

INTRODUCCIÓN

En el informe del Estado Mundial del Recurso de la FAO (2015) se establece que el primer problema en el mundo es la erosión del suelo, le sigue la pérdida de nutrientes, Pérdidas de carbono del suelo y biodiversidad, entre otros problemas que afectan al recurso suelo.

Bolivia, con una superficie de 1 098 581 km² cuenta con alrededor del 82% de tierras de pastos y bosques, estando afectadas por erosión eólica el 35% y erosión hídrica el 45% de las tierras. En la llanura Chaco-Beniana, como en el altiplano sur, la causa principal de erosión es el viento. En el resto del territorio predomina la erosión hídrica. La erosión que afecta al territorio nacional tiene gran impacto en la economía y es causada por la deforestación, sobrepastoreo y mal uso de la tierra. Este impacto causa problemas en las zonas donde se producen sedimentos y que luego afectan la fertilidad de los suelos. (Santiago, 1992).

En los últimos 30 años, un tercio del territorio de Bolivia ha sido más afectado por procesos de erosión y hoy se encuentra degradado. Estas actividades han ocasionado la degradación de la vegetación y de los suelos y son el origen de impactos críticos en la calidad ambiental en las diferentes regiones del país, tanto en el Altiplano, como en los Valles y las Tierras Bajas (Yana et al, 2017).

Las zonas áridas y semiáridas del departamento de Tarija se caracterizan por presentar un balance hídrico negativo casi todo el año, es decir que las pérdidas son mayores que los aportes de humedad. En estas regiones la degradación de suelos es un serio problema, causada generalmente por una interacción descontrolada entre los factores biofísicos y socioeconómicos. Por otra parte, la acción natural de las precipitaciones en suelos desnudos o con poca cobertura vegetal erosionan de manera sistemática el suelo debido a que la precipitación en esas regiones tiene bajos promedios y una alta variabilidad espacial y temporal, además de características torrenciales (Caba, 2019).

Definición del problema y justificación

El Valle Central de Tarija con 334.000 ha, donde se concentra la mayor parte de la población del departamento de Tarija, se encuentra seriamente afectado por procesos de erosión, donde resalta la erosión hídrica en forma de cárcavas, según el Programa Ejecutivo de Rehabilitación de tierras en el departamento de Tarija (PERTT), el 75% de los suelos del paisaje de valle se encuentran afectados por severos proceso de erosión con predominio de la erosión en forma de cárcavas, por otro lado, aproximadamente el 13,4 % de las tierras del paisaje de montaña.

En este contexto, la cuenca del río Yesera no escapa a la realidad de la degradación de suelos por erosión del Valle Central de Tarija, de manera similar ocurre con la subcuenca del río Caldera Grande, que forma parte de la citada cuenca del río Yesera, que a primera vista, según los productores de la comunidad de Caldera Grande, la erosión no solo afecta a los suelos en el paisaje fisiográfico, también provoca degradación de la vegetación natural, afecta la calidad y cantidad del agua para riego y consumo humano de la población local, sino que fundamentalmente está afectando seriamente la vida útil de obras de infraestructura productiva de alto costo e importantes para el desarrollo agropecuario y forestal de la subcuenca, como son las tres presas de tierra construidas, las dos primeras a cargo de la Oficina Trinacional de las Cuencas de Bermejo y Pilcomayo, la tercera y la más grande construida por (PERTT del 2015 al 2017).

Por lo indicado, el problema principal es la sedimentación de las tres presas de tierra como consecuencia de la erosión de los suelos, por lo que es necesario investigar el proceso de erosión en la subcuenca del río Caldera Grande identificando las formas y procesos de erosión actual de los suelos por paisaje con el propósito de contribuir con información inicial para encarar otros trabajos de investigación con el fin de definir acciones orientadas a controlar los procesos de erosión en la parte superior de la represa caldera.

OBJETIVOS

Objetivo General

Caracterizar la erosión hídrica del suelo por paisaje fisiográfico a partir de las formas y procesos erosivos empleando métodos de teledetección y de campo en la parte superior de la represa Caldera, en la subcuenca del Río Caldera Grande de la Cuenca Pedagógica Yesera, Municipio de Cercado –Tarija con el fin de contribuir con información para identificar prácticas y proyectos de control de la erosión del suelo.

Objetivos Específicos

- Identificar y caracterizar las diferentes formas y procesos de erosión hídrica que afectan a los suelos por paisaje fisiográfico en la parte superior de la represa Caldera en la subcuenca del río Caldera Grande, con el fin de contribuir con información sobre áreas erosionadas
- Identificar en el terreno de manera preliminar las prácticas biológicas y mecánicas para prevenir y/o controlar las diferentes formas y procesos de erosión que afectan los suelos por paisaje fisiográfico de la subcuenca del río Caldera Grande.

1.1 Erosión del suelo

Para Fournier (1975), la erosión es el desgaste de la superficie terrestre bajo la acción de agentes erosivos, principalmente por el viento o el agua, este último cuando cae y arrastra elementos terrosos y partículas de suelo a distancias considerables, donde la erosión acelerada por el agua es consecuencia en la mayoría de las situaciones resultado de la actividad antrópica.

En tanto la FAO (1978), al respecto manifiesta que la erosión producida por el agua de lluvia puede arrastrar tierra cultivable, tal situación se advierte en suelos ubicados en pendiente, por tanto, el agua corre con mayor rapidez y da lugar a zanjas más profundas, lo cual produce cuando llueve con fuerza.

Baver et al, (1980), señala que la erosión causada por el agua se debe a la acción dispersiva y al poder de transporte del agua que cae en forma de lluvia, el cual llega a ocasionar escurrimiento, La acción dispersiva y el poder de transporte del agua están determinados por el choque de las gotas de agua de lluvia que caen, la cantidad y velocidad de escurrimiento y la resistencia que ofrece el suelo a la dispersión y al movimiento. Citado por, (Ricalde, 2008).

1.2 Procesos de erosión hídrica

1.2.1 Meteorización

Son aquellos procesos combinados que ocurren en la superficie terrestre (sobre la corteza de la tierra) los cuales rompen y corroen la roca sólida o el macizo rocoso en el mismo sitio (in situ), transformándola en sedimento, aquellos procesos de meteorización son de dos tipos principalmente: físicos y químicos.

1.2.2 Transporte

Luego de producirse la acción de dispersión de las partículas sólidas del suelo, inmediatamente se produce la fase de transporte, presentando diferentes formas como ser erosión laminar, erosión en surcos y erosión en cárcavas producto de las dos primeras (Bisal, 1960). Citado por Ricalde, (2008).

1.2.3 Sedimentación

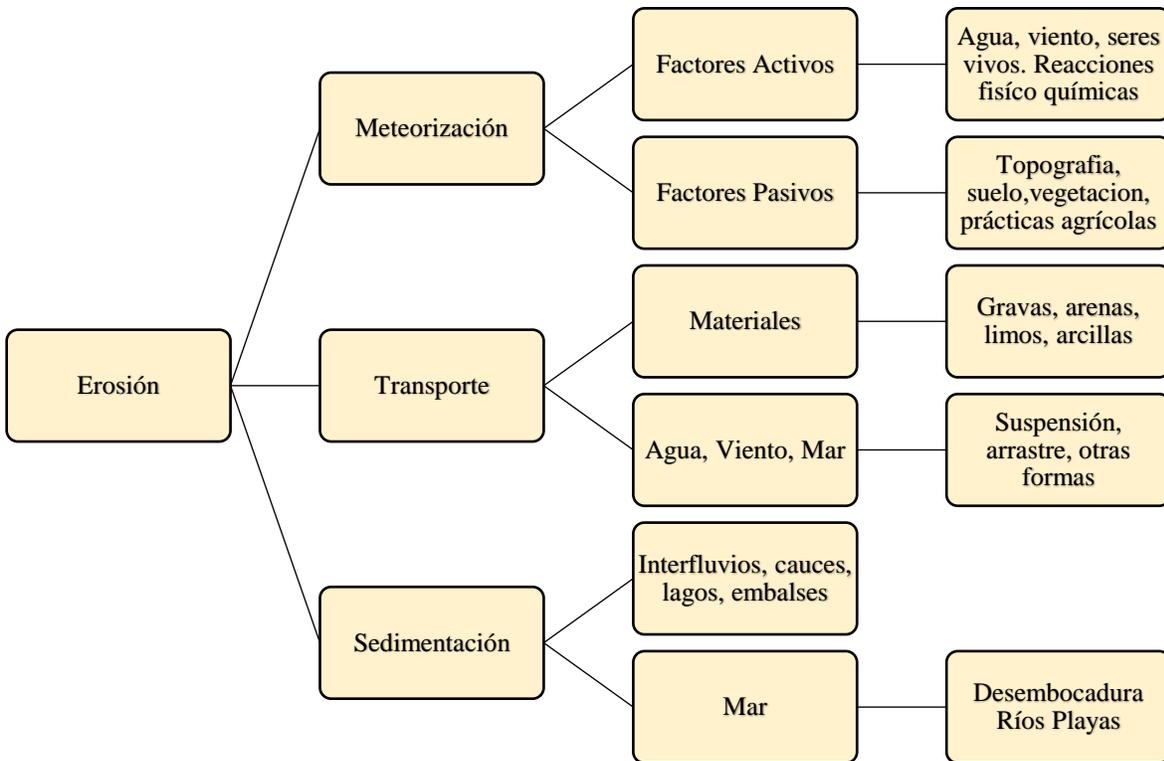
La sedimentación consiste en el almacenamiento de materiales erosionados y transportados.

Las características de los depósitos o sedimentos dependen de la naturaleza del agente de transporte y el material se deposita debido a la disminución de la fuerza transportadora de dicho agente. La gravedad es la fuerza responsable de la sedimentación.

La sedimentación puede ocurrir en cualquier lugar de la superficie terrestre donde haya erosión, y, básicamente, puede ser de tres tipos:

- Marina, se forman depósitos en la plataforma continental y en las zonas abisales.
- Continental, se acumulan materiales a los pies de las cadenas montañosas, en los glaciares, a lo largo de las cuencas de los ríos y en los desiertos.
- De transición que es la sedimentación que tiene lugar en puntos de contacto entre el mar y los continentes, como las zonas pantanosas.

Figura Nro. 1 Factores que intervienen en el proceso de erosión



Fuente: (Espinoza, 2002).

1.3 Clases de erosión

1.3.1 Erosión Hídrica

La desagregación, transporte, sedimentación de las partículas del suelo por las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial definen el proceso de erosión hídrica. Este se ve afectado por varios factores, como ser, el clima, el suelo, la vegetación y la topografía. Los factores climáticos tienen un papel importante en la erosión hídrica, siendo las precipitaciones, tanto en su intensidad como en su duración (Apaza, 2010).

1.3.2 Erosión Eólica

La erosión eólica es el resultado de la acción del viento sobre la superficie del suelo, en la cual intervienen diferentes factores como el clima, suelo y la vegetación. La topografía se considera en un factor de poca importancia en este proceso, pero la

longitud de la superficie influye generalmente en el movimiento del suelo. En general, este tipo de erosión se produce fácilmente en zonas áridas y semiáridas donde confluyen los siguientes factores: suelos secos, áreas planas, vegetación pobre y el periodo de los vientos coincide con la época seca del año (Orsag, 2003). Citado por, (Ricalde, 2008).

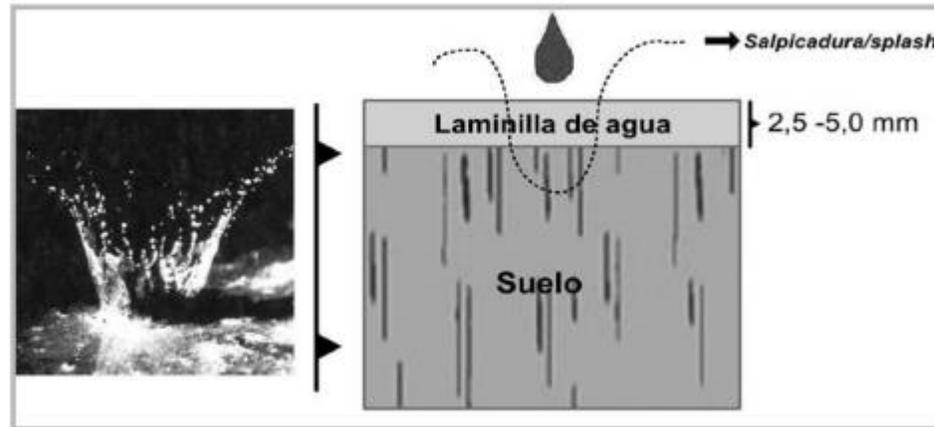
1.4 Formas de erosión hídrica

1.4.1 Erosión Laminar

La erosión laminar consiste en el desprendimiento y transporte de capas bien definidas superficiales de suelo por acción de la escorrentía difusa. El suelo se va perdiendo casi en forma imperceptible. Este tipo de erosión es muy común en los suelos residuales y en las zonas recientemente deforestadas. La acción de las gotas de lluvia altera el suelo superficial.

El agua parcialmente se infiltra y parcialmente se acumula sobre la superficie del terreno formándose una capa delgada de agua con flujos de 2 a 3 milímetros de espesor. El flujo laminar es poco profundo en la cresta de la ladera, pero la profundidad de flujo aumenta talud abajo. El flujo propiamente laminar tiene poco poder erosivo, pero en partes se convierte en turbulento, aumentando en forma importante su capacidad de erosión. Al continuar la acción de la lluvia y al mismo tiempo ocurrir el flujo, aumentando la capacidad de erosión. El flujo de agua toma un color marrón o amarillo por la presencia de sedimento. (Huariccallo, 2013).

Figura Nro. 2 Esquema del impacto de una gota de agua sobre la superficie del suelo



Fuente: (Ignacio, 2018).

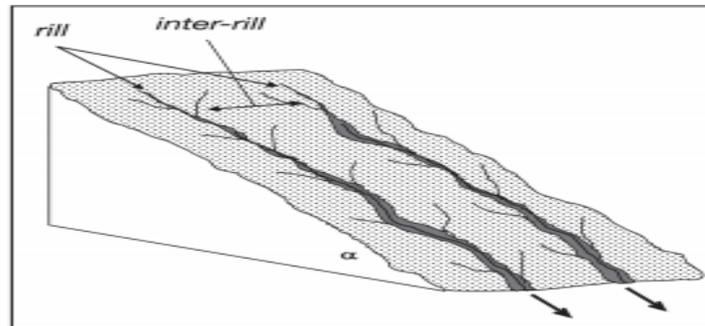
1.4.2 Erosión en Surcos

La erosión en surcos ocurre cuando el flujo superficial empieza a concentrarse sobre la superficie del terreno, debido a la irregularidad natural de la superficie. Al concentrarse el flujo en pequeñas corrientes sobre una pendiente, se genera una concentración del flujo el cual por la fuerza atractiva de la corriente produce erosión, formándose pequeños surcos o canales, los cuales inicialmente son prácticamente imperceptibles, pero poco a poco se van volviendo más profundos.

En estos surcos la energía del agua en movimiento adquiere cada vez, una fuerza mayor capaz de desprender y transportar partículas de suelo. Inicialmente, los pequeños canales presentan una forma en V la cual puede pasar a forma en U. La profundidad del canal va aumentando. Estos flujos adquieren velocidades cada vez mayores. La energía de este flujo concentrado empieza desprender partículas de suelo incorporándolas al flujo, convirtiendo estos micro flujos concentrados en las rutas preferenciales de los sedimentos. Los suelos más susceptibles a formación de surcos son los suelos expuestos al agua sin cobertura vegetal alguna. Entre mayor sea la

cobertura vegetal superficial, la susceptibilidad a la formación de surcos disminuye. (Huariccallo, 2013).

Figura Nro. 3 Erosión en surcos provocado por el flujo agua aumentando la capacidad de socavación y arrastre de sedimentos



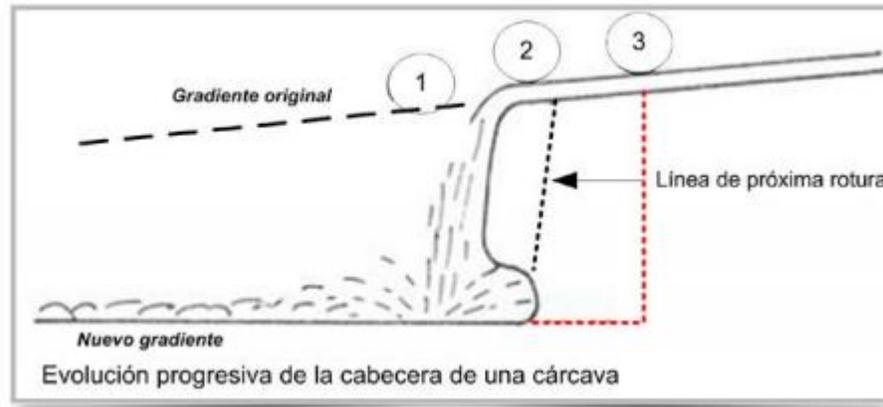
Fuente: (Ignacio, 2018).

1.4.3 Erosión en Cárcavas

Al profundizar y ampliarse los surcos de erosión se convierten en cárcavas, o varios pequeños surcos se pueden unir y crecer para formar una cárcava.

Se denomina cárcava a un canal de erosión con una sección superior a un pie cuadrado. Estos canales ya no pueden ser eliminados con prácticas agrícolas. Las cárcavas tienen una mayor capacidad de transporte de sedimentos que los surcos. También actúan como causas de concentración y transporte de agua y de sedimentos. En este proceso una cárcava con causa en V captura a las vecinas y va transformando su sección de una V ampliada a U. Al inicio de las cárcavas son en V pero generalmente terminan con forma en U. Las cárcavas son canales mucho más largos que los surcos. Estos canales transportan corrientes concentradas de agua durante e inmediatamente después de las lluvias. Las cárcavas van avanzando o remontando hacia arriba formando una o varias gradas o cambios bruscos de pendiente. (Huariccallo, 2013).

Figura Nro. 4 Esquema de erosión retro sedente en una cárcava activa



Fuente: (Ignacio, 2018).

1.4.4 Movimiento en Masa

Implica el desplazamiento de grandes volúmenes de material en condiciones especiales de humedad, pendiente y tipo de suelo. Los movimientos en masa se producen frecuentemente en suelos someros, asentados sobre un material impermeable, como rocas graníticas, bajo fuertes pendientes. En estas condiciones el material “fluye” sobre la interfase suelo-roca por un efecto mecánico de disminución de la resistencia al corte, aumento del peso y lubricación del contacto entre ambas capas. (Cisneros, 2012).

1.5 Tipos de cárcavas

1.5.1 Cárcavas continuas alargadas

No tienen cabeza con escarpe vertical importante esto ocurre en suelos granulares cohesivos, al deteriorarse la cobertura vegetal por acción de los surcos de erosión. Sin embargo, aumentan en ancho y profundidad talud abajo y pueden presentar sedimentaciones en sectores de menores pendientes. Las cárcavas continuas llamadas también de socavación se profundizan en un proceso de erosión o lavado de las partículas del fondo del cauce. Generalmente, las partículas erosionadas son las arenas y los limos, permaneciendo en la cárcava las partículas de mayor tamaño. Las cárcavas

continúas alargadas están asociadas frecuentemente con paisajes suavemente ondulados. (Díaz, 2001).

1.5.2 Cárcavas alargadas con escarpe vertical superior

Inicialmente la cárcava se profundiza hasta lograr una pendiente de equilibrio por razones geológicas o propias del proceso erosivo y luego inicia un proceso de avance lateral y hacia arriba, mediante la ocurrencia de deslizamientos. La cabeza de la cárcava puede moverse hacia arriba como un resultado de la excavación en el pie del escarpe por la caída del agua desde la corona y por deslizamiento de taludes. (Díaz, 2001).

1.5.3 Cárcavas anchas

Este sistema de cárcavas anchas es muy común en cortes de excavaciones para carreteras y ferrocarriles. El corte inicial es un talud con una determinada pendiente. El agua al correr sobre el talud genera una serie de surcos y pequeñas cárcavas dentro de una cárcava ancha que comprende una sección grande del corte. En la práctica el corte original de la vía es realizado a un ángulo superior al ángulo de estabilidad por erosión del talud y se genera un proceso progresivo del deterioro del talud, formándose un escarpe vertical y una nueva pendiente estable. La formación de cárcavas anchas es muy común en suelos residuales donde el material más superficial del perfil generalmente es más erosionable y al profundizar la resistencia a la erosión. (Díaz, 2001).

1.5.4 Cárcavas ramificadas

Ocurre con alguna frecuencia que las cárcavas alargadas formen cárcavas laterales creando un sistema de ramificación de la cárcava. Esta ramificación genera un proceso muy fuerte de denudación con generación de grandes cantidades de sedimentos para las corrientes. (Díaz, 2001).

1.6 Factores que intervienen en la erosión hídrica

1.6.1 Lluvia

La variable climática más importante es la lluvia, debido a su fuerte influencia en ciertos procesos de erosión hídrica (erosión de impacto, surcos, cárcavas, etc.) (Morgan, 2005), citado por Brea, (2010). El agua de lluvia provoca la erosión del suelo por el impacto de las gotas sobre su superficie, cayendo con velocidad y energía variables y a través del escurrimiento del torrente. Su acción erosiva depende de la distribución pluviométrica, más o menos regular, en el tiempo y en el espacio y de su intensidad. Lluvias torrenciales o chaparrones intensos, como una tromba de agua, constituyen la forma más agresiva de impacto del agua en el suelo.

1.6.2 Cobertura vegetal

La vegetación actúa como cubierta protectora estableciéndose como un buffer entre el suelo y la atmósfera (Morgan, 2005). Como regla general, la efectividad de la vegetación para reducir la erosión de impacto depende directamente de la altura y continuidad de la copa de los árboles, así como de la densidad de la cobertura superficial (pastos, hierbas y arbustos). La cobertura vegetal es la defensa natural de un terreno contra la erosión. Entre los principales efectos de la cobertura vegetal se destacan lo siguiente: protección contra el impacto directo de las gotas de lluvia, dispersión y quiebre de la energía de las aguas de escurrimiento superficial, aumento de la infiltración por la producción de poros en el suelo por acción de las raíces, aumento de la capacidad de retención de agua por la estructuración del suelo por efecto de la producción e incorporación de materia orgánica. La presencia de una cobertura vegetal no sólo protege el suelo contra la erosión de impacto, sino que también brinda rugosidad al terreno por el que el flujo superficial viaja, reduciendo su velocidad y, por ende, su poder erosivo (Morgan, 2005), Citado por Brea, (2010).

1.6.3 Topografía

Morgan (2005) y García-Chevesich (2008), Citado por Brea, (2010), la topografía es una variable muy importante al momento de predecir la erosión y sedimentación en un

sitio dado. Factores como inclinación y largo de la pendiente determinan la cantidad y velocidad del escurrimiento superficial que se generarán producto de una tormenta dada. La distancia horizontal en la que viaja una partícula de suelo desprendida por el impacto de una gota de lluvia, está en directa relación con la inclinación de la pendiente. Por otro lado, la longitud de la pendiente influye en la profundidad y por tanto en el poder erosivo del flujo superficial que se genere, siendo esta variable mayor en las secciones más bajas de la ladera, debido a una mayor área de contribución.

1.6.4 Suelos

Es la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa quienes provienen 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. Las propiedades físicas del suelo, principalmente textura, estructura, permeabilidad y densidad y las características químicas, biológicas y mineralógicas, ejercen diferentes influencias en la erosión, al otorgar mayor o menor resistencia a la acción de las aguas. La textura, o sea, el tamaño de las partículas, influye en la capacidad de infiltración y de absorción del agua de lluvia, interfiriendo en el potencial de torrentes del suelo y con relación a la mayor o menor cohesión entre las partículas. De este modo, suelos de textura arenosa son normalmente porosos, permitiendo una rápida infiltración de la lluvia, dificultando el escurrimiento superficial. (Ramos, 2018).

1.6.5 Erodabilidad

La erodabilidad del suelo es un índice que indica la vulnerabilidad o susceptibilidad a la erosión y que depende de las propiedades intrínsecas de cada suelo. Cuanto mayor sea la erodabilidad mayor porcentaje de erosión. (Ramos, 2018).

1.7 Efectos de la erosión hídrica

Los efectos de la erosión hídrica se presentan en la naturaleza de diversas maneras: crea distintas formas de terrenos, ocasiona una degradación del suelo, altera las propiedades físico - químicas, escurrimiento superficial, sedimentación y cambio en los recursos hídricos, en el rendimiento de cultivos.

1.7.1 Degradación del Suelo

Fournier (1975), indica que el suelo disminuye de espesor y se produce modificaciones en el horizonte superior del suelo, el más rico en materia orgánica y elementos nutritivos. En principio puede tratarse de una degradación por destrucción de agregados o debilitamiento de la estructura.

Según la FAO (1988), la degradación del suelo se define como la pérdida de la productividad del suelo, cuantitativa y cualitativa, e incide directamente en la baja producción y por consiguiente un bajo nivel de ingresos de los agricultores. (Ricalde, 2008).

1.7.2 Pérdida de Nutrientes

La pérdida de nutrientes según la FAO (1980), se manifiesta a través de la erosión en suelos situados en pendiente, su importancia no solo repercute en el rendimiento de cultivos, sino el costo de reemplazarlo para mantener los rendimientos de los mismos. (Ricalde, 2008).

1.7.3 Factores humanos

Las prácticas agrícolas insostenibles son el factor que más contribuye al aumento global de las tasas de erosión. La labranza de las tierras agrícolas, que divide el suelo en partículas más finas, es uno de los principales factores. El problema se ha agravado en los tiempos modernos, debido a los equipos agrícolas mecanizados que permiten el arado profundo, lo que aumenta severamente la cantidad de suelo disponible para el transporte por erosión hídrica. Otros incluyen el monocultivo, la agricultura en pendientes pronunciadas, el uso de pesticidas y fertilizantes químicos (que matan a los organismos que unen el suelo), cultivos en hileras y el uso de riego superficial.

1.8 Prácticas de manejo y conservación de suelo

Las prácticas de Manejo y Conservación de suelos son elementos fundamentales en la implementación de un Plan de Manejo y Conservación de suelos, ya que mejoran la infiltración del agua de escorrentía superficial, reducen los procesos de erosión laminar

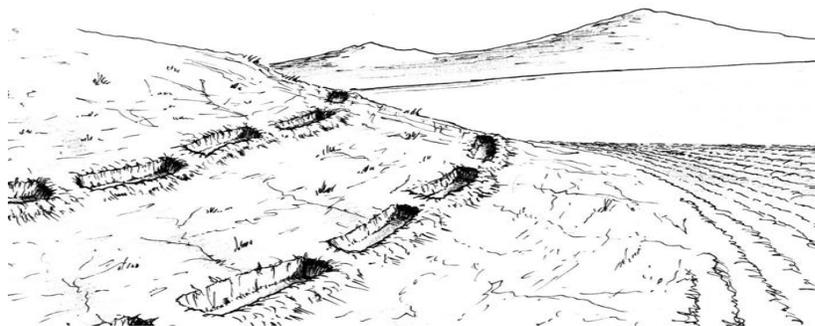
y en surcos que a largo plazo mantienen o mejoran la fertilidad de los suelos (Mamani, 2013). Estas prácticas pueden realizarse en tierras de diferente uso (agrícola, ganadero, forestal, etc.) con el propósito de manejarlas adecuadamente, buscando que nos proporcionen no solo beneficios sociales y económicos, sino también ambientales y se conserven por el mayor tiempo posible (Carrasco et al., 2012). Citado por Titirico, (2017).

1.8.1 Prácticas para prevenir y/o controlar la erosión hídrica laminar

1.8.1.1 Zanjas de infiltración

Son huecos de forma rectangular de aproximadamente 40 cm de ancho, 50 cm de profundidad y dos metros de largo, construidas a nivel y en forma transversal a la pendiente, con la finalidad de interceptar el agua de escurrimiento difuso y almacenar en la zanja y de esta manera evitar el transporte de partículas del suelo, mejorar las condiciones de humedad del suelo, más aún si en la parte inferior se establece una planta para mejorar la cobertura vegetal protectora, de esta manera se evita también que el agua de escurrimiento difuso origine el colapso mecánico en la cabecera de la cárcava.

Figura Nro. 5 Diseños de zanjas de infiltración



Fuente: Proyecto JALDA, 2005.

1.8.1.2 barreras de piedra acomodada en curvas a nivel

Es el acomodo de piedras en curvas a nivel, formando una barrera o pequeño muro, con el objeto de retener suelo y disminuir la velocidad de escurrimientos en suelos con presencia de erosión laminar.

Esta obra se implementa principalmente en zonas desprovistas de vegetación, con poca profundidad de suelo y donde exista evidencia de arrastre de suelo superficial y presencia de roca de modo que se garantice el volumen de obra requerido, de acuerdo a las necesidades del terreno.

Proceso de construcción

Primer paso. Calcular el espaciamiento y trazar las curvas a nivel. Para este cálculo preferentemente se utiliza la información de erosión actual del suelo, una vez determinado el espaciamiento, se trazan las curvas a nivel sobre las que se construirá la barrera de piedra. Para el marcado pueden utilizarse banderas, cal o estacas.

Segundo paso. Excavar la zanja de empotramiento sobre la curva trazada.

Tercer paso. Acarrear o acercar el material a la curva a nivel trazada donde se construirá la barrera. Se puede hacer uso de carretillas, costales, vehículos automotores o de tracción animal, para hacer más rápido su transporte.

Cuarto paso. Formar la barrera. Se acomodan las rocas de tal manera que se forme una barrera cuadrangular de 30 centímetros de alto por 30 cm de ancho. (CONAFOR, 2004).

Figura Nro. 6 Barrera de piedra acomodada a curva nivel



Fuente: (CONAFOR, 2004).

1.8.1.3 Medias lunas

Como se indicó, son pequeñas estructuras de tierra construidas de forma de media luna distribuidas en tres bolillos transversales a la pendiente, con el fin de interceptar el agua de escurrimiento superficial difuso, favorecer la infiltración del agua al suelo, mejorar las condiciones de humedad del suelo para el mejor crecimiento y desarrollo de arbustos y vegetación herbácea, de esta manera evitar que el agua de escurrimiento difuso llegue a la cabecera de la cárcava y evitar el colapso mecánico, disminuir y controlar a la vez la erosión hídrica laminar, como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura Nro. 7 Construcción de medias lunas



Fuente: Espinoza 2020. Apuntes de Suelos III

Figura: 7 Un aspecto de las medias lunas que se pueden construir aguas arriba de la cabecera de la cárcava para interceptar el

1.8.1.4 Cerramiento con plantaciones forestales

Los cerramientos son áreas protegidas por alambre galvanizado liso o alambre de púas con postes de madera o cemento, esto tiene como objetivo de favorecer la regeneración natural de la vegetación, proteger la cobertura del suelo, por el sobrepastoreo extensivo del ganado mayor y menor.

Una plantación forestal consiste en el establecimiento de árboles que conforman una masa boscosa y que tiene un diseño, tamaño y especies definidas para cumplir objetivos específicos como plantación productiva, fuente energética, protección de zonas agrícolas, protección de espejos de agua, corrección de problemas de erosión, plantaciones silvopastoriles, entre otras. Precisamente, ese objetivo es el que también permite determinar la densidad de siembra, los rendimientos y los costos que implicará la plantación, junto con la selección de las especies más adecuadas y su programación para la producción. Pero para que todo esto sea posible es indispensable realizar un estudio previo y cuidadoso de las condiciones naturales en las que se desarrollará la plantación, además de la planeación y distribución del área, a fin de asegurar su éxito. (CONAFOR, 2004).

1.8.1.5 Cortinas rompe vientos

Son plantaciones alineadas en forma perpendicular a las corrientes del viento. Se establecen con cuatro o más hileras de árboles y arbustos para formar una barrera lo suficientemente alta y densa para disminuir significativamente la velocidad del viento, detener el material acarreado por el viento, los beneficios que tienes son disminuyen la pérdida de suelo ocasionada por el viento y detienen el suelo acarreado por el viento. El diseño de una cortina rompevientos debe estar en función de la velocidad máxima que alcanzan los vientos. Las cortinas se ubicarán y orientarán en sentido perpendicular a las corrientes de aire y deben tener una forma preferentemente trapezoidal. (CONAFOR, 2004).

1.8.2 Prácticas para prevenir y/o controlar la erosión hídrica en surcos

Terrazas de formación sucesiva

Son terraplenes que se forman por el movimiento del suelo entre los bordos de tierra. Éstos detienen el suelo que proviene del área entre terrazas, construyendo un canal de desagüe aguas abajo del bordo, sirve para Controlar la erosión en surcos, Interceptar los escurrimientos superficiales. Para determinar la distancia entre terrazas, se debe considerar la pendiente del terreno como un elemento importante, la cantidad de lluvia que se presenta en la región, la dimensión de las áreas donde se aplicará la práctica y los implementos agrícolas disponibles. (CONAFOR, 2004).

1.8.2.1 Barreras vivas

Las barreras vivas son hileras de plantas sembradas a poca distancia, en curvas de nivel, con el objetivo de conservar el suelo y protegerlo de la erosión. Se pueden construir de: leucaena, gandul, caña de azúcar, entre otros. La distancia entre curvas depende de la pendiente y del tipo de suelo. Se combinan bien con otras técnicas como las acequias. Las barreras vivas reducen la velocidad del agua porque divide la ladera en pendientes más cortas, y la velocidad del viento (rompe viento). Sirven también como filtro, captando sedimentos que van en el agua de escurrimiento. (RED SICTA, 2012).

1.8.2.2 Barreras de piedras

Son muros relativamente bajos que se construyen con las mismas piedras que están regadas en la parcela, siguiendo las curvas a nivel, para evitar el problema de la erosión en los suelos de ladera. Se combinan muy bien con barreras vivas. Tienen la función de reducir la velocidad de la esorrentía y detener el suelo que se erosiona en las partes superiores de la ladera. En pocos años, las barreras muertas ayudan a la formación de terrazas en la medida que retienen el suelo.

Se utilizan especialmente en laderas con fuerte pendiente, en cuyas parcelas hay bastante piedra que estorba el proceso de cultivos. La distancia entre barreras muertas depende del porcentaje de pendiente y del tipo de suelo. Se pueden utilizar en parcelas

ubicadas a cualquier altura sobre el nivel del mar. Son altamente recomendadas para zonas secas y semihúmedas. (RED SICTA, 2012).

1.8.3 Prácticas para prevenir y/o controlar la erosión hídrica en cárcavas

1.8.3.1 Espaciamiento entre presas

El espaciamiento entre dos presas consecutivas depende principalmente de: a) la pendiente de la cárcava, b) la altura efectiva de la presa, c) la finalidad del tratamiento de la cárcava y d) los sedimentos depositados o por depositar.

El criterio más efectivo es el de cabeza-pie, el cual consiste en que la altura de vertedor de la presa aguas abajo, debe coincidir con el pie de la presa de aguas arriba. (CONAFOR, 2004).

Figura Nro. 8 Presa de piedra acomodada construida bajo el criterio cabeza-pie



Fuente: (CONAFOR, 2004).

1.8.3.2 Presa de Geocostales

Es una estructura de geocostales (geotextiles rellenos con suelo) que se ordena en forma de barrera o trinchera y se coloca en contra de la pendiente, para el control de la erosión en cárcavas.

Beneficios Estabiliza el fondo de cárcavas a corto plazo. Favorece la acumulación de sedimentos. Protege obras de infraestructura rural.

Localización y medición de cárcavas Las presas de geocostales se recomiendan para el control de la erosión en cárcavas menores de un metro de profundidad, con pendientes máximas de 35%, donde el escurrimiento superficial no es de gran volumen (CONAFOR, 2004).

Figura Nro. 9 Diseño de presa de geo costales con delantal

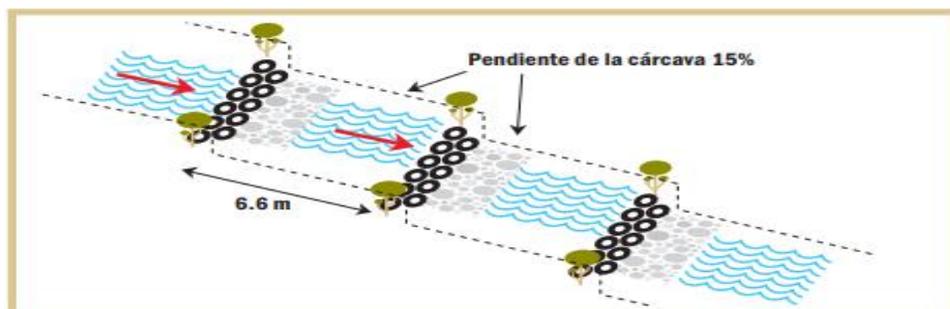


Fuente: (CONAFOR, 2004).

1.8.3.3 Construcción de presas con llantas

Es una barrera o trinchera para el control de cárcavas las cuales se forma con llantas de desecho y se coloca de manera transversal al flujo de la corriente de las cárcavas las presas de llantas se recomiendan para el control de cárcavas pequeñas con pendientes máximas de 20%, con una distancia de 6 m, su altura no debe ser mayor a 1.5 metros y el escurrimiento superficial de la cuenca no debe ser de gran volumen. (CONAFOR, 2004).

Figura Nro. 10 Construcción de diques de gomas



Fuente: (CONAFOR, 2004).

1.8.3.4 Zanjas derivadoras de escorrentía

Desde el punto de vista de la conservación de suelos, las zanjas derivadoras se construyen con una sección lo suficientemente amplia para controlar y desalojar el agua de escorrentías de los caminos, las parcelas o las cárcavas. Las zanjas funcionan interceptando el agua y la conducen hacia lugares donde no provoquen daños como lagos, arroyos y cárcavas estabilizadas.

Este tipo de obras es muy importante para la protección de caminos, para llevar a cabo el diseño de las zanjas derivadoras de escorrentía, es necesario considerar los tipos de vegetación, el suelo y la pendiente media del área de drenaje que se presentan en el lugar donde se establecerá la obra. (CONAFOR, 2004).

1.8.3.5 Presas de gaviones

Es una estructura que consiste en una caja de forma prismática rectangular de malla de alambre de triple torsión, rellena de piedras. Este tipo de presa es de bajo costo y larga duración. Sirve como protección contra la erosión y, por sus dimensiones, puede variar dependiendo del tamaño de la cárcava, pero se recomienda para aquellas con alturas mayores de 2 metros. Las presas de gaviones por lo general se utilizan en cárcavas con dimensiones mayores a los 2 metros de ancho y 1.5 metros de profundidad o más. Estas presas no se recomiendan en cárcavas con dimensiones menores, por su alto costo, además de requerir un cálculo de ingeniería específico. (CONAFOR, 2004).

1.8.3.6 Presas de mampostería

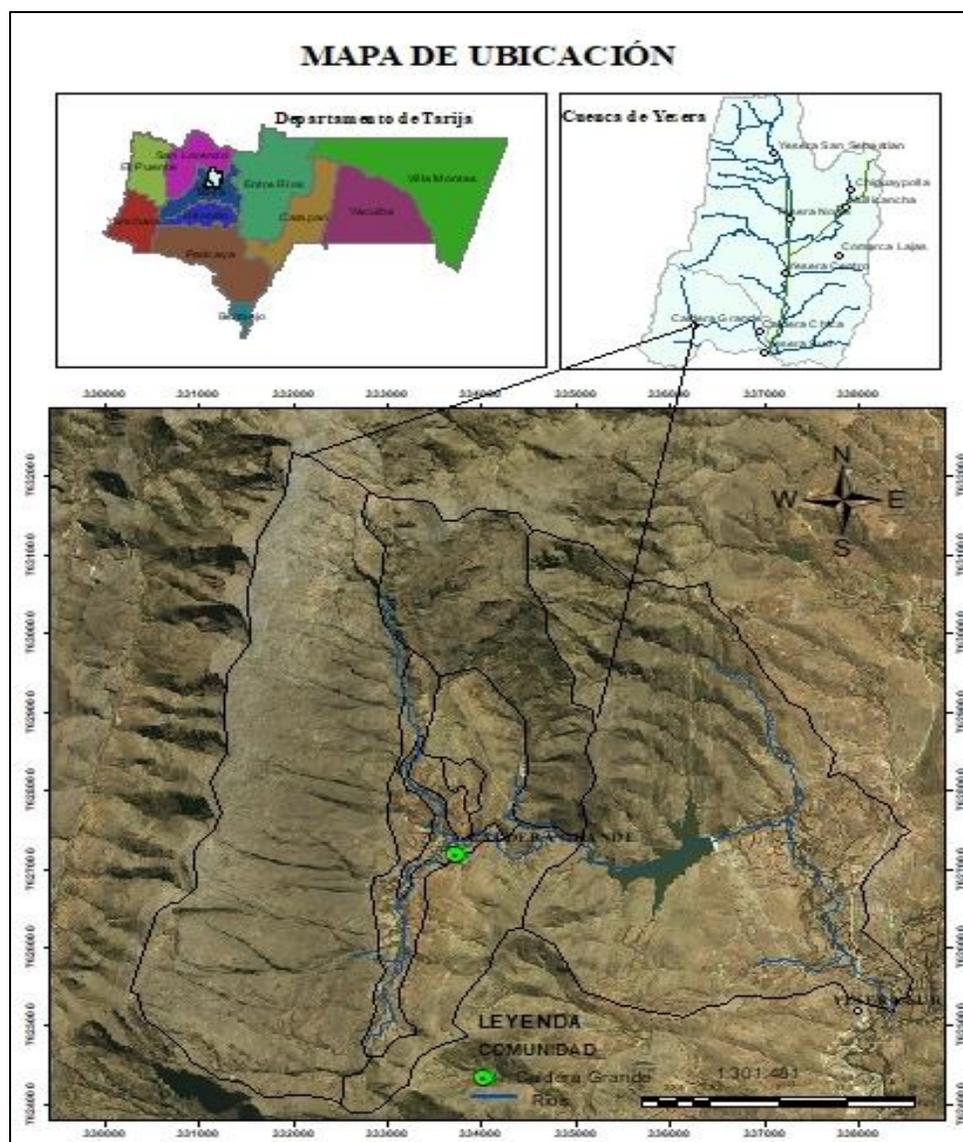
Es una estructura de piedra, arena y cemento, que se construye perpendicular a las cárcavas, controla la velocidad de escurrimiento al formar un escalón que reduce la erosión hídrica y almacena agua, para realizar el diseño de una presa de mampostería es necesario ubicar previamente el lugar donde se va a construir, determinar el área de la cuenca que lo alimenta, estimar o cuantificar el escurrimiento máximo, así como caracterizar la cárcava en cuestión tomando en cuenta su ancho, profundidad y tipo de suelo. (CONAFOR, 2004).

2.1 Localización del área de estudio

La subcuenca del río Caldera Grande, se ubica 31,54 Km de la ciudad de Tarija, en el sector suroeste de la cuenca del río Yesera, esta a su vez es parte de la cuenca del río Santa Ana, la misma que es una de las 4 cuencas que forman el Valle Central de Tarija. La subcuenca de Caldera grande cuenta con una extensión de 4155.17 ha, lo cual 2828,7 ha que se encuentra en la parte superior de la represa Caldera se realizó dicho estudio de caracterización de formas y procesos de erosión hídrica actual del suelo por paisaje fisiográfico (Ver mapa de ubicación Figura Nro.11)

Las referencias geográficas de la Subcuenca del río Caldera Grande son las siguientes: al Norte se encuentra el Cerro La Mina (2.700 msnm). Al Oeste se destacan el Cerro Escalera (2.824 msnm) y el Cerro San Pedrito (2.750 msnm). Al Sur se tiene el Cerro Morro Grande (2.300 msnm) y el valle del río Gamoneda. Al Este se tiene el valle del río Yesera. En la parte alta del río Calderas se tienen las quebradas de la Mina y de Morro Grande. (O T N - P B, 2004).

Figura Nro. 11 Mapa de ubicación de la subcuenca caldera grande



Fuente: Elaboración propia.

2.2 Características biofísicas

2.2.1 Temperaturas

La temperatura media de la subcuenca es de 16, 4° C con oscilaciones anuales entre 8, 7° C a 24° C., con temperaturas máximas extremas que llegan a los 39° C y mínimas extremas en los meses de invierno el termómetro baja hasta los -10° C, con fríos que limitan en general la producción agrícola. Los meses más cálidos son octubre, noviembre, diciembre y enero; mientras que los más fríos son junio y julio. (SENAMHI, 2002-2019)

2.2.2 Precipitaciones

Las lluvias predominantes son de tipo orográfico con fuerte influencia de los vientos del sudeste. Las lluvias se concentran en los meses de noviembre a marzo, siendo prácticamente nulos en el período mayo – septiembre. La cantidad de lluvia anual presenta diferencias de un pluviómetro a otro, dependiendo ello de su ubicación respecto a la cordillera.

Para la caracterización climática se dispone de dos estaciones meteorológica ubicadas en dentro de la cuenca: Estación de Yesera Norte y estación de Yesera Sud, ambas pertenecen al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (SENAMHI, 2002-2019).

Los datos que se pueden contar para la caracterización climática son los que se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro Nro. 1 Resumen climatológico

RESUMEN CLIMATÓLOGICO
Período Considerado: 2002 - 2019

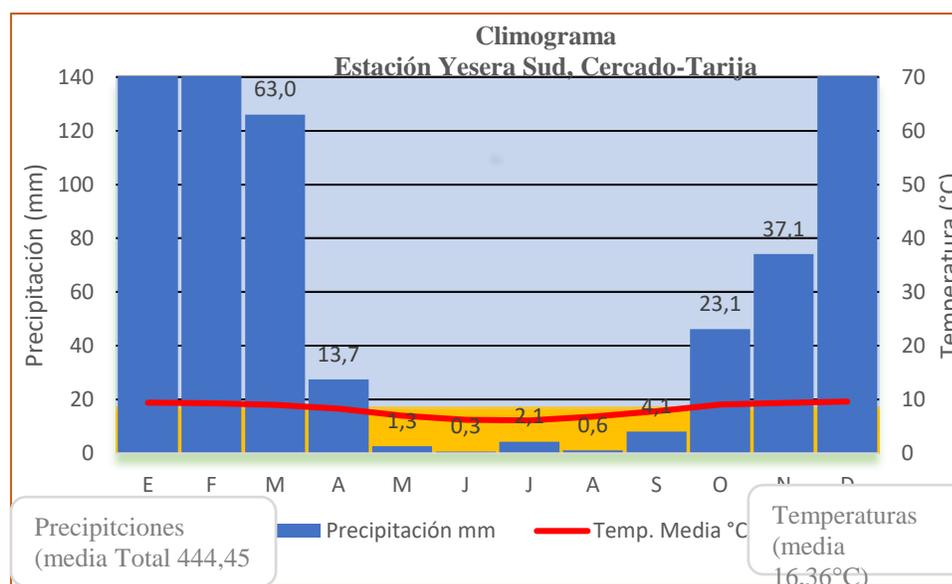
Estación:
YESERA SUD
Provincia:
CERCADO
Departamento:
TARIJA

Latitud S.: 21° 28' 02"
Longitud W.: 64° 33' 30"
2.092
Altura: m.s.n.m.

Índice	Unidad	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
Temp. Max. Media	°C	24,7	24,3	23,7	23,3	22,4	23,0	22,7	23,8	24,4	25,4	25,3	25,3	24,0
Temp. Mín. Media	°C	13,1	12,9	12,3	10,0	5,5	2,1	1,7	3,5	6,9	10,9	12,1	13,2	8,7
Temp. Media	°C	18,9	18,6	18,0	16,6	13,9	12,5	12,2	13,7	15,7	18,2	18,7	19,2	16,4
Temp.Max.Extr.	°C	35,0	37,0	35,0	35,0	34,0	35,0	34,0	35,0	37,0	36,0	38,0	39,0	39,0
Temp.Min.Extr.	°C	7,0	6,0	5,0	-3,0	-5,0	-6,0	-10,0	-6,0	-5,0	-1,0	3,0	2,0	-10,0
Días con Helada		0	0	0	0	3	11	11	7	2	0	0	0	33
Precipitación	mm	109,4	103,2	63,0	13,7	1,3	0,3	2,1	0,6	4,1	23,1	37,1	86,7	444,5
Pp. Max. Diaria	mm	46,0	48,0	36,0	26,0	6,0	5,0	18,3	10,0	18,0	25,0	29,0	54,0	54,0
Días con Lluvia		10	8	6	2	0	0	0	0	1	3	4	7	42

*Instalada el 11/12/01
- SENAMHI

Gráfico Nro. 1 Climograma de precipitaciones



De acuerdo a los datos promedio de los años 2002 al 2019 se ha podido determinar en el siguiente climograma los periodos secos y húmedos, de los meses de noviembre a marzo pertenecen a los periodos húmedos, mientras que los periodos secos se encuentran en los meses de mayo a septiembre. Por lo tanto, con estos datos realizado en el climograma es recomendable realizar prácticas de conservación de suelo mediante abras mecánicas en los periodos secos y abras biológicas en los periodos húmedos en la subcuenca del Río Caldera Grande.

2.3 Características físicas

2.3.1 Geología

La zona de Calderas se encuentra en el interior de la cadena montañosa de la Cordillera Oriental de los Andes. Está constituida predominantemente por rocas de los sistemas Ordovícico (lutitas, limolitas, areniscas, cuarcitas y filitas), con presencia de Cuaternario en la parte central de las subcuencas de Calderas y Yesera. Esto determina cuencas que tienen la característica de ser prevaleciente impermeables, respecto a la formación de aguas subterráneas profundas. Además, las pendientes de las laderas son bastante fuertes lo que favorece el rápido escurrimiento superficial.

Parte del material transportado por los ríos tributarios es depositado en la zona media dando origen a la formación de terrazas aluviales. (PERTT, 2005), Citado por (ROMERO, 2016).

2.3.2 Geomorfología

Desde el punto de vista tectónico, todo el sector muestra una zona con buzamientos de los estratos en la dirección Oeste – Este. Se observan abanicos aluviales de buena magnitud. Los procesos tectónicos y la erosión han dado lugar a una topografía muy variada y muy característica. (O T N - P B, 2004).

2.3.3 Fisiografía

De acuerdo al ZONISIG (2001) la subcuenca del río Caldera Grande, forma parte de la Cordillera Oriental conformado por montañas, serranías, mesetas y valles, en este contexto del paisaje fisiográfico, de acuerdo a verificaciones de campo, el área de

estudio, está conformado por un gran paisaje de serranías medias a bajas, con pendientes escarpadas a muy escarpadas, con disección variable de ligera a fuerte que circundan un gran paisaje de valle formado por pie de montes coluvio aluviales y pequeñas terrazas aluviales del río Caldera Grande.

2.3.4 Hidrología

El balance hídrico, la zona cuenta con un buen sistema hidrográfico en la época de verano tiene crecidas de gran caudal, los cuales son desperdiciados y corren río abajo, tiene un número considerable de quebradas y arroyos que aporta al caudal principal, el cual mantiene un caudal normal en la época de lluvia, en época seca baja su caudal, pero no se seca al menos en la parte alta, mientras que las quebradas y arroyos no mantienen agua. (PERTT, 2005), Citado por (ROMERO, 2016).

2.3.5 Suelos.

Las principales características de los suelos de la subcuenca del río Caldera Grande, se corresponden de acuerdo al paisaje fisiográfico, de esta manera, el paisaje de serranías presenta suelos moderadamente escarpados a muy escarpados, con pedregosidad y rocosidad superficial variable, predomina los suelos superficiales y de texturas medias.

Los suelos del paisaje de pie de montes son inclinados y fuertemente inclinados, con poca a muy poca pedregosidad y rocosidad superficial, moderadamente profundos a profundos, de texturas finas en los pie de montes y textura medias en las terrazas aluviales.

Los tipos de suelos se encuentran en asociaciones, que son unidades de mapeo que contienen dos o tres suelos con proporciones similares, asociados geográficamente y que por razones prácticas de representación cartográfica se los agrupa los mismos que se detallan a continuación. (M M A y A, 2018).

Asociación

Leptosol: Los leptosoles son suelos superficiales con espesores menores a los 10 centímetros y texturas francas a más gruesas.

Cambisol: Los cambisoles se localizan en las partes con mayores profundidades efectivas, presentan un ligero desarrollo pedológico que cumple los requisitos de un horizonte cámbico, la textura es franca en la superficie y un poco más fina en el sub horizonte.

Phaeozem: Los phaeozem se encuentran un poco más dispersos dentro de esta unidad, estos cumplen los requisitos de un horizonte mólico, la textura es igual que los cambisoles excepto por el color de la capa superficial que es más oscura, el pH en todos los casos es ácido y fertilidad moderada. (M M A y A, 2018).

Asociación

Calcisol: Los calcisoles son suelos de pH básico y alta saturación de bases. La presencia de carbonatos tiene implicaciones agronómicas al aumentar la concentración de bicarbonatos que bloquean la absorción de hierro por las plantas (clorosis férrica). Estos suelos ocupan área semiáridas y subhúmedas con precipitación estacionalmente irregular.

Lixisol: Los lixisoles se encuentran sobre todo en los restos de terraza antigua lacustre, Estos son suelos con el mayor desarrollo pedogenético. Se forman en relieves planos a inclinados, frecuentemente a partir de materiales aluviales, coluvio - aluviales o lacustrinos, (M M A y A, 2018).

2.4 Características bióticas

2.4.1 Cobertura Vegetal

La vegetación natural en la subcuenca del río Caldera Grande tiene las siguientes características: Matorral medio semidenso a denso y un estrato de gramíneas y hierbas en la serranía alta, con las siguientes especies tola común, tola vaquera y hediondilla. Arbustal medio a bajo, pajonales y herbazales de poco denso a ralo en la serranía media, pastizal ralo a medio con arbustos y árboles emergentes en el paisaje de serranía del sector sureste. La vegetación en el paisaje de valle (pie de Monte y terrazas aluviales pequeñas es un matorral xerofítico medio a alto, ralo a denso en sectores con predominio de churqui (acacia caven), le sigue el molle (schinus molle) en forma

aislada, el tarco, la tipa, antarqui, varias especies de gramíneas y hierbas cobertura variable.

2.5 Características socioeconómicas

2.5.1 Población

La población que representa la subcuenca del río caldera grande cuenta con 44 familias. Las familias presentan un núcleo familiar promedio de 4 personas por familia, Padre, Madre y tres hijos.

2.5.2 Usos de la tierra

En cuanto al Uso de la tierra, las partes bajas de la subcuenca en los terrenos cuaternarios se encuentran sometidas a cultivos agrícolas en tres modalidades:

- A riego, con dotación hídrica insuficiente durante parte del año, siendo los principales cultivos el maíz, la papa, arveja, trigo, maní, tomate, cebolla y frutales.
- Secano que en las partes bajas, con cultivos de maíz, papa, arveja y trigo, especialmente.

La agricultura asentada en los suelos cuaternarios de la subcuenca normalmente no presenta problemas erosivos cuando se realiza en terrenos con pendientes inferiores al 2%, aun cuando su vecindad a los cauces la somete a inundaciones y daños por erosión lateral causados por la irregularidad y torrencialidad del régimen hidrológico existe en la zona que necesitan de defensivos en sus márgenes y en general de una mejora de este régimen de las descargas que se presenta en muchos casos como una necesidad urgente (M M A y A, 2018).

En las laderas y terrenos comunales se práctica el pastoreo libre o pastoreo extensivo de ganado vacuno, ovino y caprino, sin que existan cercados y control por rotación de la superficie pastada. Estos aprovechamientos carecen de ordenamiento y regulación en especial en lo que respecta al ganado menor, y es uno de los factores negativos principales para la rehabilitación de la cuenca, dado el continuo esquilmo del pasto,

que impide la floración y rebrote de las especies más apetecidas, el constante ramoneo de las cabras sobre los brotes de la vegetación arbórea y arbustiva y el desordenado traslado de los rebaños con su continuado efecto de compactación y sellado de la capa superior del suelo, que impide la germinación de las semillas, anula la capacidad de infiltración y favorece una elevada emisión de escorrentías superficiales (M M A y A, 2018).

2.6 MATERIALES Y MÉTODOS

2.6.1 Material de gabinete

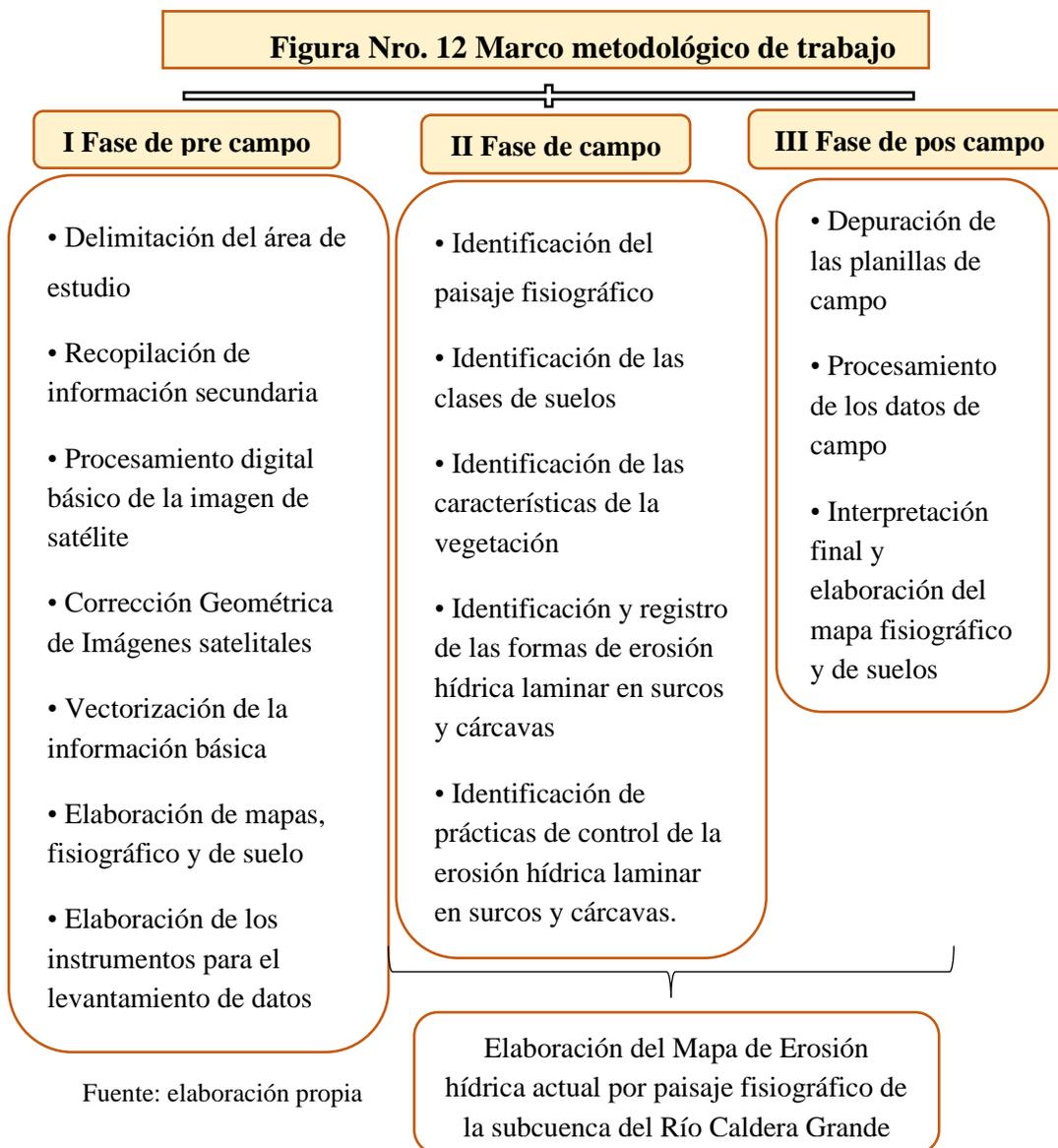
- ✓ Imagen de satélite
LANDSAT_8_SCENE_ID="LC80010682020241LGN00"
- ✓ ArcGIS 10.3
- ✓ Computadora
- ✓ Calculadora

2.6.2 Materiales de campo

- ✓ Mapa de interpretación fisiográfica
- ✓ Mapa de interpretación de erosión
- ✓ Mapa de interpretación del suelo
- ✓ Tabla MUNSSELL
- ✓ Planillas de recolección de datos
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Flexómetro
- ✓ Wincha
- ✓ GPS etrax 20x
- ✓ Regla
- ✓ Tablero
- ✓ Pala

2.7 METODOLOGÍA

La identificación y caracterización de las formas y procesos de erosión hídrica actual del suelo en el paisaje fisiográfico de la subcuenca del río Caldera Grande de la pedagógica de Yesera del Municipio de Cercado –Tarija, se ha realizado en base al método fisiográfico y el mapeo libre (Villota, 1991; Rossiter, 2004 y Espinoza, 2019) empleando técnicas de teledetección, herramientas para el manejo de la información como el sistema de información geográfica ArcGis 10.3 y métodos de campo, en este sentido, la metodología comprende las siguientes fases:



2.7.1 Fase de pre campo

Comprende las siguientes actividades en forma secuencial:

2.7.2 Delimitación del área de estudio

Primeramente, se realizó la búsqueda de imágenes de satélite Landsat 8 del 2018 apropiadas a los objetivos de la investigación, como así también la búsqueda de cartas topográficas escala 1:50.000, con estas dos herramientas, empleando criterios de formas del relieve y tonos de gris en la imagen, se ha identificado y el límite topográfico del territorio de la subcuenca del río Caldera Grande, como así también se ha procedido a la identificación y representación de los principales rasgos topográficos, serranías, ríos, quebradas, presas de tierra, caminos, escuela y viviendas.

2.7.3 Recopilación de información secundaria

En esta fase se realizó la búsqueda, recopilación, análisis y selección de la información secundaria pertinente relacionada con el tema central de la investigación que es los procesos y formas de erosión hídrica, contenida en libros, artículos de revistas, tesis de grado, informes, páginas web, consultas a profesionales referidas al contexto geográfico de la subcuenca del río Caldera Grande.

2.7.4 Procesamientos digital básico de la imagen de satélite

La obtención de la imagen satelital LANDSAT 8 del año 2018, se obtuvo del gabinete de SIG de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho carrera de ingeniería forestal. el cual dispone de una amplia base de datos histórica de imágenes obtenidas de los diferentes satélites Landsat con registros que llegan hasta la fecha actual.

2.7.5 Correcciones Geométrica de Imágenes satelitales

El proceso de corrección consistió en la transformación matemática de coordenadas, desde un sistema de imagen (número de fila y columna - pixel) a un sistema de coordenadas reales del terreno. A través del uso del software ArcGis, en esta etapa se procede a corregir o georreferenciar correctamente, los desplazamientos en las

imágenes satelitales, y así poder conseguir la proyección cartográfica correcta, la UTM WGS 84 (latitud, Longitud).

2.7.6 Vectorización de la información básica

Una vez teniendo la imagen, mediante las herramientas de conversión del ArcGis, se procedió a convertir el formato de raster a vector, debido a que solo en este formato se podrá realizar el análisis de perímetros y áreas de los paisajes fisiográfico, suelos y erosión.

2.7.7 Elaboración de mapas, fisiográfico y de suelo

La elaboración del mapa de suelos se inicia con la interpretación del paisaje fisiográfico mediante el método fisiográfico y la relación imagen paisaje suelo, consiste en la identificación, delimitación de las categorías del paisaje fisiográfico, Provincia fisiográfica, gran paisaje, paisaje empleando la imagen de satélite digital y el sistema de información geográfica ArcGis 10.3, en base a criterios de relieve, red de drenaje, densidad de drenaje, disección, posición topográfica, tono, sombras, textura y contraste. De esta manera se tiene un mapa preliminar de paisaje fisiográfico del área de estudio con su respectiva leyenda preliminar.

2.7.8 Elaboración del mapa de erosión hídrica actual del suelo

El primer paso en la clasificación supervisada es identificar ejemplos de las clases de información de interés (es decir, tipos de cubierta terrestre) en la imagen. Estos se llaman sitios de entrenamiento (training sites). La clasificación supervisada de una imagen se basa en el conocimiento previo del número de clases y algunos parámetros estadísticos asociados a cada clase espectral presente en una imagen (Eastman, 2012), (Espinoza, 2009) Citado por Pacheco, (2015).

La identificación preliminar de áreas erosionadas se ha llevado a cabo en base a las características pictórico morfológicas de la imagen de satélite como: Tono, color, forma, tamaño, patrón, forma, textura, de esta manera se tiene una primera aproximación de las áreas afectadas por procesos de erosión hídrica laminar y cárcavas

como también de las áreas no afectadas por la erosión con su respectiva leyenda preliminar.

En base a los criterios mencionados, se procedió a identificar en la imagen satelital los sitios de muestreo en las áreas más afectadas por erosión hídrica laminar, surcos y cárcavas correspondientes a nivel de paisaje del área de estudio, además de los criterios indicados en la identificación de los sitios de muestreo también se ha empleado como criterios los factores que determinan la erosión como el relieve (pendiente), disección, cobertura vegetal y uso de la tierra.

2.7.9. Elaboración de los instrumentos para el levantamiento de datos de campo

Consiste en la elaboración de las siguientes planillas o formularios el registro de la información a ser identificada en los sitios de muestreo durante la fase de campo:

1. Identificación y registro de datos del paisaje fisiográfico y relieve
2. Identificación y registro de datos del suelo
3. Identificación y registro de datos de tipos de vegetación y uso de la tierra
4. Identificación de formas y procesos de erosión hídrica.

Los mencionados instrumentos se muestran en los anexos.

2.8 Fase de campo

Esta fase se ha desarrollado mediante la ejecución de las siguientes actividades:

- Reunión con el dirigente y productores de la comunidad, para informarles sobre la investigación a realizar, solicitar permiso para acceder a las fincas, coordinación de actividades y apoyo.
- Verificación y corrección de las líneas de interpretación del mapa fisiográfico, de erosión actual y de los sitios de muestreo mediante recorridos por los diferentes paisajes a nivel de paisaje e identificando los suelos concentrando la atención en los sitios con procesos de erosión.

2.8.1. Identificación del paisaje fisiográfico

La identificación de las categorías del paisaje fisiográfico desde la provincia fisiográfica, gran paisaje y paisaje y sus principales características en cuanto a clima, relieve, disección y material geológico, se ha realizado en base a la metodología de las unidades de terreno descrita en el manual de campo del proyecto ZONISIG (2001), las principales características del paisaje han sido registradas en la planilla 1.

2.8.2 Identificación de las clases de suelos

La identificación de las clases de suelos se ha realizado identificando y registrando la información de los sitios de muestreo definidos en la fase de precampo cuya ubicación ha sido ajustada en la fase de campo. En los sitios de muestreo se ha levantado y registrado la siguiente información:

- Características externas del suelo (Pendiente, rocosidad y pedregosidad superficial, drenaje externo, erosión y material parental).
- Características internas del suelo (Espesor, color, textura, estructura, fragmentos gruesos, capas cementadas y compactadas, nivel freático y limitante de profundidad las que han sido registradas en el formulario 2. Para el efecto se ha excavado una calicata y realizado la descripción de un perfil del suelo.
- Posteriormente se ha correlacionado con el mapa de suelos del Proyecto de la Cuenca Pedagógica Yesera para obtener el mapa de tipos de suelos de la subcuenca del río Caldera Grande.

2.8.3 Identificación de las características de la vegetación

En una parcela de tamaño de acuerdo a la metodología del ZONISIG (2001) se ha realizado la medición y registro de la cobertura, altura y uso de la vegetación por estratos, a partir de dichos datos se ha determinado el tipo de vegetación. Estos datos se han registrado en la planilla 3.

2.8.4 Identificación y registro de las formas de erosión hídrica

2.8.4.1 Erosión hídrica laminar

La identificación de esta forma de erosión se ha realizado en parcelas de 1 m² ubicadas en sitios representativos del suelo afectados por erosión hídrica laminar, donde se identifica las huellas de la erosión laminar, mediante la medición y registro del % de cobertura vegetal (hierbas y gramíneas), % de pedregosidad y rocosidad superficial, % fragmentos gruesos, % suelo desnudo y otra cobertura que hubiere, se registras los datos en la planilla 4. Este procedimiento se repite de 5 a 10 veces de acuerdo a las características externas y de erosión del suelo en estudio. Se concluye con resumen de evaluación del proceso de la erosión laminar en el sitio de muestreo

2.8.4.1.1 Identificación de prácticas de control de la erosión hídrica laminar

Con la información levantada, las características externas del suelo y la observación directa en el terreno de los procesos de erosión, se procede a identificar y justificar las medidas que se consideran más aconsejables para controlar o en su caso prevenir el proceso de erosión hídrica en forma laminar.

2.8.4.2 Erosión hídrica en surcos

En el sitio de muestreo ubicado en el paisaje y suelo afectado por erosión hídrica en surcos, se ubica los sectores que presentan erosión en surcos, se procede a realizar un inventario de los surcos, de los cuales se mide su longitud, la profundidad y el ancho en tres puntos representativos luego se determina el promedio del ancho y profundidad de cada surco, se identifica y registra los procesos que originan el crecimiento longitudinal, lateral y en profundidad de cada surco, se registran los datos en la planilla 4. Este procedimiento se repite en los suelos afectados por esta forma de erosión, se concluye con resumen de evaluación del proceso de la erosión en forma de surcos en el sitio de muestreo.

2.8.4.2.1 Identificación de prácticas de control de la erosión en surcos

Con la información levantada de la erosión en surcos, las características externas e internas del suelo y la observación directa en el terreno de los procesos de erosión, se procede a identificar y justificar las medidas que se consideran más aconsejables para controlar o en su caso prevenir el proceso de erosión hídrica en forma de surcos.

2.8.4.3 Erosión hídrica en cárcavas

En el paisaje y suelo afectado por erosión hídrica en cárcavas, se ubica todos los sectores que presentan erosión en cárcavas, donde se procede a realizar un inventario de las cárcavas, En cada cárcava se mide su longitud, se ubica tres secciones representativas en las que se mide la longitud, profundidad y el ancho, se determina el promedio del ancho y profundidad de cada cárcava, se identifica y registra los procesos que originan la formación y el crecimiento longitudinal, lateral y en profundidad de cada cárcava, se registra la información en la planilla 4. Este procedimiento se repite en los suelos afectados por esta forma de erosión, finalmente se realiza una evaluación del proceso de la erosión en forma de cárcavas en el sitio de muestreo y el cambio e impacto en forma cualitativa en el suelo y el paisaje.

2.8.4.3.1 Identificación de prácticas de control de la erosión en cárcavas

Con los datos levantados y registrados sobre la erosión en cárcavas, las características externas e internas del suelo y la observación directa en el terreno de los procesos de erosión actuales, se procedió a identificar y justificar las medidas que se consideran más aconsejables para controlar o en su caso prevenir el proceso de erosión hídrica en forma de cárcavas.

2.9 Fase de post campo

La fase de post campo comprende las siguientes actividades en gabinete:

- **Depuración de las planillas de campo.** Consiste en poner todas las planillas en limpio, vale decir, a llenar y completar la planilla con todos los datos levantados de manera que indiquen los códigos, descripción de cada característica registrada.

- **Procesamiento de los datos de campo.** Consiste en el análisis de la información registrada en las planillas de campo por paisaje fisiográfico, considerando los factores que intervienen en el proceso de formación del suelo que, a su vez, son los factores que determinan o influyen en los procesos de erosión, correlacionando la relación imagen paisaje suelo y las características pictórico morfológicas de la imagen como guía para la interpretación final del paisaje, los suelos y las áreas erosionadas.

- **Interpretación final y elaboración del mapa de suelos.**
Con los elementos del paso previo se procede a la interpretación final del paisaje fisiográfico a nivel de paisaje y de los suelos que caracterizan a cada paisaje, por lo tanto, a la elaboración de la leyenda final del mapa fisiografía y suelos.

- **Interpretación y elaboración del mapa de erosión actual**
Sobre los polígonos del mapa de suelos y en base a las características pictórico morfológicas de la imagen como guía se procede a la interpretación e identificación final de las áreas con procesos de erosión actual por paisaje fisiográfico y de la leyenda de erosión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los objetivos planteados: Identificar y caracterizar las formas y procesos de erosión hídrica que afectan a los suelos por paisaje fisiográfico en la subcuenca del río Caldera Grande, con el fin de contribuir con información sobre áreas con suelos erosionados. Identificar en el terreno las medidas o prácticas biológicas y mecánicas para prevenir o controlar las diferentes formas y procesos de erosión que afectan los suelos por paisaje fisiográfico de la subcuenca del río Caldera Grande, a continuación, se describe los principales resultados de la investigación, el primero el mapa fisiográfico y de suelos de la subcuenca del río Caldera Grande, el segundo y principal resultado que es el mapa de erosión actual del suelo por paisaje fisiográfico de la subcuenca del río Caldera Grande.

3.1 Descripción del mapa fisiográfico y de suelos

Del punto de vista fisiográfico el territorio de la subcuenca del río Caldera Grande corresponde a la provincia fisiográfica Cordillera central, en el cual se han identificado dos Grandes paisajes. Serranías y Llanura de piedemonte. En el gran paisaje de Serranías se han identificado por altura dos Paisajes: Serranía media y Serranía baja. En el gran paisaje de llanura de pie de Monte en base a criterios de procesos de sedimentación se han identificado dos paisajes: Pie de Monte coluvio aluvial y Llanura aluvial del río Caldera Grande.

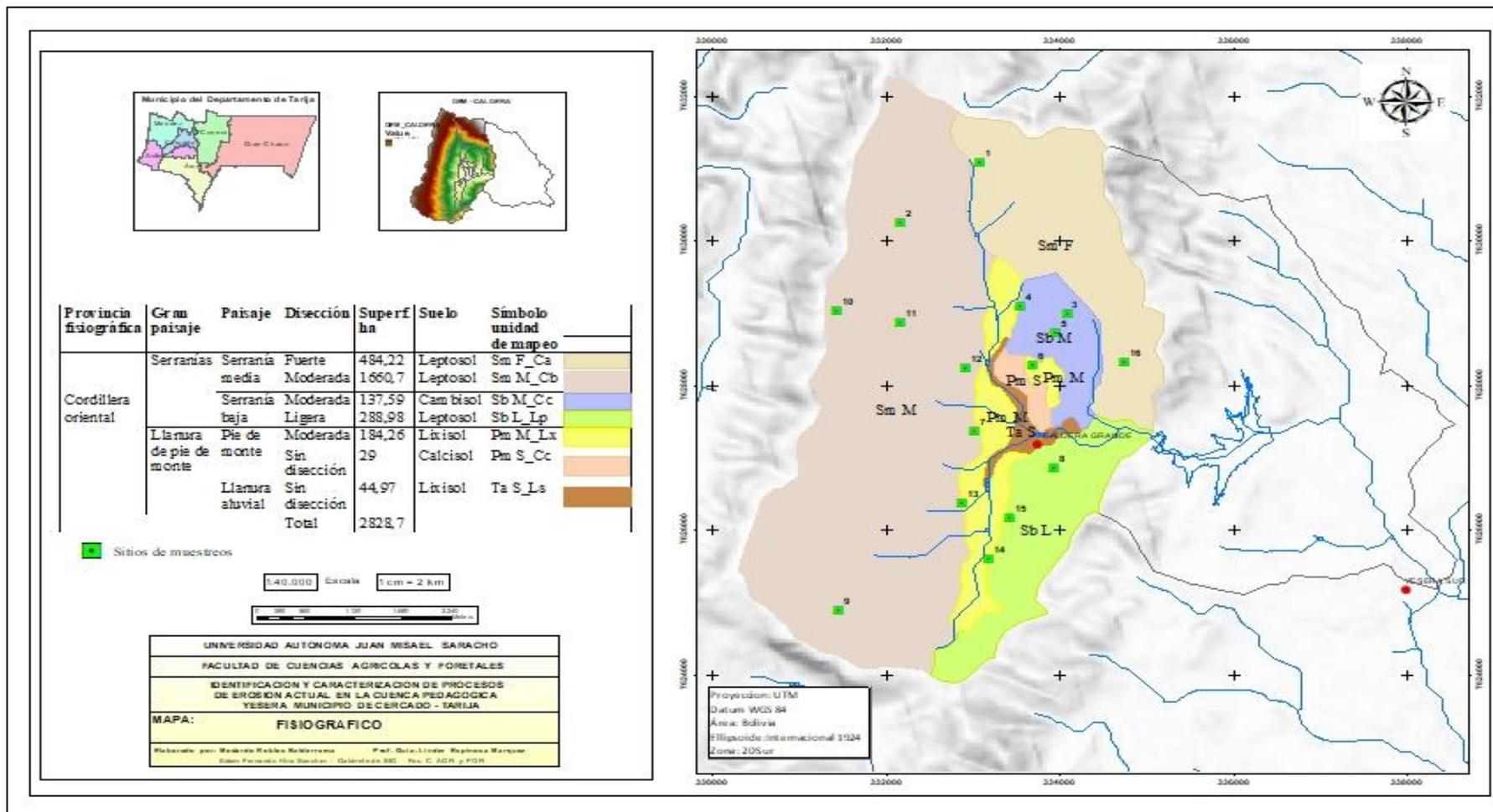
Considerando que el paisaje natural es la unidad central del análisis fisiográfico, a continuación, se describen los suelos por paisaje fisiográfico que muestra el mapa fisiográfico y de suelos (Mapa Nro. 1) con su respectiva leyenda (Cuadro Nro. 3).

3.1.1 Paisaje de Serranía media

El paisaje de serranía media formado por rocas de los sistemas devónico (lutitas, limolitas, areniscas), se ha originado por procesos de levantamientos, posteriormente por las fuerzas climáticas como la lluvia, la temperatura ha dado lugar a procesos de meteorización, disección y erosión se ha ido disectando hasta constituir lo que es hoy el paisaje de serranía que rodea al paisaje de valle.

Las clases de suelos que presentan el paisaje de la subcuenca del río Caldera Grande se muestra en el mapa y leyenda que a continuación se presentan:

Mapa Nro. 1 Mapa Fisiográfico

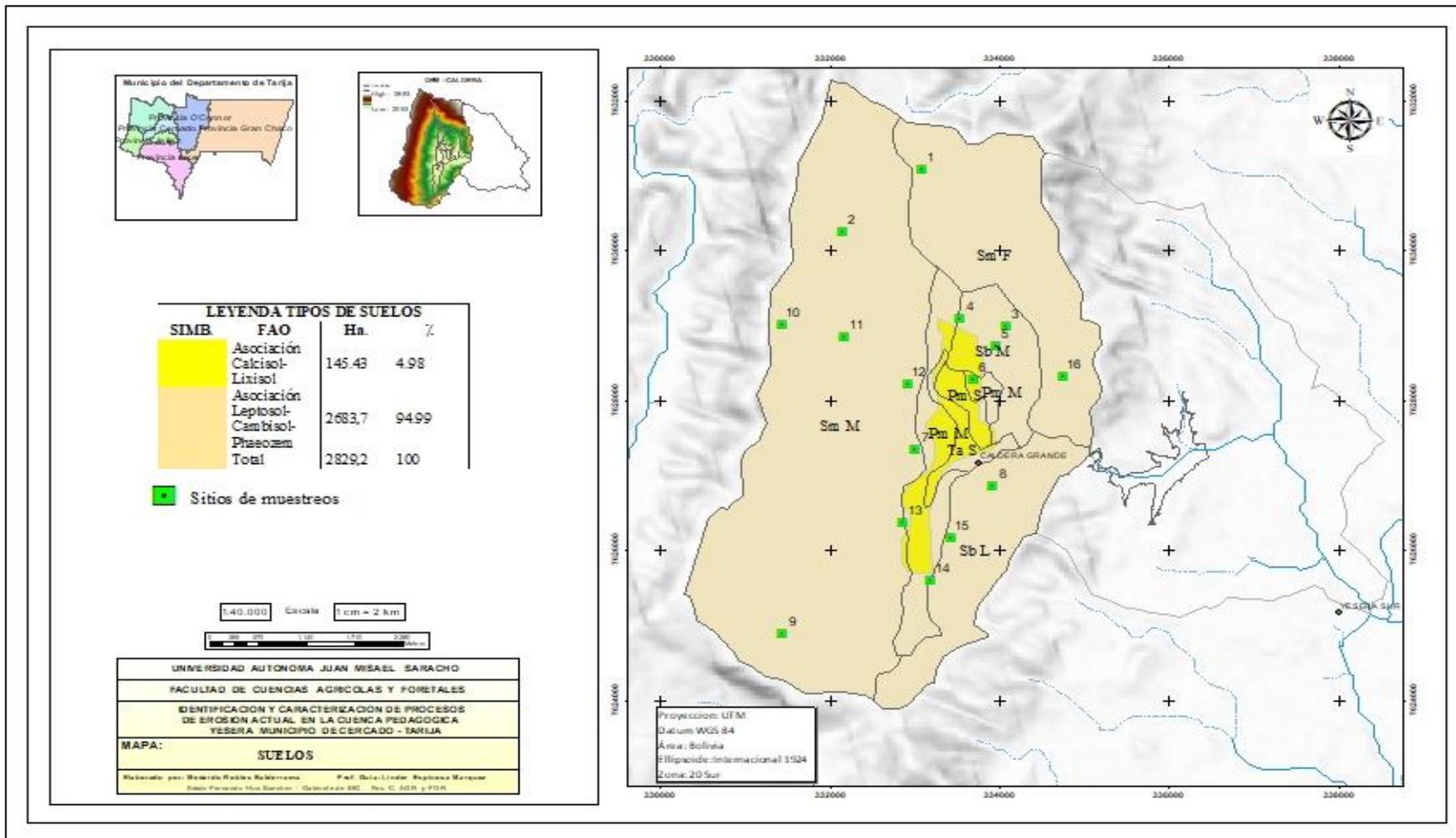


Cuadro Nro. 2 Leyenda fisiográfica del mapa fisiográfico

Provincia fisiográfica	Gran paisaje	Paisaje	Disección	Superf. ha	Suelo	Símbolo unidad de mapeo
Cordillera oriental	Serranías	Serranía media	Fuerte	484,22	Leptosol	Sm F_Ca
			Moderada	1660,7	Leptosol	Sm M_Cb
		Serranía baja	Moderada	137,59	Cambisol	Sb M_Cc
			Ligera	288,98	Leptosol	Sb L_Lp
	Llanura de pie de monte	Pie de monte	Moderada	184,26	Lixisol	Pm M_Lx
			Sin disección	29	Calcisol	Pm S_Cc
		Llanura aluvial	Sin disección	44,97	Lixisol	Ta S_Ls
	Total				2828,7	

Fuente: Elaboración propia.

Mapa Nro. 2 Mapa de suelo



Cuadro Nro. 3 Leyenda del mapa de suelo

LEYENDA TIPOS DE SUELOS			
SIMB.	FAO	Ha.	%
	Asociación Calcisol- Lixisol	145.43	4.98
	Asociación Leptosol- Cambisol- Phaeozem	2683,7	94.99
	Total	2829,2	100

Fuente: Adaptado de la clasificación de suelos según la FAO

3.1.1.1 Paisaje de Serranía media con disección fuerte. Símbolo Sm F_Ca

Suelos de la asociación leptosol con pendiente moderadamente escarpada a escarpada (mayor a 30%) de forma cóncava, convexa e irregular, largas mayor a 500 m longitud, con mucho afloramiento rocoso y abundante pedregosidad en la superficie. Predominan los suelos superficiales (50 cm de profundidad) y muy superficiales menos de 30 cm, con algunas evidencias de erosión hídrica en sitios localizados.

3.1.1.2 Paisaje de Serranía media con disección moderada. Símbolo Sm M_Cb

Suelos de la asociación leptosol con pendiente escarpada, cóncava, > 500 m de longitud, cóncava/convexa, con mucha rocosidad y abundante pedregosidad, textura del suelo muy superficial de 30 cm de profundidad con evidencia de erosión hídrica laminar.

3.1.2 Paisajes de Serranía baja

El paisaje de serranía media formado por rocas de los sistemas devónico (lutitas, limolitas, areniscas), se ha originado por procesos de levantamientos, posteriormente por las fuerzas climáticas como la lluvia y la temperatura han generado procesos de meteorización, disección y erosión que han ido disectando el paisaje hasta constituir lo que es hoy el paisaje de serranía que rodea al paisaje de valle.

3.1.2.1 Paisaje de Serranía baja con disección moderada. Símbolo Sb M Cc

Suelos provenientes de rocas de los sistemas devónico (lutitas, limolitas, areniscas), perteneciente a la asociación cambisol, con pendiente escarpada del (15%), recta, 100-200 m de longitud, sin rocosidad y abundante pedregosidad. Los suelos son generalmente superficiales con evidencias de erosión hídrica laminar, en surcos, cárcavas y movimiento de masas por caída de materiales.

3.1.2.2 Paisaje de Serranía baja con disección ligera. Símbolo Sb L_Lp

Suelos con pendiente moderadamente escarpada, recta, 100-200 m de longitud, perteneciente a la asociación leptosol, presenta mucha rocosidad, y abundante pedregosidad. Suelos superficiales con evidencia de erosión hídrica laminar.

3.1.3 Paisajes de pie de monte coluvio aluvial.

El paisaje de pie de Monte coluvio aluvial que forma parte del valle de la subcuenca del río Caldera Grande, se ha formado por la acción de procesos de sedimentación coluvial por agentes geomorfológicos como la gravedad y el agua escurrimiento superficial, y procesos de sedimentación aluvial por el agua de las diferentes quebradas y el río Caldera Grande. En base a criterios de disección, en este paisaje se ha diferenciado dos sub paisajes:

3.1.3.1 Suelos del paisaje pie de Monte coluvio aluvial con disección moderada. Símbolo Pm M_Lx

Esta clase de suelos se ubican en el sector central del valle de la sub cuenca con 155,26 ha, perteneciente a la asociación lixisol se han originado por procesos acumulación de sedimentos coluviales provenientes del paisaje de serranía, transportados y depositados por agentes geomorfológicos como la gravedad y el agua escurrimiento superficial, y procesos de transporte y deposición de sedimentos aluviales por el agua de las diferentes quebradas y el río Caldera Grande.

Se caracterizan por presentar las siguientes características morfológicas y físicas: Predomina la pendiente fuertemente inclinada de 8 a 15%, de forma generalmente recta y longitud de 100-200 m. No presentan rocosidad y poca a ninguna pedregosidad superficial. Son suelos generalmente superficiales debido a que presentan un horizonte con cementación continúa a los 48 cm de profundidad. En cuanto a la textura, predominan las texturas finas, arcillosa y arcillo limosa, excepto el segundo horizonte que tiene textura franca, por lo que son suelos pesados a medios. La estructura granular de grado moderado y de tamaño medio a fino en los dos primeros horizontes, blocosa de grado fuerte y tamaño medio a fino en el tercer horizonte, en cambio el cuarto horizonte es masivo con cementación continúa y de

origen desconocido. No presentan fragmentos (grava y piedras). Los suelos están afectados en diferente grado por erosión hídrica laminar, cárcavas y surcos.

3.1.3.2 Suelos del pie de Monte coluvio aluvial sin disección. Símbolo Pm S_Cc

Suelos con pendiente fuertemente inclinada, rectas, (100-200 m) de longitud, sin rocosidad, poca pedregosidad. Superficiales por presentar un horizonte cementado a 48 cm. Pesados a medios. Estructura granular/blocosa, grado medio. Sin fragmentos, suelos pertenecientes a la asociación calcisol. Presenta erosión hídrica laminar, surcos y cárcavas.

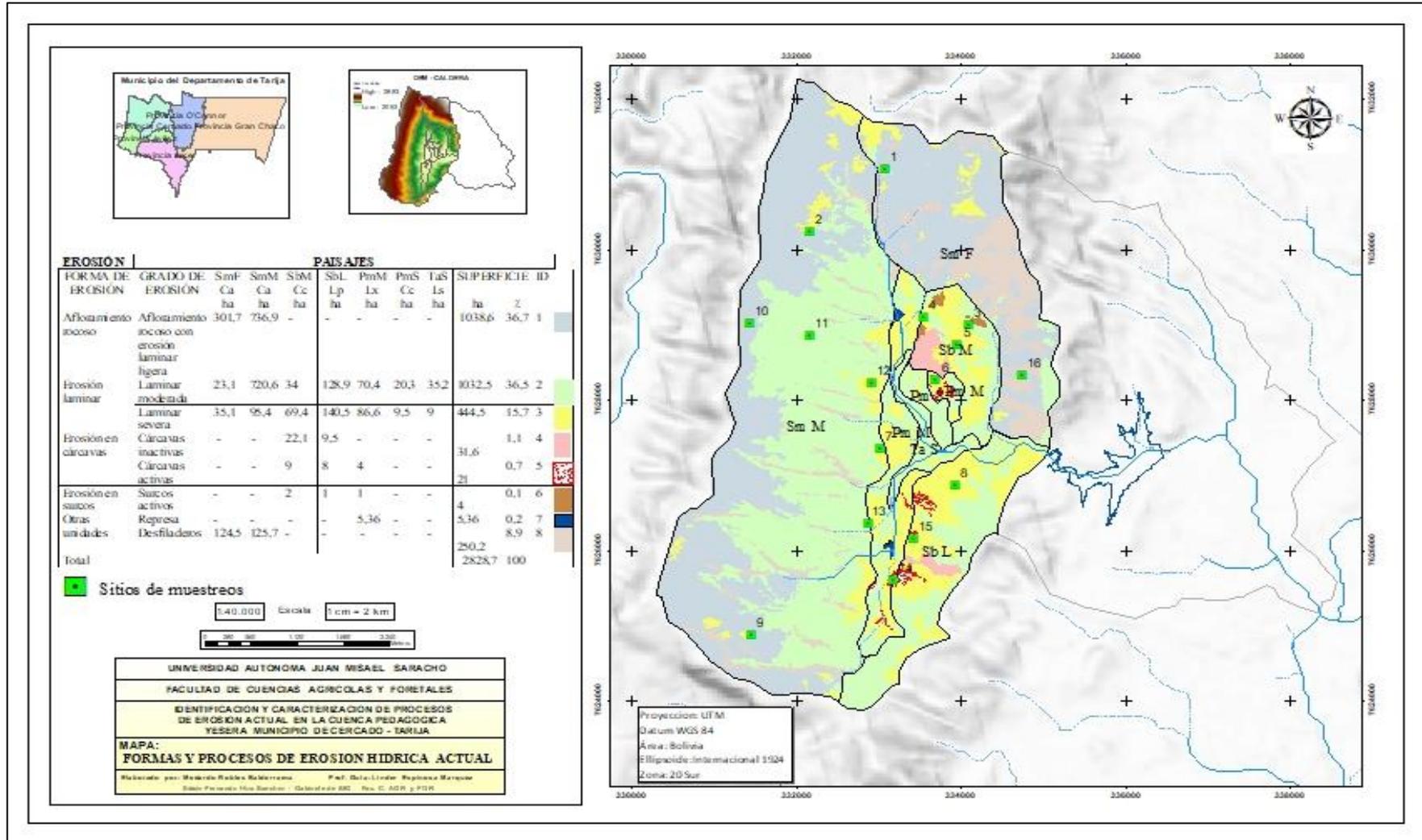
3.1.4 Suelos de terrazas aluvial sin disección. Símbolo Ta S_Ls

Suelos pertenecientes a la asociación lixisol con Pendiente ligeramente inclinada, recta, 50 m de longitud. Muy poca rocosidad y pedregosidad. Moderadamente profundos, Textura media. Estructura granular, grado débil a moderado. Sin fragmentos, no presentan evidencias visibles a erosión hídrica ya que estas son suelos de cultivos agrícola.

3.2 Descripción del mapa de erosión actual del suelo por paisaje fisiográfico

En concordancia con los objetivos específicos planteados respecto a la identificación y caracterización de las diferentes formas y grados de erosión hídrica en la subcuenca del río Caldera Grande, a continuación se describe por paisaje las formas y procesos de erosión hídrica actual que afectan los suelos y al paisaje fisiográfico en la subcuenca del río Caldera Grande, de acuerdo al mapa de erosión actual del suelo por paisaje fisiográfico escala 1:40.000 (Mapa Nro. 3) y su leyenda (Cuadro Nro. 3).

Mapa Nro. 3 Formas y procesos de erosión hídrica actual



Cuadro Nro. 4 Leyenda de erosión hídrica actual por paisaje fisiográfico

EROSIÓN		PAISAJES									SUPERFICIE	ID
FORMA DE EROSIÓN	GRADO DE EROSIÓN	SmF Ca ha	SmM Ca ha	SbM Cc ha	SbL Lp ha	PmM Lx ha	PmS Cc ha	TaS Ls ha	ha	%		
Afloramiento rocoso/Erosión laminar	Afloramiento rocoso con erosión laminar ligera	301,7	736,9	-	-	-	-	-	1038,6	36,7	1	
Erosión laminar	Laminar moderada	23,1	720,6	34	128,9	70,4	20,3	35,2	1032,5	36,5	2	
	Laminar severa	35,1	95,4	69,4	140,5	86,6	9,5	9	444,5	15,7	3	
Erosión en cárcavas	Cárcavas inactivas	-	-	22,1	9,5	-	-	-	31,6	1,1	4	
	Cárcavas activas	-	-	9	8	4	-	-	21	0,7	5	
Erosión en surcos	Surcos activos	-	-	2	1	1	-	-	4	0,1	6	
Otras unidades	Represas	-	-	-	-	5,36	-	-	5,36	0,2	7	
	Desfiladeros	124,5	125,7	-	-	-	-	-	250,2	8,9	8	
Total									2828,7	100		

Fuente: Elaboración propia

Equivalencia de los símbolos por paisaje fisiográfico:

Sm F_Ca = Serranía media Fuerte**Sm M_Ca** = Serranía media Moderada**Sb M_Cc.** Serranía baja Moderada**Sb L_Lp.** Serranía baja Ligera**Pm M_Lx.** Pie de monte Moderado**Pm S_Cc.** Pie de monte Sin disección**Ta S_Ls.** Terrazas Aluvial Sin disección

3.2.1 Paisaje serranía media con disección fuerte. Símbolo Sm F_Ca

Los suelos del paisaje de serranía media con disección fuerte, presentan en sitios localizados evidencias de formas de erosión hídrica laminar de grado severo con 35,1 ha y erosión laminar de grado moderado con 23,1 ha afectada en el sitio muestreado, por la poca cobertura de vegetación arbustiva y herbácea semidensa a rala o clara y baja en algunos sectores que protege parcialmente al suelo del impacto y desprendimiento de partículas por las gotas del agua de lluvia y el transporte de sedimentos por el agua de escurrimiento difuso en las pendientes escarpadas, de convexa como puede apreciar en las siguientes fotos.



Foto 1. Erosión hídrica laminar en el suelo de la pendiente convexa con poca cobertura vegetal. En la parte interior la erosión laminar afecta puntualmente al suelo cubierto por pastos y arbustos ralos



Foto 2. Suelo afectado por erosión hídrica laminar con poca cobertura vegetal en la pendiente

3.2.2 Serranía media con disección moderada. Símbolo Sm M_Ca

Los suelos del paisaje de serranía media con disección moderada presentan erosión hídrica laminar de grado severo con 95,4 ha y de grado moderado con 720,6 ha de área afectada en el sitio de muestreo debido a la poca protección de la cobertura de vegetación arbustiva y herbácea baja y rala, pendiente escarpada con mucha rocosidad, cóncava convexa, con longitud > 500 m con mucha rocosidad; lo que favorece el desprendimiento de partículas del poco suelo por el impacto del agua de lluvia y el transporte pendiente abajo por el agua de escurrimiento difuso, como se puede apreciar en las siguientes fotos.



Foto 3. Se aprecia el grado de rocosidad y pedregosidad y el poco suelo afectado por erosión hídrica laminar en el paisaje en la ladera del paisaje de serranía media con diseción moderada



Foto 4. Suelo afectado por erosión hídrica laminar por la cobertura vegetal rala a ausente en la ladera

3.2.3 Serranía baja con diseción moderada. Sb M_Cc

Los suelos del paisaje de serranía baja con diseción moderada presentan erosión:

3.2.3.1 Erosión laminar

Sitio con erosión laminar de grado severo con 69,4 ha y grado moderado 34 ha de área afectada debido a la poca protección de la cobertura rala de vegetación arbustiva y herbácea baja y rala, con pedregosidad y rocosidad, pendiente fuertemente inclinada y recta; esta condición favorece el desprendimiento de partículas del primer horizonte de textura arcillo limosa por el impacto del agua de lluvia y el escurrimiento superficial difuso. El sitio se encuentra severamente afectado por erosión hídrica laminar.



Foto 5. Se aprecia la erosión hídrica laminar el suelo con una pendiente inclinada con cobertura vegetal semi densa. En la parte inferior la erosión laminar afecta puntualmente al suelo cubierto por arbustos ralos.



Foto 6. Suelo afectado por erosión hídrica laminar por la escasa cobertura vegetal rala conformada por hierbas y pastos, con mucha pedregosidad superficial del suelo.

3.2.3.2 Erosión en surcos

En el sitio de muestreo se identificaron 10 surcos con un ancho que varía desde los 10 a 40 cm, con un promedio de 10 a 28 cm. La profundidad de los surcos varía de 10 a 30 cm, con un promedio de 14 a 28 cm. El 85% presentan en la cabecera un activo proceso de avance mediante el lavado, socavamiento y colapso (colapso mecánico), el 85% están en proceso activo de profundización o incisamiento del suelo, el 95% de los surcos presentan evidencias de ensanchamiento. El sitio se encuentra fuertemente afectado por erosión hídrica activa en forma de surcos, como se puede apreciar en las siguientes fotografías



Foto 7. Este suelo se encuentra afectado por erosión en surcos, por la acción del hombre debido al movimiento de tierra y la extracción de materiales para la construcción de la última presa de calderas.

3.2.3.3 Erosión en cárcavas

Se identifican 5 cárcavas con longitudes que varían de 10 a 80 m, la longitud promedio es de 38 m, predominan las cárcavas medianas (Prof. de 1 a 5 m) sobre las pequeñas (<1m), todas las cárcavas tienen procesos activos de crecimiento retrocedente y ensanchamiento por lavado socavamiento y colapso por el agua de escurrimiento difuso superficial (colapso mecánico), profundización por el agua de escorrentía en el fondo de la cárcava. El sitio de muestreo presenta un grado severo de afectación del suelo y del paisaje por erosión hídrica en forma de cárcavas.



Foto 8. Suelo afectado por erosión en cárcavas, estas cárcavas se encuentran muy activas con desprendimiento y transporte de sedimentos por la escasa cobertura vegetal rala del sitio donde se tomó los datos.

El sitio se encuentra afectado de manera severa a muy severa por erosión hídrica en forma laminar, surcos y cárcavas, con procesos activos de desprendimiento y transporte de partículas por el agua de escurrimiento difuso superficial, procesos activos de crecimiento longitudinal retrocedente y lateral de surcos y cárcavas por colapso mecánico, y profundización en el fondo de las cárcavas, aunque en también muestras evidencias de procesos de estabilización por el crecimiento de hiervas y arbustos.

3.2.4 Serranía baja con disección ligera. Símbolo Sb L_Lp

Los suelos del paisaje de serranía baja con disección ligera presentan erosión:

3.2.4.1 Erosión laminar

Los suelos del paisaje de serranía baja con disección ligera se encuentra afectado por erosión laminar de grado severo con 140,5 ha a moderado con 128,9 ha de área afectada debido a la poca protección de la cobertura rala de vegetación arbustiva y herbácea baja y rala, con mucha pedregosidad y rocosidad, pendiente fuertemente inclinada y recta; esta condición favorece el desprendimiento de partículas del primer horizonte de textura arcillo limosa por el impacto del agua de lluvia y el escurrimiento superficial difuso. El sitio se encuentra severamente afectado por erosión hídrica laminar en forma laminar.



Foto 9. Suelo afectado por erosión hídrica laminar por la escasa a nula de cobertura vegetal suelos con mucha pedregosidad, con una pendiente de 25% de forma recta.

3.2.4.2 Erosión en surcos

En el sitio de muestreo se identificaron 10 surcos con un ancho que varía desde los 6 a 30 cm, con un promedio de 14 a 28 cm. La profundidad de los surcos varia de 6 a 25 cm, con un promedio de 12 a 20 cm. Presentan en la cabecera un activo proceso de avance mediante el lavado, socavamiento y colapso (colapso mecánico), con proceso activo de profundizamiento o incisamiento del suelo. El sitio se encuentra fuertemente afectado por erosión hídrica activa en forma de surcos.



Foto 10. Suelo afectado por erosión en surcos de 6 a 25 cm de profundidad, estos surcos están activos y presentan crecimiento retrocedente con incisamiento en el fondo del surco.

3.2.4.3 Erosión en cárcavas

Se identifican 5 cárcavas con longitudes que varían de 12 a 60 m, la longitud promedio es de 30,4 m, predominan las cárcavas medianas (Prof. de 1 a 5 m) y grandes, profundidad > 5 m. todas las cárcavas tienen procesos activos de crecimiento retrocedente y ensanchamiento por lavado socavamiento y colapso por el agua de escurrimiento difuso superficial (colapso mecánico), profundización por el agua de esorrentía en el fondo de la cárcava.



Foto 11. Suelo afectado por erosión en cárcavas de 11 a 30 m de longitud, estas cárcavas están activas y presentan crecimiento retrocedente con incisamiento en el fondo de la carcava.

3.2.5 Paisaje pie de Monte coluvio aluvial con disección moderada. Símbolo Pm M_Lx

Los suelos de este paisaje con 184,26 ha ubicados en la parte central del territorio de la subcuenca del río Caldera Grande se encuentran afectados por las siguientes formas y procesos de erosión hídrica que se describen de acuerdo a su predominio en el paisaje:

3.2.5.1 Erosión laminar

Los suelos del paisaje de pie de Monte coluvio aluvial con disección moderada, se encuentran afectados de manera predominante por erosión hídrica en forma laminar de grado severo a extremo 86,6 (50 a 70% del área) debido a la poca protección de la cobertura de vegetación arbustiva y herbácea baja y rala, sin pedregosidad y rocosidad superficial, con pastoreo extensivo de cabras, ovejas y vacunos; en estas condiciones de suelo casi desprotegido o desnudo la pendiente fuertemente inclinada y recta, favorece el proceso de desprendimiento de partículas del primer horizonte de textura arcillo limosa por el impacto del agua de lluvia y el escurrimiento superficial difuso, como se puede apreciar en la fotografía.

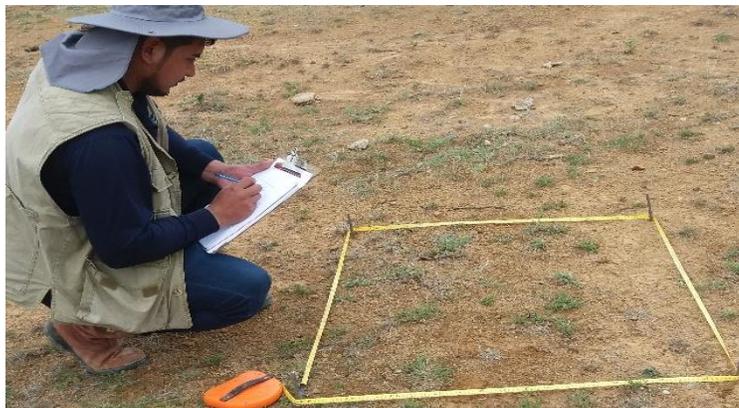


Foto 12. Suelo afectado por erosión hídrica laminar, presenta una escasa cobertura vegetal formada por pastos y hierbas.



Foto 13. Suelo afectado por erosión hídrica laminar con una pérdida de suelo de 3.5 cm de suelo en el sitio, causado por el impacto de las precipitaciones y el escurrimiento difuso superficial.

3.2.5.1.1 Discusión

Los procesos de erosión hídrica laminar se presentan en mayor porcentaje de superficie del área de estudio, con más intensidad en los paisajes de pie de monte con suelos de textura fina, con poca a ninguna cobertura vegetal protectora especialmente herbácea debido al pastoreo extensivo continuo, esta condición junto a la pendiente origina la pérdida de partículas del suelo por el agua de lluvia, el desprendimiento y arrastre de partículas por el agua escurrimiento difuso en la pendiente inclinada y recta que favorece la erosión laminar y lo que sugiere pérdida de nutrientes del suelo. Se puede afirmar que los factores más importantes que influyen en este proceso en el área de estudio es la poca cobertura vegetal y el agua de escurrimiento difuso a la hora de definir prácticas para controlar o evitar este proceso.

La erosión laminar también se presenta en paisajes de serranía, especialmente en la serranía baja, pero con menos intensidad que el pie de monte, debido a la mayor cobertura del estrato herbáceo y textura del suelo con tendencia a media.

Según ZONISIG, (2001). Las serranías del valle de Tarija, altas, medias y bajas. Los suelos varían de superficiales a profundos; frecuentemente se aprecia erosión principalmente laminar, cuya intensidad puede variar desde ligera hasta severa, y diferentes tipos de movimientos en masas.

3.2.5.2 Erosión en surcos

Esta forma de erosión es la menos frecuente, se encuentra asociada a la erosión en cárcavas, en el sitio de muestreo representativo del paisaje se han identificado 10 surcos con un ancho que varía desde los 6 a 40 cm, con un promedio de 14 a 30 cm. La profundidad de los surcos varía de 3 a 30 cm, un promedio de 6 a 20 cm. El 80% presentan en la cabecera un activo proceso de avance por el lavado, socavamiento y colapso del pequeño talud de la cabecera, proceso conocido como colapso mecánico que ya fue descrito en líneas arriba, por otro lado, el 90% de los surcos están en proceso activo de crecimiento retrocedente, profundizamiento o incisamiento en el fondo del surco. El 100% de los surcos presentan evidencias de ensanchamiento. La forma de erosión en surcos, generalmente representa el inicio de la formación de cárcavas, en la fotografía se puede apreciar algunas características de la erosión en surcos.



Foto 14. Suelo afectado por erosión en surcos de 15 cm de profundidad, estos surcos están activos y presentan crecimiento retrocedente con incisamiento en el fondo del surco.



Foto 15. El proceso que da lugar a la formación de surcos es el colapso mecánico originado por el lavado y socavamiento del agua de escurrimiento que desgasta el talud hasta que un bloque queda fuera del centro y gravedad, se agrieta y colapsa, por este proceso el surco crece en forma longitudinal y lateral

3.2.5.2.1 Discusión

La forma de erosión en surcos se presenta afectando menos superficie, generalmente asociada a procesos de erosión en cárcavas o erosión laminar intensa o de grado severo, de acuerdo a observaciones en el paisaje en sitios con erosión hídrica laminar intensa, el agua de escurrimiento difuso inicia la formación de un talud diminuto o una pequeña incisión en la superficie dando lugar al inicio de la formación de surcos en forma retrocedente por el proceso denominado colapso mecánico originado por el agua de escurrimiento difuso, los surcos son por lo general alargados con pocas o ninguna ramificación lateral, lo que indica que el proceso de colapso mecánico es menos frecuente en el extremo lateral de los surcos en relación al extremo donde inicia y el surco se desarrolla en forma retrocedente. También se observa que existe un proceso de incisamiento o profundización del surco por el agua de escurrimiento concentrado dentro del surco, pero que la profundidad generalmente no pasa de los 30 cm. Por las características indicadas de los procesos de erosión en surcos, se lo puede controlar con las labores de arado y preparación del suelo en parcelas agrícolas.

Según ZONISIG, (2001). los piedemontes del valle de Tarija son ligeramente hasta fuertemente disectados. Este gran paisaje presenta llanuras aluviales y terrazas. Las pendientes varían de 2 a 30%, sin o con poco afloramiento rocoso, pero con abundante pedregosidad superficial. En general, las llanuras muestran signos de erosión laminar y en surco ligera a moderada, mientras en las tierras baldías la erosión es severa a extrema en cárcavas y laminar.

3.2.5.3 Erosión en cárcavas.

Los procesos de erosión en cárcavas que afectan a los suelos del paisaje de pie de monte coluvio aluvial con disección moderada, se encuentran localizados en sitios distribuidos en 2 sectores del paisaje, en el sector representativo se han identificado 5 cárcavas con longitudes que varían de 3 a 30 m, la longitud promedio es de 15,6 m, donde predominan las cárcavas medianas con una profundidad de 1 a 5 m sobre las cárcavas pequeñas con una profundidad < 1 m. Las siguientes fotos muestran un aspecto de las cárcavas medianas de profundidad de 1 a 5 m.



Foto 16. Suelos fuertemente ondulados, pendiente de 10 % con presencia de erosión en cárcavas de 2.5 m de ancho y 1 m de profundidad de la cárcava.



Foto 17. Cárcava con procesos activos, profundidad 1.70 m con una anchura de 5 m, estos suelos se ven muy afectados por la erosión debido a la escasa cobertura vegetal del suelo.

Todas las cárcavas tienen procesos activos de crecimiento, como el avance retrocedente y el ensanchamiento lateral por colapso mecánico que consiste en el lavado del talud de la cabecera y laterales de la cárcava por el agua de escurrimiento que va socavando (desgastando) hasta que un bloque queda fuera de su centro de gravedad, se agrieta, se desprende y cae al fondo de la cárcava, el agente geomorfológico que produce este proceso es el agua de escurrimiento difuso superficial que se origina por las lluvias, cuyo escurrimiento se ve favorecido por la pendiente del suelo aguas arriba de la cárcava, como se puede apreciar en la fotografía.



Foto 18. Suelos fuertemente ondulados, pendiente de 10 % con presencia de erosión en cárcavas muy activas que presentan procesos de socavamiento y colapso, avance retrocedente, ensanchamiento lateral de la cárcava con desplomes de terrones provocando la pérdida de suelo por las lluvias.

Otro proceso activo prácticamente en todas las cárcavas es el incisamiento o profundización originada por el agua de escorrentía que discurre en el fondo de la cárcava. Estos dos procesos traen como resultado el crecimiento paulatino de las cárcavas en función a la intensidad y duración de las lluvias, la pendiente, el grado de protección de la cobertura vegetal y de las características del suelo, en este caso, en el perfil del suelo se verifica que el segundo horizonte se presenta con cementación moderada y el cuarto presenta cementación fuerte y continúa, característica que influye

en el proceso de infiltración y formación de la cárcava, además es una limitante para para el crecimiento de raíz de las plantas.



Foto 19. En el perfil del suelo se verifica que el segundo horizonte se presenta con un grado de cementación moderada y el cuarto presenta cementación fuerte y continua característica que influye en el proceso de infiltración del agua al suelo y formación de la cárcava.

3.2.5.3.1 Discusión:

La forma de erosión en cárcavas se presenta en sectores o localizada afectando menos superficie que la erosión laminar, está asociada a procesos de erosión en surcos y laminar con diferente grado generalmente severo, en el área de estudio está presente solamente en suelos de paisaje de pie de monte coluvio aluvial y suelos formados sobre depósitos fluvio – lacustres.

De acuerdo a observaciones de terreno en sitios con erosión en forma de cárcavas, esta inicia su formación a partir de surcos que pasan de 30 cm de profundidad, se observa que el proceso vinculado al desarrollo de las cárcavas en forma longitudinal y lateral es el denominado colapso mecánico, en el que la fuerza o factor natural que origina la formación de cárcavas es el agua de escurrimiento difuso que fluye sobre el suelo de la parte superior de la cárcava, llega al talud superior, lava y socava el talud hasta que un

bloque de suelo queda fuera de su centro de gravedad, se agrita y se desploma en el fondo de la cárcava, como se puede apreciar en las fotos 16, 17 y 18, este proceso denominado también como lavado, socavamiento y colapso es el responsable del crecimiento de la cárcava en forma longitudinal pero de manera retrocedente, el mismo proceso se presenta en los taludes laterales lo que da como resultado el crecimiento lateral de la cárcava tomando formas irregulares, lobuladas y alargadas, se estima que este crecimiento es de acuerdo a características físicas de dureza del suelo. Además del proceso de colapso mecánico, se observa un proceso de incisamiento o profundización de la cárcava por el agua de escurrimiento concentrado en el fondo del cauce de la cárcava.

En el talud de las cárcavas se observa capas duras producto de procesos de cementación natural en el perfil del suelo, estas capas cementadas a pesar de su dureza no retienen el proceso de formación de la cárcava, como se puede apreciar en las fotografías. La forma de erosión en cárcavas transforma por completo el paisaje afectado con la pérdida total del suelo, convirtiendo, a través del tiempo, en las denominadas tierras eriales o tierras malas que no tienen ninguna función productiva.

Por las características indicadas de los procesos de formación de cárcavas, es de vital importancia identificar la fuerza natural que lo produce, es decir el agua de escurrimiento difuso que lava, socava y desgasta el talud superior de la cárcava, para definir prácticas mecánicas, biológicas o biofísicas que intercepten el agua de escurrimiento difuso, lo que significa que, si se identifica y se actúa al inicio de la formación de la cárcava, su control es fácil y económico, en relación con las condiciones cuando la cárcava se ha desarrollado en profundidad y en superficie, las prácticas de control son más complejas, del alto costo y de efecto a largo plazo.

3.2.6 Suelos del pie de Monte coluvio aluvial sin disección. Símbolo Pm S_Cc

Estos suelos con pendiente fuertemente inclinada, rectas, 100-200 m de longitud, sin rocosidad, poca pedregosidad. Suelos superficiales por presentar un horizonte cementado a 48 cm. Pesados a medios. Estructura granular/blocosa, de grado medio. Sin fragmentos gruesos en el perfil. Presenta un grado ligero de erosión hídrica laminar, surcos y cárcavas ya que estos suelos están mayormente con cultivos agrícolas de la zona.

3.2.7 Suelos de terrazas aluvial sin disección. Símbolo Ta S_Ls

Son suelos de terrazas formados en las márgenes del río Caldera Grande, sin disección, presentan una pendiente ligeramente inclinada, recta, cortas menos de 50 m de longitud. Muy poca rocosidad y pedregosidad. Moderadamente profundos, Textura media. Estructura granular, grado débil a moderado. Sin fragmentos, no presentan evidencias visibles a erosión hídrica ya que estas son suelos que se formaron por la sedimentación aluvial y el uso actual es cultivos agrícolas de la zona.

3.2 Prácticas para prevenir y/o controlar la erosión hídrica del suelo, laminar en surcos y cárcavas.

De acuerdo al segundo objetivo específico, la identificación en el terreno de prácticas para prevenir y/o controlar las diferentes formas y procesos de erosión hídrica que afectan los suelos por paisaje fisiográfico de la subcuenca del río Caldera Grande, se ha realizado en base a las características de las formas y procesos de erosión hídrica laminar, surcos y cárcavas por paisaje fisiográfico fisiográfico.

Se trata de una identificación preliminar de algunas prácticas vegetativas o biológicas como mecánicas para contribuir en la toma de decisión de futuros proyectos de conservación de suelos a partir de la prevención y/o control de las formas y procesos de erosión hídrica laminar, surcos y cárcavas, como se presentan a continuación:

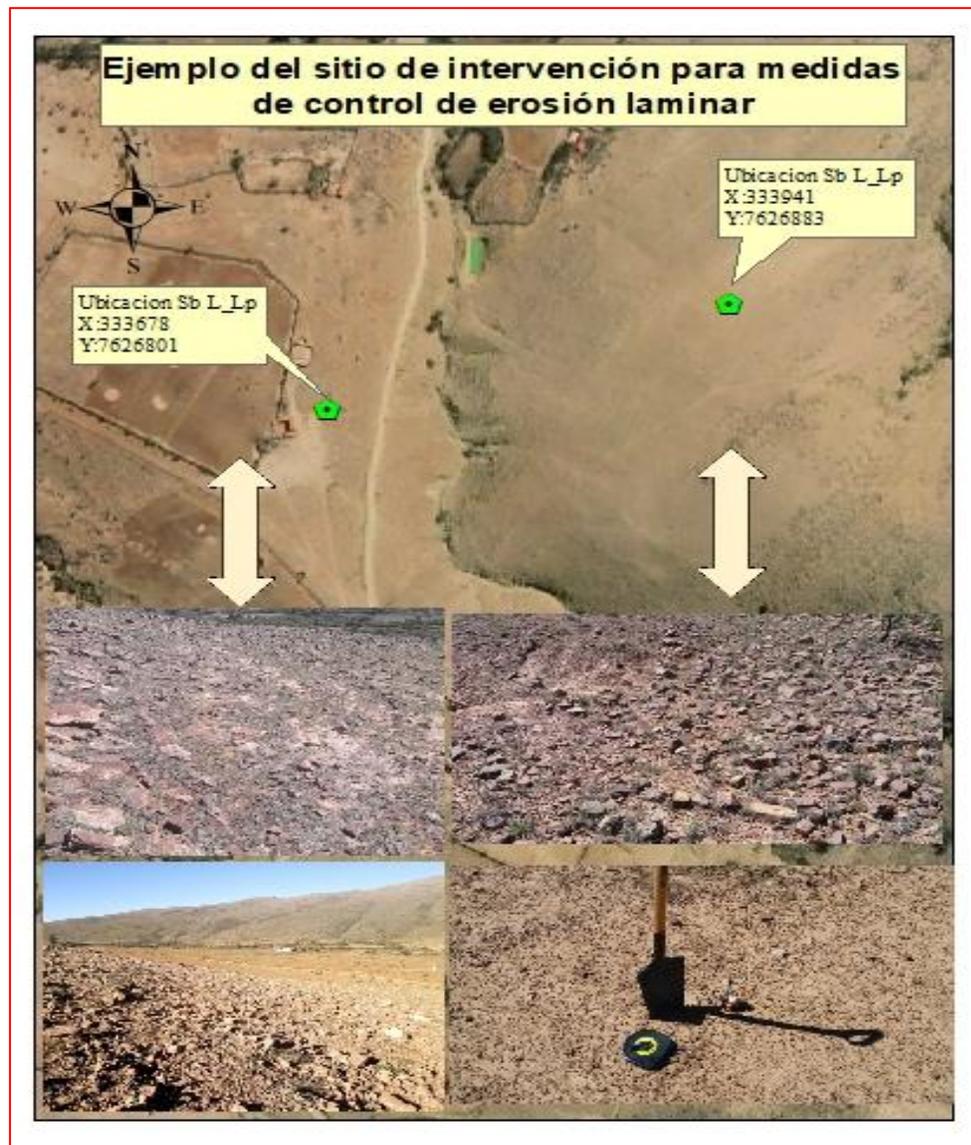
Cuadro Nro. 5 Prácticas para el control de erosión y conservación de suelos por la erosión hídrica laminar

Forma de erosión	Medidas de control	Objetivo	Beneficios	Superficie y localización
	Cerramiento de áreas afectadas por la erosión hídrica evitando el pastoreo extensivo por ganado menor y mayor. Establecer adicionalmente Plantaciones forestales.	Restaurar las áreas afectadas por la erosión laminar. Establecer plantaciones forestales productivas	Con el fin de favorecer la regeneración natural de la vegetación herbácea, arbustiva Productos no maderables y maderables de las plantaciones forestales	Ubicado en el paisaje de serranía baja ligera SbL_Lp en áreas con las siguientes

Erosión laminar	Implementación de zanjas de infiltración.	Controlar la erosión Cosechar agua de lluvia Mejorar las condiciones de humedad del suelo	Interceptar el agua de escurrimiento difuso y almacenar en las zanjas, para evitar el transporte de partículas del suelo.	coordenadas UTM: X:333941 Y:7626883 X:333678 Y:7626801 Como muestra la siguiente figura Nro. 13
	Construcción de medias lunas	Evitar la erosión de suelos Captar agua de lluvia.	Permiten el control de la erosión. Retienen y conservan la humedad en áreas localizadas.	

Fuente: Elaboración propia

Figura Nro. 13 Ejemplo de Sitio de intervención para medidas de control de erosión hídrica laminar



Fuente: Elaboración propia

Cuadro Nro. 6 Prácticas para el control de erosión en surcos

Forma de erosión	Medidas de control	Objetivo estratégico	Beneficios	Superficie y localización
Erosión en surcos	Construcción de terrazas de formación sucesivas	Interceptar los escurrimientos superficiales. Mejorar la humedad del suelo	Retienen suelo. Favorecen una mayor retención de humedad. Favorecen el desarrollo de especies forestales y vegetación natural.	Se encuentra ubicado en el paisaje serranía baja moderada SbM_Cc, sitios con las siguientes coordenadas UTM X:334233 Y:7629066 X:333736 Y:7629364 Como se demuestra en la siguiente figura Nro. 14
	Implementación de barreras vivas	Tiene por objetivo protegerlo de la erosión, por ende conservar el suelo	Las barreras vivas reducen la velocidad del agua. Sirven también como filtro, captando sedimentos que van en el agua de escurrimiento.	
	Barreras de piedra	Contener la erosión y sedimentos en suelos de ladera	Reduce la velocidad de la escorrentía y detiene el suelo que se erosiona en las partes superiores de la ladera.	

Fuente: Elaboración propia

Figura Nro. 14 Ejemplo del sitio intervención para medidas de control de erosión en surcos



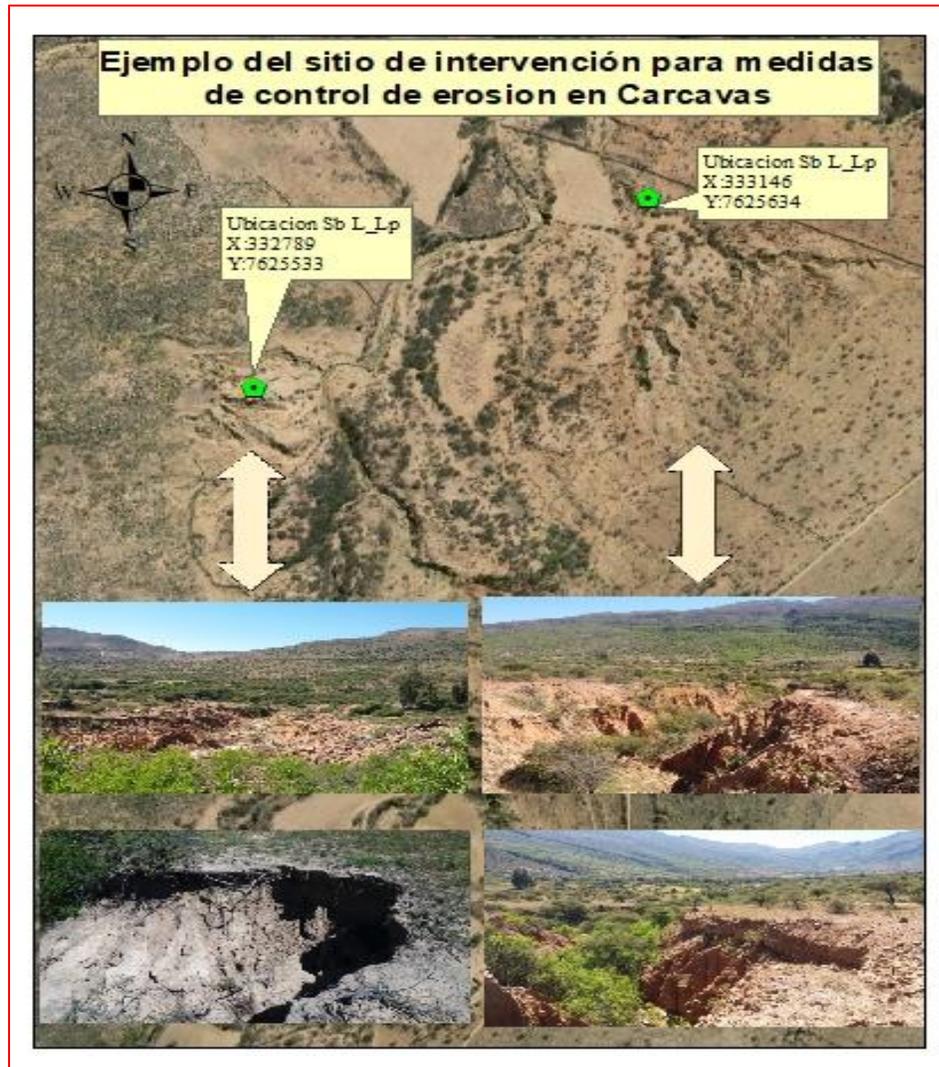
Fuente: Elaboración propia

Cuadro Nro. 7 Prácticas para el control de erosión en cárcavas

Forma de erosión	Medidas de control	Objetivo estratégico	Beneficios	Superficie y localización
Erosión en cárcavas	Diques o trampas de sedimentos de piedra	Contener los sedimentos dentro de la cárcava. Reducir la velocidad de escurrimiento.	Estabiliza el fondo de cárcavas a corto plazo. Favorece la acumulación de sedimentos.	Se encuentra ubicado en el paisaje de Serranía baja Ligera Sb L_Lp con la siguientes Coordenadas UTM X:333146 Y:7625634 X:332789 Y:7625533 Como muestra la siguiente figura Nro. 15
	Diques o trampas de sedimentos de geocostales	Contener los sedimentos dentro de la cárcava. Reducir la velocidad de escurrimiento.	Estabiliza el fondo de cárcavas a corto plazo. Favorece la acumulación de sedimentos.	
	Diques o trampas de sedimentación de llantas	Controlar la erosión. Reduce la velocidad de escurrimiento	Reduce la erosión hídrica. Estabiliza el fondo de cárcavas. Empleo de material durable y de bajo costo.	
	Zanjas derivadoras de escurrimiento	Interceptar el agua de la escurrimiento. Disminuir la velocidad del agua de escurrimiento. Proteger los caminos y zonas de cárcavas activas.	Disminuyen la velocidad del escurrimiento. Reducen el crecimiento de la cárcava. Desvían el escurrimiento superficial del agua.	

Fuente: Elaboración propia

Figura Nro. 15 Ejemplo del sitio de intervención para medidas de control de erosión en cárcavas



Fuente: Elaboración propia

4.1 CONCLUSIONES

En los paisajes y suelos de la subcuenca del río Caldera Grande se presentan las tres formas de erosión hídrica, laminar, surcos y cárcavas.

- La forma de erosión laminar es la que afecta a los suelos en mayor superficie con 1.476,5 ha lo que representa el 52,2 % de la superficie total, de las cuales 1032,5 ha de suelos están afectados por erosión laminar moderada, 444,5 ha de suelos están afectadas por erosión laminar severa y 1.038,6 ha de suelos se caracterizan por presentar evidencias visibles de erosión laminar ligera asociado a afloramientos rocosos.
- La forma de erosión en surcos es la que menos afecta a los suelos de grado moderado con una superficie de 4 ha lo que representa el 0,1 % de la superficie total.
- El proceso responsable de la erosión en surcos, es el proceso denominado colapso mecánico originado por el agua de escurrimiento difuso, que lava y desgasta el talud superior del surco originando desplomes o colapsos de pequeños bloques de suelo en el talud superior y taludes laterales dando lugar el crecimiento longitudinal del surco.
- La erosión en forma de cárcavas afecta a 21 ha de suelos que equivale al 0,7 % del total de la superficie de la subcuenca del río Caldera Grande, son cárcavas con longitudes que varían de 10 a 80 m, la longitud promedio es de 38 m, predominan las cárcavas de profundidad media (1 a 5 m) sobre las cárcavas de poca profundidad (0,30 a 1 m).

- El proceso responsable de formación de las cárcavas es el denominado colapso mecánico, la fuerza natural que origina es proceso es el agua de escurrimiento difuso que fluye sobre el suelo de la parte superior de la cárcava, llega al talud superior, lava y socava el talud hasta que un bloque de suelo queda fuera de su centro de gravedad, se agrieta y se desploma en el fondo de la cárcava, este proceso denominado también lavado, socavamiento y colapso origina el crecimiento de la cárcava en forma longitudinal de manera retrocedente, el mismo proceso se presenta en los taludes laterales lo que da como resultado el crecimiento lateral de la cárcava tomando formas irregulares, lobuladas y alargadas. Además del proceso de colapso mecánico, se observa un proceso de incisamiento o profundización de la cárcava por el agua de escurrimiento concentrado en el fondo del cauce de la cárcava.

- Las prácticas identificadas de manera preliminar para el control de la erosión hídrica laminar son: Cerramiento de áreas seriamente afectadas con el fin de favorecer la regeneración natural, plantaciones forestales con fines productivos, medias lunas y zanjas de infiltración. Para la erosión en surcos: Barreras vivas, barreras de piedras y terrazas de formación sucesivas. Para prevenir o controlar la erosión en cárcavas: Diques de geocostales, diques de llantas, diques de piedra, zanjas derivadoras de escorrentía.

4.2 RECOMENDACIONES

En base a los resultados logrados en el presente estudio se establece las siguientes recomendaciones:

- Continuar con el mapeo detallado de los procesos de erosión hídrica en la subcuenca del río Caldera Grande.
- Gestionar e implementar parcelas para la medición de la pérdida de suelos especialmente por la erosión hídrica en los suelos con uso agrícola y pecuario en el paisaje de pie de monte.
- A la hora de implementar acciones para el control de la erosión hídrica de los suelos se recomienda priorizar el control de la fuerza natural que origina la erosión hídrica laminar, surcos y cárcavas, vale decir, el agua de escurrimiento superficial que origina el proceso de desprendimiento de partículas del suelo en la erosión laminar, el proceso de lavado socavamiento y colapso responsable del crecimiento longitudinal de la erosión en surcos y cárcavas.
- Realizar la identificación final, diseño y el replanteo en campo de las prácticas identificadas de manera preliminar para el control de la erosión hídrica laminar: Cerramiento de áreas seriamente afectadas con el fin de favorecer la regeneración natural, plantaciones forestales con fines productivos, medias lunas y zanjas de infiltración. Para la erosión en surcos: Barreras vivas, barreras de piedras y terrazas de formación sucesivas. Para prevenir o controlar la erosión en cárcavas: Diques de geocostales, diques de llantas, diques de piedra, zanjas derivadoras de escorrentía.