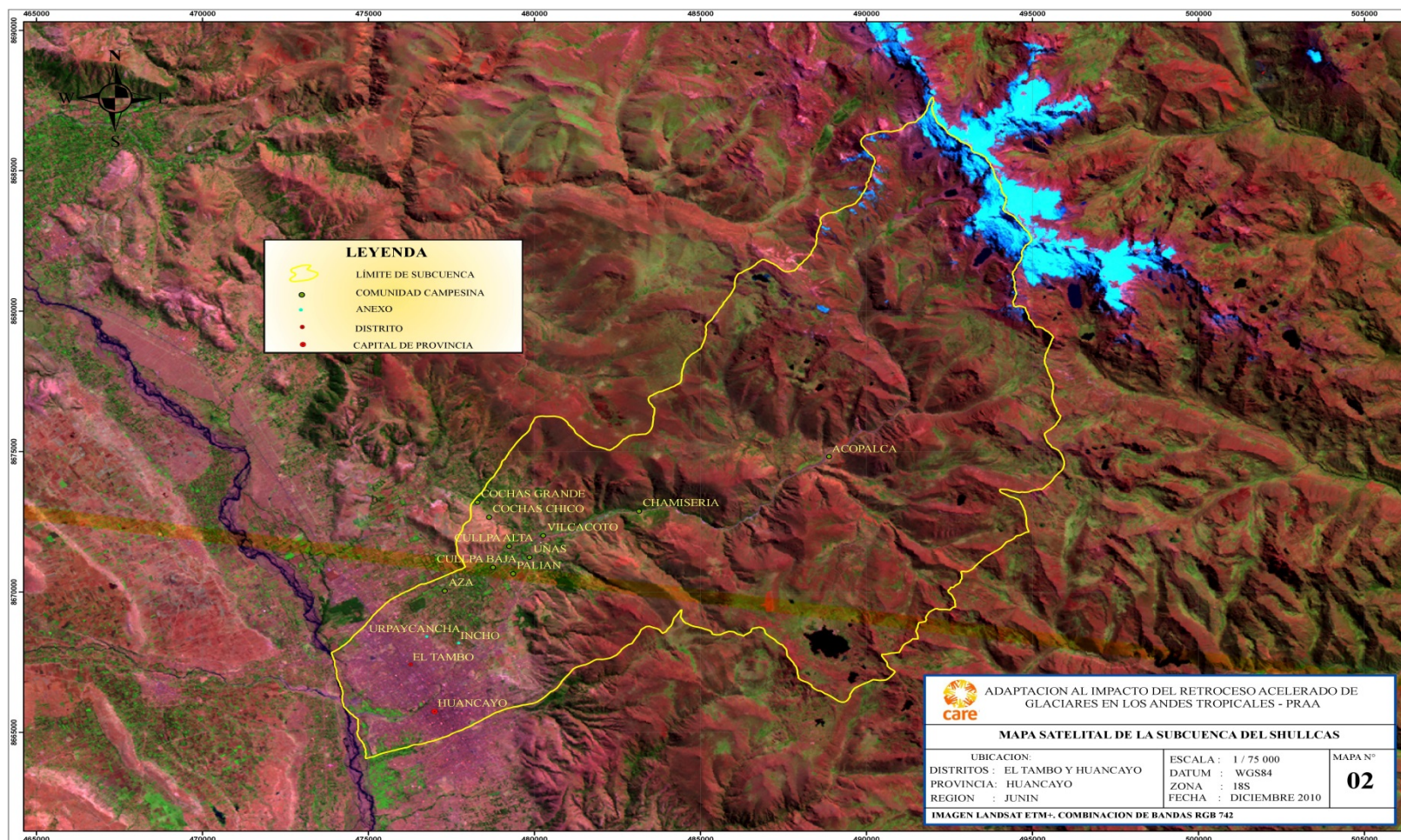
<p>• ¿Cuánto es la precipitación efectiva de la zona de cobertura vegetal de pastos naturales de la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio - 2013 hasta junio - 2014?</p> <p>• ¿Cuánto es la evapotranspiración real en la zona de cobertura vegetal de pastos naturales de la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al</p>	<p>2014.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la precipitación efectiva en la zona de cobertura vegetal de pastos naturales en la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio - 2013 hasta junio - 2014. • Estimar la evapotranspiración real en la zona de cobertura 	<p>pp. 137-151. I semestre de 1993.</p> <ul style="list-style-type: none"> • RIOS, ET. AL. <i>Escorrentia superficial e infiltracion en sistemas ganaderos convencionales y silvopastoriles en el tropico subhumedo de Nicaragua y Costa Rica.</i> Costa Rica : s.n., 2006. • HUBER, A., OYARZUN C. y ELLIES, A. <i>Balance hidrico en tres plantaciones de pinus radiata y una pradera.</i> Chile : BOSQUE, 1985. • OBBAGY, E., ACOSTA, A. y NOSETTO, M. <i>Rendimiento hídrico en cuencas primarias bajo pastizales y plantaciones</i> 	<p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • La precipitación efectiva en la zona de cobertura vegetal de pastos naturales es mayor que en la zona de cobertura vegetal de especies arbóreas y pastos naturales de la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al 	<p>Recarga hídrica</p> <p>Dimensiones</p> <p>Recarga potencial</p> <p>VARIABLES EPECIFICAS</p> <p>Variable especifica 1:</p> <p>Precipitación efectiva</p> <p>Dimensiones</p> <p>Precipitación efectiva (Pi) por diferentes tipos de cobertura vegetal</p> <p>Variable especifica 2:</p> <p>Evapotranspiración real</p> <p>Dimensiones</p> <p>Evapotranspiración real (ETR)</p>	<p>X: cobertura vegetal</p> <p>Y: Recarga hídrica</p> <p>X₁: Precipitación efectiva</p> <p>X₂: Evapotranspiración real</p> <p>Población y Muestra:</p> <p>Población: Cobertura vegetal de la subcuenca del río Shullcas</p> <p>Muestra: Tres zonas de estudio. Huishna, con presencia de especies de reforestación; Huaytapallana, con presencia de</p>
--	---	--	--	---	--

<p>cambio climático en el periodo julio - 2013 hasta junio - 2014?</p>	<p>vegetal de pastos naturales en la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio - 2013 hasta junio - 2014.</p>	<p><i>de pino de las sierras de Córdoba (Argentina).</i> Argentina : Ecología Austral, 2013. pp. 87-93.</p> <ul style="list-style-type: none"> • DE LA ORDEN, E., QUIROGA, A., RIBERA, D., y MORLAN, M. <i>Efecto del sobrepastoreo en un pastizal de altura.</i> Argentina : s.n., 2006. pp. 141-146. • BLANCO, H. <i>Areas de recarga de la parte media-alta de las microcuencas Palo, Marin y San Rafaelito, San Carlos, Costa Rica.</i> Costa Rica : Research Journal, 2010. <p>A NIVEL LOCAL:</p> <ul style="list-style-type: none"> • CARLOS, G., et al., et al. <i>Evaluación de la tasa</i> 	<p>cambio climático en el periodo julio-2013 hasta junio 2014.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La evapotranspiración real en la zona de cobertura vegetal de pastos naturales es mayor que en la zona de cobertura vegetal de especies arbóreas y pastos naturales de la cuenca alta del río 	<p>por diferentes tipos de cobertura vegetal</p>	<p>solo pastos naturales; Testigo sin cobertura vegetal.</p> <p>Técnicas e Instrumentos:</p> <p>Método: Balance hídrico $Rh = P_i + HSi - HSf - ETR$</p> <p>Técnicas de procesamiento de datos:</p> <p>Para el procesamiento y análisis de datos se utilizaron los software: SPSS Versión 22, CROPWAT versión 8.0, ArcGIS versión 10, y Microsoft</p>
--	--	--	--	--	--

		<p><i>de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas.</i> Huancayo : s.n., 2013.</p> <ul style="list-style-type: none"> • RODRIGUEZ, A. (2015) <i>Determinación de la recarga hídrica de acuíferos generados por el pino (Pinus radiata) como mediada de adaptación al cambio climático.</i> • MARAVI, F. (2015) <i>Contribución a la recarga hídrica de acuíferos por plantaciones de Colle (Buddleja coriacea) como mediada de adaptación al cambio climático en la cuenca</i> 	<p>Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio-2013 hasta junio 2014.</p>	<p>Office. Estadística: Prueba de Kolmogorov Smirnov distribución normal coeficiente de Correlación de Spearman</p>
--	--	---	--	--

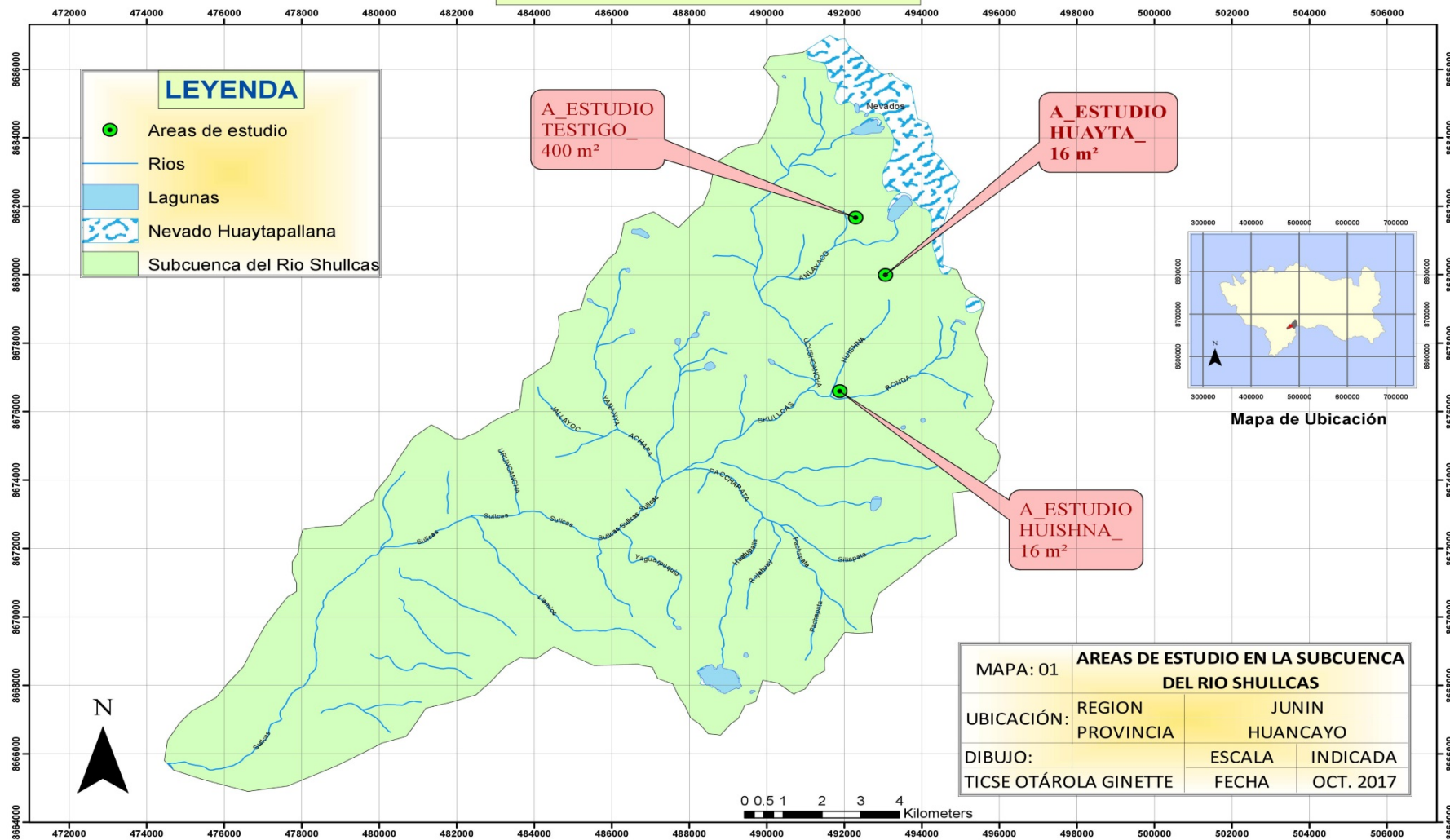
		<p><i>media del Shullcas.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • SERVICIOS EDUCATIVOS PROMOCIÓN Y APOYO RURAL Y CENTRO DE ESTUDIOS Y PROMOCIÓN DEL DESARROLLO. <p>Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales - PRAA. <i>Reforestación en la Subcuenca del río Shullcas.</i> Huancayo : s.n., 2010.</p>			
--	--	--	--	--	--

Anexo 2: Delimitación de la Subcuenca del río Shullcas,



Anexo 3: Delimitación de las zonas de estudio.

UBICACIÓN DEL ESTUDIO



Anexo 4: Ficha de obtención de datos para la delimitación de las zonas de estudio.

PLAN DE OBTENCIÓN DE DATOS

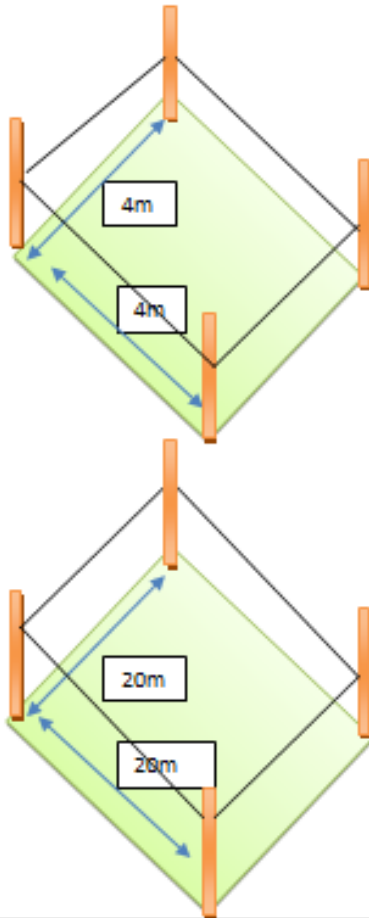
PROPÓSITO	
OBJETIVO: Reconocimiento y delimitación del área de estudio. PREGUNTA: ¿Cuál es la localización del área de estudio? ¿Cuál es el área de estudio?	
PLAN TEÓRICO	
¿Cuáles son las fuentes? - Mapa topográfico y político de la <u>subcuenca del Shullcas</u> - Guías.	¿Dónde se localiza? <u>Acopalca</u>
¿A través de que método vamos a recolectar los datos? - Observación (directa y estructurada) mediante uso de fichas de apunte y de registro. - Diagnóstico del lugar	¿De qué forma vamos a prepararlos para que puedan analizarse? - Fichas
1. Las variables a medir son: - Localización - Áreas 2. Las definiciones operacionales - Coordenadas: Latitud, Longitud, Altitud - Área: m ² 3. La muestra: Pastizales naturales.	

VARIABLE: SITUACION POLITICA	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ ACTIVIDAD 01: Determinar el <i>Anexo, Distrito, Provincia, Sub región, Región</i> al que pertenece la zona de estudio 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Localizar la zona de estudio según el mapa topográfico. ▪ Tomar fotografía de la zona de estudio a nivel general. ▪ Registrar el Anexo, Distrito, Provincia, Sub región, Región al que pertenece la zona de estudio. ▪ Determinar su ubicación con respecto a las fuentes hídricas y al nevado <u>Huaytapallana</u>. 	
INSTRUMENTOS	
De medición física: <ul style="list-style-type: none"> • Mapa Hidrográfico de la <u>subcuenca del Shullcas</u>. • Mapa topográfico y político de la <u>subcuenca del Shullcas</u>. 	De registro: <ul style="list-style-type: none"> • Libreta de apuntes • Cámara fotográfica • Fichas de registro

VARIABLE: UBICACIÓN GEOGRÁFICA

▪ **ACTIVIDAD 01:** *Delimitar las áreas de estudio y su ubicación*

- Localizar zonas de praderas tanto en pendiente como en ladera.
- Tomar fotografías de dichas zonas.
- Localizar áreas de crecimiento abundante como deficiente.
- Tomar fotografías de dichas áreas.
- Delimitar las zonas de estudio en áreas de 4m x 4m y 20mx20m para la zona testigo usando estacas como hitos.
- Tomar fotografía de las 3 áreas.
- Mediante el GPS determinar la altitud, latitud y longitud de cada punto por cada área.



- Colocar estacas pintadas en cada esquina y tomar las coordenadas de cada punto, 4 por cada zona de estudio

INSTRUMENTOS

De medición física:

- GPS
- Cinta métrica.
- Estacas de 1.50 m con una franja de 10 cm de color anaranjado en un extremo.
- Martillo

De registro:

- Libreta de apuntes
- Cámara fotográfica
- Fichas de registro

Tiempo estimado de trabajo: 4 horas

Anexo 5: Ficha de obtención de datos para la caracterización de las zonas de estudio.

PLAN DE OBTENCIÓN DE DATOS

PROPÓSITO	
<p>➤ OBJETIVO Realizar la caracterización fisiográfica y ecológica, además del muestreo de especies de cada área.</p> <p>➤ PREGUNTA ¿Cuál es la caracterización fisiográfica de las praderas de estudio? ¿Qué especies existen alrededor de cada área de estudio?</p>	
PLAN TEORICO	
<p>¿Cuáles son las fuentes?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pastos • Vegetación circundante • Mapa Ecológico • Mapa de pendientes 	<p>¿Dónde se localiza?</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Acopalca</u> – Pastizales
<p>¿A través de que método vamos a recolectar los datos?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Observación (directa y estructurada) mediante uso de fichas de apunte y de registro. • Clinómetro • Caracterización por el método de <u>Withaker</u> • Diagnóstico del lugar 	<p>¿De qué forma vamos a preparar los datos recolectados para que puedan analizarse?</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fichas de registro
<p>Las variables a medir son:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Caracterización fisiográfica ▪ Pendiente (%) ▪ Relieve (geomorfología) ▪ Caracterización ecológica ▪ Tipo de pastos ▪ Tamaño de pastos ▪ Condiciones fisiológicas ▪ Tipo de vegetación circundante. 	

VARIABLE: CARACTERIZACION FISIOGRAFICA	
<p>▪ ACTIVIDAD 01: Determinar pendientes y relieves</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Determinar la pendiente en las 3 áreas delimitadas, 5 veces por área. ▪ Tomar fotografías. ▪ Determinar el relieve en las 3 áreas delimitadas. ▪ Tomar fotografías. ▪ Registrar los datos. ▪ Aplicar formula con valores en cm <p>Pendiente (%) = $\frac{\text{distancia vertical}}{\text{distancia horizontal}} \times 100$</p> <div style="text-align: center;"> </div>	
INSTRUMENTOS	
<p>De medición física:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Clinómetro (barras de madera de 1 m stada en el extremo una cuerda con una pesa) • <u>Wincha</u>. 	<p>De registro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Libreta de apuntes • Cámara fotográfica • Fichas de registro

VARIABLE: <i>CARACTERIZACION FISIOLOGICA</i>	
<ul style="list-style-type: none"> ACTIVIDAD 01: <i>Identificar y caracterizar cada área delimitada</i> 	
<ul style="list-style-type: none"> Identificar los tipos de pastos existentes. Tomar fotografías. Determinar el tamaño de los tipos de pastos identificados en promedio. Tomar fotografías. Registrar las condiciones de los pastos como densidad y proporción. 	
INSTRUMENTOS	
De medición física: <ul style="list-style-type: none"> Wincha 	De registro: <ul style="list-style-type: none"> Libreta de apuntes Cámara fotográfica Fichas de registro

VARIABLE: <i>ECOLOGIA</i>	
<ul style="list-style-type: none"> ACTIVIDAD 01: <i>Identificar la vegetación circundante</i> 	
<ul style="list-style-type: none"> Identificar especies vegetales en cada área delimitada. Tomar fotografías. Recoger muestras de cada planta y colocarlos en un tablero. Tomar fotografías. Registrar los datos. 	
INSTRUMENTOS	
De medición física: <ul style="list-style-type: none"> Registro de la ecología de la cuenca de <u>Shullcas</u> Tablero de 30x30 cm. 	De registro: <ul style="list-style-type: none"> Libreta de apuntes Cámara fotográfica Fichas de registro

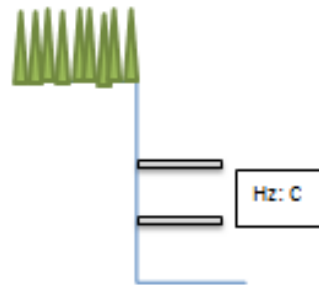
Anexo 6: Ficha de obtención de datos para el muestreo de suelos.

PLAN DE OBTENCIÓN DE DATOS

PROPÓSITO	
OBJETIVO: Muestreo de suelos y caracterización física de la muestra PREGUNTA: ¿Cómo se realizara la toma de muestra de suelos? ¿Cuál es el textura y composición de los suelos?	
PLAN TEÓRICO	
¿Cuáles son las fuentes? - Fuentes secundarias (libros).	¿Dónde se localiza? Acopalca
¿A través de que método vamos a recolectar los datos? - Calicatas - Método de muestreo por juicio de experto.	¿De qué forma vamos a prepararlos para que puedan analizarse? - Fichas
1. Las variables a medir son: - Horizontes del suelo - Textura. 2. Las definiciones operacionales - Área m ² - Profundidad m 3. La muestra: Pastizales naturales.	

VARIABLE: MUESTREO DE SUELO
Objetivo: Describir características y pendiente en el área, obtener la muestra de suelo.
Para calicatas y textura de suelos > Describir las condiciones de muestreo, clima, temperatura. > Señalar los puntos haciendo un aspa cubriendo toda el área. > Cavar un espesor de 1 m ancho x 0,7 m largo y de profundidad hasta visualizar los diferentes horizontes. > Anotar los horizontes encontrados y su espesor > Obtener muestra del horizonte C y guardar en bolsas herméticas para a análisis granulométrico.
Muestreo de suelos para contenido de N,P, K y materia orgánica > Señalar los puntos haciendo un aspa cubriendo toda el área. > Raspar aproximadamente 3cm de la superficie del terreno en cada punto de muestreo, para eliminar la cobertura vegetal. > Obtener de 2 a 3 cm de espesor de la pared del hueco del horizonte Ap y depositarlo en un balde. > Mezclar cada muestra y obtener la muestra representativa, no debe ser menor a 1 kg.

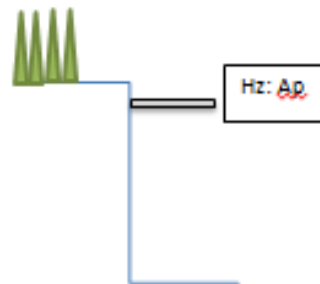
Calicata y muestreo para textura de suelos



Muestreo para contenido de N,P, K y materia orgánica

Tabla 2.1.1. Cifras orientativas de espesor de muestreo

Cultivos	Muestra superficial cm	Muestra profunda cm
Praderas	0 - 10	Ninguna
Herbáceos y frutales en no cultivo	0 - 20	20 - 40
Frutales labrados	0 - 30	30 - 50



INSTRUMENTOS

De medición física:

- Wincha.
- GPS.
- Pala.
- Barreno
- Balde.
- Bolsa plástica previamente rotulada.

De registro:

- Libreta de apuntes
- Lapicero
- Cámara fotográfica

Anexo 7: Precipitaciones para las áreas de estudio Huaytapallana y Testigo

DIA	2013						2014					
	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
1	0	0	0	0	0	2.286	0	0.508	0	0.508	0.254	0
2	0	0	0	5.334	0	8.128	7.112	1.524	2.54	1.016	0.508	0
3	0.762	0	0	0	1.778	19.812	3.556	12.704	4.064	6.35	5.842	0
4	2.032	0.254	0	1.016	13.97	7.62	4.572	0	19.05	6.604	1.524	0
5	1.524	0	0	4.064	15.494	7.366	23.876	3.81	2.54	9.652	0	0
6	0.762	0	0	5.334	18.032	5.08	6.35	1.778	2.032	0.508	2.794	0
7	0.508	1.778	0	4.064	0	1.524	13.462	0.508	0.508	0.254	0	0
8	0	0	3.048	0.254	0	8.636	9.144	10.414	19.812	0	3.048	0
9	0	0.254	0	4.572	0	23.114	6.35	15.748	6.858	6.35	2.286	0
10	0	0	1.524	5.08	4.064	10.922	11.684	5.08	4.064	2.032	2.032	2.032
11	0	0.508	0.762	2.032	2.54	6.604	12.446	2.794	10.668	6.35	1.524	0
12	0	0	1.778	1.524	4.318	20.828	6.096	12.7	1.778	0	1.524	0
13	0	0	1.27	0.762	2.032	5.588	6.604	2.794	17.526	0.508	0.508	0
14	0	0	3.302	18.796	2.54	16.256	1.778	15.494	8.382	2.794	0.254	0
15	4.318	0	0.254	11.43	3.81	8.382	6.604	8.382	12.954	0.254	0.254	0
16	1.27	0	4.572	1.778	0	4.572	2.794	3.81	17.526	0.254	0.508	0.254
17	0.254	0	5.334	2.54	0.254	6.35	8.89	3.81	7.112	0.254	1.778	0.254
18	1.524	0	5.08	0	0.254	0	3.048	1.524	10.922	0.254	3.81	0
19	0.254	0	19.05	5.588	2.286	0.254	11.938	3.81	9.652	1.016	0	0
20	1.27	0	0.254	0	0	0	28.194	2.032	1.778	0	2.286	0
21	0.254	0	0.762	0	4.572	2.794	0.254	4.318	4.318	0	6.096	0
22	0	2.032	0	0	2.032	5.08	1.778	4.064	4.318	0	0	0
23	0	1.016	0	5.588	2.032	8.636	1.27	7.366	1.778	2.286	0	0
24	0	2.286	5.588	4.572	0	26.156	1.778	7.112	9.652	3.81	0	0
25	5.588	3.048	0	13.716	2.794	2.286	4.572	4.572	2.794	1.27	0	0
26	0	6.858	0	17.272	0	4.318	0	3.302	3.556	0.508	0	1.27
27	0	1.524	1.27	4.318	0.508	1.524	3.81	11.684	9.906	0	0	0
28	0	1.524	1.016	4.318	0	4.826	6.604	4.318	2.032	0	0	0.254
29	0	0	0	7.874	0.254	1.27	8.382		0.254	9.144	0	0.762
30	0	0	0	7.62	6.096	3.302	11.43		0	14.732	0	2.54
31	0	0		3.302		3.302	2.54		6.35		0	

Anexo 8: Precipitaciones para el área de estudio Huishna.

DIA	2013						2014					
	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
1	0.0	0	0	3.4	0.0	0.5	0	6.2	0.0	0	0	0.0
2	7.2	0	0	0	0.7	5.8	0	6.4	0.0	2.2	0	0.0
3	0.0	0	0	0.2	1.8	9.2	4.5	3.5	19.2	3	1.8	0.0
4	4.3	0	0	0	27.4	6.8	23.2	1.3	8.0	3.2	3.6	0.0
5	3.0	0	0	8.5	16.0	3.5	5.2	0.9	0.0	0	1	0.0
6	0.0	0	0	1.7	0.0	4.4	12	9.2	0.0	0	1.8	0.0
7	0.0	0	0	0	0.0	7.8	3	7.5	7.2	0	0	0.0
8	0.0	1.5	0	6.3	0.0	7.2	9.4	6.4	10.0	3.8	0	0.0
9	0.0	0	2	0.6	0.0	17.5	11.7	14.9	0.0	2.8	0.5	0.0
10	0.0	1.4	0.2	4.2	3.2	7.4	9.9	0.0	8.6	10.4	1	0.0
11	0.0	0	0	2.7	1.2	7.4	0	2.4	0.7	0	0	0.0
12	0.0	0	1.1	1.5	8.5	4.2	3.4	5.1	12.2	0	0.2	0.0
13	0.0	0	6.7	10.3	0.0	6.2	0	4.0	3.8	0	0	0.0
14	0.0	0	0	7.6	1.0	2.2	0.4	2.8	10.7	0	2.8	0.0
15	10.0	0	0	2.8	0.0	6.5	10.5	8.3	4.2	0	0.5	0.0
16	0.0	0	21.9	1.5	0.0	9.7	13.4	0.8	5.6	0	6.4	0.0
17	0.0	0	7.6	0	0.0	2.1	0.3	10.0	7.5	0	7.2	0.0
18	0.3	0	29.2	0	0.0	0	4.3	4.2	10.1	0.5	0.3	0.0
19	0.0	0	3.8	0	2.8	3.5	17.7	0.6	33.0	0	0	0.0
20	0.0	0	0	0	0.0	0	7	0.0	0.5	0	4.2	0.0
21	0.0	0	1.5	0	1.0	6.4	1.9	0.0	7.7	0	0	0.0
22	0.0	0.6	0	0	0.0	2.6	4	2.4	0.0	0	0	0.0
23	0.0	0.7	5	3.4	0.0	16.5	0	3.0	13.1	1.5	0	0.0
24	0.0	0	0	3.2	0.0	0.8	4.7	4.6	0.8	6	0	0.0
25	0.2	6.4	0	10.2	0.0	2.8	1.2	0.5	1.3	1.5	0	0.0
26	0.0	1.4	0	6.7	0.0	0	0	0.0	6.0	0.2	0	0.6
27	0.0	11.3	5.4	4.4	0.0	13.2	7.2	3.9	0.0	0	0	0.0
28	0.0	8.3	3.2	22	0.0	5.2	7.9	0.0	4.8	0	0	0.0
29	0.0	0	3.6	2	0.0	2.5	8.2		0.0	8	0	0.6
30	0.0	0	4	2.3	1.8	2.5	12.1		0.0	2	0	0.0
31	0.0	0		0		0	4.4		0.0		0	

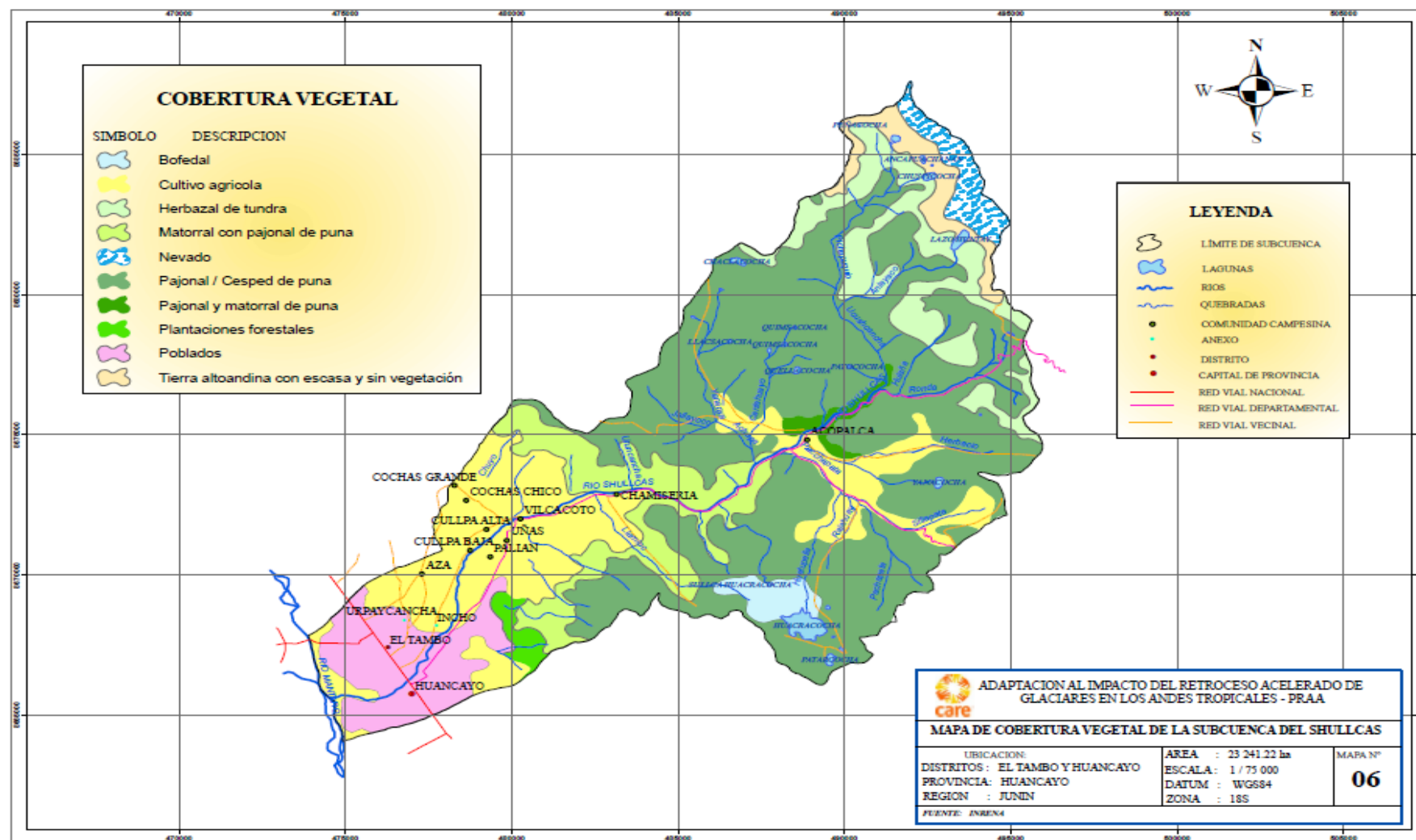
Anexo 9: Ficha de obtención de datos de prueba de infiltración de suelos

PROPÓSITO	
<p>➤ OBJETIVO Realizar la prueba de infiltración básica de suelos</p> <p>➤ PREGUNTA ¿Cuál es la velocidad de infiltración de los suelos? ¿Cuál es la infiltración básica de los suelos?</p>	
PLAN TEORICO	
<p>¿Cuáles son las fuentes?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pastos • Vegetación circundante • Mapa Ecológico • Mapa de pendientes 	<p>¿Dónde se localiza?</p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>Huishna</u> • <u>Huaytapallana</u> • Testigo
<p>¿A través de que método vamos a recolectar los datos?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Observación directa mediante uso de fichas de apunte y de registro. • Método de cilindro de <u>porchet</u> 	<p>¿De qué forma vamos a preparar los datos recolectados para que puedan analizarse?</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ En la bitácora de apuntes
<p>Las variables a medir son:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tiempo en min ▪ Altura en cm ▪ Profundidad de enterramiento del cilindro ▪ Litros de agua utilizado ▪ Radio del cilindro 	
<p>VARIABLE: <i>Infiltración básica de suelos</i></p>	
<p>ACTIVIDAD 01: Realizar la prueba de infiltración básica de suelos</p>	
<p>1.20m</p> <p>1.10m</p> <p>10 cm enterrado la base</p> <p>Medir la distancia vertical con la <u>wincha</u>.</p>	
INSTRUMENTOS	
<p>De medición física:</p> <ul style="list-style-type: none"> • centímetro • <u>Wincha</u> • Cronometro 	<p>De registro:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Libreta de apuntes • Cámara fotográfica

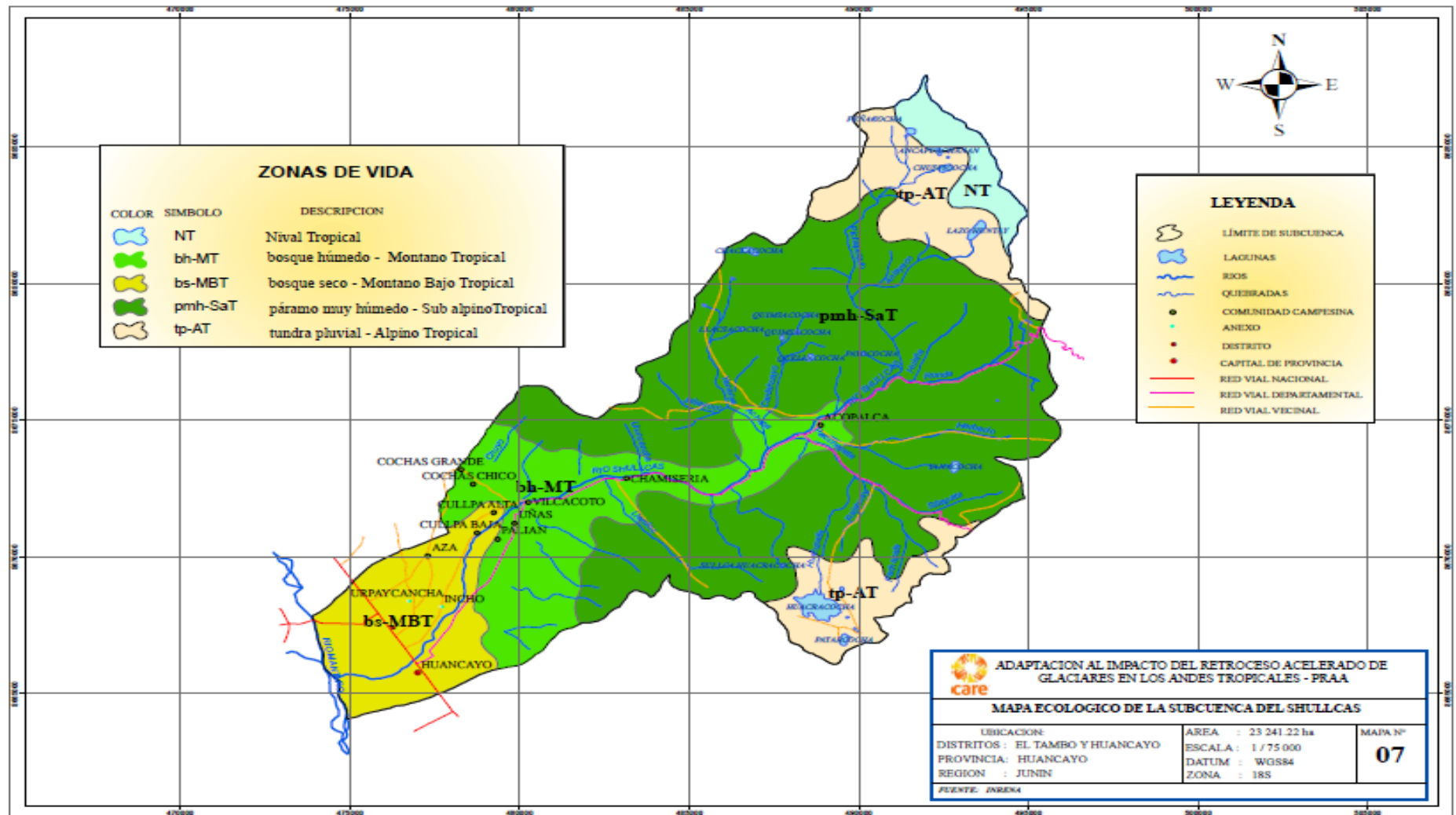
Anexo 10: Formato de ingreso de datos de obtención de recarga hídrica

Area de Recarga Hídrica: ???	Subcuenca: ???		Cobertura: ???		Suelo: ???		Precipitación: ???						
fc [mm/d]	??												
Kp [0.01 %]	??												
Kv [0.01 %]	??			Por peso									
Kfc [0.01 %]	??			(%)	(mm)								
Ci [0.01 %]	??		CC	??	??								
DS (g/cm3)	??		PM	??	??								
PR (mm)	??		(CC-PM)	??	??								
Hsi(mm)	??												
Mes con que inicia Hsi:	??												
Cfo:	??												
Concepto	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total
P (mm)	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??
Ret [mm]	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??
Pi (mm)	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??
ESC (mm)	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??
ETP(mm)	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??
Hsi(mm)	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??
C1	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??
C2	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??
HD (mm)	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??
ETR (mm)	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??
Hsf (mm)	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??
Rp (mm)	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??	??

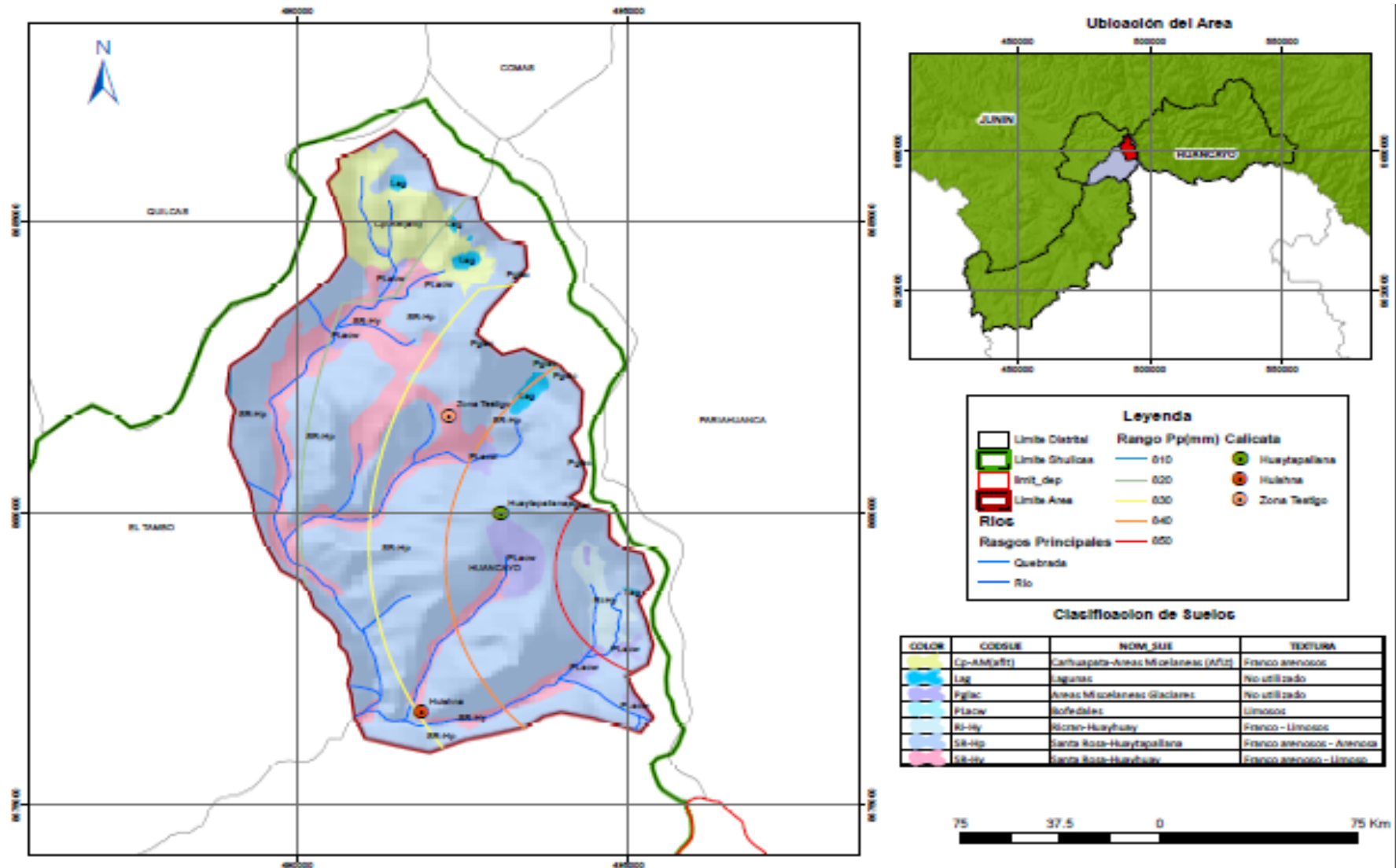
Anexo 11: Mapa de cobertura vegetal de la subcuenca del río Shullcas.



Anexo 12: Mapa de zonas de vida de la Subcuenca del río Shullcas.



Anexo 13: Mapa de precipitaciones en las zonas de estudio.



Anexo 14: Evapotranspiración Potencial para las zonas de estudio Huaytapallana y Testigo

ETO PENMAN-MONTEITH MENSUAL DATOS

(Archivo: H:\TITULO\TESIS OCTUBRE 2017\CROPWAT\HUAYTAPALLANA MENSUAL ETO.PEM)

País: PERÚ
 Altitud: 4684 m.

Estación: HUAYTAPALLANA
 Latitud: 11.90 °S Longitud: 75.10 °W

Mes	Prom Temp °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ETo mm/mes
Enero	3.2	83	2	5.9	19.4	90.35
Febrero	3.3	84	2	5.3	18.3	77.96
Marzo	3.2	83	2	5.4	17.8	82.25
Abril	3.0	80	2	6.3	17.6	74.53
Mayo	3.3	69	2	8.2	18.4	73.93
Junio	3.5	62	2	9.4	18.8	70.41
Julio	1.1	68	2	7.4	16.7	64.08
Agosto	2.2	62	2	7.8	18.9	75.33
Septiembre	2.6	70	2	8.1	21.2	86.93
Octubre	3.1	79	2	6.7	20.2	90.98
Noviembre	3.9	72	2	7.1	21.1	94.74
Diciembre	3.1	82	2	5.4	18.5	87.20
Promedio	3.0	75	2	6.9	18.9	968.68

Anexo 15: Evapotranspiración Potencial para la zona de estudio Huishna

ETO PENMAN-MONTEITH MENSUAL DATOS

(Archivo: H:\TITULO\TESIS OCTUBRE 2017\CROPWAT\ACOPALCA MENSUAL ETO.PEM)

País: PERÚ

Estación: ACOPALCA

Altitud: 3839 m.

Latitud: 11.90 °S

Longitud: 75.10 °W

Mes	Prom Temp °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ETo mm/mes
Enero	5.9	74	1	5.9	19.4	91.39
Febrero	8.4	77	2	5.3	18.3	82.65
Marzo	7.9	74	1	5.4	17.8	87.60
Abril	7.5	74	1	6.3	17.6	78.96
Mayo	7.6	74	1	8.2	18.4	79.86
Junio	5.5	66	1	9.4	18.8	70.22
Julio	5.5	66	1	7.4	16.7	66.45
Agosto	6.5	58	2	7.8	18.9	78.76
Septiembre	7.3	62	1	8.1	21.2	91.41
Octubre	8.2	71	2	6.7	20.2	97.46
Noviembre	8.5	65	2	7.1	21.1	99.96
Diciembre	8.2	76	1	5.4	18.5	94.78
Promedio	7.3	70	1	6.9	18.9	1019.48

Anexo 16: Análisis granulométrico de las tres zonas de estudio

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : CARE PERU
 PROCEDENCIA : JUNIN/ HUANCAYO/ HUANCAYO
 REFERENCIA : H.R. 44339
 FACTURA : 26228
 FECHA : 03/04/2014

Número Muestra		% Arena muy Gruesa	% Arena Gruesa	% Arena Media	% Arena Fina	% Arena Muy Fina	% Limo	% Arcilla
Lab	Claves	2.00 - 1.00mm.	1.00 - 0.50mm.	0.50 - 0.25mm.	0.25 - 0.10mm.	0.10 - 0.05mm.		
1401	2- Calicata Testigo-Zona Laguna Chuspicocha	19.14	15.66	11.90	8.88	12.58	22.08	9.76
1402	2-Polylepis Racemosa-Huishna	17.52	18.24	14.60	10.32	13.58	18.02	7.72
1403	2-Colle Budleja Coriacea, Tingo-Huishna	8.68	16.50	19.26	13.12	13.44	20.15	8.85
1404	2-Colle Budleja Coriacea, Hilashnicoc Chamisería	2.78	4.16	6.06	8.64	20.96	35.10	22.30
1405	2-Zanjas de Infiltración-Huishna-Ronda	11.86	14.06	14.34	12.64	14.10	22.46	10.54
1406	2-Zanjas de Infiltración-Zona Huaytapallana	12.78	16.14	15.22	11.98	14.20	23.86	5.82

Dr. Sady García Bendezú
Jefe del Laboratorio

Anexo 17: Resultados de propiedades físicas de suelos de las zonas testigo y Huaytapallana.

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : CARE
PROCEDENCIA : JUNIN/ HUANCAYO/ HUANCAYO
REFERENCIA : H.R. 46636
BOLETA : 11372
FECHA : 12/09/2014

Número Muestra		H.G.	D.A.	C.C.	P.M.
Lab	Claves	%	g/cm ³	%	%
3577	Muestra Testigo, Ubicación Testigo	4.66	1.82	8.96	4.05
3578	Muestra Pastos y Zanjias de Infiltración, Ubicación Huaytapallana	73.28	0.45	64.72	39.08
3579	Muestra Colle Buddleja Coriacea y KC, Ubicación Hilashnioc - Chamisería	3.90	1.38	29.56	16.99
3580	Muestra Pinus radiata, Ubicación Acopalca	30.41	0.63	47.74	28.41

Dr. Sady García Bendezú
Jefe del Laboratorio

Anexo 18: Resultados de propiedades físicas de suelos de la zona Huishna.

INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : CARE

PROCEDENCIA : JUNIN/ HUANCAYO/ HUAYTAPALLANA

REFERENCIA : H.R. 46354

FECHA : 26/08/2014

Número Muestra		D.A.	C.C.	P.M.	M.O.	Humedad
Lab	Claves	g/cm ³	%	%	%	Inicial %
3233	Muestra PR-1 Zona de Estudio N° 1 Huishna	0.76	37.34	23.13	10.70	37.31
3234	Muestra PR-2 Zona de Estudio N° 2	0.99	33.15	20.19	7.14	23.82

Dr. Sady García Bendezú
Jefe del Laboratorio

Anexo 19: Resultados de propiedades químicas del suelo de Huishna



SERVICIO DE LABORATORIO

Laboratorio de Servicio de Suelos : Teléfonos : 24-8206 y 24-7011
 NOMBRE : CARE PERU - TICSE OTAROLA GINETTE
 LOCALIDAD : HUISHNA - RONDA, ACOPALCA, HUANCAYO, JUNIN

RESULTADOS DE ANALISIS

1 pastos Ho "A"	054-14	18/03/2014
Potrero	Nº de Laboratorio	Fecha

4.46		8.04	2.2	109		0.4		TEXTURA			
pH	C.E	M.O	P	K	Al	N	Mn	54.8	17.2	28	Fr
	mS/cm	%	(ppm)	(ppm)	me/100 gr	%	(ppm)	Arena	Arilla	Limo	A

INTERPRETACION DE ANALISIS :

	Peligroso	Normal		BAJO	MEDIO	ALTO	
Acidez Extractable			Nitrógeno (N)	X			X
Reaccion del Suelo	X		Fósforo (P)		X		
Salinidad del Suelo			Potasio (K)				X
			% M.O.				

RECOMENDACIÓN DE NUTRIENTES DEL LABORATORIO DE SUELOS

NUTRIENTES	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg.	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	Kg/há	Kg/há	Kg/há	Kg/há	Kg/há	Kg/há	kg./ha	Kg./ha	Kg./ha
Mínimo									
Máximo									
Recomendaciones y observaciones Especiales									
Cultivo	DATOS								
Recomendaciones de fertilizantes por el Especialista.									

Instituto Nacional De Innovación Agraria
 Estacion Experimental Santa Ana - Huancayo

Ing. Edwin Pariona Meza

Responsable de Laboratorio de Suelos

Anexo 20: Resultados de propiedades químicas del suelo de Huaytapallana



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA SANTA ANA HUANCAYO



SERVICIO DE LABORATORIO

Laboratorio de Servicio de Suelos : Teléfonos : 24-8206 y 24-7011
NOMBRE : CARE PERU - TICSE OTAROLA GINETTE
LOCALIDAD : ZONA HUAYTAPALLANA, HUANCAYO, JUNIN

RESULTADOS DE ANALISIS

2 pastos Ho "A"	055-14	18/03/2014
Potrero	Nº de Laboratorio	Fecha

								TEXTURA			
4.2	5.56	5.6	117		0.27			60.8	13.2	26	Fr
pH	C.E	M.O	P	K	Al	N	Mn	Arena	Arcilla	Limo	A
	mEq/cm	%	(ppm)	(ppm)	me/100 gr	%	(ppm)	%	%	%	

INTERPRETACION DE ANALISIS :

		Peligroso	Normal	BAJO		MEDIO	ALTO	
Acidez Extracelular				Nitrógeno (N)				X
Reaccion del Suelo	X			Fósforo (P)	X			
Salinidad del Suelo				Potasio (K)		X		
				% M.O.				X

RECOMENDACIÓN DE NUTRIENTES DEL LABORATORIO DE SUELOS

NUTRIENTES	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	kg/ha	Kg/ha	Kg/ha
Mínimo									
Máximo									
Recomendaciones y observaciones Especiales									
Cultivo	DATOS								
Recomendaciones de fertilizantes por el Especialista.									

Instituto Nacional De Innovación Agraria
Estacion Experimental Santa Ana - Huancayo

Ing. Edwin Pariona Meza
Responsable de Laboratorio de Suelos

Anexo 21: Resultados de propiedades químicas del suelo de Testigo



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
ESTACION EXPERIMENTAL AGROARIA SANTA ANA HUANCAYO



SERVICIO DE LABORATORIO

Laboratorio de Servicio de Suelos : Teléfonos : 24-8206 y 24-7011

NOMBRE : CARE PERU- MARAVI ARIOLA FABIOLA

LOCALIDAD : ZONA LAGUNA CHUSPICOCHA, HUANCAYO, JUNIN

RESULTADOS DE ANALISIS

testigo CA-1	059-2014	18/03/2014
Potrero	N° de Laboratorio	Fecha

pH	TEXTURA							Fr Ar A			
	C.E m/dsm	M.O %	P ppm	K ppm	Al me/100 gr	N %	Mn ppm				
7.43		0.54	3.47	150		0.027		52.8	21.2	26	
								Arena	Arrolla	Limo	
								%	%	%	

INTERPRETACION DE ANALISIS :

pH	Ligeramente	% M.O. Fósforo (P) Potasio (K) Nitrógeno	BAJO	MEDIO	ALTO
			X	X	
Aluminio (Al)	Alcalino		X	X	

RECOMENDACIÓN DE NUTRIENTES DEL LABORATORIO DE SUELOS

NUTRIENTES	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	kg/ha	Kg/ha	Kg/ha
Mínimo									
Máximo									
Cultivo	DATOS								

Instituto Nacional De Innovación Agraria
Estacion Experimental Santa Ana - Huancayo

Edwin Pariona Meza
Ing. Edwin Pariona Meza
Responsable de Laboratorio de Suelos

Anexo 22: Velocidad de infiltración zona Huishna

INFILTRACION ZONA 1-HUISHNA

I-1

Nivel de top soil (cm)	23
Altura de infiltracion (cm)	20
Radio del cilindro(cm)	30
Volumen (m ³)	0.06

t(min)	h(cm)	h(cm)	h(cm)	diferencial	Infiltracion (mm/hr)
0	54			0	0
5	41			13	1560
10	32	55		9	1080
15		51		4	480
20		44		7	840
25		38		6	720
30		33		5	600
35		29	51	4	480
40			47.5	3.5	420
45			42	5.5	660
50			38	4	480
55			34.5	3.5	420
60			31	3.5	420
65			27.5	3.5	420
promedio de velocidad de infiltracion (mm/hr)					660

Anexo 23: Velocidad de infiltración zona Huaytapallana

INFILTRACION ZONA 2-HUAYTAPALLANA

I-1

Nivel de top soil (cm)	16
Altura de infiltracion (cm)	20
Radio del cilindro(cm)	30
Volumen (m ³)	0.06

t(min)	h(cm)	h(cm)	diferencial	Infiltracion (mm/hr)
0	42		0	0
5	39		3	360
10	37.3		1.7	204
15	35.8		1.5	180
20	33.9		1.9	228
25	32.3		1.6	192
30	31		1.3	156
35	29.7		1.3	156
40	28		1.7	204
45	26.8		1.2	144
50	26		0.8	96
55	24.9		1.1	132
60	24		0.9	108
65	22.5	54	1.5	180
70		53	1	120
75		51	2	240
80		49.3	1.7	204
85		48.3	1	120
90		46.5	1.8	216
95		45.3	1.2	144
100		44	1.3	156
105		42.5	1.5	180
110		41.5	1	120
115		40	1.5	180
120		39	1	120
125		37.8	1.2	144
130		36	1.8	216
135		34.7	1.3	156
140		33.7	1	120
145		32	1.7	204
150		31	1	120
155		29.5	1.5	180
160		28.5	1	120
165		27.2	1.3	156
170		26.5	0.7	84
promedio de velocidad de infiltracion (mm/hr)				166

Anexo 24: Velocidad de infiltración zona testigo

INFILTRACION ZONA 3 -TESTIGO

I-1

Nivel de top soil (cm)	10
Altura de infiltracion (cm)	20
Radio del cilindro(cm)	30
Volumen (m ³)	0.03

t(min)	h(cm)	h(cm)	h(cm)	diferencial	Infiltracion (mm/hr)
0	40			0	0
5	29.71			10.29	1235
10	25.44			4.27	512
15	21.07	45.00		4.38	525
20		43.03		1.97	237
25		37.63		5.39	647
30		33.34		4.29	515
35		29.87		3.47	416
40		25.72		4.15	498
45		22.51		3.21	385
50		19.46		3.05	366
55		16.69		2.77	332
60		14.31		2.38	286
65		12.02	30.42	2.29	275
70			27.62	2.8	336
75			24.47	3.15	378
80			22.4	2.07	248
85			20.42	1.98	238
90			18.32	2.1	252
95			16.72	1.6	192
100			14.42	2.3	276
105			11.65	2.77	332
110			10	1.65	198
promedio de velocidad de infiltracion (mm/hr)					395

Anexo 25: Infiltración básica del suelo de Huishna

Huishna	R	h1	h2	t1	t2	f c(cm/min)	f c(mm/dia)
	30	54	41	0	5	0.05	693.71
		41	32	5	10	0.04	582.22
		55	51	10	15	0.01	195.53
		51	44	15	20	0.03	372.57
		44	38	20	25	0.02	356.39
		38	33	25	30	0.02	329.29
		33	29	30	35	0.02	289.15
		51	47.5	35	40	0.01	181.07
		47.5	42	40	45	0.02	306.11
		42	38	45	50	0.02	241.78
		38	34.5	50	55	0.02	227.03
		34.5	31	55	60	0.02	243.69
		31	27.5	60	65	0.02	262.98
Infiltración básica (mm/dia)							262.98

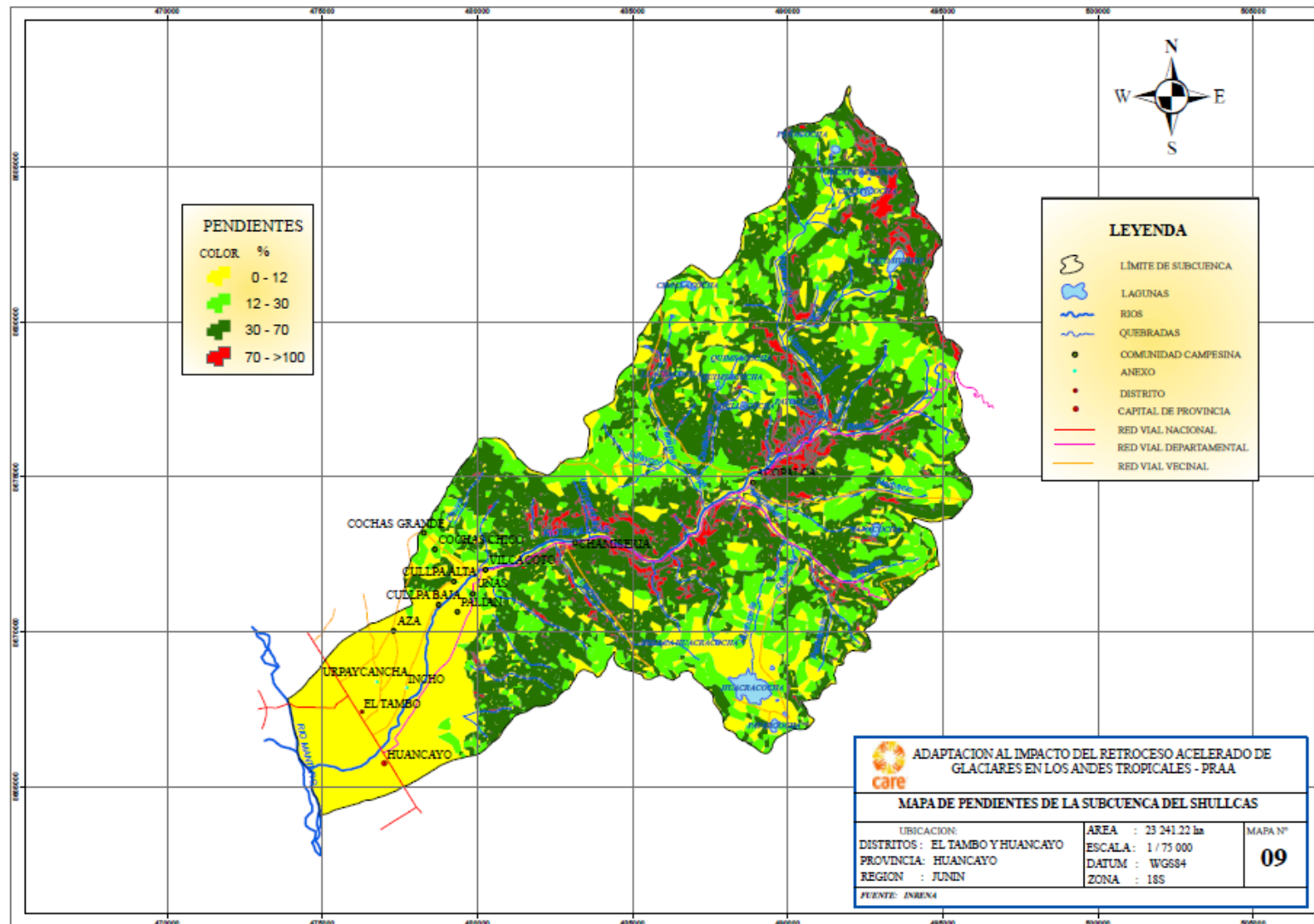
Anexo 26: Infiltración básica del suelo de Huaytapallana

Huaytapallana	R	h1	h2	t1	t2	fc (cm/min)	fc (mm/dia)
	30	42	39	0	5	0.00	68.70
		39	37.3	5	10	0.00	40.64
		37.3	35.8	10	15	0.00	36.97
		35.8	33.9	15	20	0.00	48.43
		33.9	32.3	20	25	0.00	42.27
		32.3	31	25	30	0.00	35.41
		31	29.7	30	35	0.00	36.43
		29.7	28	35	40	0.00	49.27
		28	26.8	40	45	0.00	35.96
		26.8	26	45	50	0.00	24.55
		26	24.9	50	55	0.00	34.55
		24.9	24	55	60	0.00	28.99
		24	22.5	60	65	0.00	49.83
		54	53	65	70	0.00	18.55
		53	51	70	75	0.00	37.93
		51	49.3	75	80	0.00	33.16
		49.3	48.3	80	85	0.00	19.92
		48.3	46.5	85	90	0.00	36.65
		46.5	45.3	90	95	0.00	25.04
		45.3	44	95	100	0.00	27.69
		44	42.5	100	105	0.00	32.72
		42.5	41.5	105	110	0.00	22.29
		41.5	40	110	115	0.00	34.19
		40	39	115	120	0.00	23.31
		39	37.8	120	125	0.00	28.55
		37.8	36	125	130	0.00	44.07
		36	34.7	130	135	0.00	32.81
		34.7	33.7	135	140	0.00	25.83
		33.7	32	140	145	0.00	45.15
		32	31	145	150	0.00	27.33
		31	29.5	150	155	0.00	42.12
		29.5	28.5	155	160	0.00	28.88
		28.5	27.2	160	165	0.00	38.55
		27.2	26.5	165	170	0.00	21.25
Infiltración básica (mm/dia)							21.25

Anexo 27: Infiltración básica del suelo de Testigo

Testigo	R	h1	h2	t1	t2	fc (cm/min)	fc (mm/dia)
	30	40	29.71	0	5	0.028	406.79
		29.71	25.44	5	10	0.014	196.89
		25.44	21.07	10	15	0.016	224.85
		45.00	43.03	15	20	0.005	65.68
		43.03	37.63	20	25	0.013	191.61
		37.63	33.34	25	30	0.012	167.07
		33.34	29.87	30	35	0.010	146.23
		29.87	25.72	35	40	0.013	190.75
		25.72	22.51	40	45	0.011	161.26
		22.51	19.46	45	50	0.012	166.49
		19.46	16.69	50	55	0.011	164.41
		16.69	14.31	55	60	0.011	153.29
		14.31	12.02	60	65	0.011	159.74
		30.42	27.62	65	70	0.009	124.94
		27.62	24.47	70	75	0.010	150.77
		24.47	22.4	75	80	0.007	105.78
		22.4	20.42	80	85	0.007	106.81
		20.42	18.32	85	90	0.008	120.02
		18.32	16.72	90	95	0.007	96.63
		16.72	14.42	95	100	0.010	147.81
		14.42	11.65	100	105	0.013	194.18
		11.65	10	105	110	0.009	125.50
Infiltración básica (mm/dia)							125.50

Anexo 28: Mapa de pendientes de la subcuenca del río Shullcas



Anexo 29: Balance hídrico de suelos en Huishna

Area de Recarga Hidrica: Huishna		Subcuenca: Rio Shullcas		Cobertura: Pastizales y Especies Arboreas			Suelo: F-Ar		Precipitacion: 1036 mm/año				
fc [mm/d]	21.25												
Kp [0.01 %]	0.06												
Kv [0.01 %]	0.18			Por peso									
Kfc [0.01 %]	0.72			(%)	(mm)								
Ci [0.01 %]	0.96		CC	37.34	85.1352								
DS (g/cm3)	0.76		PM	23.13	52.7364								
PR (mm)	300		(CC-PM)	14.21	32.3988								
Hsi(mm)	85.07												
Mes con que inicia Hsi:	Ago												
Cfo:	0.12												
Concepto	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total
P (mm)	25.00	31.60	95.20	105.50	65.40	164.40	187.50	108.90	175.00	45.10	31.30	1.20	1036.10
Ret [mm]	5.00	5.00	11.42	12.66	7.85	19.73	22.50	13.07	21.00	5.41	5.00	1.20	129.84
Pi (mm)	19.28	25.65	80.78	89.52	55.49	139.50	159.10	92.41	148.49	38.27	25.36	0.00	873.86
ESC (mm)	0.72	0.95	3.00	3.32	2.06	5.17	5.90	3.43	5.51	1.42	0.94	0.00	32.40
ETP (mm)	66.45	78.76	91.41	97.46	99.96	94.78	91.39	82.65	87.60	78.96	79.86	70.22	1019.50
Hsi(mm)	52.74	85.07	71.34	85.14	85.14	85.14	85.14	85.14	85.14	85.14	83.92	69.35	
C1	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.51	
C2	0.00	0.00	0.25	0.75	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	19.28	57.98	99.38	121.92	87.89	171.90	191.50	124.80	180.89	70.67	56.55	16.62	
ETR (mm)	19.28	39.38	56.95	85.52	49.98	94.78	91.39	82.65	87.60	39.48	39.93	16.62	703.56
Hsf (mm)	52.74	71.34	85.14	85.14	85.14	85.14	85.14	85.14	85.14	83.92	69.35	52.74	
Rp (mm)	0.00	0.00	10.03	4.00	5.51	44.72	67.71	9.76	60.89	0.00	0.00	0.00	202.63

Anexo 30: Balance hídrico de suelos en Huaytapallana

Área de Recarga Hídrica: Huaytapallana		Subcuenca: Río Shullcas			Cobertura: Pastizales			Suelo:		F-Ar/Ar-F		Precipitación 1254 mm /año	
fc [mm/d]		262.98											
Kp [0.01 %]		0.10											
Kv [0.01 %]		0.18			Por peso								
Kfc [0.01 %]		0.09			(%)	(mm)							
Ci [0.01 %]		0.37		CC	64.72	61.1604							
DS (g/cm3)		0.45		PM	39.08	36.9306							
PR (mm)		210		(CC-PM)	25.64	24.2298							
Hsi(mm)		69.25											
Mes con que inicia Hsi		Ago											
Cfo:		0.12											
Concepto	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total
P (mm)	20.32	21.08	54.86	142.75	89.66	226.82	216.92	155.96	204.72	76.71	36.83	7.37	1253.99
Ret [mm]	5.00	5.00	6.58	17.13	10.76	27.22	26.03	18.72	24.57	9.20	5.00	5.00	160.21
Pi (mm)	5.67	5.95	17.85	46.45	29.18	73.81	70.59	50.75	66.62	24.96	11.77	0.87	404.49
ESC (mm)	9.65	10.13	30.43	79.16	49.72	125.78	120.29	86.49	113.53	42.54	20.06	1.49	689.29
ETP(mm)	64.80	75.33	86.93	90.98	94.74	87.20	90.35	77.96	82.28	74.53	73.93	70.41	969.44
Hsi(mm)	36.93	69.25	37.53	36.93	37.90	36.93	61.16	61.16	61.16	61.16	48.86	36.93	
C1	0.23	1.00	0.76	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98	0.04	
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.35	0.00	0.00	0.00	
HD (mm)	5.67	38.27	18.46	46.45	30.14	73.81	94.82	74.98	90.85	49.19	23.70	0.87	
ETR (mm)	5.67	37.67	18.46	45.49	30.14	43.60	53.51	38.98	55.70	37.27	23.70	0.87	391.05
Hsf (mm)	36.93	37.53	36.93	37.90	36.93	61.16	61.16	61.16	61.16	48.86	36.93	36.93	
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.98	17.08	11.77	10.93	0.00	0.00	0.00	45.76

Anexo 31: Balance hídrico de suelos en Testigo

Area de Recarga Hidrica: Testigo		Subcuenca: Rio Shullcas		Cobertura: Insignificante		Suelo: F-a-Ar/F-Ar		Precipitacion: 1254 mm/año					
fc [mm/d]	125.50												
Kp [0.01 %]	0.06												
Kv [0.01 %]	0.01			Por peso									
Kfc [0.01 %]	0.55			(%)	(mm)								
Ci [0.01 %]	0.62		CC	8.96	1.63072								
DS (g/cm3)	1.82		PM	4.05	0.7371								
PR (mm)	10		(CC-PM)	4.91	0.89362								
Hsi(mm)	0.85												
Mes con que inicia Hsi:	Ago												
Cfo:	0.05												
Concepto	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Total
P (mm)	20.32	21.08	54.86	142.75	89.66	226.82	216.92	155.96	204.72	76.71	36.83	7.37	1253.99
Ret [mm]	3.00	3.79	5.00	7.14	5.00	11.34	10.85	7.80	10.24	5.00	3.76	0.14	73.05
Pi (mm)	10.70	10.68	30.81	83.79	52.31	133.14	127.33	91.55	120.17	44.31	20.44	4.46	729.71
ESC (mm)	6.62	6.61	19.05	51.82	32.35	82.33	78.74	56.61	74.31	27.40	12.64	2.76	451.23
ETP(mm)	64.80	75.33	86.93	90.98	94.74	87.20	90.35	77.96	82.28	74.53	73.93	70.41	969.44
Hsi(mm)	0.07	0.85	0.07	0.07	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.07
C1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
C2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HD (mm)	10.70	11.46	30.81	83.79	52.40	133.23	127.42	91.64	120.26	44.40	20.53	4.46	
ETR (mm)	10.70	11.46	30.81	45.49	47.37	87.20	90.35	77.96	82.28	37.27	20.53	4.46	545.87
Hsf (mm)	0.07	0.07	0.07	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.07	0.07
Rp (mm)	0.00	0.00	0.00	38.21	4.94	45.94	36.98	13.59	37.89	7.04	0.00	0.00	184.61

FOTOGRAFÍAS

Fotografía N° 1: Zona Huishna



Fotografía N° 2: Zona Huaytapallana



Fotografía N° 3: Zona Testigo



Fotografía N° 4: Caracterización vegetal en zona Huishna



Fotografía N° 5: Calicata de la zona Huishna



Fotografía N° 6: Calicata de la zona Huaytapallana



Fotografía N° 7: Muestreo de suelos en zona Huaytapallana



Fotografía N° 8: Muestra de suelos de zona Huishna



Fotografía N° 9: Prueba de infiltración de la zona Huishna



Fotografía N° 10: Prueba de infiltración de la zona Testigo



