



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA DE LOS SUELOS
EN LA MICROCUENCA CALA CALA - LLACHE, PUNO

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. OLIVER PALACIOS NINA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PUNO – PERÚ

2016



DEDICATORIA

A mis padres, Yolanda y Jacinto, por darme la existencia, otorgándome la oportunidad de prepararme, por la paciencia con mis errores, el apoyo incondicional, y enseñarme lecciones valiosas para esta vida. Los quiero.

A mi esposa Dei por los años dedicados y una labor admirable para conmigo, dentro de la comprensión y cariño que solo ella puede otorgar libremente.

A mis hermanos, Silvia, Arturo, Jessica, Joan y Daney, por su apoyo y ejemplos constantes, este logro también es suyo.

A la memoria de Víctor Alberto Cahui Vargas, por los momentos compartidos y los recuerdos de una etapa difícil en nuestras vidas estudiantiles.

A mis compañeros y amigos, Julio Ramos, Williams Velásquez, Johan Arce, y los que faltaron mencionar, gracias por su amistad y paciente compañerismo en los años de estudios compartidos.

Sinceramente Oliver.



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, por la oportunidad de educarme y ser mi alma mater, brindándome la oportunidad de culminar mi carrera, y por las experiencias dentro de ella.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, quienes contribuyeron con mi formación académica, que me brindaron conocimiento invaluable y valores éticos para ejercer mi vida profesional.

Al D.Sc. Germán Belizario Quispe por haber apoyado esta investigación, por el tiempo brindado y la dirección para realizar este trabajo.

Al Ing. Walter Suaña Contreras, por el tiempo brindado, la asesoría y dedicación para que este trabajo finalizara satisfactoriamente.

Al Ing. Alexander Quiso Laura, por el tiempo brindado, su apoyo y confianza para que este trabajo finalizara satisfactoriamente.

A los Ing. Humberto Román Yampara y Justino Velásquez, por su amistad y enseñanza en el área laboral para poder ampliar mis conocimientos y mejor desempeño.

A todos aquellos que día a día comparten su amistad y conocimientos para beneficio y desarrollo de sus compatriotas.

Sinceramente Oliver.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 12

ABSTRACT..... 13

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 14

1.2. ANTECEDENTES 15

1.3. JUSTIFICACIÓN..... 17

1.4. OBJETIVOS..... 18

1.4.1. Objetivo general..... 18

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO CONCEPTUAL 20

2.1.1. Cuenca hidrográfica..... 20

2.1.2. Concepto de suelo..... 21

2.1.3. Concepto de erosión..... 23

2.1.4. Erosión hídrica..... 24

2.2. ENERGÍA CINÉTICA 24

2.3. ESCORRENTÍA 24



2.4. EROSIÓN LAMINAR	25
2.5. EROSIÓN POR SURCOS	26
2.6. EROSIÓN EN CÁRCAVAS	26
2.7. FACTORES DE LA EROSIÓN HÍDRICA	26
2.7.1. Clima.....	26
2.7.2. Relieve	27
2.7.3. Suelo	27
2.7.4. Sistema de producción	27
2.7.5. Cobertura vegetal	28
2.7.6. Métodos para determinar la tasa de erosión hídrica.	28
2.7.6.1. Método de varillas marcadas	28
2.7.6.2. Cubicación de cárcavas.....	28
2.7.6.3. Parcelas de escurrimiento.....	29
2.7.6.4. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).....	29
2.7.6.5. Descripción de los Factores de la EUPS.....	30
2.8. EROSIÓN POTENCIAL	33
2.9. EROSIÓN TOLERABLE.	33
2.10. EL CLIMA	34
2.10.1. Factores del clima.	36
2.10.2. Elementos del clima.	38

CAPITULO III

METODOS Y MATERIALES

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.	45
3.1.1. Localización.....	45
3.1.2. Extensión territorial.	46



3.1.3. Topografía y morfología.....	47
3.2. ELEMENTOS CLIMÁTICOS DE LA CUENCA CALA CALA.....	48
3.2.1. Precipitación	48
3.2.2. Temperatura.....	49
3.2.3. Humedad relativa.....	50
3.2.4. Horas de sol.....	51
3.2.5. Evaporación	51
3.2.6. Evapotranspiración	52
3.3. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS	53
3.3.1. Clasificación de la capacidad de uso mayor de los suelos.....	53
3.3.2. Determinación de la pérdida de suelo por erosión hídrica.....	54
3.3.2. Determinación de los factores de la ecuación universal de pérdida del suelo	56

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CLASIFICACIÓN DE TIERRAS SEGÚN SU CAPACIDAD DE USO MAYOR.....	59
4.1.1. Las unidades cartográficas de capacidad de uso mayor de las tierras.	60
4.1.2. Grupos, clases y subclases de capacidad de uso mayor de las tierras.	61
4.1.2.1. Tierras aptas para cultivo en limpio.....	61
4.1.2.2. Tierras aptas para pastos	64
4.1.2.3. Tierras aptos para forestales	71
4.1.2.4. Tierras de protección	74
4.2. DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN DEL SUELO	74
4.2.1. Análisis de tormentas.....	75



4.2.2. Tabulación para el cálculo de la energía de la lluvia.....	75
4.2.3. Determinación de la intensidad máxima para 30 minutos.....	76
4.2.4. Determinación de la energía de la lluvia.	76
4.2.5. Determinación del índice de erosión.	77
4.2.6. Factor de erodabilidad del suelo (K).....	78
4.2.7. Determinación del factor LS.....	79
4.2.8. Factor de manejo de cultivos (C).....	80
4.2.9. Factor de prácticas de conservación de suelos (P).....	81
4.2.10. Pérdidas estimadas de suelo.....	82
4.2.11. Control de la erosión mediante la forestación con especies nativas.	83
V. CONCLUSIONES.....	86
VI. RECOMENDACIONES.....	87
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
ANEXOS.....	92
A.1. Suelos Ayrapuni (AY)	93
A.2. Suelo Cala Cala (CC).....	94
A.3. Suelos Huayane (HU)	95
A.4. Suelos Pichacani (PI)	96
A.5. Suelo Ajatira (AJ)	97
A.6. Suelo Tunila (TU).....	98
A.7. Suelo Huilacunca (HL)	99
A.9. Suelo Pucara (PU).....	101
A.10. Suelo Taurahuta (TA)	102
A.11. Suelo Milliraya (MI)	103
A.12. Suelo Accoccollo (AC).....	104



A.13. Suelo Calcuyo (CA)..... 105

ÁREA: Erosión

TEMA: Erosión hídrica en la microcuenca Cala Cala Llache

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 29 de enero 2016



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Extensión territorial microcuenca según unidades de producción (há)	46
Tabla 2.	Precipitación total mensual (mm) promedio multianual (1956-2009).....	48
Tabla 3.	Temperatura media mensual (°C) promedio multianual (1964 – 2007).....	49
Tabla 4.	Humedad relativa media mensual (%) promedio multianual	50
Tabla 5.	Horas de sol media mensual- promedio multianual.....	51
Tabla 6.	Evaporación total media mensual (mm) promedio multianual.....	52
Tabla 7.	Evapotranspiración potencial (mm/día).....	52
Tabla 8.	Valores del Factor L.S. para diferentes pendientes.....	56
Tabla 9.	Valores de cobertura C para diferentes condiciones de suelo.....	58
Tabla 10.	La superficie y porcentaje de tierras identificadas.....	60
Tabla 11.	Cálculo de la energía de precipitación en base al registro del pluviograma de Huancané.....	78
Tabla 12.	Factor de erodabilidad del suelo (K) para las parcelas en estudio	79
Tabla 13.	Factor de inclinación y longitud de la pendiente (LS) para los campos en estudio.	80
Tabla 14.	Pérdidas estimadas de suelo para las parcelas en estudio $A=R*K*LS*C*P$	82
Tabla 15	Valores continentales obtenidos por Fournier en términos promedios.....	83
Tabla 16.	Especies predominantes de dos evaluaciones expresadas porcentual.....	84



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	División de una cuenca hidrográfica: Subcuenclas y microcuenca	20
Figura 2.	Horizontes del suelo.....	22
Figura 3.	Proceso de erosión hídrica del suelo	23
Figura 4.	Transporte y sedimentación de las partículas de suelo desprendidas.	25
Figura 5.	Factores y elementos climáticos	35
Figura 6.	Localización de la microcuenca Cala Cala Llache.	47
Figura 7.	Modelo conceptual para la estimación de los niveles de pérdida de suelo (USLE).....	55



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

CO₂	: Dióxido de carbono
CP	: Centro poblado
DAP	: Disponibilidad a pagar
DAA	: Disponibilidad a aceptar
DIGESA	: Dirección General de Salud Ambiental
ECA	: Estándares de Calidad Ambiental
INACAL	: Instituto nacional de sanidad
INEI	: Instituto nacional de estadística e informática
JASS	: Juntas administradoras de servicios de saneamiento
MEF	: Ministerio de Economía y Finanzas
MINEDU	: Ministerio de Educación
MINSA	: Ministerio de Salud
LMP	: Límite máximo permisible
OMS	: Organización Mundial de la Salud
PEA	: Población económicamente activa
PIB	: Producto interior bruto
PRONOEI	: Programa no escolarizado de Educación Inicial
SENAMHI	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
UTM	: Unidad de Gestión Municipal



RESUMEN

La pérdida de suelos por erosión es un problema ambiental grave, la misma que pone en riesgo la seguridad alimentaria de la población en las últimas décadas; por lo tanto, es importante y necesario cuantificar esta pérdida a fin de plantear el plan de manejo de control la erosión causada por las tormentas de alta intensidad, y se ha planteado como objetivo: Clasificar las tierras de acuerdo con el sistema de capacidad de uso mayor, y determinar la producción de sedimentos de los suelos en el ámbito de la microcuenca Cala Cala Llache de la región de Puno; la metodología empleada para la ejecución del presente estudio fue enmarcada por las normas y lineamientos del Soil Survey y método denominado Ecuación Universal de Pérdida de Suelos de Wischmeier y Smith. Se ha llegado como resultados 3,192.23 has (15.10%) de tierras para cultivo en limpio, pertenecientes a subclase: A3c, A3ec, A3sec y 8,642.81 has (40.79%) son tierras aptas para pastos, pertenecientes a la subclase P1c, P1cw, P2c, P2cw, P2ec, P2sc, P2ecw, P2sec y P2w. 1,531.66 has (7.23%) tierras de protección y 26.90 has (0.13%) son áreas misceláneas con afloramientos rocosos. La pérdida en las parcelas de ensayo varía desde 9.88 a 32.13 tn/ha/año el promedio de pérdidas es de 13.69 tn/ha/año.

Palabras clave: Erosión hídrica, microcuenca Cala Cala, producción de sedimentos.



ABSTRACT

The loss of soils due to erosion is a serious environmental problem, the same one that has put the population's food security at risk in recent decades; therefore it is important and necessary to quantify the loss in order to propose the management plan to control the erosion caused by high intensity storms, and the objective has been: Classify the land according to the system of greater use capacity , and determine the production of soil sediments in the area of the Cala Cala Llache micro-watershed in the Puno region; The methodology used for the execution of this study was framed by the standards and guidelines of the Soil Survey and the method called Universal Soil Loss Equation by Wischmeier and Smith. As results, 3,192.23 hectares (15.10%) of lands for clean cultivation have been obtained, belonging to the subclass: A3c, A3ec, A3sec and 8,642.81 hectares (40.79%) are lands suitable for pasture, belonging to the subclass P1c, P1cw, P2c, P2cw, P2ec, P2sc, P2ecw, P2sec and P2w. 1,531.66 has (7.23%) protected lands and 26.90 has (0.13%) are miscellaneous areas with rocky outcrops. The loss in the test plots varies from 9.88 to 32.13 tn/ha/year, the average loss is 13.69 tn/ha/year.

Keywords: Water erosion, Cala Cala micro-watershed, sediment production.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el altiplano de la región de Puno, la pérdida de la capa arable de los suelos cultivables es uno de los principales problemas. La causa principal se debe al común denominador del mal manejo agronómico del recurso suelo por parte de los agricultores de la zona, causando la erosión hídrica, con el consecuente empobrecimiento del suelo y la pérdida de su productividad. Por las razones expuestas, la erosión incrementa los costos de producción agrícola, por disminuir los beneficios al agricultor o por elevar los precios de los alimentos a los consumidores. El efecto ocurre en forma directa al causar bajos rendimientos de cultivos o forrajes, incremento en el requerimiento de fertilización, dificultad en la labranza y aumento de los gastos por mantenimiento de las unidades de producción; por lo tanto, resulta una preocupación generalizada de parte de los agricultores que cada año vienen preocupándose de este álgido problema, por las razones expuesta que a través del presente trabajo de investigación se ha planteado de alguna manera atenuar la problemática.

La erosión del suelo agrícola es uno de los problemas importantes que en la actualidad afectan a la agricultura mundial y también a nuestro país, más de un 50% del suelo agrícola está clasificado con un riesgo medio-alto de erosión. La erosión puede producirse por la acción del viento y del agua, aunque en nuestro país, tiene más importancia es la hídrica. Cuando las gotas de lluvia chocan violentamente sobre el suelo desnudo, los agregados se rompen en partículas más pequeñas. Si el suelo se satura de agua, ésta se acumula sobre la superficie y forma una lámina que se va desplazando, cuando el terreno está en pendiente, arrastrando las partículas más pequeñas.



1.2. ANTECEDENTES

La pérdida de suelo por efectos de la erosión hídrica y constituye uno de los principales problemas a nivel mundial; la erosión reduce la capacidad del suelo de retener el agua (FAO, 1980). El Perú, es un país muy heterogéneo cuando nos referimos a las características de suelos relacionadas a la erosión, teniendo además en consideración la incidencia de la intensidad de la precipitación pluvial, la misma que oscila aproximadamente entre 10 a 3,000 mm/año, con una distribución irregular durante el año, disminuye de abril a noviembre y aumenta a partir de diciembre hasta marzo. Este escenario afecta tanto a su duración como a su intensidad. País proviene de sedimentos aluviales, no completamente permeables, por lo que parte de permanecer en la superficie de la tierra, creando desbordamiento cuando se mueve en la superficie del suelo, lo que lleva a la erosión de las hojas, convirtiéndose trinchera y consecutiva en barrancos.

La erosividad de la lluvia, en términos generales es la capacidad o poder de la lluvia para causar la pérdida de suelo (Nearing, Pruski, & Neal, 2004). Está más generalizado el concepto en términos del factor R (erosividad de la lluvia) en la USLE (Universal Soil Loss Equation) (Wishmeyer & Smith, 1978). La erosión así planteada afecta la producción de los cultivos, causando la degradación de tierras que es un fenómeno de gran interés mundial, al igual que otros como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la escasez de agua y las sequías (Pulido & Bocco, 2011). La separación de suelos por causa de sucesos de carácter hidrológico reduce las cualidades del suelo como recurso natural y su productividad agrícola. La escorrentía permite la pérdida de elementos presentes en el suelo, principalmente de aquellos que se mueven por flujo de masas (Lasanta & Garcia, 1999).

La erosión del suelo en el Perú es un problema ambiental bastante grave, que afecta con diversa intensidad a amplias zonas del país. La conservación de suelos son prácticas



que datan desde tiempos ancestrales por las culturas prehispánicas y los Incas. A pesar de todo, la implementación de métodos para predecir la pérdida de suelo por medio de la erosión ha sido muy escaso. Algunas investigaciones han sido conducidas para cuantificar la tasa de erosión bajo diferentes usos del suelo al nivel de cuencas hidrológicas (Gaceta Molinera Lima – Perú, 2014) y para evaluar la efectividad de diferentes coberturas vegetales en el control de la erosión en terrenos agrícolas utilizando parcelas de erosión o lotes de escurrimiento (Rios, 1987) (Ventura, 1988).

Actualmente, se realizan estudios de erosión con ayuda de sistemas de información geográfica. Para hacer frente a la necesidad de información actualizada, se ha elaborado el presente trabajo, donde se ha establecido como propósito principal la cuantificación de la tasa de pérdida de suelos causada por erosión hídrica dentro de la microcuenca Cala Cala Llache. Para ello, se identificaron los factores climáticos más importantes para la ocurrencia de la erosión. Además, se cuantificaron anualmente los factores causantes de la erosión para toda la serie histórica, utilizando métodos empíricos para determinar la frecuencia de dichos eventos.

Las gotas de lluvia poseen energía cinética producto a su masa y velocidad de caída, las cuales al caer sobre el suelo, inciden en las propiedades del suelo como la estructura y compactación, que se ven seriamente afectadas, formándose el suelo superficial, estas redundan en una menor infiltración; por lo tanto, en mayor cantidad de agua de escorrentía (Sánchez & Cuadrado, 1986); pueden ser medibles estas variables de acuerdo con las precipitaciones, pendiente y exposición del suelo (Lasanta & Garcia, 1999). La erosión pluvial es el resultado de la dispersión y transporte de los sedimentos del suelo por la acción de las gotas de lluvia combinada con la escorrentía superficial. Depende principalmente de los factores y sus interrelaciones, tales como:

a) Cantidad e intensidad de precipitaciones pluviales;



- b) Las principales propiedades de los suelos, según el estudio, son cierta inestabilidad en su estructura, con predominio de estructura granular y composición mecánica ligera, con predominio de areno-arcilloso, similar a la hidrofugación.
- c) Pendiente y área de terreno, cantidad de vegetación y estudio de medidas preventivas para la conservación del suelo. Las características ecológicas y socioeconómicas, en un territorio, son determinantes en los estudios de erosión, tanto en lo relacionado con el factor erodabilidad como erosividad (Ehlers, 1999).

Para este propósito, se debe tener en cuenta que la mayoría de los suelos probados y utilizados para cultivos de transición están sujetos a una degradación significativa debido a la erosión hídrica, el impacto de la pendiente y el uso de la tierra de manera no correcta. Por tal motivo, la misión de este trabajo fue identificar la erosión del suelo y realizar trabajo de campo en la microcuenca seleccionada. Para ello se obtiene información meteorológica de la Administración Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) y se realizan pruebas de escorrentía superficial como factor de erosión a partir de datos obtenidos de pluviómetros instalados en tanques pequeños individuales.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Es necesario considerar la erosión hídrica, puesto que es un proceso que expulsa la capa orgánica de la superficie del suelo, aminora los niveles de materia orgánica, dando como resultado la generación de un ambiente menos propenso para el crecimiento de los cultivos alimenticios. Asimismo, es necesario indicar que la erosión del suelo es un fenómeno concreto y muy diversificado en sus modalidades (Viers, 1974). Por lo cual, la erosión hídrica se entiende como la separación, transporte y deposición de las partículas del suelo, su materia orgánica y nutrientes solubles. La erosión hídrica, se presenta en diversos niveles de intensidad, llegando en varias ocasiones a condiciones tales, que



resultan irreversibles, provocando como consecuencia una completa inestabilidad integral a nivel de cuencas hidrográficas.

La erosión del suelo por el agua es uno de los procesos más específicos del paisaje. Es un proceso que degrada el suelo, reduciendo la fertilidad y la productividad. La erosión es causada principalmente por las fuertes lluvias y, como resultado, la escorrentía. La erosión provoca daños irreversibles en el suelo, que es un recurso no renovable. La erosión hídrica afecta directamente las propiedades físicas y químicas del suelo, destruyendo la capa superior del suelo, que contiene la mayoría de los macronutrientes y micronutrientes que sustentan procesos biológicos como la captura de dióxido de carbono (CO₂) y la fijación de nitrógeno de la atmósfera.

Algunas de las propiedades físicas que se ven más afectadas son la estructura del suelo, la permeabilidad, la densidad aparente, la capacidad de retención de agua y la reducción de la recarga de los acuíferos. En el área de estudio hay visibles cambios en la cobertura vegetal, por el incremento de las superficies de suelo para la agricultura, por consiguiente, se ha generado mayor cantidad de erosión; por medio de la estimación de la erosión hídrica, se obtendrán datos referentes a la pérdida de suelo, lo cual, será de ayuda para proponer prácticas de recuperación de los suelos afectados, de esta manera poder disminuir la tasa de erosión.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Clasificar las tierras de acuerdo con el sistema de capacidad de uso mayor, y determinar la producción de sedimentos de los suelos en el ámbito de la microcuenca Cala Cala Llache de la región de Puno.



1.4.2. Objetivos específicos

Clasificar la capacidad de uso mayor de los suelos en función de sus características edáficas, agrologicas y propiedades físicas.

Determinar la producción de sedimentos mediante la aplicación la ecuación universal de pérdida en el ámbito de la microcuenca Cala Cala Llache.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.1. Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrológica está delimitada por una cuenca topográfica (divortium aquarum), que llega hasta los depósitos aluviales y descarga el agua en un colector común denominado río principal. Una cuenca hidrológica es esencialmente un área geográfica en la que ocurre un ciclo hidrológico; es el terreno que desemboca en el río, definido por la topografía y delimitado por la cuenca; en un sentido más amplio, incluyen agua, suelo, luz solar, aire, flora y fauna (Vasquez, y otros, 2016).



Figura 1. División de una cuenca hidrográfica: Subcuencas y microcuenca

Una cuenca hidrológica como un ecosistema donde las variables socioeconómicas y biofísicas interactúan y se relacionan entre sí, actuando como



un todo, con entradas y salidas, ciertas restricciones, estructuras internas dentro de subsistemas jerárquicos (por ejemplo, dentro de un sistema biofísico: subsistemas biológicos y físicos). Las cuencas hidrográficas se reconocen como un sistema debido a la existencia de interacciones entre el sistema natural del suelo, el agua y biodiversidad y el sistema socioeconómico, que, si bien éste no tiene un límite físico, sí depende de la oferta, calidad y disposición de los recursos (Faustino, 2006).

2.1.2. Concepto de suelo.

La tierra agrícola es la tierra utilizada en el campo productivo para un tipo particular de tierra apta para todos los cultivos y plantaciones, es decir, la agricultura o las actividades agrícolas. La tierra agrícola primero debe ser suelo fértil, creando condiciones para que los cultivos crezcan y se desarrollen, para luego ser cosechada y utilizada por humanos, por lo que también debe ser apta para humanos debido a sus componentes. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2015) ha definido el suelo como la capa superior de la corteza terrestre que está compuesta por una mezcla de partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos; de modo que conforma un medio ambiente muy complejo y variable. Esta mezcla, que se encuentra en el límite de la litosfera, la hidrosfera y la atmósfera, es un cuerpo natural vivo, dinámico y no renovable a corto y mediano plazo.

Según Weil y Brady (2016) indican que se denomina suelo a todo agregado natural no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta junto con el agua y aire que ocupan los espacios vacíos entre partículas sólidas, también es conjunto de partículas minerales o de materia orgánica en forma de depósito, generalmente minerales, pero a veces de origen

orgánico, que pueden separarse por medio de una acción mecánica sencilla y que incluyen cantidades variables de agua y aire.



Figura 2. Horizontes del suelo

Vásquez y Tapia (2011) menciona que el suelo es la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre ella, no siempre son iguales y cambian de un lugar a otro por razones climáticas y ambientales, de igual forma los suelos cambian su estructura, estas variaciones son lentas y graduales. Para Walker (2008) el suelo es la fina capa de material fértil que recubre la superficie de la Tierra, es una capa delgada situada en el límite entre la atmósfera y la zona continental de la corteza terrestre. (Becerra, 2005), menciona que el suelo es la capa delgada de material intemperizado que cubre la superficie terrestre, de un espesor insignificante.

2.1.3. Concepto de erosión

La erosión hídrica es un proceso físico que involucra la separación, transporte y deposición de partículas del suelo bajo la acción de las corrientes de agua. Cuando la pérdida de suelo supera su formación natural, se produce la erosión geológica natural, y a medida que estas pérdidas aumentan debido a las actividades humanas, se produce un aumento de la erosión. Se define la erosión como el desprendimiento y remoción de las partículas que conforman el suelo por acción de agentes externos; de manera natural el desprendimiento del suelo es originado por la acción del clima y la remoción o transporte es acción del agua y el viento (Vasquez, y otros, 2016).

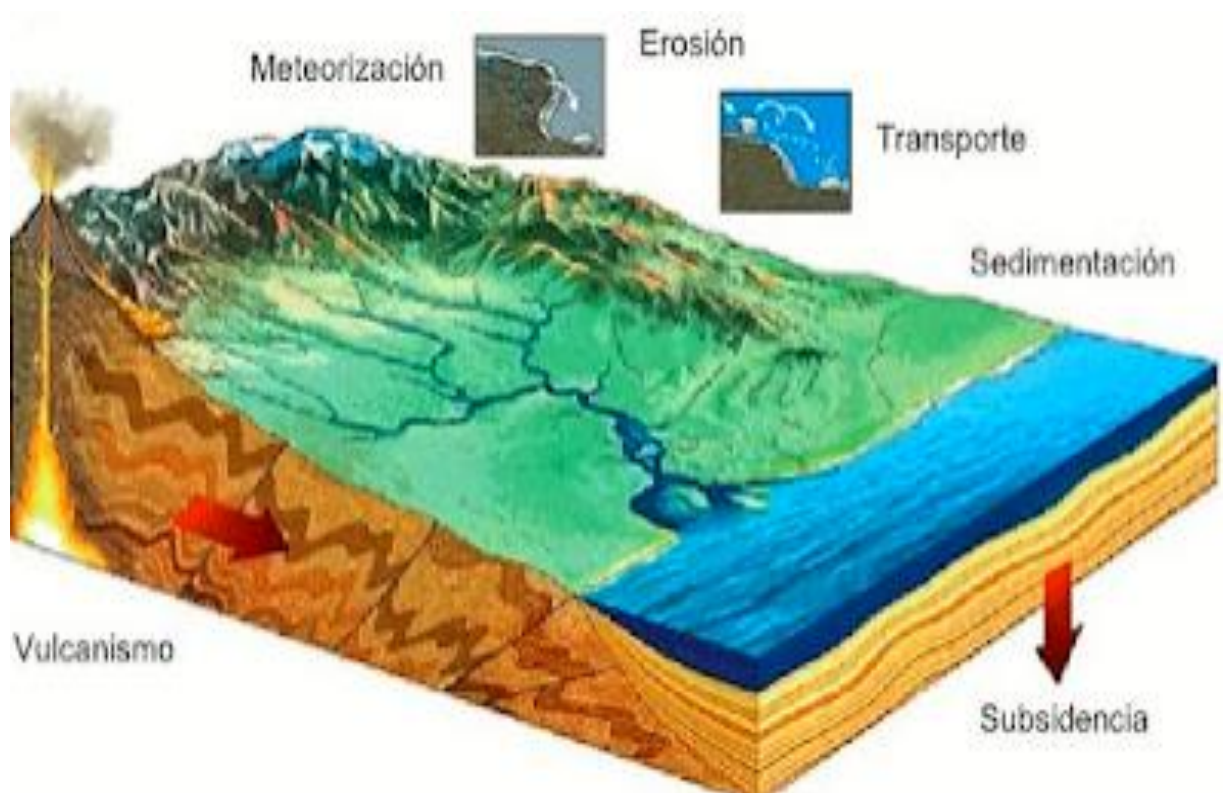


Figura 3. Proceso de erosión hídrica del suelo

El agua es el factor más importante en el proceso de erosión, el cual es iniciado por las condiciones meteorológicas y climáticas que preparan el material para el proceso de erosión, mientras que la lluvia y el viento actúan como agentes



separadores y transportadores de sedimentos. La cubierta vegetal, el tipo y las propiedades del suelo, la geomorfología, la geología y el uso del suelo determinan la vulnerabilidad de los suelos a la erosión.

2.1.4. Erosión hídrica

La erosión del suelo por el agua es causada por la acción combinada del tiempo y las condiciones climáticas que preparan el material original para la erosión, siendo la lluvia el principal agente de erosión. La cobertura vegetal, el tipo y características del suelo, la geomorfología, la geología y los usos del suelo, establecen el grado de propensión del suelo a ser afectado por los agentes generadores de Ramos (2001) y Ramírez, Hincapié y Sadeghian (2009). El proceso de erosión hídrica comprende el desprendimiento, transporte y depósito de las partículas del suelo a casusa de la precipitación (Vasquez A. , 2000).

2.2. ENERGÍA CINÉTICA

A medida que caen, las gotas de lluvia adquieren algo de energía cinética, que es disipada por el obstáculo con el que chocan. La energía cinética es una función de la velocidad y la masa al cuadrado y depende del tamaño de las gotas. Crece exponencialmente con su tamaño. No es práctico determinar la energía cinética de la lluvia a partir del tamaño y la velocidad de cada gota que compone un evento, por lo que se ha desarrollado la parametrización para hacer inferencias empíricas a partir de los datos de intensidad. La energía de una gota de lluvia que cae sobre la superficie del suelo rompe los terrones y los aglomera, liberando partículas que luego pueden flotar cuesta abajo.

2.3. ESCORRENTÍA

La escorrentía superficial hace que el suelo nuevo se desprenda y se lleve el suelo separado por las gotas de lluvia. Este proceso se observa en flujos laminares o turbulentos

(erosión por surcos). El proceso de erosión hídrica es una secuencia de pasos que comienza con la caída de las gotas de lluvia, cuando las gotas de lluvia golpean la superficie, la energía cinética se transfiere de la gota a la superficie, lo que hace que el suelo se rompa y se extienda. entonces el suelo separado está sujeto a los siguientes tipos de erosión (Vasquez A. , 2000; Buitrago, 2011; Cisneros, y otros, 2012).



Figura 4. Transporte y sedimentación de las partículas de suelo desprendidas.

2.4. EROSIÓN LAMINAR

Se produce cuando las partículas de suelo, generadas por acción de la lluvia, son esparcidas de tal forma que forma una capa delgada sobre la superficie, y cuando la cantidad de lluvia que cae excede la capacidad de infiltración del suelo, se produce un escurrimiento superficial el cual arrastra las partículas de suelo que fueron desprendidas (Vasquez A. , 2000).



2.5. EROSIÓN POR SURCOS

Se produce cuando se incrementa la cantidad de agua en la superficie del suelo, la cual se concentra y fluye por efecto de la pendiente, pasando de un flujo subcrítico a uno supercrítico en pequeños cauces (Vasquez A. , 2000). Además, la erosión por surcos es aquella que se puede borrar con implementos de labranza, luego que ocurre, definición que usa para establecer una diferencia entre erosión por surcos y en cárcavas (Cisneros, y otros, 2012).

2.6. EROSIÓN EN CÁRCAVAS

Es el efecto intensivo de la erosión por surcos, la cual depende del potencial de generación de escurrimiento de la cuenca, del área de drenaje que recibe la cárcava, del material del suelo, así como también de la sección y pendiente del terreno, generando un cauce que no puede ser borrada por labranza (Cisneros, y otros, 2012).

2.7. FACTORES DE LA EROSION HÍDRICA.

Las principales causas de la erosión hídrica son las siguientes (Vasquez A. , 2000; Cisneros, y otros, 2012).

2.7.1. Clima

El factor clave es la precipitación y su energía cinética, por lo tanto, para determinar el impacto de la precipitación en la erosión hídrica, es necesario conocer la cantidad y distribución de la precipitación (basada en estaciones meteorológicas y modelos matemáticos) y la intensidad, la intensidad determina energía cinética, desencadena procesos de separación y salida.



2.7.2. Relieve

El principal factor topográfico que afecta la erosión hídrica es el grado de la pendiente, por otro lado, la longitud y la inclinación determinan el grado de erosión de la pendiente y el caudal final. La complejidad de la pendiente está determinada por el grado de homogeneidad, dirección y extensión del terreno y su inclinación, lo que afecta significativamente el proceso de erosión hídrica.

2.7.3. Suelo

Se basa en procesos que regulan la absorción de lluvia y la resistencia a la segregación y transporte de partículas del suelo. Estos procesos y su alcance dependen de las propiedades del suelo, como la estructura, la distribución del tamaño de las partículas, el contenido de materia orgánica y la permeabilidad al agua. Las proporciones de los componentes del suelo dan a las propiedades su carácter. Hay muchos tipos de suelos, y diferentes investigadores han creado diferentes clasificaciones de suelos en el mundo, principalmente en base a sus características y propiedades.

2.7.4. Sistema de producción

El suelo es un sistema dinámico en constante cambio. Es importante tener en cuenta que los microorganismos como los hongos, incluidas las micorrizas y las bacterias, ayudan a formar el suelo al descomponer las rocas y producir las resinas que forman la estructura del suelo. Otros organismos, como líquenes y musgos, colonizan la roca y contribuyen a la formación del suelo en el proceso. Luego, otros organismos como lombrices, arbustos y árboles lo invaden y el suelo continuará formándose. Es el uso de los recursos de la tierra de la cuenca del río por parte de las personas, especialmente interrelacionado entre la sociedad y la naturaleza, y a su vez, con la gestión y el uso de la tierra.



2.7.5. Cobertura vegetal

La vegetación reduce el impacto de la erosión del agua sobre el suelo al absorber y reducir la energía cinética de las gotas de lluvia, además aumenta la permeabilidad del suelo e incrementa la resiliencia del suelo al mantener unidas las partículas del suelo para hacer crecer las raíces de las plantas.

2.7.6. Métodos para determinar la tasa de erosión hídrica

Se han desarrollado varios procedimientos para estimar la cantidad de tierra que se pierde por causa de la erosión hídrica, especialmente para estimar áreas extensas. Para cuantificar la magnitud de la erosión se han desarrollado diferentes métodos, algunos basados en la determinación directa del suelo perdido por erosión mientras que otros constituyen estimaciones numéricas del proceso (Becerra, 2005).

2.7.6.1. Método de varillas marcadas

Este método es útil solo en terrenos no cultivados, consiste en clavar firmemente una serie de varillas sobre el terreno, distribuidas en cuadrículas, cada varilla es marcada al nivel de la superficie para referencia posterior. Después de un periodo establecido se registra la distancia desde la primera marca de la varilla hasta el nivel actual de la superficie del suelo, el promedio de esas será el espesor del suelo perdido expresado en ton/ha/año (Becerra, 2005).

2.7.6.2. Cubicación de cárcavas

Este método consiste en cuantificar el volumen vacío del suelo, que viene a ser el volumen faltante de suelo, el cual, ha sido barrido durante el proceso de la erosión en las zanjas u hondonadas. Para ello se requiere medir la superficie de una serie de secciones transversales en la cárcava, las que multiplicadas por la longitud del transecto del cual son representativas, proporcionan el



volumen de material perdido por erosión, ese volumen puede ser también expresado en toneladas (Becerra, 2005).

2.7.6.3. Parcelas de escurrimiento

Las parcelas o lotes de escurrimiento constituyen uno de los métodos más precisos para cuantificar la pérdida de suelo. El método consiste en coleccionar el escurrimiento y los sólidos arrastrados que se generan en una pequeña parcela de forma alargada en el sentido de la pendiente, la escorrentía es separada del terreno adyacente colocando láminas de asbesto en cuya parte inferior se colecta y es conducida por tubería a un tanque de almacenamiento (Becerra, 2005).

2.7.6.4. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).

La ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) es un modelo diseñado para estimar la cantidad promedio de pérdida de suelo debido a la erosión en condiciones específicas y durante un largo período de tiempo. EUPS agrupa las muchas relaciones de parámetros físicos y de gestión que afectan las tasas de erosión en seis factores clave, cuyos valores pueden cuantificarse para un lugar o zona en particular y multiplicarse para estimar la cantidad de suelo perdido por unidad de área o superficie (ha) y tiempo (año) (Becerra, 2005), este modelo se puede expresar de la siguiente manera:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad \text{Ecu. 1}$$

donde:

A = Promedio anual de pérdida de suelo por hectárea expresado en ton/ha/año

R = Factor de erosividad de la lluvia en MJ.mm/ (ha.hr)

K = Factor de erosionabilidad del suelo en ton.ha.hr/ (MJ.mm.ha)

S = Factor del grado de pendiente, es adimensional

L = Factor del grado de longitud de la pendiente, es adimensional

C = Factor del manejo de vegetación, es adimensional

P = Factor de prácticas mecánicas en el manejo de la vegetación agrícola, es adimensional.

Teniendo en cuenta todos los factores de la EUPS, se calcula la erosión hídrica actual, mientras que, ignorando los factores C y P, se calcula la erosión potencial; es decir, una estimación de la cantidad de suelo que se perderá si no hay cobertura vegetal y no se toman medidas de conservación de suelos.

2.7.6.5. Descripción de los Factores de la EUPS.

a) Factor R.

El factor de erosividad de la lluvia R es la suma de valores de erosividad de tormentas individuales, expresado como:

$$R = \sum_{i=1}^n (EI_{30})_i \quad \text{Ecu. 2}$$

Donde: E es la energía cinética de la lluvia en $\text{kg m (m}^2 \text{ mm)}^{-1}$, I_{30} es la intensidad de la lluvia en 30 min en mm h^{-1} y n es el número de tormentas en el año (Figueroa et al., 1991). Uno de los problemas en muchos países, entre ellos México, es la falta de instrumentación que mida la intensidad de la lluvia y, en consecuencia, la carencia de datos, por lo que se han desarrollado diversos modelos que estimen el índice de erosividad R con elementos del clima como la lluvia anual (Ulsaker y Onstad, 1984), la lluvia máxima diaria en un periodo de retorno de dos años, el promedio anual de la lluvia del mes más lluvioso de cada año y factores de zonificación (Tragsa, 1994), el uso del modelo logístico que involucra el tiempo y los parámetros empíricos que describen las características: variación anual de la erosión, duración del periodo de tiempo de mayor erosión



del año e intensidad de la erosión en ese lapso de tiempo (Hu, Gantzer, Junk, & Lee, 2000).

b) Factor K

El coeficiente de erosión del suelo (K) representa la susceptibilidad del suelo a la erosión. Para un tipo de suelo dado, K se define como la tasa de pérdida de suelo por unidad de medida en un gráfico estándar. La parcela estándar es la parcela de 22.10 m de longitud, con una pendiente uniforme de 9.00%, de labranza continua y a lo largo de la pendiente (Wishmeyer & Smith, 1978). Los resultados de estudios conducidos con simuladores de lluvia se utilizaron para producir un nomograma de erodabilidad de suelo basado en textura y estructura del suelo (Brooks et al., 1993). Cuando no se disponga de información para hacer uso del nomograma (Figueroa, y otros, 1991), sugirieron al método propuesto por FAO (1980) para determinar el valor de K, el cual sólo requiere conocer la unidad de suelo y su textura. Otra opción es aplicar la función utilizada en el modelo EPIC, la cual demanda los porcentajes de carbón orgánico, de arena, limo y arcilla, de la capa superficial del suelo (William, y otros, 1990).

c) Factor LS

Este factor representa el efecto de la topografía sobre la erosión del suelo. La erosión aumenta conforme se incrementa la longitud del terreno (L) en el sentido de la pendiente y la inclinación de la superficie (S) se hace mayor (Figueroa et al., 1991). Estos dos efectos se evaluaron por separado en el campo y también se trataron por separado en EUPS como L y S, aunque se recomienda que se traten como un solo factor LS. El factor L se define como la distancia desde el punto de inicio de la escorrentía hasta el punto donde la pendiente disminuye gradualmente hasta que se construye la sedimentación o el ingreso a la red o canal de drenaje.



El factor S indica el grado de inclinación de la pendiente. La pérdida de suelo se aumenta más rápidamente con la inclinación de la pendiente que con la longitud (Wishmeyer & Smith, 1978). Cuando se utilizan los SIG's para evaluar la erosión de los suelos a escala de cuenca, se ha tenido dificultades para obtener el valor del factor topográfico LS, en particular al atender la definición del factor L, por lo que han hecho esfuerzos para calcularlo con algoritmos de programación y el uso de modelos de elevación digital (MED) (Hickey, 2000; Van Remortel, Hamilton, & Hickey, 2001).

d) Factor C

El factor C de manejo de cultivo y cobertura del suelo, es la relación de pérdidas de un terreno cultivado en condiciones específicas, con respecto a las pérdidas de un suelo desnudo y con barbecho continuo en las mismas condiciones de suelo, pendiente y lluvia (Wishmeyer & Smith, 1978; Figueroa, y otros, 1991) presentaron un procedimiento para el cálculo del factor C a partir de la integración de factores que afectan la erosión como las etapas de crecimiento vegetal, los efectos de cultivos y manejo, las pérdidas relativas de suelo y el índice de erosividad de la lluvia. Brooks et al. (1993) mencionaron que en los lugares donde no se dispone de guías para el establecimiento de valores de C en cultivos de campo, es más fácil correlacionar las tasas de pérdida de suelo con las cantidades de materia orgánica seca por unidad de área y el porcentaje de cobertura de suelo. También existe en la literatura una amplia variedad de valores del factor C que pueden seleccionarse de acuerdo con las condiciones particulares del sitio (Wichmeir & Smith, 1978; Mitchell & Budenzer, 1980; Figueroa, y otros, 1991).



d) Factor P.

Este factor indica la proporción del suelo perdido en las prácticas mecánicas de manejo del suelo específicas con relación a las pérdidas de suelo en cultivos a lo largo de la pendiente (Wischmeier & Smith, 1978). Los métodos más importantes para limitar la escorrentía y la consiguiente erosión del suelo son: excavación de zanjas en contorno, tratamiento de franjas en contorno y terrazas. Figueroa et al. (1991) presentaron cuadros con el valor de P para cada una de estas prácticas de acuerdo con su combinación con las condiciones de pendiente, longitud máxima del surcado, rotación de cultivo, sistema de labranza, número de fajas, ancho de fajas y su longitud máxima, intervalo horizontal de las terrazas. Este tipo de valores son utilizados en el modelo EPIC para el cálculo de erosión del suelo (William, y otros, 1990).

2.8. EROSIÓN POTENCIAL

La erosión hídrica potencial se estima de EUPS, al utilizar únicamente los factores RKLS (Wishmeyer & Smith, 1978), expresada como $A = RKLS$. La razón es que los elementos EUPS CP minimizan los efectos del proceso de erosión y, a medida que se desarrollan métodos agronómicos y mecánicos, el potencial de erosión puede reducirse a valores aceptables.

2.9. EROSIÓN TOLERABLE

La erosión tolerable se refiere a la proporción máxima de pérdida de suelo que pueda ocurrir y aún permita que la productividad del cultivo sea económicamente sostenida (Renard et al., 1996). Estos autores señalan que este concepto tiene en cuenta la pérdida de rendimiento debido a la erosión, pero también incluye la tasa de formación de material parental, la formación de la superficie del suelo, la pérdida de nutrientes y el



costo de reemplazo, y la tasa de inicio de la erosión de barrancos y los métodos de control de la erosión que los agricultores pueden usar.

La evaluación de tolerancias de pérdida de suelo en un terreno es un aspecto básico para determinar el uso y manejo más adecuado de éste. Además, la tolerancia para la pérdida de suelo para los Estados Unidos varía de 2.50 a 12.36 tn/ha/año, aunque suelos profundos que favorecen el desarrollo radical de los cultivos podrían exceder 12.36 tn/ha/año de tolerancia en la pérdida de suelo (Wichmeir & Smith, 1978). Con este criterio se han propuesto valores de tolerancia a la pérdida de suelo, como el enfoque indicado (Heimlich & Bills, 1984), quienes, al despejar el factor CP de EUPS, buscaron encontrar la erosión potencial en sistemas de producción intensivos donde sin prácticas de manejo y conservación del suelo no se rebasará la erosión tolerable de 12.36 tn/ha/año, así como en sistemas de cultivo intensivos que sí lo requirieran; los valores de CP asignados fueron 0.70 y 0.10, respectivamente, rango observado en un alto porcentaje de los terrenos agrícolas de la faja maicera de los Estados Unidos.

2.10. EL CLIMA

El clima, al ser la suma total de elementos y elementos atmosféricos, tiene una gran importancia en la vida cotidiana, así como en las actividades industriales, agricultura, ganadería, etc. facilita las innumerables actividades de la vida diaria. El clima, sus elementos y los factores atmosféricos se interrelacionan para mantener el equilibrio de las acciones climáticas tales como: temperatura, precipitación, estación y otros. El crecimiento de la población humana ha cambiado una serie de factores, destruyendo el equilibrio del clima. Por ello, conocer y comprender el clima es fundamental y necesario para toda la población.

El clima es un sistema complejo, por lo que su comportamiento es difícil de predecir. Por un lado, hay tendencias a largo plazo, a menudo impulsadas por cambios sistémicos como el aumento de la radiación solar o cambios orbitales, pero, por otro lado, hay fluctuaciones turbulentas que resultan de la interacción entre la concesión, la revocación y el operador. Ni siquiera los mejores modelos climáticos tienen en cuenta todas las variables existentes por lo que, hoy en día solamente se puede aventurar una previsión de lo que será el tiempo atmosférico del futuro más próximo asimismo el conocimiento del clima del pasado es también más incierto a medida que se retrocede el tiempo (Trewartha, 1995).

El clima es el estado medio del tiempo meteorológico el cual puede ser medido en años; Según la Organización Meteorológica Mundial, se necesitan al menos 30 años de datos para describir el clima. Las principales variables analizadas fueron la temperatura y la precipitación, que a continuación se esquematiza los elementos y factores del clima:

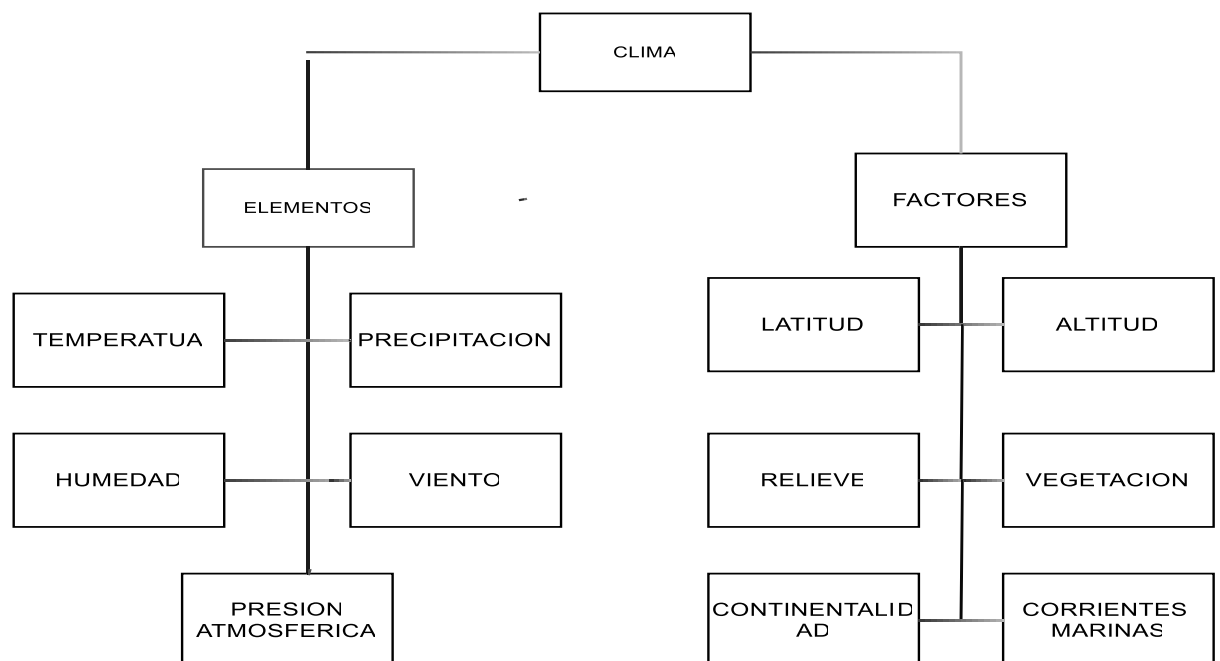


Figura 5. Factores y elementos climáticos

2.10.1. Factores del clima

Condiciones físicas específicas (distintas de los factores climáticos) que afectan el clima, como la latitud, la altitud, la ubicación de la tierra y el mar, la topografía, las corrientes oceánicas, etc. La distribución del entorno geográfico y el clima de la Tierra está determinada por factores climáticos, porque el entorno geográfico no solo está relacionado con la temperatura y la precipitación, sino que, también está dado por la relación de factores geográficos, como la altitud, la latitud y la influencia de las corrientes oceánicas, continentes, etc. y el caso astronómico o termodinámico de centros activos, masas de aire y frentes.

a) Latitud

Esto es clave porque nos dice cuánto calor recibe un punto o área en un momento dado o durante un período de tiempo determinado. Europa se encuentra entre los 36° y 75° de latitud norte y pertenece a la zona de clima templado frío del hemisferio norte, y se encuentra en la zona de intercambio de masas de aire polar y tropical, en la región sur del polo frontal. y en la zona de influencia del viento del noroeste. Cuanto más cerca del ecuador, mayor será la cantidad de calor recibido, por lo que Europa tendrá una amplitud térmica muy contrastada, ya que en el sur los rayos del sol serán más perpendiculares y la temperatura será más alta que en el norte, donde el calor es elevado. Cuanto más importante, más oblicuamente los rayos del sol golpean el suelo.

b) Altitud

La elevación topográfica altera significativamente el clima, especialmente en las zonas intertropicales, donde se convierte en el factor formador del clima más importante. Esta situación ha definido los criterios para la conceptualización de las termo esferas, que son bandas climáticas delimitadas por curvas de nivel, a la vez que generan curvas de temperatura bien establecidas (líneas isotérmicas) a tipos de vegetación, temperatura y



dirección del relieve. Las temperaturas bajan alrededor de 0.6° por cada 100 m de altitud porque el aire es más delgado, contiene menos agua y dióxido de carbono, y es más difícil mantener el calor. Esta menor densidad permite que los rayos del sol atraviesen las masas de aire casi sin calentarse, pero que pasen a través de ellas sin obstáculos, los rayos del sol golpean mucho las rocas, calentándolas mucho. sin embargo, por la noche, pierden calor rápidamente por radiación, lo que hace que la temperatura baje en muy poco tiempo. La altitud sobre el nivel del mar con la correspondiente disminución de la temperatura afecta la presencia de nieve.

d) Orografía

Este es otro factor geográfico importante, Europa se encuentra a una altitud media de 340 metros sobre el nivel del mar, si a eso le sumas que la costa oeste es llana y se extiende a lo largo del Océano Atlántico y las Llanuras, en Europa Central encontrarás que la influencia del océano no se deja notar a distancias superiores a 1,000.00 km. En el sur de Europa, al igual que en España, el terreno está diseñado como un muro protector para evitar la entrada de las influencias internas del mar, por lo que hay algunas zonas que gozan de condiciones favorables, por lo que está limitada por estrechos litorales. Esto es conocido como el efecto Fohen.

e) Corrientes Marinas

La principal influencia en Europa es la Corriente del Golfo, que se origina en el Golfo de México y se mueve hacia el noreste, arrastrando la costa oeste de Europa hasta Noruega. Es una corriente oceánica cálida, por lo que, a su paso por su componente occidental, las masas de aire se calientan y absorben humedad, y quedan expuestas a las características terrestres y costeras, provocan fuertes lluvias y facilitan temperaturas más suaves. como se ve en la costa atlántica de Noruega.



f) La presión atmosférica

A nivel del mar, la atmósfera ejerce una presión de alrededor de 1.00 kg/cm^2 sobre cualquier superficie sólida o líquida. Este será el peso de la columna de aire que se extiende verticalmente hasta el borde exterior de la atmósfera. La presión atmosférica se mide con un barómetro en milímetros. La presión normal que muestra el barómetro al nivel del mar es de 760.00 mm. Sin embargo, la medida utilizada en ciencia es el milibar (mb). Un mm de mercurio equivale a 1.33 mb. Así, en mb. La presión a nivel del mar es de 1,013.2 mb.

2.10.2. Elementos del clima

Los elementos del clima son los fenómenos atmosféricos o propiedades de la atmósfera que determinan el clima de un determinado lugar durante un periodo de tiempo representativo (Gonzales & Alfaro, 2008).

a) La temperatura del aire

La agro meteorología se ocupa de la temperatura del aire a nivel de cultivo. En las estaciones meteorológicas convencionales y automáticas, la temperatura del aire se mide dentro de los refugios meteorológicos (pantallas Stevenson o cabinas ventiladas) a 2.0 m sobre el suelo según los estándares de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). El protector contra la intemperie está diseñado para proteger los instrumentos de la luz solar directa. El diseño del obturador permite el libre flujo de aire alrededor de las herramientas. La temperatura del aire se mide con un termómetro o termopar instalado en el refugio. Los termómetros Min. y Max. registran las temperaturas mínimas y máximas del aire durante un período de 24 horas. El termómetro muestra la temperatura instantánea en el transcurso de un día o una semana.



Las estaciones meteorológicas electrónicas suelen medir la temperatura del aire cada minuto y proporcionan promedios por hora, así como valores máximos y mínimos de 24 horas. Debido a la dependencia no lineal de la humedad de la temperatura contenida en la ecuación FAO Penman-Monteith, la presión de vapor durante un período de tiempo dado debe calcularse como la media entre la presión de vapor a la temperatura máxima y la presión de vapor por debajo de la presión atmosférica mínima de la temperatura durante este período. La temperatura del aire más alta del día (T_{max}) y la temperatura del aire más baja del día (T_{min}) son la temperatura del aire más alta y más baja observada en un período de 24 horas a partir de la medianoche, respectivamente. T_{max} y T_{min} para un período de tiempo más largo, como semanas, diez días o meses, se obtienen dividiendo la suma de los respectivos valores diarios por el número de días del período.

La temperatura media diaria del aire (T_{media}) se utilizó únicamente en la ecuación FAO Penman-Monteith para calcular la curva de presión de vapor de saturación (Δ) y el efecto de la densidad media del aire (P_a), debido a la influencia de las fluctuaciones de temperatura en los valores de estos parámetros climáticos es pequeña. A efectos de estandarización, la T_{media} durante un período de 24 horas se define como el promedio de las temperaturas máximas ($T_{máx}$) y mínimas ($T_{mín}$) diarias, no como el promedio de las mediciones térmicas. La temperatura será expresada en grados centígrados ($^{\circ}C$) o Fahrenheit ($^{\circ}F$), de acuerdo a los parámetros establecidos.

b) Radiación solar

El proceso de evapotranspiración depende de la cantidad de energía disponible para evaporar el agua. La radiación solar es la fuente de energía más importante del planeta y puede convertir grandes cantidades de agua líquida en vapor. La cantidad de radiación latente que puede alcanzar una superficie en evaporación depende de su ubicación y época del año. Debido a la diferencia en la posición del planeta y su



movimiento alrededor del sol, la cantidad de esta radiación potencial varía con las diferentes latitudes y estaciones. La radiación solar real que llega a la superficie de evaporación depende de la opacidad de la atmósfera y de la presencia de nubes que reflejan y absorben una cantidad significativa de radiación. Al determinar el efecto de la radiación solar sobre la transpiración, también se debe tener en cuenta que no toda la energía disponible se utiliza para la evaporación del agua. Parte de la energía solar también se utiliza para calentar la atmósfera y la tierra.

c) La precipitación

La precipitación es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo (Villon, 2002). Siendo agua meteórica que llega hasta la superficie terrestre, la precipitación incluye básicamente a la lluvia, llovizna, nieve, granizo, rocío y escarcha (Sanchez, 2008a).

(Cuadrat & Pita, 2004a) consideran que cualquier forma de precipitación de agua desde la atmósfera, se produce como consecuencia de la condensación del vapor de agua presente en las masas de aire, cuando dichas masas son forzadas a elevarse y enfriarse. Además, también afirma que, para que se produzca la condensación, deben ocurrir dos condiciones:

- a) El aire debe estar saturado con vapor de agua, ya que la saturación generalmente se logra enfriando el aire.
- b) El aire debe contener núcleos de condensación, que son partículas sólidas microscópicas suspendidas que permiten que el vapor de agua se condense y forme nubes.

En esta parte, conviene resaltar que, la cordillera de los Andes, influye en la formación y la distribución de las precipitaciones, las cuales se producen cuando el aire



es forzado a elevarse y sufre una expansión de carácter adiabático² que provoca su enfriamiento, la condensación del vapor de agua, la formación de gotas de agua y su precipitación (Pourrut, 1995).

d) Humedad relativa

La humedad relativa (HR) representa el grado de saturación del aire como la relación entre la presión de vapor de agua real (e_a) a una temperatura determinada y la presión de vapor saturado ($e^o(T)$) a la misma temperatura (T):

$$HR = \frac{e_a}{e^o(T)} * 100 \quad \text{Ecu. 3}$$

La humedad relativa es la relación entre la cantidad de agua que el aire contiene realmente a una temperatura determinada y la cantidad de agua que podría contener si el aire estuviera saturado a esa temperatura. Es adimensional y generalmente se expresa como un porcentaje. Aunque la presión real de vapor puede ser relativamente constante a lo largo del día, la humedad relativa fluctúa entre un máximo al amanecer y un mínimo a primeras horas de la tarde (Figura 12). El cambio en la humedad relativa ocurre porque la presión de vapor saturado depende de la temperatura del aire. Como la temperatura del aire cambia durante el día, la humedad relativa también cambia significativamente.

Si bien la energía del sol y del aire circundante es la principal fuerza impulsora detrás de la evaporación del agua, la diferencia entre la presión del vapor de agua en la superficie de evaporación y el aire circundante es el factor determinante en la eliminación del agua. Las áreas bien regadas en regiones cálidas y áridas consumen grandes cantidades de agua porque hay más energía y energía para extraer el vapor de agua de la atmósfera. Por otro lado, en los trópicos húmedos, a pesar de los altos costos de energía, la alta humedad del aire reduce la necesidad de evapotranspiración. En el segundo caso,



debido a que el aire está cerca de la saturación, puede absorber menos agua y, por lo tanto, la tasa de transpiración es menor que en las regiones áridas.

e) La velocidad del viento

La eliminación de vapor depende en gran medida del viento y la turbulencia del aire, que mueven grandes cantidades de aire hacia la superficie de evaporación. A medida que el agua se evapora, el aire sobre la superficie de evaporación se satura gradualmente con vapor de agua. Si este aire no se reemplaza continuamente por aire más seco, la tasa de eliminación de vapor de agua disminuye y la tasa de transpiración disminuye.

El efecto combinado de los factores climáticos sobre la evapotranspiración se debe a dos condiciones climáticas diferentes. La necesidad de evapotranspiración es alta en climas cálidos y secos debido al aire seco y la cantidad de energía disponible en forma de radiación solar directa y calor latente. En estas condiciones, se puede acumular una gran cantidad de vapor de agua en el aire, mientras que el viento puede ayudar a que el agua se mueva, permitiendo que se elimine más vapor de agua.

Por otro lado, en condiciones atmosféricas húmedas, la alta humedad del aire y las nubes reducen la tasa de transpiración. El aumento en la velocidad del viento para los dos climas presentados afecta la evapotranspiración de diferentes maneras, como lo muestra la pendiente de las curvas en la Figura 10. Cuanto más seca es la atmósfera, mayor es el efecto sobre la ET y más pronunciada es la curva. En condiciones húmedas, el viento solo puede reemplazar el aire saturado con aire ligeramente menos saturado, lo que reduce la energía térmica. Así, en condiciones húmedas, la velocidad del viento afecta la evapotranspiración en mucha menor



medida que en climas secos, donde pequeños cambios en la velocidad del viento pueden provocar grandes cambios en la transpiración del agua.

f) Evaporación

La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua y se retira de la superficie. El agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006). La evaporación del agua es el proceso físico por el cual el agua ^{cambia} de un estado líquido a un estado de gas o vapor. Este proceso tiene lugar en el agua a partir de cierta temperatura hasta que el espacio se satura de vapor de agua. El proceso de evaporación del agua depende de la superficie libre del agua y del porcentaje de vapor de agua en el medio. Cuanto más seca es la capa de agua en la superficie del aire o, por lo tanto, menos saturado el aire.

g) Transpiración

Consiste en la evaporación del agua líquida contenida en los tejidos vegetales, y su posterior eliminación a la atmósfera. El agua junto con algunos nutrientes es absorbida por las raíces y transportada por toda la planta, casi toda el agua extraída del suelo se pierde durante la transpiración y solo una pequeña parte pasa a formar parte del tejido vegetal.

h) Evapotranspiración

La transpiración es una variable importante que incluye la pérdida de agua de las plantas por transpiración y la pérdida de suelo por evaporación. En la práctica, se utiliza para desarrollar programas de riego que optimizan la disponibilidad de agua a lo largo del ciclo de crecimiento para lograr los rendimientos deseados. Hoy en día, los recursos hídricos para la agricultura son cada vez más escasos debido a la grave contaminación y la reducción de las



precipitaciones debido al cambio climático global. En base a todas las dificultades que enfrenta la humanidad, es necesario tener un conocimiento real del balance hídrico de cualquier localidad a diferentes niveles: regional, regional o nacional, y esto se logra con sentido común de ETo. Las posibles alternativas para la estimación están sujetas a la limitación de la información meteorológica existente en el país (Rodríguez, Artega, Navarro, Cervantes, & Sangerman, 2012).



CAPÍTULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1.1. Localización

La microcuenca hidrológica Cala Cala Llache, constituye un espacio de manejo integral de los recursos hídricos y se encuentra dentro de los planes y metas establecidas por el Sub proyecto “Manejo Intensivo de Cuencas Alto andinas” (MIMA) de la Agencia Zonal Huancané – Moho – San Antonio de Putina de los distritos de Pedro Vilcapaza de la Provincia de San Antonio de Putina y los distritos de Huancané y Huatasani de la provincia de Huancané de Agrorural; en el presente estudio se hace una estimación el riesgo de erosión hídrica, utilizando la Ecuación Universal de pérdida de suelo (EUPS).

La producción de sedimentos se estimó en el escenario actual de uso de suelo, y se planteó un supuesto escenario de uso de suelo en la microcuenca, para comparar la producción de sedimentos en un determinado uso de suelo, mostrando relevantes cambios entre cada uso de suelo en la cantidad de sedimentos producidos. La microcuenca en estudio se encuentra ubicado aproximadamente entre las coordenadas geográficas:

Latitud	:	15°29'24”	Sur
Longitud	:	70°08'00”	Oeste
Altitud	:	3,825 a 4,777	m.s.n.m.

3.1.2. Extensión territorial

La microcuenca tiene una extensión de 21,189.90 has según la delimitación del proyecto Manejo Intensivo de Micocuecas Altoandinas (MIMA), que tiene intervención directa en las 12 comunidades y el fundo Cala Cala como unidades de intervención del ámbito de estudio de los cuales el 94.0% están ubicadas en los distritos de Pedro Vilca Apaza y Huancané y el 6.0% en los distritos de Chupa y Huatasani como se muestra en tabla siguiente:

Tabla 1. Extensión territorial microcuenca según unidades de producción (ha)

Provincia	Distrito	Unidad de producción	Extensión (ha)
San Antonio de Putina	Pedro Vilca Apaza	Fundo Cala Cala	6,888.58
		C.C. Santiago de Ajjatira	2,402.62
		C.C. San Ignacio de Mayapunco	710.50
		C.C. San José de Santa Cruz	941.60
		C.C. Pichacani	1,773.24
		C.C. Túpac Amaru	1,248.00
		C.C. Tunila	1,506.68
Huancané	Huatasani	C.C. Quealli	450.20
	Huancané	C.C. Huilacunca	1,395.50
	Huancané	C.C. Accocollo	2,058.17
	Huancané	C.C. Taurahuta	1,826.97
	Huancané	C.C. Quishuarani	459.74
TOTAL			21,661.80

Fuente: Agro Rural

La tesis contiene el estudio de Suelos y Capacidad de uso Mayor a nivel semidetallado de la microcuenca Cala Cala-Llache, comprensión del distrito de

Pedro Vilca Apaza de la Provincia de San Antonio de Putina, y los distritos de Huancané y Huatasani de la provincia de Huancané, del departamento de Puno, y un total de superficie de 21,189.902 has.

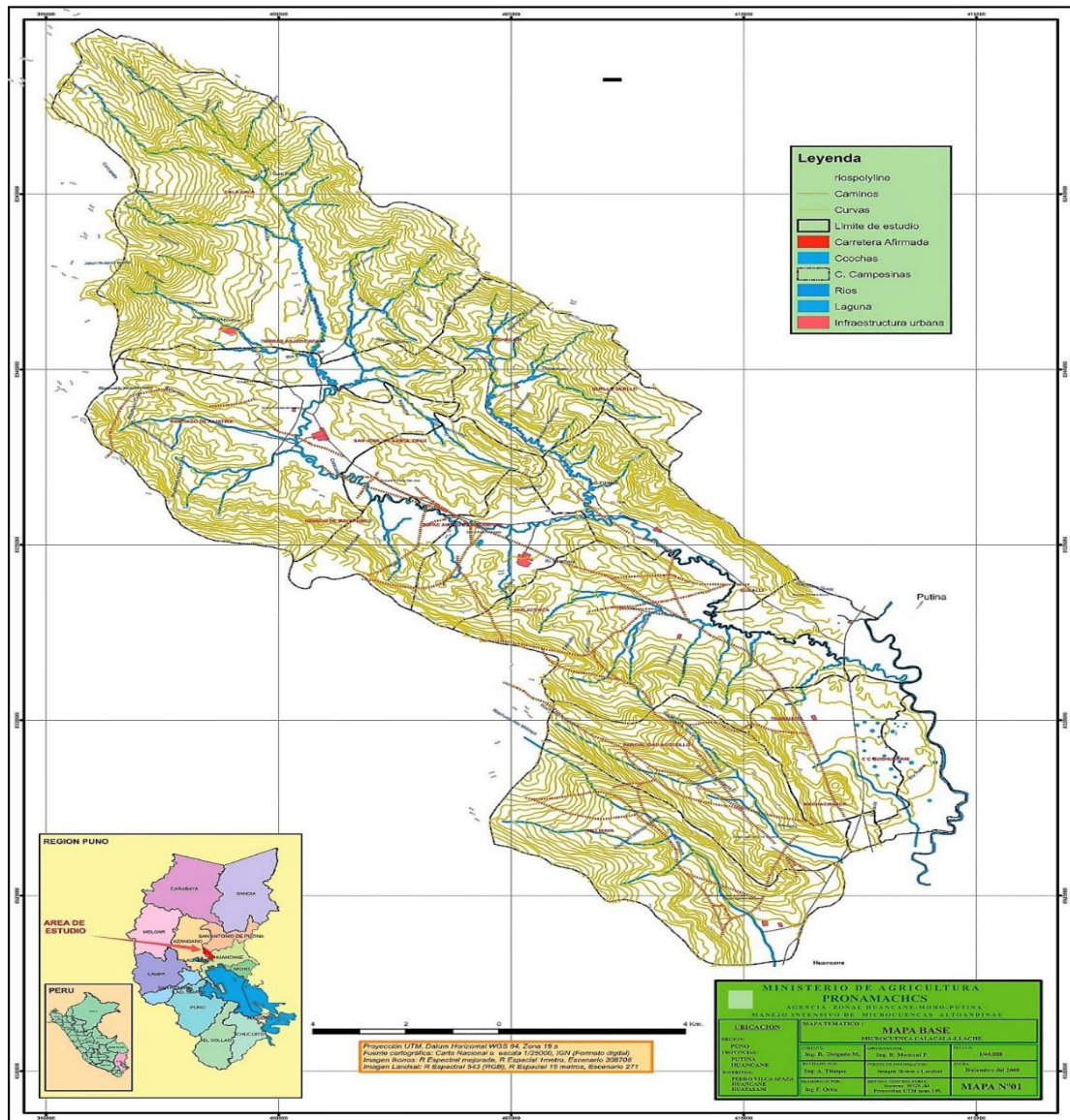


Figura 6. Localización de la microcuenca Cala Cala Llache.

3.1.3. Topografía y morfología

En la cuenca se encuentra una altitud que va desde los 3,820.00 msnm hasta los 4,780.00 msnm. Siendo la cabecera o zona alta de la microcuenca la Comunidad “Manejo de Vicuñas Cala Cala” y en el otro extremo al pie o zona baja de la microcuenca es la parcialidad de Acocollo Central. La pendiente media

de la cuenca es de 12.86 %, longitud del cauce principal 35.10 km, y pendiente del cauce principal 4.58 %, tiene una forma de 0.13 con una relación de circularidad de 0.44. La microcuenca Cala Cala Llache, en base a una sistematización de los datos de la precipitación pluvial fluctúa entre los 520.14 a 858.25 mm promedio anual, Las estaciones aledañas a la microcuenca Cala Cala Llache con precipitación acumulada anual, donde la precipitación la más alta es de 970.32 mm en el año 2002 registrada en la estación de Azángaro, ahora la más baja es de 416.40 mm registrada en la estación de Cabanillas el año 1995.

3.2. ELEMENTOS CLIMÁTICOS DE LA MICROCUENCA CALA CALA

3.2.1. Precipitación

Para el análisis de precipitación en la microcuenca Cala cala Llache, se han considerado información histórica de las estaciones meteorológicas de Arapa, Huancané, Taraco, Muñani y Putina, las que están cercanas y alrededor de la zona en estudio. Los datos históricos de precipitación mensual se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 2. Precipitación total mensual (mm) promedio multianual (1956-2009)

Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Mes												Total, Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
Huancané	3840.00	140.40	109.60	102.10	42.60	12.00	4.40	3.60	10.60	30.70	46.90	63.40	111.40	677.70
Putina	3856.00	147.80	105.30	101.50	52.50	13.40	4.90	3.90	8.70	30.60	48.30	73.50	102.80	693.20
Muñani	3948.00	142.30	109.50	90.40	43.80	9.80	3.70	2.40	6.20	25.90	43.10	63.00	104.30	644.40
Arapa	3830.00	146.80	109.80	114.50	52.00	12.70	5.90	3.20	12.20	30.20	49.00	61.30	98.20	695.80
Taraco	3820.00	134.60	99.80	89.50	39.70	6.60	4.70	1.90	8.80	26.10	36.90	51.30	91.40	591.30

Las precipitaciones en la zona en estudio varía en el tiempo (mes) y en cada estación, en la tabla 2, se presentan los valores promedio de precipitación

media mensual para un periodo de 43 años (1964 al 2009). Se ha estimado que la precipitación total anual en promedio de las cinco (5) estaciones consideradas en el análisis de 650.90 mm; de las cuales 695.90 mm corresponden a la estación de Arapa, 677.70 mm. a Huancané, 591.30 mm. a Taraco, 644.40 mm. a Muñani y 693.20 mm. a Putina, La precipitación media mensual registradas en las estaciones Arapa, Huancane, Taraco, Muñani y Putina, para un periodo de 43 años varia mes a mes, diferenciándose claramente los meses lluviosos de diciembre a abril y los meses con poca lluvia de mayo a noviembre.

3.2.2. Temperatura.

La temperatura es uno de los parámetros meteorológicos importantes que interviene en la determinación del clima; En la tabla 3, se presentan los datos históricos para un periodo de 43 años. (1964 al 2007).de las estaciones Arapa, Azángaro, Huancané y Muñani En la tabla indicada, se presentan los valores promedio de temperatura media mensual de las estaciones consideradas.

Tabla 3. Temperatura media mensual (°C) promedio multianual (1964 – 2007)

Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Mes												Media
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
Huancané	3.840.0	9.3	9.3	9.0	8.1	6.3	4.9	4.5	5.7	7.5	8.9	9.5	9.5	7.7
Putina	3.840.0	9.8	9.9	9.5	8.9	7.0	5.5	5.4	6.8	8.4	9.7	10.3	10.3	8.5
Muñani	3.840.0	9.4	9.6	9.4	9.0	7.8	6.6	6.3	7.5	8.7	9.4	9.8	9.7	8.6
Huaraya Moho	3.840.0	9.8	9.8	9.5	8.9	7.7	6.4	6.3	7.3	8.7	9.7	10.1	10.0	8.7
Cojata	3.840.0	6.5	6.6	6.5	5.2	3.3	1.3	0.8	1.6	3.6	5.2	6.2	6.5	4.4
Azángaro	3.840.0	10.2	10.2	9.9	9.3	7.3	5.6	5.5	6.8	8.7	10.1	10.5	10.5	8.7

En los meses de junio y julio reportan temperaturas medias más bajas. (6.0 y 5.8 ° C. respectivamente). mientras que los meses de noviembre y diciembre reportan temperaturas medias más altas (10 y10.1 ° C. respectivamente).

3.2.3. Humedad relativa.

La cantidad de vapor de agua en la atmósfera es muy pequeña en comparación con la cantidad de otros gases presentes, pero no obstante es importante porque determina los patrones climáticos. Para el presente estudio se ha considerado la información histórica de humedad relativa de las estaciones Arapa, Azángaro y Huancané; con un periodo de 38 años (1964 – 2002). los mismos que se presentan en la tabla 4. El rango de variación de la humedad relativa en promedio es de 51.10 % para el mes de agosto y de 68.60 % para los meses de febrero y marzo.

Tabla 4. Humedad relativa media mensual (%) promedio multianual

Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Mes												Prom. Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
Huancané	3.840.0	70.0	70.0	71.0	66.0	58.0	57.0	57.0	54.0	56.0	56.0	58.0	64.0	61.4
Putina	3.856.0	82.0	81.0	78.0	73.0	71.0	71.0	74.0	69.0	67.0	68.0	73.0	78.0	73.8
Muñani	3.948.0	66.0	65.0	65.0	60.0	51.0	47.0	47.0	47.0	49.0	52.0	55.0	60.0	55.3
Huaraya Moho	3.832.0	71.0	70.0	69.0	66.0	62.0	60.0	57.0	56.0	57.0	58.0	60.0	65.0	62.6
Cojata	4.327.0	88.0	87.0	87.0	85.0	79.0	78.0	77.0	79.0	81.0	81.0	84.0	86.0	82.7

3.2.4. Horas de sol

Tabla 5. Horas de sol media mensual- promedio multianual

Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Mes												Prom. Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
Huancané	3,840.0	5.51	6.04	6.53	7.92	9.28	9.02	9.00	8.88	8.93	8.50	8.18	6.46	7.85
Putina	3,856.0	4.51	4.85	5.63	7.45	8.94	8.94	9.25	8.64	7.86	6.87	6.62	6.22	7.15
Muñani	3,948.0	5.08	5.38	6.11	7.66	8.99	9.15	9.18	8.89	8.32	7.79	7.03	6.02	7.47
Huaraya Moho	3,832.0	5.79	5.63	6.60	8.08	8.93	9.69	9.55	9.42	8.49	8.80	6.99	6.16	7.84
Cojata	4,327.0	4.42	4.95	5.56	7.04	8.74	8.87	8.82	8.59	7.87	6.82	6.22	5.10	6.92

3.2.5. Evaporación.

La evaporación, en un aspecto físico en donde el agua pasa del estado líquido al gaseoso, este parámetro es importante para la determinación de la evapotranspiración. En tabla 6, se presentan los registros promedio de evaporación media de las estaciones Arapa, Huancan y Taraco, para un periodo de registro del año 1990 al 2002; la en ella se puede apreciar que los meses con mayor evaporación media son setiembre. Octubre, noviembre y diciembre (154.60 mm. 156.40 mm. 167.80 mm y 153.40 mm. respectivamente), mientras que los meses de menor evaporación es de enero a julio, se ha registrado para el mes de febrero una evaporación de 110.20 mm.

Tabla 6. Evaporación total media mensual (mm) promedio multianual

Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Mes												Total Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
Huancané	3,840.0	125.8	109.9	112.8	106.9	111.7	99.3	111.8	137.0	156.0	171.7	164.1	144.1	1,551.1
Putina	3,856.0	126.0	111.0	118.0	121.0	123.0	114.0	122.0	136.0	145.0	147.0	151.0	141.0	1,555.0
Muñani	3,948.0	118.0	105.0	12.0	114.0	117.0	109.0	116.0	129.0	137.0	138.0	141.0	131.0	1,467.0
Huaraya Moho	3,832.0	123.0	109.9	116.8	115.5	115.9	102.5	113.0	131.1	144.1	153.2	149.5	135.7	1,510.2
Cojata	4,327.0	86.0	80.0	85.0	85.0	94.0	86.0	91.0	100.0	104.0	102.0	99.0	91.0	1,103.0

En la tabla 6, se muestra los valores promedios de evaporación de las estaciones Arapa, Huancané y Muñani; en ella se puede apreciar que existe una gran variabilidad entre los registros mensuales de las tres estaciones; en consecuencia, para efectos de los cálculos se va a emplear los valores promedios mensuales de las tres estaciones. El rango de variación de la evaporación media mensual es de 110.20 a 167.60 mm. que corresponden a los meses de febrero y noviembre, respectivamente.

3.2.6. Evapotranspiración

Tabla 7. Evapotranspiración potencial (mm/día)

Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Mes												Total Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
Huancané	3,840.0	105.1	95.8	101.4	96.6	94.6	82.2	90.8	107.6	119.7	133.0	129.0	118.7	1,274.5
Putina	3,856.0	95.8	89.0	102.0	98.1	95.8	94.8	83.7	109.1	106.5	124.9	115.5	112.8	1,228.0
Muñani	3,948.0	110.4	100.5	110.4	108.0	114.4	104.1	118.4	133.3	136.5	141.1	134.7	123.7	1,435.5
Huaraya Moho	3,832.0	102.0	89.9	99.2	91.5	82.8	72.9	80.9	97.0	107.4	122.8	113.7	108.8	1,168.9
Cojata	4,327.0	82.2	75.3	82.5	81.3	82.8	73.8	75.0	100.1	97.5	99.2	94.8	89.6	1,034.1



3.3. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS ESPECÍFICOS

3.3.1. Clasificación de la capacidad de uso mayor de los suelos

La metodología empleada para la ejecución del presente estudio fue enmarcada por las normas y lineamientos del Soil Survey Manual (1981) y la guía para la descripción de perfiles suelos (Cari. 1994). La Clasificación de las Tierras del Perú DS 0065/75-AG con las ampliaciones y modificaciones sugeridas por ONERN. Para la Clasificación Taxonómica de los Suelos se utilizó las Claves para la Taxonomía de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y Servicio de Conservación e los Recursos Naturales (USDA-NRCS. 2006). El trabajo se planificó en cuatro etapas:

a) Etapa preliminar de Gabinete.

Esta etapa consistió en el acopio de toda la información temática (Ecológica. geológica. hidrológica. geomorfológica. agrostológica) de la Microcuenca Cala Cala Llache y la sistematización de toda la información cartográfica. La meta en esta etapa consistió en la elaboración del mapa fisiográfico y de pendientes a fin de lograr el mapa base de suelos, en dicho mapa se encuentran las unidades de mapeo sistemático de suelos.

b) Etapa de campo.

En esta etapa se contó con la participación de campesinos de cada comunidad, de tal manera que se captó la información sobre la clasificación campesina de suelos y el manejo en materia de suelos. Esta etapa consistió en la obtención de información del individuo suelo en lo referente a paisaje, clima, topografía, material parental, drenaje, pedregosidad, salinidad, altitud, erosión, capacidad de uso actual, vegetación circundante y litología; toda la información



fue registrada en un total de 60 tarjetas de campo correspondientes a igual número de calicatas o puntos de muestreo de perfiles de suelos. En cada calicata se registró datos de la morfología de suelos y se obtuvieron muestras de suelos para su respectivo análisis. En total se obtuvieron 162 muestras de suelos. Es importante anotar que en cada sitio de muestreo se tuvo la participación de agricultores en la descripción de las características del perfil de suelos y la ayuda del GPS para determinar la ubicación geográfica del punto de muestreo, sitios de tecnologías de manejo y conservación, así como áreas con erosión de suelo.

c) Etapa de laboratorio

Consistió en el análisis de las muestras de suelos en lo referente a pH, conductividad eléctrica, color, textura, materia orgánica, los datos se reportan en el anexo correspondiente.

d) Etapa final de gabinete

Esta etapa consiste en el procesamiento de toda la información de campo y laboratorio, se procedió a definir las unidades cartográficas de suelos. La interpretación práctica se realizó en base a la capacidad de uso mayor que presenta cada clase de suelos con sus respectivas limitaciones. También se elaboraron los mapas temáticos de suelos, capacidad de uso mayor y el informe final.

3.3.2. Determinación de la pérdida de suelo por erosión hídrica

Para la aplicación del método denominado Ecuación Universal de Pérdida de Suelos de Wischmeier y Smith (1978) se procedió de la expresión más conocida de esta ecuación:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \text{ (tn/ha x año)} \quad \text{Ecu. 4}$$

Donde:

A = la pérdida de suelo por unidad de superficie (tn/ha.año).

R = el factor lluvia o índice de erosión pluvial (MJ. mm /ha h).

K = el factor erodabilidad del suelo (tn ha.h/ha.MJ.mm).

L = el factor longitud de pendiente (adimensional). S es la pendiente (adimensional).

C = el factor cultivo y/o ordenación y

P = el factor prácticas de cultivo.

Yataco (2007) refiere que el factor R no puede ser modificado, K depende fuertemente de la textura de los suelos. lo que no puede ser fácilmente mejorada, Sólo C, P y LS se pueden modificar, se pueden usar prácticas agrícolas convencionales para alterar la cubierta vegetal y por lo tanto, se puede cambiar el factor P mediante medidas agronómicas como setos vegetales o estructuras de protección del suelo como terrazas. Para zanjas empinadas, el ajuste del coeficiente P está estrechamente relacionado con la reducción de la longitud de la pendiente (L) y solo puede cambiar la pendiente (S) mediante operaciones de modelado del suelo. como terrazas.

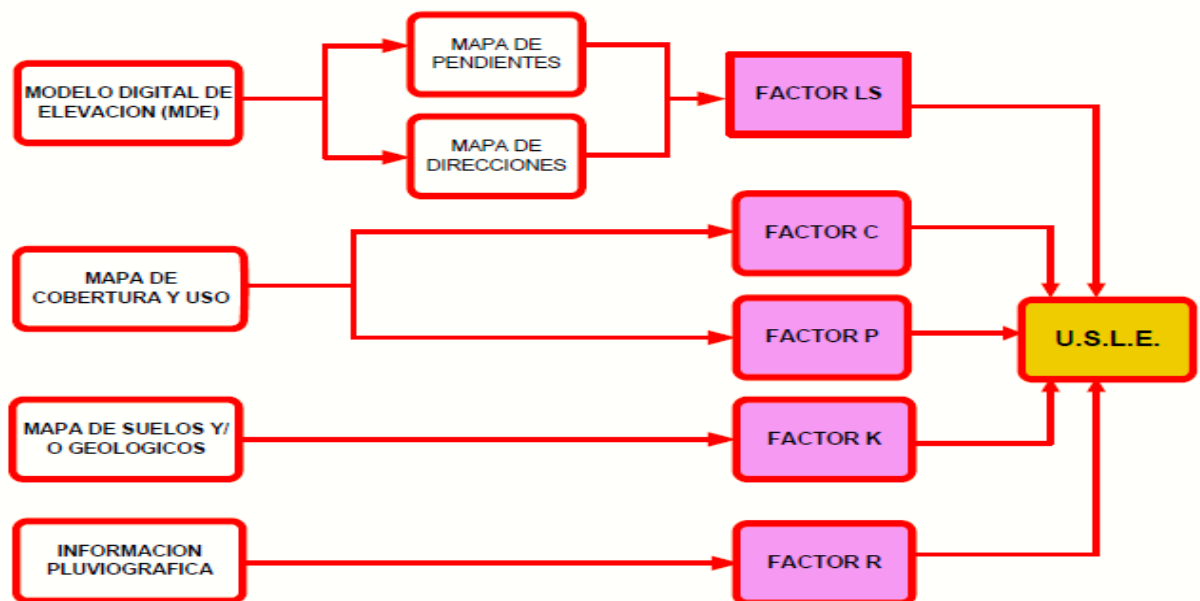


Figura 7. Modelo conceptual para la estimación de los niveles de pérdida de suelo (USLE)

3.3.2. Determinación de los factores de la ecuación universal de pérdida del suelo

a) **Factor R.-** Roose en 1995, citado por Ramos (2001) calculó el factor R mediante la siguiente ecuación:

$$R = 1.73 * 0.5 * P \quad \text{Ecu. 5}$$

Donde: P = Precipitación media anual. generándose el mapa de isoerodientes, del cual se obtiene la superficie que representa el factor R.

b) **Factor LS.-** USLE considera a la topografía del área ingresando un factor L para la longitud de la pendiente y un factor S para el grado de la pendiente. Para desarrollar un mapa de pendientes en un sistema de información geográfica, se requiere un modelo topográfico digital, MDT o DEM (Digital Elevation Model). Ramos (2001) cita en la Tabla 1, los valores que asigna directamente a una ladera el valor del factor LS, elaborado por la Facultad de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (Madrid).

Tabla 8. Valores del Factor LS, para diferentes pendientes

Grupo de pendientes en (%)	Factor (LS)
0 – 3	0.3
3 – 12	1.5
12 - 18	3.4
18 - 24	5.6
24 - 30	8.7
30 - 60	14.6
60 -70	20.2
70 - 100	25.2
>100	28.5

c) **Factor K.-** Indica la erodabilidad del suelo o susceptibilidad a la erosión hídrica del suelo. La variable K se obtiene a partir de la elaboración del mapa geológico.



d) Factor C.- referido a la protección de la cobertura vegetal al suelo cuando intercepta las gotas de lluvia amortiguando su energía (cinética) de impacto disminuyendo el efecto erosivo. se determina a partir del mapa temático de cobertura. determinándose los valores de C en el mapa. En el presente trabajo se han usado los valores (Tabla 2) publicados por Wischmeier y Smith (1978) que definen los valores de C para los tipos más comunes de cultivos. así como para las diferentes coberturas.

e) Factor P.- Se consideró el valor de este factor igual a 1, como lo refiere Rodríguez (2007) cuando no es posible el conocimiento de estas prácticas de control de la erosión ni de manejo de las actividades productivas.



Tabla 9. Valores de cobertura C para diferentes condiciones de suelo.

Cultivo y Práctica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1.0
Bosque o matorral denso (alto mulch)	0.001
Pradera herbácea en buenas condiciones	0.01
Pradera sobrepastoreada	0.1
Maíz. sorgo. alto rendimiento. laboreo convencional	0.20 – 0.55
Maíz. sorgo. alto rendimiento. sin laboreo convencional	0.50 – 0.90
Maíz. sorgo. bajo rendimiento. laboreo mínimo	0.02 – 0.10
Maíz. sorgo. alto rendimiento. laboreo con chisel	0.12 – 0.20
Maíz. sorgo. bajo rendimiento. laboreo con chisel	0.30 – 0.45
Algodón	0.40 – 0.70
Pradera herbácea	0.01 – 0.025
Soya	0.20 – 0.50
Trigo	0.10 – 0.40
Arroz	0.10 – 0.20
Cacahuate	0.30 – 0.80
Frutales con cobertura vegetal	0.01 – 0.80
Caña de azúcar	0.56
Arbolado denso	0.001 – 0.003
Arbolado forestal clareado	0.003 – 0.009
Arbolado forestal muy clareado (25 – 60%)	0.041
Matorral con buena cobertura	0.003 – 0.013
Matorral ralo y eriales	0.20 – 0.013
Cultivos anuales y herbáceos	0.25
Pasturas	0.15
Plantas herbáceas y matojos (100%)	0.003
Plantas herbáceas y matojos (60%)	0.035
Cubierta escasa (60%)	0.15 – 0.09
Cubierta inapreciable	0.45



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CLASIFICACIÓN DE TIERRAS SEGÚN SU CAPACIDAD DE USO

MAYOR

El sistema de clasificación de suelos que se prescribe según su uso más amplio es un orden sistemático, fáctico o interpretativo con una fuerte base ecológica, agrupando diferentes suelos para indicar uso, problemas o limitaciones, necesidades y buenas prácticas de manejo. Esta clasificación proporciona un sistema transparente, fácil de entender, de gran importancia y utilidad en los planes de desarrollo agrícola y es consistente con los principios de protección del suelo. Los estudios de suelo deben proporcionar información que sea de fácil comprensión para los usuarios al describir propiedades puramente morfológicas o propiedades del suelo y explicarlas en un lenguaje sencillo y comprensible, demostrando su uso, idoneidad de cada unidad de plantaciones, procesamiento o práctica agrícola o conservación del suelo.

Esta sección es una interpretación de un levantamiento topográfico que proporciona a los usuarios información en lenguaje sencillo que refleja los usos adecuados de la tierra para fines agrícolas, ganaderos, forestales o de protección y prácticas de manejo para prevenir la degradación del suelo. El trabajo de traducir el lenguaje de la ciencia del suelo al lenguaje de la realidad se llama interpretación. La implementación de un plan de investigación proporciona un conocimiento práctico del potencial territorial de la región y requiere un marco de referencia a largo plazo, ya que un programa de investigación, a diferencia de un simple grupo del proyecto, está más o menos aislado; además, tiene objetivos, progresando de cierta manera a mediano y largo

plazo en el tiempo ya que se van modificando o complementando según los resultados obtenidos según las características del terreno en la sierra de Puno.

4.1.1. Las unidades cartográficas de capacidad de uso mayor de las tierras

Aquí se describe en detalle las tierras clasificadas a nivel de Grupo, Clase y Subclase de Capacidad de Uso Mayor.

Tabla 10. La superficie y porcentaje de tierras identificadas

GRUPO	SUPERFICIE		CLASE	SUPERFICIE		SUBCLASE	SUPERFICIE				
	ha	%		ha	%		Ha	%			
A	3,192.23	15.07	A3	2,099.92	9.91	A3c	29.69	0.14			
						A3ec	318.16	1.50			
						A3sec	1,752.08	8.27			
			A3-P2	258.15	1.21				A3sc-P2sc	204.66	0.99
									A3sec-P2sec	53.49	0.25
									A3-P3	152.79	0.72
									A3-F2	159.98	0.76
A3-F3	521.39	2.46									
P	8,642.81	40.79	P1	1,181.52	5.58	P1c	1082.37	5.11			
						P1cw	99.15	0.47			
						P2c	729.71	3.44			
			P2	3,116.95	14.71				P2cw	3.88	0.16
									P2ec	1,530.91	7.23
									P2sc	634.43	3.00
									P2ecw	10.27	0.05
									P2sec	170.64	0.81
									P2w	15.38	0.07
									P3	2,013.43	9.50
			P2-A3	804.93	3.80				P3c	73.12	0.35
									P3ec	723.47	3.41
									P3sc	230.57	1.09
P3sec	986.28	4.65									
P3-X	1,515.71	7.15				P2c-A3c	461.34	2.18			
						P2ec-A3ec	155.39	0.73			
						P2sc-A3sc	188.19	0.89			
P3sec-Xse	1,515.71	7.15									
F	1,531.66	7.23	F2	542.84	2.56	F2e	42.08	0.20			
						F2ec	327.80	1.55			
						F2sec	172.96	0.88			
			F3	988.82	4.67				F3ec	204.99	0.98
									F3sec	783.84	3.70
									X	3786.27	7.87
X	7,796.29	36.79	X	6,416.94	30.28	Xe	376.54	1.78			
						Xec	88.72	0.42			
						Xsc	2095.71	9.89			
						Xsec-P3sec	217.76	1.03			
						Xse-P3sec	1,161.60	5.48			
Misc.	26.90	0.13	M	26.90	0.13	M	26.90	0.13			



TOTAL	2,1189.90	100.00	2,1189.90	100.00	2,1189.90	100.00
-------	-----------	--------	-----------	--------	-----------	--------

En la tabla 10. muestra la superficie y valores porcentuales de las tierras de la microcuenca Cala Cala Llache según su capacidad de uso mayor.

4.1.2. Grupos, clases y subclases de capacidad de uso mayor de las tierras

4.1.2.1. Tierras aptas para cultivo en limpio

El terreno es apto para la agricultura limpia e intensiva y apto para el cultivo de diferentes cultivos, como cereales, para un rendimiento de una o más cosechas por año. Son tierras de la más alta calidad agrícola; es decir, con condiciones de suelo, agua y clima muy aptas para la agricultura y sin severas limitaciones. Hay muy pocas áreas para la investigación real; es decir, el 3.80% del territorio del país. En la costa, se localizan principalmente en valles irrigados. En la Sierra, en zonas de terreno llano y fondos de valle abrigados y en bosques densos, en terrazas de nueva creación a lo largo de los ríos.

En la zona de estudio comprende una superficie de 3,192.23 ha, que corresponde al 15.07 % del área estudiada. Se trata de un terreno de buena tierra, con características topográficas y climáticas típicas de la región, apto para la agricultura semi-intensiva de cultivos anuales o de ciclo corto. Dentro de este grupo se han establecido la clase de capacidad A₃.

Clase A₃

Cubre una superficie de 2,099.92 ha, que representa el 9.91% del área estudiada. Son tierras de calidad agrológica baja, apropiadas para una explotación agrícola, con prácticas intensas de manejo, presentan limitaciones para los cultivos de carácter climático, edáfico y erosión. La pendiente es casi a un nivel moderadamente inclinada. Dentro de esta clase se ha reconocido tres



subclases: A3c, A3ec y A3sec, debido a sus limitaciones por suelo, erosión y clima adverso.

Subclase A3c

Esta subclase cubre una superficie de 29.69 ha, equivalente al 0.14% del área total del estudio. Son suelos moderadamente a profundos, de textura media a fina; drenaje bueno, de reacción ligeramente ácida. Su limitación principal es el clima adverso, ya que ocupan planicies altiplánicas (0 a 2.00% de pendiente) y por encima de los 3,850.00 m.s.n.m. Estas tierras presentan fertilidad media, especialmente en lo referente a materia orgánica, nitrógeno y fósforo disponible; su clima adverso es por la presencia de heladas, sequías, granizadas, que se presentan en los meses que quedan el periodo vegetativo de los cultivos, durante los meses de enero, febrero y marzo.

Para una producción sustentable y continuada se debe mejorar la fertilidad natural de estas tierras, adicionando fuentes de materia orgánica sobre la base de estiércoles, compost y guano de islas. Se puede realizar fertilización complementaria con fertilizantes sintéticos a base urea y roca fosfórica mejorada con pre tratamiento de descomposición mezclado con estiércol y humedad adecuada, en dosis moderadas.

Por su textura media (franca), se puede utilizar aguas para riego de buena calidad, siempre cuidando el drenaje con el fin de eliminar el exceso de humedad. Es importante mencionar la recuperación de un sistema de manejo de suelos bajo la modalidad de andenes, haciendo la rotación de suelos en el tiempo y en el espacio, bajo un ordenamiento comunal y territorial. De acuerdo a las condiciones y características de la zona, se recomienda la implantación de cultivos tolerantes a



las bajas temperaturas como son: papa dulce y amarga, quinua, cañihua, cebada grano, cebada forrajera, avena forrajera, trigo de invierno, haba y tarwi.

Subclase A3ec

Esta subclase ocupa 318.16 ha, que representa el 1.50 % del área evaluada; con características edáficas similares a la subclase anterior. Sin embargo, existe una limitante muy preocupante que es la erosión hídrica por pérdida de materia orgánica y vegetación, por lo que se pueden utilizar medidas agronómicas contra la erosión como medida de manejo y protección tales como: labranza, zanjas a nivel, abono orgánico para restaurar la textura del suelo, rotación de cultivos, etc. También es importante las prácticas mecánicas como son zanjas de infiltración. terrazas de formación lenta, control de riberas mediante diques y muros de contención. Las especies que se recomiendan son los mismos que se adapten a las condiciones de clima adverso como son papa amarga, quinua, cañihua en las llanuras, cebada y avena para grano y forraje, trigo de invierno, combinando con prácticas agrosilvopastoriles.

Subclase A3ec

Cubre un área de 1,750.08 ha, que representa el 8.27 % del área estudiada. Son tierras ubicadas en laderas medias y bajas, depósitos de pie de monte y conos de deyección con pendientes hasta fuertemente empinadas. Son suelos residuales en sus partes altas y coluvie aluviales en las partes bajas. La principal limitación es la poca profundidad defectiva de los suelos, a los cuales se suman los riesgos erosivos y clima adverso. Requieren de prácticas intensivas de manejo de suelos para frenar el proceso erosivo, especialmente recuperando y construyendo andenes y terrazas, así como zanjas de infiltración. La baja fertilidad de sus suelos se debe mejorar con



abonamiento orgánico, solo en caso de no contar con esta fuente se puede recurrir a la fertilización química.

4.1.2.2. Tierras aptas para pastos

Abarca una superficie de 8,642.81 ha, que representa el 40.79 % del área evaluada. Son terrenos debido a limitaciones en suelo, topografía y clima, por lo que no son aptos para la agricultura intensiva, pero sí aptos para el cultivo de plantas autóctonas o la mejora para adaptarse a las condiciones ecológicas del entorno. Ocupan principalmente los Andes altos con vegetación de pajonal, pasto de puna y laderas. Dentro de este grupo de capacidad de uso mayor se ha reconocido las siguientes Clases de Capacidad de Uso Mayor: P1. P2 y P3, con sus limitaciones principales como son el clima adverso, el factor edáfico y la erosión severa.

Clase P1

Comprende una superficie de 1,181.52 ha, equivalente al 5.58% del área de estudio. Está conformada por tierras de calidad agrostológica alta, que son apropiadas para la obtención de niveles productivos óptimos de pastos, con ligeras prácticas de manejo. Presentan pendientes planas a fuertemente inclinadas. Dentro de esta clase se ha determinado las subclases P1c y P1cw.

Subclase P1c

Ocupa una superficie de 1,082.37 ha, que representa el 5.11% del área evaluada y agrupa a suelo profundos, de textura media a fina, de drenaje bueno a moderado, la reacción del suelo es de ligera a moderadamente ácida, la saturación de bases varía de 80.00 a 95.00% y la fertilidad de la capa arable es media a alta. Se incluye en esta subclase las series Huayane y Pichacani. Las



limitaciones de uso de estas tierras están dadas por el clima adverso que soportan como son las bajas temperaturas o heladas y por situarse entre la transicional de bosque húmedo a páramo muy húmedo.

La utilización de estas tierras requiere de prácticas ligeras de conservación y manejo, como son la implantación de pastos cultivados asociados entre leguminosas y gramíneas, realizando una rotación de potreros o canchas manteniendo una carga animal acorde a la soportabilidad de la pastura para evitar la denudación. Si se quiere aplicar riego complementario es ideal en época de estiaje. Es importante la utilización de pastos mejorados como son la asociación de alfalfa con dactylis, a fin de aprovechar la capacidad de fijación de parte de la leguminosa, también se ha comprobado la bondad que muestra el trébol asociado con gramíneas. Las especies forrajeras como son la avena y cebada son complementos ideales que pueden ser cultivados en estas tierras.

Subclase P1cw

Cubre una superficie de 33.88 ha, equivalente al 0.16% del área total del sector. Son suelos moderadamente profundos de áreas hidromórficas o bofedales temporales, de textura media a fina, drenaje imperfecto, de reacción ligeramente alcalina. Sus limitaciones principales son el clima adverso y drenaje imperfecto, ya que ocupan planicies altiplánicas (0 a 4.00% de pendiente) y por encima de los 3,850.00 m.s.n.m. Son suelos profundos con deficiencia en fósforo disponible, por lo que es recomendable una adición de rocas fosfórica mejorada con estiércol.

Clase P₂

Cubre una superficie de 3,116.95 ha, que significa el 14.71% del área evaluada. Incluye suelos aptos para pastizales de calidad agrícola media que



requieren prácticas agrícolas y de conservación moderadas, suelos con pendientes moderadas con limitaciones de orden efímero, clima y sistemas, drenaje deficiente. Dentro de clase se han encontrado las subclases: P2c. P2cw. P2ec. P2sc. P2scw. P2sec y P2w.

Subclase P2c

Abarca una superficie de 729.71 has. que representa el 3.44% del área estudiada. Está conformado por suelos moderadamente profundos. de textura media, ocupan áreas planas a moderadamente empinados. La reacción de estos suelos es neutra a moderadamente ácida, de mediana fertilidad. Su principal limitación es el clima adverso que soportan, con presencia de heladas, también en ciertos años se presentan sequías. La utilización de estas tierras requiere de la aplicación de prácticas moderadas de conservación y manejo de suelos, orientadas a preservarlas del sobrepastoreo y sus efectos de compactación y denudación y la consiguiente exposición a procesos erosivos. Dentro de las prácticas de conservación se tienen: establecimiento de cercos, pastoreo rotativo, carga animal adecuada, abonamiento orgánico, riego adicional si la topografía lo permite. También se pueden implantar especie forrajeras como son el trigo de invierno, cebada y avena forrajera.

Subclase P2cw

Ocupa 33.88 ha, que representa el 0.16% del área evaluada, esta subclase tiene las mismas características de la anterior con la diferencia que son zonas hidromórficas, bofedales que tienen drenaje imperfecto, se encuentran distribuidos en depósitos a pie de monte que reciben aguas de manantiales



temporales. Su fertilidad es media y la reacción de los suelos es moderadamente ácida a neutra.

Subclase P2ec

Cubre una superficie de 1,530.91 ha, que representa el 3.41% de la zona estudiada, además de presentar limitaciones de clima adverso como son las heladas y sequías, están afectadas por procesos erosivos, ya que se encuentran ubicados en laderas empinadas a muy empinadas y con una cobertura de césped de puna donde predomina la especie *Stipa*; por lo que los lineamientos de manejo deben estar referidos a evitar los procesos erosivos mediante prácticas como zanjas de infiltración con agroforestería para evitar la excesiva escorrentía superficial.

Subclase P2sc

Abarca una superficie de 634.43 ha, que representa el 4.65% del área estudiada. Comprende tierras superficiales y de baja fertilidad, ocupan laderas altas de las colinas y montañas que flanquean la microcuenca, se caracterizan por presentar abundante cantidad de fragmentos gruesos como son gravas y gravillas. Por estar ubicadas en zonas de páramo tienen problemas de carácter climático que impiden el establecimiento de pasturas exóticas.

Subclase P2ecw

Cubre una superficie de 10.27 ha, que representa el 0.05% del área estudiada. Está conformado por pequeñas áreas de bofedales de quebradas altas con abastecimiento de agua de manantiales en época de estiaje, tienen problemas de erosión hídrica y clima adverso, por lo que es recomendable evitar la sobrecarga animal. La fertilidad de estos suelos es media con deficiencias de



fósforo disponible, porque es recomendable la adición de fuentes fosforadas naturales, especialmente roca fosfórica tratada con estiércol de ovino o auquénidos.

Subclase P2sec

Comprende una superficie de 170.64 ha, que representa el 0.81% del área estudiada. Agrupa suelos moderadamente profundos a superficiales de las partes altas de las colinas y montañas, con presencia de estratos gravosos y pedregosos de suelos residuales, las texturas de los suelos son de media a gruesa con baja capacidad de intercambio de cationes y reacción moderadamente ácida. Incluyen suelos de las series Cala Cala, Pichacani, Vilacunca, Ayrampuni, Accoccollo. Las principales limitaciones de uso de estas tierras están referidas básicamente al factor clima adverso, bajastemperaturas e irregular distribución de la precipitación pluvial, también el factor edáfico por presentar suelos de poca profundidad efectiva y baja fertilidad natural. La utilización de estas tierras requiere de un manejo racional de las pasturas nativas adaptadas, resistentes abajas temperaturas, elevando su capacidad de carga animal mediante rotación de pasturas utilizando cercos y elevando la fertilidad de los suelos mediante aplicación de fuentes de abonamiento fosforado.

Subclase P2w

Abarca una superficie de 15.38 ha, que representa el 0.07% del área evaluada. Comprende bofedales de zonas de pie de monte que has sido factibles de cartografiar, son suelos de drenaje imperfecto, de reacción moderadamente ácida, que podrían responder bien a la aplicación de roca fosfórica y mejorar con



especies de tréboles adaptados a la zona. Es importante elevar el pH del suelo mediante aplicaciones de cal, para neutralizar el aluminio cambiante.

Clase P3

Esta clase de tierras abarca una superficie de 2,013.43 ha, que representa el 9.50% del área estudiada. Están conformadas por tierras de calidad agrológica baja que requieren de actividades intensivas de manejo de suelos para permitir una actividad económicamente rentable.

Estos suelos presentan pendientes planas a muy empinadas, con limitaciones de carácter edáfico, clima, suelo y erosión. Dentro de esta clase se ha determinado las siguientes Subclases: P3c. P3ec. P3sc P3sec.

Subclase P3c

Ocupa una superficie de 73.12 ha, que representa el 0.35% del área total estudiada. Está conformado por suelos profundos a moderadamente profundos, con textura media en la superficie a fina en el subsuelo, de drenaje bueno a moderado, la fertilidad de suelos es medio. La principal limitación de esta subclase es el clima adverso debido a las bajas temperaturas heladas, que son muy severos en la época de estiaje, que limitan el crecimiento de los pastos. El uso de estas requiere de prácticas intensas de conservación y manejo de suelos, por lo que el pastoreo debe ser restringido, ya que por las bajas temperaturas las pasturas tienen un crecimiento lento, el control del sobre pastoreo debe lograrse con la instalación de cercos, carga animal acorde, siendo necesario mantener las especies nativas adaptadas al medio ecológico, recuperando los arbustos que mejoran el microclima como son las especies de tola, entre otros.



Subclase P3ec

Cubre una superficie de 723.47 ha, que representa el 3.41% del área estudiada. Está conformada por tierras de calidad agrológica baja, la principal limitación radica en su alta susceptibilidad a la erosión y clima adverso. Ocupan las partes altas con pendientes muy empinadas y con cobertura de pasturas de césped de puna como son el *Stipa ichu*, *Stipa obtusa*, *Calamagrostis*, la fertilidad natural de estas tierras es media. Es importante conservar y mejorar las pasturas mediante pastoreo espaciado, permitiendo la recuperación de las especies después del pastoreo.

Subclase P3sc

Abarca una superficie de 230.57 ha, que representa el 1.10% del área evaluada. Está conformado por suelos muy similares a la clase anterior, con la diferencia que los suelos son muy superficiales y presentan fertilidad baja, con presencia de abundante grava y piedras en el perfil del suelo. La reacción del suelo varía de ligeramente a moderadamente ácido.

Subclase P3sec.

Cubre una superficie de 986.28 ha, equivalente al 4.65% del área evaluada. Está conformado por suelos de baja fertilidad, superficiales a moderadamente profundos, de drenaje bueno a excesivo. Se encuentran ocupando laderas altas con pendientes empinadas a extremadamente empinadas, expuestos a erosión severa y clima adverso. Requieren prácticas intensas de manejo y conservación de suelos a fin de controlar la erosión de los suelos y mejorar las bajas condiciones de fertilidad natural.



4.1.2.3. Tierras aptas para forestales

Comprende una superficie de 1,531.66 ha, que representa el 7.23% del área evaluada. Debido a severas limitaciones, principalmente efímeras y topográficas, estos tipos de suelo resultan no ideales para el uso en la agricultura o de pastizales y debe ser utilizado para la producción forestal con especies nativas o exóticas adaptadas a la zona ecológica. Dentro de este grupo se han encontrado las clases: F2 y F3

Clase F2

Cubre una superficie de 542.84 ha, equivalente al 2.56% del área evaluada. Esta categoría considera terrenos de calidad agrológica para la producción y explotación forestal, con limitaciones de clima, suelo y erosión, requiriendo prácticas adecuadas de manejo y conservación de suelos. Incluye suelos de topografía intrincada y disectada, con pendientes empinadas a muy empinadas, moderadamente profundas, de drenaje bueno a algo excesivo y reacción neutra ligeramente ácida.

Subclase F2e

Ocupa una superficie de 42.08 ha, que representa el 0.20% del área estudiada. Está conformado por suelos, que por su naturaleza superficial y ubicada en pendientes empinados están sujetos a erosión. La fertilidad de estos suelos es de media a baja. Como lineamientos de manejo es necesario aplicar una política de forestación con especies nativas como son el Q'olli y Queñua, también el eucalipto, ciprés y pino, que se adaptan a las condiciones ecológicas de la microcuenca. Las especies forestales nombradas tienen condiciones de pH que limitan su óptimo desarrollo, así tenemos que los cuatro últimos son especies que desarrollan bien en suelos ligeramente ácidos, mientras que el primero tiene



preferencia por suelos ligeramente alcalinos. Para evitar la erosión acelerada es imprescindible mantener una cobertura mínima, evitando la deforestación de los bosquetes establecidos.

Subclase F2ec

Abarca una superficie de 327.80 ha, que representa el 1.55% del área estudiada. Incluye suelos, moderadamente profundos, de fertilidad media a baja, las principales limitaciones están referidas al riesgo erosivo por ubicarse en suelo frágiles de pendientes muy empinadas y severas limitaciones climáticas como son la presencia de heladas. Son suelos que requieren de un plan de forestación con restitución de la fertilidad natural, que por motivos de la erosión ha perdido gran parte de sus bases cambiables y disminución del pH, las especies deben ser aquellas adaptadas a las condiciones ecológicas de la zona.

Subclase F2sec

Cubre una superficie de 783.84 ha, que significa el 3.70% del área evaluada. Está conformado por suelos que tienen las mismas características de las dos subclases anteriores, con la diferencia substancial del factor edáfico, por ser suelos superficiales, con abundante gravosidad y pedregosidad y de baja fertilidad. Requieren de prácticas especiales de control de la erosión y adaptación especies forestales adaptadas a la zona ecológica.

Clase P₃

Abarca una superficie de 988.82 ha, que representa el 4.67% del área estudiada. Comprende suelos de calidad agrológica baja para la explotación y producción forestal, con limitaciones relacionadas al factor climático, edáfico y erosivo. Incluye suelos de topografía irregular disectadas con abundantes



pedregosidades, ubicadas en pendientes muy empinadas a extremadamente empinadas, que los hace susceptibles a la erosión, de textura gruesa a media, de reacciones moderadamente alcalinas y muy superficiales. Dentro de esta clase se ha identificado las Subclases: F3ec y F3sec.

Subclase F3ec

Abarca una superficie de 204.99 ha, que significa el 0.97% del área estudiada. Incluye suelos de baja calidad agrológica, con limitaciones por erosión y clima adverso. Ocupan las partes altas de las colinas y montañas que circundan la microcuenca, presentan pendientes muy empinadas a extremadamente empinadas, presentan suelos ligeramente ácidos y de textura gruesa a media con presencia de gravas y piedras. Las especies recomendables son especies nativas como el Q'olli (*Buddleia coriácea*) y Queñua (*Polylepis incana*) y Quisuar (*Buddleia* sp).

Subclase F3sec

Cubre una superficie de 783.84 ha, y representa el 3.70% del área evaluada. Comprende suelos de baja calidad agrológica, con limitaciones edafológicas debido a suelos superficiales, de baja fertilidad y reacción moderadamente ácida y ubicados en pendientes extremadamente empinados, que hacen posible una escorrentía superficial muy rápida que es causante de erosión de suelos, por estar ubicado en las partes altas tiene un clima adverso, mayormente la presencia de heladas y déficit hídrico durante las estaciones de estiaje, las especies nativas son las que mejor se adaptan a las condiciones ecológicas de esta unidad, incluyendo arbustos como la tola en todas sus variedades.



4.1.2.4. Tierras de protección

Ocupan una superficie de 7,796.30 ha, que representa el 36.80% del área estudiada. Agrupación de tierras extremadamente limitado para ser apto para un uso agrícola o forestal viable, restringido para otros usos como reservas nacionales o municipales, minería, etc. Faltan los principales tipos de servicios públicos en la tierra protegida; sin embargo, el tipo de restricción dominante debe indicarse con letras minúsculas, tales como: s. e. c. indicando restricciones de suelo, erosión y clima, respectivamente.

4.2. DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN DEL SUELO

El concepto de erosión del suelo hace referencia al deterioro del terreno debido a la eliminación de sus partículas. Las etapas básicas de erosión del suelo son 3: desprendimiento, transporte y sedimentación. Su velocidad depende del tipo de suelo, la agregación, la infiltración y la cobertura del terreno. Por ejemplo, los campos bien agregados son menos vulnerables y los terrenos desnudos son los más fáciles de destruir. Las laderas requieren una protección adicional contra la erosión del agua durante la lluvia, que puede abordarse con cultivos de cobertura, pastos perennes o cultivos en terrazas. La erosión del suelo provoca cambios en el paisaje, un proceso que puede ocurrir muy lentamente durante miles de años o puede acelerarse por actividades humanas como la minería o la agricultura. Para determinar el grado de erosión por el método de las micro parcelas, corregido por la ecuación universal de pérdida de suelos. Se ha utilizado el método planteado por Wischmeier y Smith de la publicación: Universal Soil-Loss Estimating Equation to Guide Conservation. farm planing, (1960). El procedimiento es como sigue:



4.2.1. Análisis de tormentas

Para este estudio, conocer la precipitación y su distribución en el tiempo es de interés para diversos fines, por ejemplo, para mejorar la información disponible para el diseño y dimensionamiento de proyectos de infraestructura. Para esto, es necesario conocer las intensidades de precipitación, para distintos períodos de retorno. Los pasos a: Del registro de un pluviograma, dividir esta banda en incrementos de tiempo según estas ocurran. Determinar la intensidad para los incrementos de tiempo (X); y Determinar la energía para cada intensidad de la precipitación empleando la ecuación de regresión lineal tal como indica a continuación:

$$Y = \alpha + \beta * \text{Log}(X). \text{ para el presente caso la ecuación lineal es: } Y = 1.21 + 0.89 \text{ Log}(X)$$

Donde: Y = Energía instantánea de la lluvia expresada en kg-m/m²;

X = Intensidad de la lluvia expresada en (mm/hora).

Finalmente, sumar el valor de los productos de la energía calculada para cada intensidad por el número de mm de lluvia caídos en el respectivo periodo, lo cual, nos dará el valor de la energía (E). Para hallar el valor I (intensidad máxima durante 30 minutos), se utilizó del pluviograma la intensidad máxima durante 30 minutos. Multiplicar este valor de la energía por la intensidad máxima de 30 minutos y finalmente dividirlo entre cien.

4.2.2. Tabulación para el cálculo de la energía de la lluvia

En la primera columna irá inscrita la fecha de precipitación; en la segunda columna la hora de inicio y el fin de la precipitación; y en la tercera columna irá inscrita el intervalo de tiempo parcial el cual estará expresado en minutos, En la



columna se registrará la precipitación parcial, es decir la cantidad de la lluvia caída y registrada en un determinado tiempo expresado en milímetros; en la quinta columna se anota la intensidad de la precipitación expresado en mm/hora; en la sexta columna se realizará el cálculo logarítmico de la intensidad anterior; en la séptima columna se multiplica al constante de la ecuación de regresión de la energía cinética de la lluvia y multiplicado por el logaritmo de la intensidad expresada en mm/hora; en la octava columna va anotado el valor de “Y” de la regresión; y en la última columna se anota el valor de la energía instantánea de la precipitación, la cual se obtendrá de multiplicar la altura de la lluvia caída por el valor de la regresión.

4.2.3. Determinación de la intensidad máxima para 30 minutos

Al elegir el histograma de la precipitación veremos que existe una variación en cuanto a la intensidad y el tiempo, el cual, indica las variaciones de las intensidades, la finalidad es determinar la intensidad máxima para las precipitaciones que están consideradas en un periodo de 30 minutos. Para determinar la intensidad máxima en 30 minutos, se muestra en el cuadro 1 la intensidad es de 12 mm/hora para 15 minutos, faltarían otros 15 minutos para obtener la intensidad máxima en 30 minutos, entonces se busca la intensidad anterior o posterior al periodo de 15 minutos, aquella que sea más significativa, en este caso 10 mm/hora.

4.2.4. Determinación de la energía de la lluvia

La erosión hidráulica es un fenómeno identificado por la remoción de partículas del fondo del lecho de un río. Esto se debe a que los materiales que componen el fondo no siempre son capaces de soportar la resistencia creada por el movimiento del agua. El agua que fluye por la parte inferior del material creará



una fuerza hidráulica que, si es lo suficientemente fuerte, superará la resistencia del material y hará que se rompa. Así, la erosión hidráulica es el resultado de una interacción entre las fuerzas generadas por la fuerza erosiva del agua y la resistencia creada por el propio esfuerzo anti erosivo del suelo.

La energía cinética es una de las variables a partir de las cuales se puede obtener la erosión pluvial. Para determinarlo, existen varias fórmulas, entre las fórmulas más utilizadas de Wischmeier (1958), para el presente caso, después de haber obtenido las energías instantáneas de cada una, se tiene que la suma de los incrementos de energía de toda la precipitación es el valor en energía total de esta.

4.2.5. Determinación del índice de erosión

Para implementar políticas agrícolas y de conservación de suelos en zonas agroecológicas. es necesario analizar los tipos, tasas y causas de erosión y delinear la distribución espacial de los riesgos potenciales de erosión. Las evaluaciones de riesgo de erosión tienen por objeto determinar el grado de degradación potencial de la superficie y proporcionar la información necesaria para desarrollar estrategias de conservación de recursos.

Como los territorios varían geográficamente, la planificación de las alternativas de control de la erosión se basa en modelos de simulación adaptados para aplicar en escenarios de manejo natural y agrícola. Las carreras no son lo mismo. Estos modelos cubren diferentes opciones de gestión de protección y tipos, tasas y causas de erosión. Al determinar el valor de la energía y la intensidad máxima para 30 minutos, se utilizará la fórmula para encontrar el índice de erosión y se aplica en la siguiente formula:

$$EI = \frac{In\ 30}{100} \quad \text{Ecu. 6}$$

Donde: E = energía de la precipitación (kg-m/m²); In₃₀ = Intensidad máxima durante 30 minutos (mm/hora); y EI = Índice de erosión (kg-m/m² – mm/hora). A fin de explicar y comprender el procedimiento empleado y tener un razonamiento lógico, se muestran en el cuadro 1 el registro de la energía de la lluvia.

Tabla 11. Cálculo de la energía de precipitación en base al registro del pluviograma de Huancané

Datos del pluviograma $y \text{ (kg-m/m}^2\text{)} = 0.89 \log (x) + 1.21 e \text{ (kg-m/m}^2\text{)}$								
Fecha	Hora	Intervalo	Lluvia	Intensidad	Log X	0.89*Log X	Y=1.21X	Y*H
		(min.)	(parc.)	(mm/hora)				
10-3-2015	20:30							
	20:45	15	3.0	12.0	1.07	0.95	2.16	6.48
	21:15	30	2.0	4.0	0.60	0.53	1.74	3.48
	21:30	15	2.5	10.0	1.00	0.47	1.68	4.20
	22:00	30	2.5	5.0	0.69	0.61	1.82	4.55
	22:15	15	2.0	8.0	0.90	2.01	2.11	4.22
	22:45	30	1.0	4.0	0.60	0.53	1.74	1.74
		135	13.0	43.0				E=24.67

$$EI = (E * In_{30})/100 \quad EI = (24.67 \times 11.00)/100 = 2.71 \text{ (K-((m/m}^2\text{)/mm)/hr)}$$

$$In_{30} = \frac{15 \times 12}{30} + \frac{15 \times 10}{30} = 11.00$$

4.2.6. Factor de erodabilidad del suelo (K)

El factor de erosión del suelo o factor K describe la susceptibilidad del suelo a la erosión. Es una función de las propiedades del suelo, como la textura, la estructura, la estabilidad de los agregados y la dureza de la superficie. Las respuestas del suelo a los eventos de precipitación que transfieren una cantidad de energía cinética proporcional a la precipitación ocurren en diversos grados:

Capacidad de mantener su estructura previa.

Capacidad de almacenar agua.

Capacidad de transmitir el agua.

Sin embargo, la susceptibilidad de los suelos de ser erosionados está representada por el factor “K” en la ecuación de pérdida de suelos; K es la cantidad de erosión (A) por unidad de índice de erosión (EI) obtenida de parcelas unitarias en dicho suelo. Originalmente Paulet, determinó este factor experimentalmente para 23 tipos de suelo diferentes. El valor “K” para otros suelos se estimaba en función de su parecido con estos 23 originales. Posteriormente se ha hecho varios análisis de regresión múltiple con mayor número de suelos en los que se relaciona “K”, obteniendo experimentalmente con las propiedades físicas de los mismos, las ecuaciones han dado resultados satisfactorios. Según la información existente Paulet, recomienda utilizar la siguiente ecuación para hallar el valor de “K”:

Tabla 12. Factor de erodabilidad del suelo (K) para las parcelas en estudio

Parcela	% Arena	% Limo	Densidad aparente	K
1	70.3	22.60	1.25	0.91
2	70.3	22.60	1.25	0.91
3	70.3	22.60	1.25	0.91
4	70.3	22.60	1.25	0.91
5	70.3	22.60	1.25	0.91

4.2.7. Determinación del factor LS

Los dos factores se evalúan de forma independiente para la investigación. En la aplicación de campo de la ecuación se considera los dos como un solo factor topográfico. Cuando la ecuación se usa como guía para la selección de prácticas en el área donde se combinan varias pendientes en un solo campo, se debe considerar las características de pendiente del segmento significativamente más erosivo.



El uso de promedios de campo en tales complejos de pendiente daría como resultado, estimados menores a los reales de movimiento de suelo, para los lugares más significativos del campo cuando la pendiente es cóncava o convexa se debe considerar las secciones de ellas en que se presentan la máxima inclinación. La longitud de la pendiente se define como la distancia del punto de origen del flujo de agua de escorrentía y cualquiera de los siguientes, según sea limitante para el área que se considere:

1. El punto donde la pendiente decrece hasta el punto donde comienza a haber depresión.
2. El punto donde la escorrentía entra en un canal bien definido que puede ser parte de un sistema de drenaje o un canal construido tal como una terraza o una cana de desviación:

Utilizaremos la ecuación siguiente:

Donde: S = Inclinación de la pendiente; y L = Longitud de la pendiente del campo en metros.

Tabla 13. Factor de inclinación y longitud de la pendiente (LS) para los campos en estudio.

Campo	Inclinación (S) %	Longitud (L)	LS
1	40.00%	3	4.0
2	20.00%	9	2.4
3	20.00%	33	4.1
4	25.00%	32	4.2
5	60.00%	8	13.0

4.2.8. Factor de manejo de cultivos (C).

Entre la cantidad de tierra perdida debido a un cultivo en particular o condición de cobertura y la cantidad de tierra perdida debido a la continuación del



cultivo y el barbecho del mismo cultivo, suelo, misma pendiente y la misma cantidad de precipitación a un factor de manejo del cultivo que expresa la relación. Esto incluye los impactos relacionados con la cobertura del suelo, la secuencia de cultivos, los niveles de rendimiento, la duración de la temporada de crecimiento, las prácticas agrícolas, la gestión de desechos y la distribución de las lluvias. Evaluar el factor 'C' suele ser difícil debido a la diversidad de sistemas agrícolas y de gestión.

Mientras no exista experiencias locales que demuestren la necesidad de corregir para el Perú este tipo de información, se han tomado valores de "C" que se han determinado para tierras ociosas, de potrero y de pastoreo, tomadas por (Wischmeier, 1974 en EE.UU.) donde les da valores de 1.0. Por su parte (Roose 1977), ha formulado valores promedio anuales de factor "C" para la cubierta vegetal y técnicas de cultivo de la zona de África Occidental, dando el valor de 1.0 para suelos semidesnudos. Para el presente trabajo de investigación se ha tomado estas referencias y se ha dado el valor de 1.0 para el factor de cultivo "C". ya que donde se hizo las evaluaciones, las tierras estaban en descanso durante 2 años y eran suelos semi desnudos.

4.2.9. Factor de prácticas de conservación de suelos (P)

Para los cultivos de secano, la disponibilidad de agua es el factor más limitante para la formación y desarrollo de cualquier especie vegetal, especialmente la formación de pastizales herbáceos, crecimiento vegetal, polvo forrajero y diversos recursos forestales. En cuanto a los recursos hídricos, este territorio tiene problemas de estacionalidad. El suministro de agua es en invierno y no cubre la demanda en primavera y verano. El suelo está muy degradado y no

retiene agua durante el verano. Por ello, la idea de acumular o extraer la mayor cantidad de agua posible a través de varios tipos de captación es fundamental.

Por lo tanto, los métodos para mejorar la invasión de estas tierras aumentan el potencial de cobertura vegetal y, por lo tanto, el rendimiento. Generalmente en los terrenos dentro de la microcuenca, los agricultores instalan sus cultivos con surcos perpendicularmente a las curvas de nivel, entonces según el método aplicado, el valor de “P” es igual a 1. por tratarse de cultivos a favor de la pendiente, en el presente trabajo de investigación se consideró el mismo valor de “P”, para las parcelas experimentales.

4.2.10. Pérdidas estimadas de suelo

Los resultados obtenidos sobre pérdidas de suelo, se expresan en el cuadro 4, cuyas pérdidas varían de 9.88 a 32.13 tn/ha/año de acuerdo a diferentes factores considerados.

Tabla 14. Pérdidas estimadas de suelo para las parcelas en estudio $A=R*K*LS*C*P$.

Parcela	R	K	LS	C	P	A (tn/ha/año)
1	2.71	0.91	4.0	1.0	1.00	9.89
2	2.71	0.91	2.4	1.0	1.00	5.93
3	2.71	0.91	4.1	1.0	1.00	10.13
4	2.71	0.91	4.2	1.0	1.00	10.38
5	2.71	0.91	13.0	1.0	1.00	32.13
						68.46

$$X= 13.69$$

Según la tabla 14. se tiene un promedio de 13.69 tn/ha/año, lo cual, se puede considerar como erosión moderada según clasificación de la FAO; de acuerdo a los resultados obtenidos para la región hidrológica Titicaca. Sobre toda esta región se ha estimado la tasa de erosión promedio anual para el período de

1981 al 2014, siendo la tasa promedio multianual de 26.40 tn/ha/año (Sabino, Felipe, & Lavado, 2017).

Tabla 15. Clasificación de la FAO sobre grados de erosión

Grados	Pérdida de suelo (tn/ha/año)
Nula	0
Ligera	0 – 10
Moderada	10 – 50
Severa	50 – 200
Muy severa	Mas de 200

El rango de los valores determinados es similar a los encontrados por Córdova (2015) quien obtuvo 15.74 tn/ha/año. Asimismo, otros investigadores encontraron valores ligeramente mayores como Ccama (2012) en la cuenca del río Ilave, obtuvo un rango de 25.00 a 50.00 tn/ha/año; Tapia (2011) en 22 microcuencas de la sierra peruana obtuvo un rango de 24.40 a 45.09 tn/ha/año; Castro (2017), que obtuvo un rango más amplio de 26.00 a 100.00 Ton/ha/año. Benites (2017) obtuvo valores mayores a los estimados en la investigación 53.00 a 96.00 tn/ha/año; Canaza (1993) en la microcuenca Chinchera - Puno determinó un índice de erosión anual de 57.10 tn/ha/año. De igual modo Condori (2018), obtuvo un rango de 5.00 a 200.00 tn/ha/año. Los altos valores de erosión pueden deberse a una alta tasa de precipitación, mayores valores de pendiente, así como a tipos de suelo que tienen menor resistencia al impacto de las gotas (Ponce, 1989; Alfaro, 2008).

4.2.11. Control de la erosión mediante la forestación con especies nativas

Ahora se están introduciendo nuevas tecnologías para reducir los efectos de la erosión y mejorar la calidad ambiental de los ecosistemas. La madera se está utilizando para soportar y reforzar la estructura en el sitio. Establecer una cubierta

vegetal es una forma fácil y positiva para la salud de las tierras de cultivo, no solo porque requiere una menor inversión, sino también porque es una alternativa eficaz en la conservación sostenible de los recursos. Consideramos que antes de implantar el sistema de forestación como medida de control de erosión hídrica se realizó un previo análisis físico – químico del suelo.

Para obtener un buen porcentaje (%) de prendimiento mediante la forestación, para zonas alto andinas es recomendable que el trasplante de especies nativas un mes antes de que finalice el periodo de lluvias, además, menciona que un 50.00% es lo óptimo para estas zonas. El trasplante se hizo siguiendo las curvas de nivel del terreno, se utilizó el sistema de plantación de tresbolillo, cuyo distanciamiento es entre líneas de 2.00 m y entre árboles de 3.00 m, para lo cual, se cavaron hoyos con una profundidad y ancho de acuerdo al volumen del sistema radicular. El trasplante, propiamente dicho, se realizó la última semana del mes Febrero, todo este trabajo se realizó con ayuda de la comunidad. El área que fue reforestada cubre un total de 7,500.00 metros cuadrados aproximadamente. Para verificar el porcentaje de prendimiento se hizo dos evaluaciones.

Tabla 16. Especies predominantes de dos evaluaciones expresadas porcentual

Especies	% Prendimiento	
	Primera evaluación 02-06-15	Segunda evaluación 17-09-15
Q'eñua (<i>Polilepis sp.</i>)	56%	46%
C'olle (<i>Buddleia coriacea</i>)	40%	48%
Mutuy (<i>Cassia latepetiolata</i>)	04%	6%

Debido a la presencia de heladas esporádicas y de fuerte intensidad en los meses de invierno, como la falta de un cuidado riguroso por parte de los miembros de la



comunidad que permitieron la entrada de ganado a la zona donde se realizó la forestación, no permitieron que el porcentaje de prendimiento sea mayor (ver cuadro 5).

Se espera que las medidas estructurales planteadas en el presente estudio contribuyan a que algunos de los valores de la ecuación USLE disminuyan debido a que la condición de considerar surcos en contorno, terrazas de absorción lenta, zanjales de infiltración, plantaciones agroforestales con especies nativas (Vásquez et al., 2016). Esto se verifica tomando los valores recomendados del factor P para surcos en contorno y otras prácticas de manejo y valores del factor C de cobertura, para los cuales se tiene valores menores del mencionado factor. En general, los resultados esperados de la implementación de una gestión integrada de la microcuenca, específicamente considerando surcos en contorno, reducirá significativamente la vulnerabilidad de la erosión del suelo en el área de estudio (Bhardwaj, 2019; Koda et al., 2020; Debie, 2019; Reddy, 2017).



V. CONCLUSIONES

Concluida el trabajo de investigación se determinó trece (13) unidades de grandes grupos de suelos y cinco unidades de áreas misceláneas y la mayor parte del área estudiada está cubierta por suelos del Orden Inceptisols, seguido por Mollisols y Entisols. Consideramos que la mayoría de los suelos del gran paisaje llanura, presentan de moderado a buen desarrollo genético, con horizontes A, B y C y los del gran paisaje colinoso y montañoso tienen poco desarrollo genético, con horizontes A, C y R. La zona evaluada se caracteriza por presentar regímenes de humedad Ustic (regímenes de humedad áquico, arídico, údico y xérico) y régimen de temperatura con aire frío y helado.

La clasificación de tierras de acuerdo con el Sistema de Capacidad de Uso Mayor, proporciona los siguientes valores relativos: 15.07% de tierras aptas para cultivo en limpio, pertenecientes a las subclases: A3c, A3ec, A3sec; 40.79% de tierras aptas para pastos, pertenecientes a las subclases: P1c, P1cw, P2c, P2cw, P2ec, P2sc, P2ecw, P2sec, P2w; 7.23% de tierras aptas para forestales, pertenecientes a las subclases: F2e, F2ec, F2sec, F3ec, F3sec; 36.79% de tierras de protección, representados por los símbolos: X, Xe, Xec, Xsc, Xsec; 0.13% de áreas misceláneas representados por: afloramientos rocosos, lagunas, cárcavas, cauces de ríos y centros poblados.

Las pérdidas de suelo en las parcelas 1, 2, 3, 4 y 5 tienen pérdidas de suelo desde 9.88 a 32.13 tn/ha/año, lo que ratifica que la pérdida de suelo de hectáreas por año, es directamente proporcional al grado de inclinación y longitud de la pendiente. La magnitud de erosión es 13.69 tn/ha/año es considerada como moderada de acuerdo a la clasificación de la FAO. Las precipitaciones de 13 mm en 1 hora y 35 minutos de tiempo como en el agua de escorrentía recogida de las siguientes pérdidas de nutrientes en kg/ha, $\text{NO}_3 = 62.27$ y $\text{Ca} = 175.70$.



VI. RECOMENDACIONES

Establecer el plan de restitución de la capa arable y por ende la fertilidad de suelos, utilizando fuentes naturales como son la roca fosfórica, compost, estiércol de animales domésticos. Además, implementar sistemas de riego complementario para el mejoramiento, manejo y conservación de los recursos agua y suelo, mediante la construcción de infraestructura agrícola tales como sistemas de andenería, surcos de contorno y pequeñas represas a fin practicar la cosecha del agua provenientes de las precipitaciones pluviales.

En la zona de estudio, el mayor porcentaje de tierras se encuentran en el grupo de aptos para pastos naturales; por lo tanto, se debe implantar el establecimiento de las especies forrajeras como alfalfa o trébol asociado con *Dactylis* y otras asociaciones entre gramíneas y leguminosas. Asimismo, evitar el sobrepastoreo mediante técnicas de rotación del pastoreo, cercos y carga animal adecuada. Es necesario también propiciar y crear una conciencia conservacionista a través de campañas de capacitación y divulgación, orientadas al uso racional del recurso suelo y centrarse en su real vocación de uso mayor de las tierras.

Para cultivos en limpio es necesario realizar prácticas agronómicas de rotación de cultivos con especies adaptadas a las condiciones ecológicas de la zona, evitando la erosión hídrica aplicando las técnicas de manejo agroecológico. En la zona de tierras aptas para pastoreo, es recomendable el establecimiento de pastos asociados.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, R. (2011). *Erosion y transporte de Sedimentos*. Puno Peru: Unidad de Impresion Universidad Nacional del Altiplano.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. N°56 . Ed. FAO. Italia, Roma , 3.23 p.
- Becerra, M. A. (2005). *Escorrentía, erosión y conservación de suelos*. Chapingo. México: Universidad Autónoma Chapingo 375p.
- Benites, O. (2017). *Análisis Comparativo de la erosión hídrica por los métodos de USLE y varillas en la Subcuenca del río Pusmalca – Piura*. Lima, Peru.: Tesis para obtener el Título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Federico Villarreal.
- Bhardwaj, A. (2019). Watershed hydrology and management. In *Watershed Hydrology, Management and Modeling* . CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429430633>, pp. 1-17.
- Buitrago, J. Y. (2011). *Desarrollo de un modelo de visualización de erosión hídrica en el municipio de Samacá (Boyacá)*. Bogota.
- Canaza, D. (1993). *Evaluación de Procesos, Factores de Erosión y Plan de Manejo y Conservación de Suelos en la Microcuenca Chinchera - Puno*. Lima Peru: MSc Thesis, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Castro, A. (2017). *Determinación del riesgo a la erosión potencial hídrica en la zona cafetera del departamento de Quindío*. Colombia: Tesis para obtener el grado de Maestro en tecnologías de la información geográfica, Universidad de Manizales.
- Ccama, U. (2012). *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Ilave utilizando técnicas de teledetección y SIG*. Puno Peru: Tesis Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano.
- Cisneros, J., Cholaky, C., Cantero, G., Gonzales, J., Reynero, M., Diez, A., & Bergesio, L. (2012). *Erosión Hídrica: Principios y técnicas de manejo*. Argentina: Río Cuarto.



- Condori, A. V. (2018). *Pérdida del suelo por erosión hídrica en la comunidad de San Francisco de Chañajari Moho-Puno*. Puno Peru: Universidad nacional del Altiplano de Puno Tesis de Doctorado.
- Cordova, J. (2015). *Estimación de la tasa de erosión en la microcuenca de la quebrada Chaye Grande de la subcuenca del rio Yapteria*. Piura Peru: Tesis para optar título de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional de Piura.
- Cuadrat, J., & Pita, M. (2004a). *Climatología*, p. 135. Madrid España: Cátedra.
- Ehlers, E. (1999). *Agricultura sustentável*. 2ª. ed. Livraria e Editora Agropecuária Ltda. : Guáiba – Brasil. .
- FAO. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. Roma: Italia.
- Faustino, J. (2006). *Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas*. Turrialba-Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CA TIE).
- Figueroa, S. B., Amante, A. O., Cortes, T., Pimentel, L. E., Osuna, C., Rodriguez, O., & Morales, F. (1991). Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. *Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos-Colegio de Posgraduados. Salinas, San Luis Potosí, México*.
- Gonzales, V. A., & Alejo, R. A. (2008). Desarrollo de cuencas de alta montaña. UNA Puno. ie, E., Singh, K. N., & Belay, M. *Effect of conservation structures on curbing rill erosion in micro-watersheds, northwest Ethiopia. International soil and water conservation research*, 7(3), <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.06.001>, pp. 239-247.
- Heimlich, R. E., & Bills, N. L. (1984). An improved soil erosion classification for conservation policy. *J. Soil Water Conserv.* 39, 261-266.
- Hickey, R. (2000). Slope angle and slope length solutions for GIS. *Cartography* 29, 1-8.
- Hu, Q. C., Gantzer, P. K., Junk, B. L., & Lee. (2000). Rainfall erosivity in the republic of Korea. *J. Soil Water Conserv.* 55, 115-120.
- Hudson, N. (1981). Soil conservation, Ithaca, New York, Cornel University Press. <http://www.canari.org/documents/TechDocno386-Spn.pdf> 324 p. *Instituto Caribeño de Recursos Naturales*.



- Koda, K., Girmamay, G., & Beri, T. (2020). Constructability Criteria for Farmland Reclamation and Vegetable Cultivation Using Micro-Dam Sediments in Tigray. *Sustainability*, 12(16), 6388. <https://doi.org/10.3390/su12166388> Ethiopia.
- Lasanta, T., & Garcia, J. M. (1999). Exportación de solutos desde diferentes usos del suelo. Estudio experimental en el pirineo central español. *Instituto Pirenaico de Ecología, CSIC, Campus de Aula Dei. Zaragoza*.
- Mitchell, J. K., & Budenzer, G. D. (1980). *Estimación de la pérdida de suelo*. Mexico: Limusa. México, D.F.
- Nearing, M. A., Pruski, F. F., & Neal, M. R. (2004). Expected climate change impacts on soil erosion rates. *A review. Journal of Soil and Water Conservation*, 59(1), 43-50.
- Ponce, V. M. (1989). *Engineering hydrology: Principles and practices (Vol. 640)*. E.E. U.U.: Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Pourrut, P. (1995). El agua en el Ecuador. Clima, precipitaciones, escorrentías. *Recuperado de http://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins_textes/pleins_textes_7/divers2/010014823.pdf*, p. 11.
- Pulido, J., & Bocco, G. (2011). Cómo se evalúa la degradación de tierras: Panorama global y local. *INTERCIENCIA. Rev. Ciencia y Tecnología de América* 36, 2.
- Reddy, V. R., Saharawat, Y. S., & George, B. (2017). Watershed management in South Asia: A synoptic review. *Journal of hydrology*, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.05.043>, 551, 4-13.
- Rios, J. (1987). Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo. *Colegio de Posgraduados*, 544 p.
- Rodriguez, S. s., Artega, R. R., Navarro, B. A., Cervantes, O. R., & Sangerman, J. (2012). Evapotranspiración de referencia estimada con Fao-Penman-Monteith, Priestley-Taylor, Hargreaves y RNA. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.3 Núm.8 1 de noviembre - 31 de diciembre, 2012* , p. 1535-1549.
- Sabino, E., Felipe, O., & Lavado, W. (2017). *Atlas de Erosión de Suelos por Regiones Hidrológicas del Perú*. Lima, Perú: Nota Técnica N° 002 DIRECCION DE HIDROLOGIA - SENHAMI.



- Sanchez. (2008a). *Precipitaciones*. Salamanca, España,: Recuperado de <http://hidrologia.usal.es/temas/Precipitaciones.pdf>.
- Tapia, S. (2011). *Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la sierra peruana*. Lima Peru: Tesis de Maestría en Recursos Hídricos, UNALM, Escuela de Postgrado.
- Van Remortel, R., Hamilton, M., & Hickey, R. (2001). Estimating the LS factor for RUSLE through iterative slope length processing of digital elevation data. *Cartography* 30, pg. 27-35 .
- Vasquez, A. (2000). *Manejo de Cuencas Altoandinas Tomo I*. Lima Peru: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Vasquez, V. A., Diaz, R. J., Mejia, M. A., Vasquez, R. C., Faustino, M. J., Teran, A. R., . . . Alcantara, R. J. (2016). *Manejo y Gestion de Cuencas Hidrograficas*. Lima Peru: Fondo Editorial-UNALM. 2016; 646 p. .
- Ventura, E. (1988). Dinámica de la erosión hídrica bajo diferentes niveles de productividad en maíz y cebada. *Universidad Autónoma Chapingo*, 121 p.
- Viers, G. G. (1974). *Geomorfologia*.
- Villon, M. (2002). *Hidrologia*. Cartago Osta Rica: Segunda edición: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- William, J. R., Dyke, W. W., Fuchs, V. W., Benson, O. V., Rice, E. D., & Taylor, E. D. (1990). Erosion/Productivity Impact Calculator: 2 User manual. Sharpley, A.N. y J.R. Williams (eds). *Technical Bulletin 1768. US Department of Agriculture. Temple, TX*.
- Wishmeyer, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Washington: USDA Agricultural Handbook*.



ANEXOS

A.1. Suelos Ayrapuni (AY)

Ubicación : Localidad de Ayrapuni, a 2 km al noreste del pueblo
Clasificación natural : Soil Taxonomy (2006): Pachic Haplustoll
Fisiografía : Terraza baja
Relieve : Plano
Pendiente : 0–2%
Altitud : 3450 msnm
Zona de vida : Bosque húmedo – Montano Subtropical (bh-MS) Páramo muy húmedo-Subalpino Subtropical (pmh-SaS)
Material parental : Aluvial
Vegetación : Pasto natural (Festuca. Muhlenbergia. Stipa)

Horizonte	Prof./cm	Descripción
A	0-25	Franco; pardo oscuro (7.5 YR 3/2), en húmedo; granular medio a fino, débil a moderado; friable; moderadamente ácido (pH 5.8); contenido medio de materia orgánica (3.35%); raíces finas y medias. Abundantes; gravas y gravillas, redondeadas y subredondeadas, un 5%; permeabilidad moderada. Límite de horizonte abrupto al
B	25-50	Franco arcilloso; pardo oscuro (10 YR 3/3), en húmedo; bloques subangulares, finos y medios. débiles; firme; neutro (pH 6.66); contenido medio de materia orgánica (3.55%); raíces finas y medias, comunes; gravas y gravillas redondeadas y subredondeadas, en un 10%; permeabilidad lenta. Límite de horizonte claro al
C ₁	50-75	Arcilloso; negro (10YR 2/1) en húmedo; sin estructura; firme; ligeramente ácido (pH 6.26); contenido alto de materia orgánica (6.83%); raíces finas y medias, pocas; gravas y gravillas redondeadas y subredondeadas; en un 15%; permeabilidad moderada. Límite de Horizonte gradual al
C ₂	75-130	Franco arcillo arenoso; pardo amarillento (10YR 6/4) en húmedo; sin estructura; friable; ligeramente alcalino (pH); con moderada reacción al HCl diluido al 10%; bajo contenido de materia orgánica (%); permeabilidad moderada.



A.2. Suelo Cala Cala (CC)

Ubicación : Fundo Cala Cala a 0.5 km rumbo sur oeste

Clasificación natural : Soil Taxonomy (2006): Lithic Ustochrepts

Fisiografía : Pie de monte

Relieve : Cóncavo

Pendiente : 4 – 8%

Altitud : 3991 msnm

Zona de vida : Bosque húmedo – Montano Subtropical (bh-MS) Páramo muy húmedo-Subalpino Subtropical (pmh-SaS)

Material parental : Coluvio aluvial

Vegetación : Pasto natural (Festuca, Muhlenbergia, Stipa, Calamagrostis, Adesmia)

Horizonte	Prof./cm	Descripción
A ₁₁	0–25	Franco arenoso; pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2), en húmedo; granular medio, moderada; friable; ligeramente ácido (pH 6.3); contenido alto de materia orgánica (4.25%); raíces finas y medias, abundantes; gravas y gravillas, redondeadas y subredondeadas, en un 15%; permeabilidad moderada. Límite de horizonte gradual al
A ₁₂	25–45	Franco arenoso; pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo; granular. medio. moderada; friable; moderadamente ácida (pH 6.05); contenido medio de materia orgánica (3.56%); raíces finas y medias, comunes; gravas y gravillas redondeadas y subredondeadas, en un 20%; permeabilidad moderada. Límite de horizonte claro al
(B)	45–68	Franco arcillo arenoso; pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; bloques subangulares, medios, débiles a moderadas; firme; fuertemente ácido (pH 5.98); contenido medio demateria orgánica (2.87%); raíces finas y medias, pocas; permeabilidad lenta. Límite de horizonte claro al
C ₁	68-96	Franco; pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo; sin estructura; firme; moderadamente ácido (pH 5.67); bajo contenido de materia orgánica (%); permeabilidad moderada.

A.3. Suelos Huayane (HU)

Ubicación : A 3 km rumbo norte de Ajatira pueblo
Clasificación natural : Soil Taxonomy (2006): Aquic Haplustoll
Fisiografía : Terraza media
Relieve : Plano
Pendiente : 0–2%
Altitud : 3876 msnm
Zona de vida : Bosque húmedo – Montano Subtropical (bh-MS) Páramo muy húmedo-Subalpino Subtropical (pmh-SaS)
Material parental : Aluvial
Vegetación : Pasto natural (Festuca, Muhlenbergia, Stipa, Trifolium)

Horizonte	Prof./cm	Descripción
A11	0– 40	Franco; pardo muy oscuro (10YR 2/2), en húmedo; granular. medio. fuerte; friable; moderadamente ácido (pH 5.96); contenido alto de materia orgánica (5.35%); raíces finas y medias. abundantes; gravas y gravillas. redondeadas y subredondeadas, un 5%; permeabilidad moderada. Límite de horizonte claro al
A12h	40– 60	Franco arcilloso; negro (10 YR 2/1), en húmedo; granular, medio, moderada; friable; ligeramente ácido (pH 6.30); contenido alto de materia orgánica (6.35%); raíces finas y medias, comunes; permeabilidad moderadamente lenta. Límite de horizonte claro al
B	60– 85	Arcilloso; pardo (10YR 5/3) en húmedo; bloques subangulares, medios, débiles a moderadas; firme; moderadamente ácido (pH 6.04); alto contenido de materia orgánica (4.37%); raíces finas y medias, comunes; permeabilidad muy lenta. Límite de horizonte gradual al
C	85+ 130	Arena franca; pardo pálido (10YR 6/3) en húmedo; sin estructura; firme; ligeramente ácido (pH 6.14); raíces finas y medias pocas; bajo contenido de materia orgánica (0.97%); permeabilidad rápida.

A.4. Suelos Pichacani (PI)

Ubicación : Parte media de la microcuenca Pichacani
Clasificación natural : Soil Taxonomy (2006): Fluventic Haplustoll
Fisiografía : Terraza baja
Relieve : Plano a ligeramente cóncavo
Pendiente : 0–2%
Altitud : 3920 msnm
Zona de vida : Bosque húmedo – Montano Subtropical (bh-MS) Páramo muy húmedo-Subalpino Subtropical (pmh-SaS)
Material parental : Aluvial y coluvial
Vegetación : Pasto natural (Festuca, Muhlebergia, Stipa, Trifolium, Taraxacum, Alchemilla)

Horizonte	Prof./cm	Descripción
A11	0–30	Franco; pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2), en húmedo; granular, fino, débil a moderada; friable; moderadamente ácido (pH 5.75); contenido alto de materia orgánica (4.32%); raíces finas y medias, abundantes; gravas y gravillas, redondeadas y subredondeadas, un 7%; permeabilidad moderada. Límite de horizonte gradual al
A12	30–45	Franco arenoso; pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2), en húmedo; granular, fino, moderada; firme; ligeramente ácido (pH 6.26); contenido medio de materia orgánica(3.95%); raíces finas y medias, comunes; gravas y gravillas redondeadas y subredondeadas, en un 12%; permeabilidad moderada. Límite de horizonte claro al
AB	45–65	Arcilloso; negro (10YR 2/1) en húmedo; sin estructura; firme; ligeramente ácido (pH6.26); alto contenido de materia orgánica (6.83%); raíces finas y medias. pocas; gravas y gravillas redondeadas y subredondeadas; en un 15%; permeabilidad moderada. Límite de gradual al
B	65–85	Arcilla; pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; bloques subangulares, medios. débiles; muy firme; moderadamente ácido (pH 6.04); contenido alto de materia orgánica (4.30%); permeabilidad lenta. Límite de horizonte claro al
C	85+100	Franco arenoso; pardo oscuro (7.5YR 3/4) en húmedo; sin estructura; friable;moderadamente ácido (pH 5.82); contenido medio de materia orgánica (3.65%); permeabilidad rápida.



A.5. Suelo Ajatira (AJ)

Ubicación : Localidad de Ajatira, a 1 km al sur del pueblo
Clasificación natural : Soil Taxonomy (2006): Typic Haplustoll
Fisiografía : Terraza baja
Relieve : Plano
Pendiente : 0–2%
Altitud : 3886 msnm
Zona de vida : Bosque húmedo – Montano Subtropical (bh-MS)
Material parental : Aluvial
Vegetación : Pasto natural (Festuca, Muhlenbergia, Stipa)
Pedregosidad : No hay

Horizonte	Prof./cm	Descripción
Ap	0–16	Franco; pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2), en húmedo; granular medio a fino, débil a moderada; friable; neutro (pH 6.99); contenido medio de materia orgánica (3.85%); raíces finas y medias, abundantes; permeabilidad moderada. Límite de horizonte claro al
B	16–58	Franco arcilloso; pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2), en húmedo; bloques subangulares, finos y medios. débiles a moderados; firme; neutro (pH 7.12); contenido alto de materia orgánica (5.20%); raíces finas comunes; permeabilidad lenta. Límite de horizonte gradual al
BC	58–75	Franco arenoso; pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; bloques subangulares finos y medios débiles; firme; ligeramente alcalino (pH 7.34); alto contenido de materia orgánica (4.33%); raíces finas. pocas; gravas y gravillas redondeadas y subredondeadas, en un 10%; permeabilidad rápida. Límite de horizonte claro al
C	75–90	Arena franca; pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo; grano simple; muy friable; ligeramente alcalino (pH 7.46); contenido medio de materia orgánica (3.25%); gravas y gravillas redondeadas y subredondeadas; en un 15%; permeabilidad muy rápida.



A.6. Suelo Tunila (TU)

Ubicación	: Localidad de Tunila, a 4 km al sur del poblado
Clasificación natural	: Soil Taxonomy (2006): Typic Udifluvents
Fisiografía	: Terraza media
Relieve	: Plano pendiente: 0–2%
Altitud	: 3863 msnm
Zona de vida	: Bosque húmedo – Montano Subtropical (bh-MS)
Material parental	: Aluvial
Vegetación	: Pasto natural (Festuca, Muhlenbergia, Stipa, Trifolium)
Cultivos	: Papa, cebada, avena y quinua.
Pedregosidad	: No hay

Horizonte	Prof./cm	Descripción
Ap	0–24	Franco arenoso; pardo amarillento oscuro (10YR 3/4), en húmedo; granular fino, débil moderada; friable; ligeramente ácido (pH 6.4); contenido medio de materia orgánica(2.14%); raíces finas y medias, comunes; gravas y gravillas, redondeadas y subredondeadas, un 5%; permeabilidad rápida. Límite de horizonte claro al
C1	24–44	Arena franca; pardo oscuro (10 YR 3/4), en húmedo; granular, fina, débil; friable; ligeramente ácido (pH 6.50); contenido bajo de materia orgánica (1.12%); raíces finas y medias, pocas; gravas y gravillas redondeadas y subredondeadas, en un 14%; permeabilidad rápida. Límite de horizonte claro al
2C1	44–57	Franco arenoso; pardo a pardo oscuro (10YR 4/3) en húmedo; bloques subangulares finos, débiles; friable; ligeramente ácido (pH 6.53); contenido bajo de materia orgánica(1.90%); raíces finas, muy pocas; gravas y gravillas redondeadas y subredondeadas, en un 25%; permeabilidad moderada.



A.7. Suelo Huilacunca (HL)

Ubicación	: Comunidad de Huilacunca, a 1 km de escuela
Clasificación natural	: Soil Taxonomy (2006): Typic Eutrudept
Fisiografía	: Terraza baja
Relieve	: Plano
Pendiente	: 0–2%
Altitud	: 3850 msnm
Zona de vida	: Bosque húmedo – Montano Subtropical (bh-MS)
Material parental	: Aluvial
Vegetación	: Pasto natural (Festuca, Muhlenbergia, Stipa)
Pedregosidad	: No hay

Horizonte	Prof./cm	Descripción
A	0–15	Franco; pardo amarillento oscuro (10 YR 3/4), en húmedo; granular, fino, débil; friable; ligeramente ácido (pH 6.35); contenido medio de materia orgánica (2.15%); raíces finas y medias, abundantes; gravas y gravillas, redondeadas y subredondeadas, un 10%; permeabilidad moderada. Límite de horizonte gradual al
B	15–25	Arcillo arenoso; pardo oscuro (7.5YR 3/2), en húmedo; bloques subangulares, medios, débiles; firme; ligeramente ácido (pH 6.30); contenido medio de materia orgánica (2.14%); raíces finas y medias, comunes; gravas y gravillas redondeadas y subredondeadas, en un 18%; permeabilidad moderada. Límite de horizonte claro al
C1	25–60	Franco; pardo amarillento (10YR 5/4) en húmedo; masiva; friable; ligeramente ácido (pH 6.34); bajo contenido de materia orgánica (1.80%); raíces finas y medias, pocas; gravas y gravillas redondeadas y subredondeadas; en un 20%; permeabilidad moderada.



A.8. Suelo Chillihua

Ubicación	: Zona de confluencia de los ríos Putina y Llache
Clasificación natural	: Soil Taxonomy (2006): Typic Haplustept
Fisiografía	: Terraza baja
Relieve	: Plano
Pendiente	: 0–2%
Altitud	: 3840 msnm
Zona de vida	: Bosque húmedo – Montano Subtropical (bh-MS)
Material parental	: Aluvial
Vegetación	: Pasto natural (Festuca, Muhlenbergia, Stipa, Trifolium)
Cultivos	: Papa, quinua, cebada y avena.
Pedregosidad	: No hay

Horizonte	Prof./cm	Descripción
Ap	0–27	Franco; pardo oscuro (10YR 3/3), en húmedo; granular, fino, débil; friable; neutro (pH 6.90); contenido medio de materia orgánica (2.15%); raíces finas y medias, comunes; permeabilidad moderada. Límite de horizonte claro al
(B)	27–52	Franco arcilloso; pardo oscuro (10 YR 3/3). en húmedo; granular, fino, débil a moderado; neutro (pH 6.93); contenido medio de materia orgánica (2.15%); raíces finas. pocas; permeabilidad lenta. Límite de horizonte claro al
C1	52–77	Franco arenoso; pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo; granular, fino, débil; muy friable; neutro (pH 6.64); bajo contenido de materia orgánica (0.95%); gravas y gravillas redondeadas y subredondeadas; en un 10 %; permeabilidad rápida.



A.9. Suelo Pucara (PU)

Ubicación	: A 200 m del río Putina rumbo norte
Clasificación natural	: Soil Taxonomy (2006): Fluventic Haplustept
Fisiografía	: Terraza baja
Relieve	: Plano
Pendiente	: 0–2%
Altitud	: 3831 msnm
Zona de vida	: Bosque húmedo – Montano Subtropical (bh-MS)
Material parental	: Aluvial
Vegetación	: Pasto natural (Festuca, Muhlenbergia, Stipa)
Cultivos	: papa, cebada, avena, quinua y alfalfa
Pedregosidad	: No hay

Horizonte	Prof./cm	Descripción
Ap	0–33	Franco arenoso; pardo rojizo (5YR 4/3). en húmedo; granular, fino, débil; friable; ligeramente ácido (pH 6.26); contenido medio de materia orgánica (1.15%); raíces finas y medias, comunes; gravas y gravillas, redondeadas y subredondeadas, un 6%; permeabilidad moderada. Límite de horizonte gradual al
B2	3–74	Arcillo arenoso; pardo rojizo oscuro (5YR 3/3). en húmedo; bloques subangulares, finos y medios, débiles; firme; moderadamente ácida (pH 6.01); contenido medio de materia orgánica (2.15%); raíces finas y medias, pocas; permeabilidad lenta. Límite de horizonte claro al
C1	–118	Franco arcilloso; pardo rojizo (5YR 4/3) en húmedo; bloques subangulares, finos, débiles; firme; ligeramente ácido (pH 6.35); contenido bajo de materia orgánica (1.22%); permeabilidad lenta. Límite de horizonte claro al
C2k	118+ 120	Franco arenoso; pardo rojizo claro (5YR 6/3) en húmedo; sin estructura, grano simple; friable; ligeramente alcalino (pH 7.8); con moderada reacción al HCl diluido al 10%; bajo contenido de materia orgánica (1.02%); permeabilidad moderada.



A.10. Suelo Taurahuta (TA)

Ubicación	: Zona de pie de monte de cc Taurahuta
Clasificación natural	: Soil Taxonomy (2006): Typic Ustorthent
Fisiografía	: Ladera baja Relieve: Ligeramente convexo
Pendiente	: 2–4%
Altitud	: 3859 msnm
Zona de vida	: Bosque húmedo – Montano Subtropical (bh-MS)
Material parental	: Aluvial
Vegetación	: Pasto natural (Festuca, Muhlenbergia, Stipa)
Cultivos	: Avena, papa y cebada
Pedregosidad	: No hay

Horizonte	Prof./cm	Descripción
Ap1	0–60	Franco arenoso; pardo oscuro (10YR 3/4), en húmedo; granular, fino, débil; friable; ligeramente ácido (pH 6.02); contenido bajo de materia orgánica (1.32%); raíces finas y medias, comunes; gravas y gravillas, redondeadas y subredondeadas, en un 10%; permeabilidad moderadamente rápida. Límite de horizonte gradual al
A12	60–85	Franco; pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/2), en húmedo; granular, fina a media, débil amoderada; friable; ligeramente ácido (pH 6.01); contenido bajo de materia orgánica(1.25%); raíces finas y medias, pocas; gravas y gravillas redondeadas y subredondeadas, en un 15%; permeabilidad moderada. Límite de horizonte claro al
C1	85–100	Franco arenoso; pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/4) en húmedo; sin estructura, grano simple; muy friable; ligeramente ácido (pH 6.35); contenido bajo de materia orgánica (0.87%); permeabilidad moderada.



A.11. Suelo Milliraya (MI)

Ubicación	: CC Milliraya
Clasificación natural	: Soil Taxonomy (2006): Fluventic Haplustoll
Fisiografía	: Terraza media
Relieve	: Ligeramente cóncavo
Pendiente	: 0–2%
Altitud	: 3850 msnm
Zona de vida	: Bosque húmedo – Montano Subtropical (bh-MS)
Material parental	: Coluvio aluvial
Vegetación	: Pasto natural (Festuca, Muhlenbergia, Stipa)
Cultivos	: Avena, cebada y alfalfa
Pedregosidad	: No hay

Horizonte	Prof./cm	Descripción
Ap	0–36	Franco arenoso; pardo a pardo oscuro (7.5YR 4/2). en húmedo; granular medio a fino débil a moderado; friable; muy fuertemente ácido (pH 4.79); contenido bajo de materia orgánica (1.80%); raíces finas y medias, comunes; gravas y gravillas, redondeadas y subredondeadas, en un 8%; permeabilidad moderada. Límite de horizonte claro al
Bw	36–50	Franco arcilloso; pardo oscuro (7.5YR 3/2), en húmedo; bloques subangulares, finos y medios, débiles a moderados; firme; fuertemente ácido (pH 5.34); contenido bajo de materia orgánica (1.32%); raíces finas y medias, pocas; permeabilidad lenta. Límite de horizonte claro al
C1	50–84	Franco arenoso; pardo oscuro (7.5YR 3/2) en húmedo; sin estructura; granular, fino, débil; muy friable; fuertemente ácido (pH 5.29); contenido medio de materia orgánica (2.25%); gravas y gravillas redondeadas y subredondeadas; en un 25%; permeabilidad moderada.



A.12. Suelo Accoccollo (AC)

Ubicación	: CC Accoccollo parte baja
Clasificación natural	: Soil Taxonomy (2006): Typic Ustifluent
Fisiografía	: Terraza baja
Relieve	: Ligeramente cóncavo
Pendiente	: 0–2%
Altitud	: 3849 msnm
Zona de vida	: Bosque húmedo – Montano Subtropical (bh-MS)
Material parental	: Aluvial
Vegetación	: Pasto natural (Festuca, Muhlenbergia, Eleocharis)
Pedregosidad	: No hay

Horizonte	Prof./cm	Descripción
A	0–40	Franco arenoso; pardo amarillento oscuro (10YR 4/4), en húmedo; granular, medio fino, débil a moderado; friable; neutro (pH 7.25); contenido bajo de materia orgánica (1.86%); raíces finas y medias, comunes; gravas y gravillas, redondeadas y subredondeadas, en un 5%; permeabilidad moderada. Límite de horizonte gradual al
(B)	40–75	Franco; pardo amarillento (10YR 5/4), en húmedo; granular, fino, medio; firme; neutro (pH 6.73); contenido medio de materia orgánica (1.23%); raíces finas y medias. pocas; permeabilidad moderada. Límite de horizonte claro al
C ₁	75–90	Arena franca; pardo amarillento (10YR 5/4) en húmedo; sin estructura, grano simple; muy friable; ligeramente ácido (pH 6.25); contenido bajo de materia orgánica (0.56%); gravas y gravillas redondeadas y subredondeadas; en un 18%; permeabilidad rápida.



A.13. Suelo Calcuyo (CA)

Ubicación	: Zona al frente de Ayrapuni
Clasificación natural	: Soil Taxonomy (2006): Mollic Udarent
Fisiografía	: Terraza baja
Relieve	: Plano
Pendiente	: 0–2%
Altitud	: 3859 msnm
Zona de vida	: Bosque húmedo – Montano Subtropical (bh-MS)
Material parental	: Coluvio aluvial
Vegetación	: Pasto natural (Festuca, Muhlebergia, Stipa)
Cultivos	: Papa, haba, oca, cebada y avena
Pedregosidad	: No hay

Horizonte	Prof./cm	Descripción
A	0–35	Franco; pardo grisáceo oscuro (10YR 3/2), en húmedo; granular, medio, moderada; friable; moderadamente ácido (pH 5.9); contenido medio de materia orgánica (3.45%); raíces finas y medias, abundantes; permeabilidad moderada. Límite de horizonte claro al
C1	35–55	Franco arenoso; pardo oscuro (7.5YR 3/4), en húmedo; masiva; firme; neutro (pH 6.80); contenido medio de materia orgánica (2.18%); raíces finas y medias, pocas; permeabilidad rápida. Límite de horizonte abrupto al
C2	55–95	Franco arcillo arenoso; pardo rojizo (5YR 4/4) en húmedo; masiva; firme; ligeramente ácido (pH 6.29); contenido bajo de materia orgánica (0.83%); permeabilidad moderada.