

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1 CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

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.

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.

De acuerdo con SGMS (2000), Kirkby y Morgan (1994), la erosión es un proceso de destrucción de las rocas y remoción de los materiales superficiales del suelo en el que intervienen varios factores naturales y antrópicos.

Desde la perspectiva geomorfológica, forma parte del modelado del relieve (Thornbury, 1966), es uno de los primeros impactos que recibe el paisaje. Se convierte en un problema cuando se presenta en intensidades inusuales, debido a que es un efecto directo de determinadas acciones humanas que implican la transformación de algunos componentes del paisaje (López Bonillo, 1997). 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, Evaluación de especies forestales en la formación de. la Paz, 2008)

Procesos de erosión hídrica

1.1.1 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, transformándola en sedimento, aquellos procesos de meteorización son de dos tipos principalmente: físicos y químicos.

1.1.2 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)

1.1.3 Sedimentación

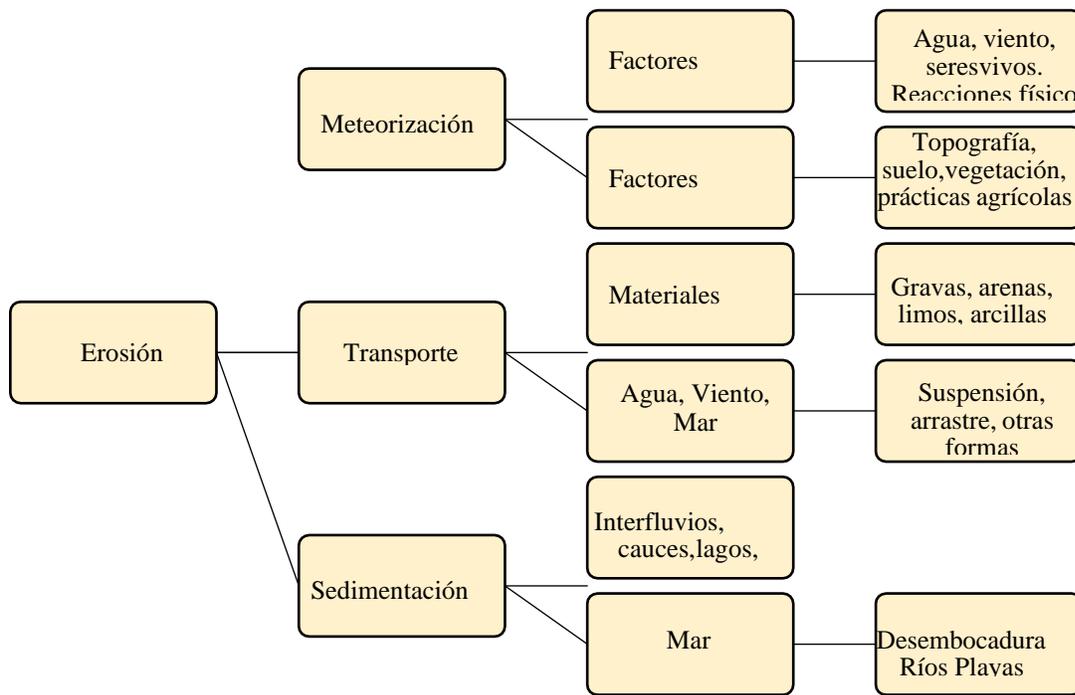
La sedimentación consiste en el almacenamiento de materiales erosionados y transportados.

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.

Tabla 1. Factores que intervienen en el proceso de erosión



Fuente: (Espinoza, 2002).

Clases de erosión

1.1.4 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)

1.1.5 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)

Formas de erosión hídrica

1.1.6 Erosión Laminar

La erosión laminar consiste en el desprendimiento y transporte de capas bien definidas superficiales de suelo por acción del escurrimiento difuso. 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 amarillor por la presencia de sedimento. (HUARICCALLO, 2013)

1.1.7 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)

1.1.8 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)

1.1.9 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 interface 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)

Tipos de cárcavas

1.1.10 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 continuas alargadas están asociadas frecuentemente con paisajes suavemente ondulados. (DÍAZ, 2001)

1.1.11 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)

1.1.12 Cárcavas anchas

Este sistema de cárcavas anchas es muy común en cortes de excavaciones paracarreteras 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)

1.1.13 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)

Factores que intervienen en la erosión hídrica

1.1.14 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.

1.1.15 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)

1.1.16 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.

1.1.17 Suelos

Es la parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa que proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre ella. 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)

1.1.18 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. (RICALDE, 2008)

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.

1.1.19 Degradación del Suelo

Fournier (1975), indica que el suelo disminuye de espesor y se producen 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 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.

1.1.20 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)

1.1.21 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.

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)

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

1.1.22.1 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)

1.1.22.2 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 tienen 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).

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

1.1.23.1 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)

1.1.23.2 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. (SICTA, 2012)

1.1.23.3 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 escorrentía 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 retiene 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. (SICTA, 2012)

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

1.1.24.1 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)

1.1.24.2 Presa de Geo costales

Es una estructura de geo costales (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)

1.1.24.3 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)

1.1.24.4 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)

1.1.24.5 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)

1.1.24.6 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)

CAPÍTULO II

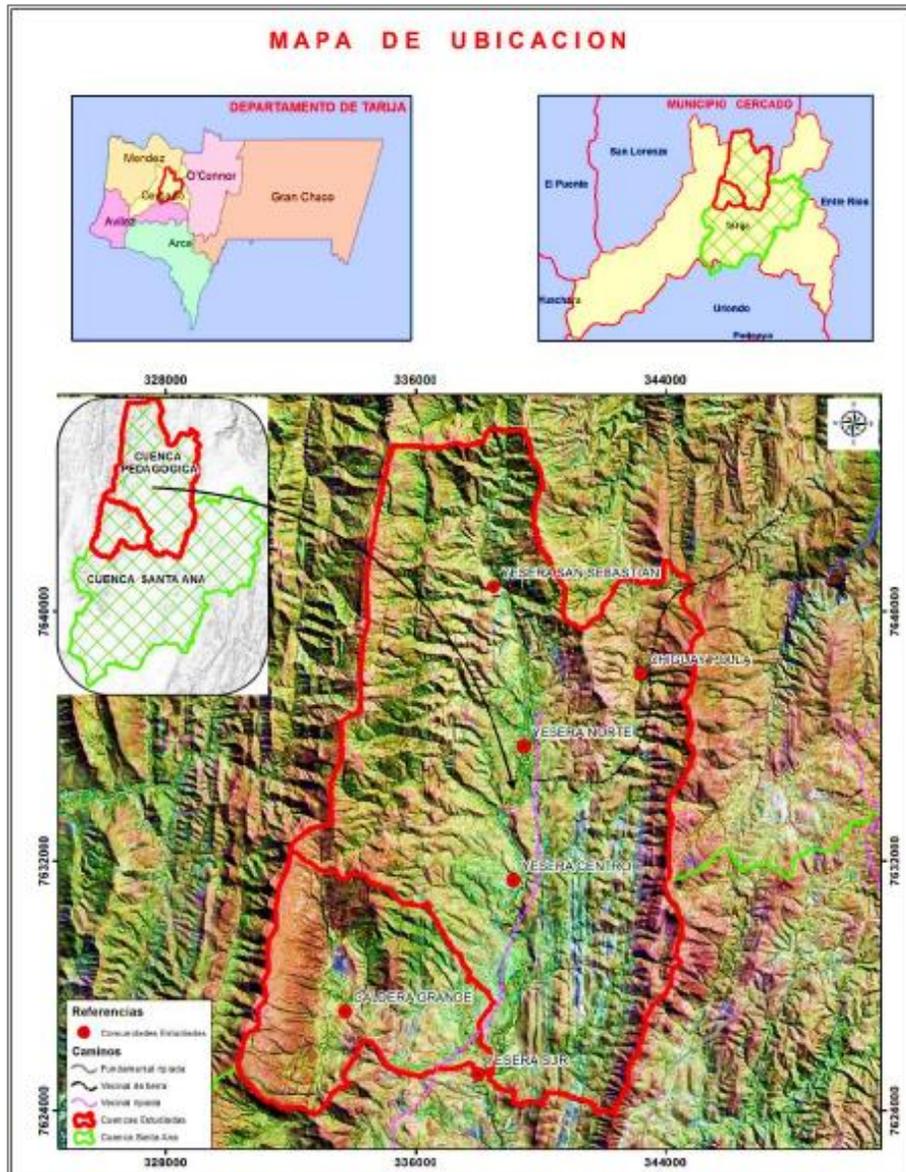
MATERIALES Y MÉTODOS

2 CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

La Cuenca Pedagógica de Yesera, se ubica en Bolivia en el Departamento de Tarija, Provincia Cercado, Municipio de Cercado, en las Comunidades de Yesera Sud, Caldera Grande, Yesera Centro, Yesera Norte, Chiguaypolla y Yesera San Sebastián.

Figura 1. Área de estudio



(MMAyA & UAJMS, 2018)

Geográficamente se encuentra ubicada entre los paralelos 21°17'20'' y 21°28'10'' de Latitud Sur y meridianos 64°29'46'' y 64°38'27'' de Longitud Oeste.

En orden jerárquico, Bolivia cuenta con tres macro cuencas (Cuenca del Amazonas, Cuenca del Altiplano, Cuenca de la Plata).

A nivel departamental Tarija cuenta con Tres cuencas hidrográficas mayores (Cuenca de Bermejo, Cuenca de Pilcomayo y Cuenca endorreica o también llamada cuenca de Tajzara).

La cuenca de Bermejo se divide en 20 cuencas menores, una de ellas es la cuenca de Santa Ana con una superficie de 575,88 Km², en donde se encuentra la sub cuenca del río Yesera, denominado Cuenca Pedagógica Yesera.

La accesibilidad hacia la Cuenca Pedagógica Yesera, se localiza a una distancia de 35 km aproximadamente, desde la capital de Tarija. Para llegar al área de estudio se debe tomar el tramo Tarija-Santa Ana, para luego ingresar camino hacia Yesera.

Aspectos biofísicos

2.1.1 Clima

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

La Temperatura media mensual del área de intervención según la estación meteorológica Yesera Sud es de 16.6 °C con oscilaciones anuales entre 12,4°C a 20.5°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. (MMAyA & UAJMS, 2018).

Las precipitaciones se producen sobre todo en el periodo de octubre a abril con generación de escorrentía superficial.

En el periodo de mayo a septiembre existe escasa precipitación, esta no genera escorrentía superficial. (MMAyA & UAJMS, 2018).

La precipitación media mensual del área de intervención es de 55,1 mm, lo cual nos permite clasificar al lugar como un clima templado medianamente seco. En cuanto a la precipitación anual promedio es de 661,9 mm. (MMAyA & UAJMS, 2018).

2.1.2 Esgurrimiento

El escurrimiento en la zona es proporcional a las precipitaciones y además coinciden en tiempo, los mayores caudales se presentan en los meses lluviosos: diciembre, enero, febrero y marzo. En este periodo el agua es abundante, incluso se tiene excedentes que no se aprovechan dentro de la cuenca.

Existen tierras cultivables pero el agua en los meses secos no alcanza, se necesita regulación del agua mediante presas y fomentar el riego más eficiente en la aplicación del agua pudiendo ser por goteo y aspersión. (MMAyA & UAJMS, 2018).

2.1.3 Uso actual del recurso hídrico

El uso actual de los recursos hídricos es de aprovechamiento para la producción agropecuaria, en la cuenca Yesera se identificaron diecisiete presas de agua, destinadas para riego principalmente, permitiendo cubrir aproximadamente entre el 55 a 60% de la demanda de riego. Sin embargo, el uso del agua no es eficiente puesto que se practica un riego tradicional por inundación, causando erosión o degradación a los suelos. (MMAyA & UAJMS, 2018).

El uso del agua y recursos naturales (RRNN), es limitado para el sector pecuario y doméstico en las 6 comunidades que se encuentran en la cuenca pedagógica Yesera, si bien es cierto existen reservorios de agua que fueron construidos por entidades públicas y privadas, pero es insuficiente su abastecimiento. La situación de sequías y problemas ambientales provocan que los RRNN cada año sean menos y la cuenca se vea más afectada. (MMAyA & UAJMS, 2018).

2.1.4 Geología

Las estructuras geológicas de la zona están conformadas por serranías bajas de la formación Icla, Santa Rosa y Guamampampa, cuyas colinas están conformadas por rocas de origen sedimentario; de lutitas y limolitas mecáceas, gris oscuras; areniscas sabulíticas blanquecinas y areniscas arcósicas gris marrón y limolitas gris oscuras, de la era paleozoica y periodo devónico.

También se tiene la formación Yesera, del periodo terciario, conformada por conglomerados, areniscas arcillosas, limolitas y arcillas rojas.

En la parte baja se tienen pie de montes de poca magnitud y antiguas terrazas en depósitos fluvio-lacustres del cuaternario, conformado por gravas, arenas, limos y arcillas, en algunos sectores también existe la presencia en superficie de bloques y fragmentos de rocas especialmente en los taludes. (MMAyA & UAJMS, 2018)

Tabla 2. Descripción geológica

Símbolo	Periodo	Descripción	Sup. (Km²)	%
D	Devónico	Areniscas, lutitas y limolitas	197,26	93,36
S	Silúrico	Areniscas, cuarcitas y diamictitas	8,66	4,10
C	Cuaternario	Depósitos aluviales, fluvio-lacustres y coluviales	5,37	2,54
TOTAL			211,29	100,00

Fuente: MMAyA & UAJMS, 2018

La Cuenca Pedagógica Yesera se caracteriza por presentar un paisaje típicamente de valle seco, con elevaciones que no sobrepasan los 3.000 msnm, por lo que, las serranías circundantes son levemente suaves. (MMAyA & UAJMS, 2018).

En cuanto a los depósitos que se advierten presentes en el área, podemos indicar a las morrenas laterales, depósitos coluviales, fluvio-lacustres, terrazas y depósitos glaciales.

Sistema cuaternario, estos depósitos son comunes tanto en las laderas como en el lecho de los ríos y quebradas.

Los depósitos fluviales están representados en la zona, por sedimentos turbosos, arcillas orgánicas de mediana a alta plasticidad, limos y arenas muy finas.

Los sedimentos aluviales están representados por gravas, arenas y limos ubicándose a lo largo de los cauces y quebradas. (MMAyA & UAJMS, 2018).

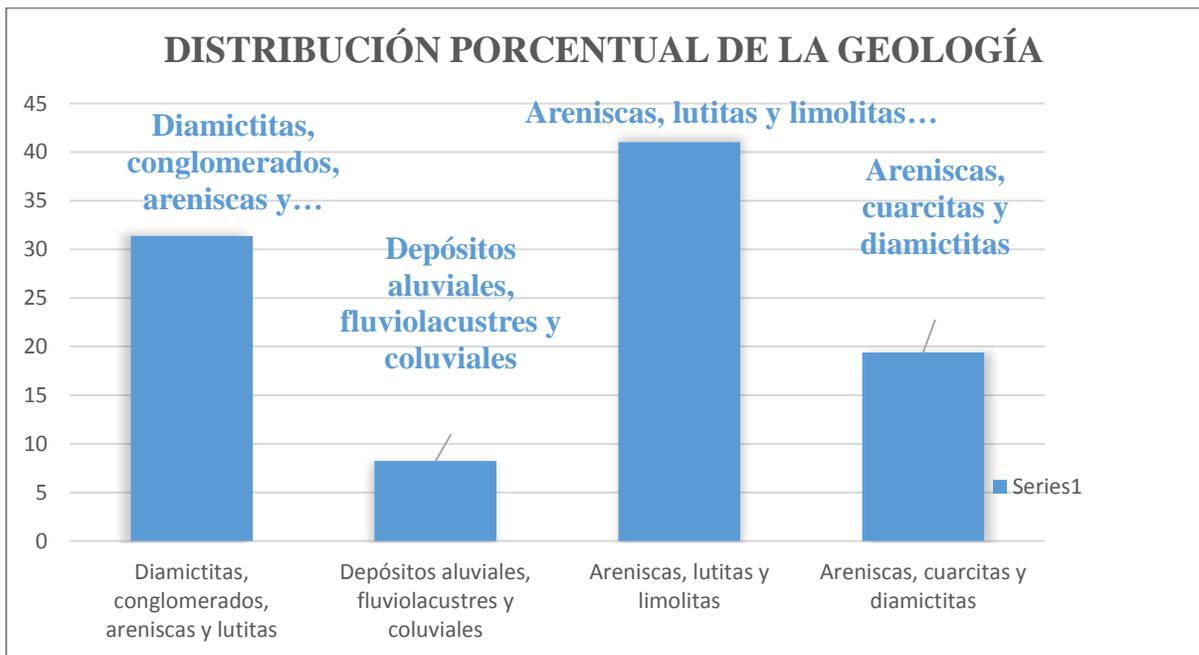
Tabla 3. Geología de la Cuenca Pedagógica de Yesera

DESCRIPCIÓN	PERIODO	SÍMBOLO	ÁREA (Km²)	%
Diamictitas, conglomerados, areniscas y	Carbonífero	C	66,77	31,36

lutitas					
Depósitos aluviales, fluviolacustres y coluviales	Cuaternario	Q	17,52	8,23	
Areniscas, lutitas y limolitas	Devónico	D	87,32	41,01	
Areniscas, cuarcitas y diamictitas	Silúrico	S	41,29	19,4	
TOTAL			212,9	100	

Fuente: (AtlasYesera, FCAF, & UAJMS, 2021)

Figura 2. Geología de la Cuenca Pedagógica de Yesera



Fuente: (AtlasYesera, FCAF, & UAJMS, 2021)

Paleozoico

2.1.5 Devónico

Se identifican los sedimentos devónicos de areniscas, lutitas y limolitas, dispuestos en la parte central en las laderas de la cuenca, de grano fino a muy fino, bien estratificadas en bancos, con delgadas intercalaciones de lutitas gris oscuras, presentando una estructuración secuencial negativa, iniciando con pelitas culminando en espesos paquetes arenosos.

2.1.6 Carbonífero

Geológicamente, la región morfológica de la Cordillera Oriental representa la secuencia estratigráfica más completa del país, con afloramientos de rocas proterozoicas a recientes y con secuencias marinas a continentales. Las facies son también variadas, mayormente clásticas, pero con desarrollo de plataformas de diamictitas, conglomerados, areniscas y lutitas en el carbonífero.

Durante la mayor parte del paleozoico inferior constituyó una cuenca intracratónica, somera a profunda, con algunas fases compresivas y distensivas separando los principales ciclos tectosedimentarios, para luego conformar cuencas continentales de antepaís y trazarco, con importantes fases compresivas con un intenso magmatismo asociado.

2.1.7 Silúrico

La estratigrafía de ciclo cordillerano en la llanura de la faja Chapare-Boomerang se presenta con formaciones del silúrico, sin que ello signifique que las unidades detalladas estén presentes en toda el área, debido principalmente a efectos de acuífamiento.

En la cuenca Yesera encontramos este paisaje geológico en la ladera izquierda con 19.40% del área total de la cuenca.

Cenozoico

2.1.8 Cuaternario

El cuaternario se desarrolló a través de secuencias lacustres, fluviales, coluvio-aluviales y eólicas, constituidas por sedimentos clásticos de distinto tamaño de grano, así como de carbonatitas lacustres.

Este paisaje geológico ubicado en la parte central y baja de la cuenca Yesera con un 8.23% del área total formado por depósitos aluviales, fluvio lacustres, con presencia de gravas, arenas y arcillas.

Tabla 4. Columna cronoestratigrafía

ERA	SISTEMA/PERIODO		DESCRIPCIÓN
C E N O Z O I C O	CUATERNARIO		<u>Q</u> Depósitos aluviales, fluvio lacustres, fluvio glaciales, coluviales, lacustres, morrenas, y dunas Gravas, arenas y arcillas.
	T E R C I A R I O	N E O G E N O	<u>M</u> Domos volcánicos (intermedios a ácidos)
			<u>N</u> Todas soldadas.
			<u>Ni-Nj</u> Flujos de lavas, estrato volcanes/tobas soldadas.
			<u>Ng</u> Conglomerados, areniscas, arcillas, yesos, margas, tobas, lavas, intercaladas y diapiros.
		P A L E O G E N E O	<u>Pg</u> Areniscas, limolitas, arcillitas y calizas.
		<u>Ps-Ng</u> Conglomerados, areniscas, limolitas, calizas, margas, diapiros intercalan tobas y lavas. Areniscas, lentes de conglomerados, lutitas y limolitas.	
M E S O Z O I C O	CRETÁCICO		<u>K</u> Conglomerados, calizas, areniscas, limolitas, margas y basaltos intercalados Areniscas, arcillas y limolitas.
	JURÁSICO		<u>J-K</u> Areniscas.
	TRIASICO		<u>Tr</u> Areniscas, conglomerados, arcillitas, calizas y yeso.
P A L E O Z O I C O	PERMICO		<u>P</u> Calizas, margas, lutitas, areniscas y manchas de antracita.
	CARBONÍFERO		<u>C</u> Diamictitas, conglomerados, areniscas y lutitas.
	DEVÓNICO		<u>D</u> Areniscas, lutitas y limolitas.
	SILÚRICO		<u>S</u> Lutitas, limolitas, cuarcitas y diamictitas.
	ORDOVÍCICO		<u>O</u> Areniscas, limolitas, cuarcitas, pizarras, lutitas y lavas almohadilladas.

Fuente: VRHR-PDCRG 2014, citado por (Atlas Yesera, FCAF, & UAJMS, 2021)

Fisiografía

Las zonas montañosas en la cuenca pedagógica Yesera pertenecen a la provincia geológica de la cordillera oriental.

2.1.9 Cordillera oriental

La cordillera oriental de Bolivia se caracteriza por estar formada por cadenas paralelas que despliegan de norte a sur, y las cuales en muchas ocasiones se internan en regiones boscosas y húmedas, ricas en productos agrícolas y ganaderas.

La cordillera oriental es la cadena montañosa que constituye el ramal oriental y más importante de la cordillera de los andes en Bolivia. Tiene una extensión de aproximadamente 1.200 km de largo y cuenta con más de 600 picos de los cuales la altitud sobrepasa 5000 metros. Su componente geológico principal es el granito. La cadena de montañas marca la separación entre las bajas tierras de la cuenca amazónica y la alta meseta andina. (AtlasYesera, FCAF, & UAJMS, 2021)

2.1.10 Serranías

Las serranías a nivel de paisaje son altas, medias y bajas que representan un 66.01% del paisaje de la cuenca Yesera, de formas alongadas con cimas subredondeadas, irregulares, cuyas divisorias de aguas son perfectamente discernibles; la disección varía de moderada, fuerte a muy fuerte, las pendientes varían desde fuertemente escarpado de 30 a 60% a extremadamente escarpado >60%. La cantidad de piedras y rocas superficiales varía desde poca a mucha. El material a partir del cual han sido modeladas las serranías es preponderantemente de origen sedimentario, como areniscas, lutitas, limonitas, y arcillita, con intercalaciones de rocas metamórficas como cuarcitas. (AtlasYesera, FCAF, & UAJMS, 2021)

2.1.11 Colinas

Las colinas representan un 19.71% de la fisiografía de la cuenca Yesera, con divisorias de aguas poco discernibles, está constituida por colinas altas ligeramente disectadas, pendientes entre 10 a 30%, superficiales a moderadamente profundos, bien pedregoso y afloramientos rocosos. (AtlasYesera, FCAF, & UAJMS, 2021)

2.1.12 Piedemontes

Los piedemontes se encuentran ubicadas en la parte baja de la cuenca con un 14.27 % del área total. Este gran paisaje presenta inclusiones de llanuras de piedemontes. Las pendientes varían desde ligeramente ondulado (2-5 %), ondulado (5-8 %), fuertemente ondulado (8-15 %), moderadamente escarpado (15-30 %), con poco afloramiento rocoso, constituidos por material coluviales, coluvio-aluvial, incluso de origen glacial o fluvio-glacial de diverso grado de selección. (AtlasYesera, FCAF, & UAJMS, 2021)

2.1.13 Llanuras

Las llanuras fluvio-lacustres, aluviales y fluvio-glaciales están surcadas por cursos de agua que le imprimen una disección que varía desde ligera, moderada, fuerte a muy fuerte. Las pendientes varían generalmente desde plano casi plano (0-3 %), ligeramente ondulado (3-8%), moderadamente ondulado (8-15%), con pendientes fuertemente onduladas en los "badlands", sin afloramientos rocosos y con pedregosidad superficial entre ninguna a abundante.

Estos paisajes afloran sedimentos ordovícicos y suelos aluviales profundos formados por sedimentos sueltos del cuaternario.

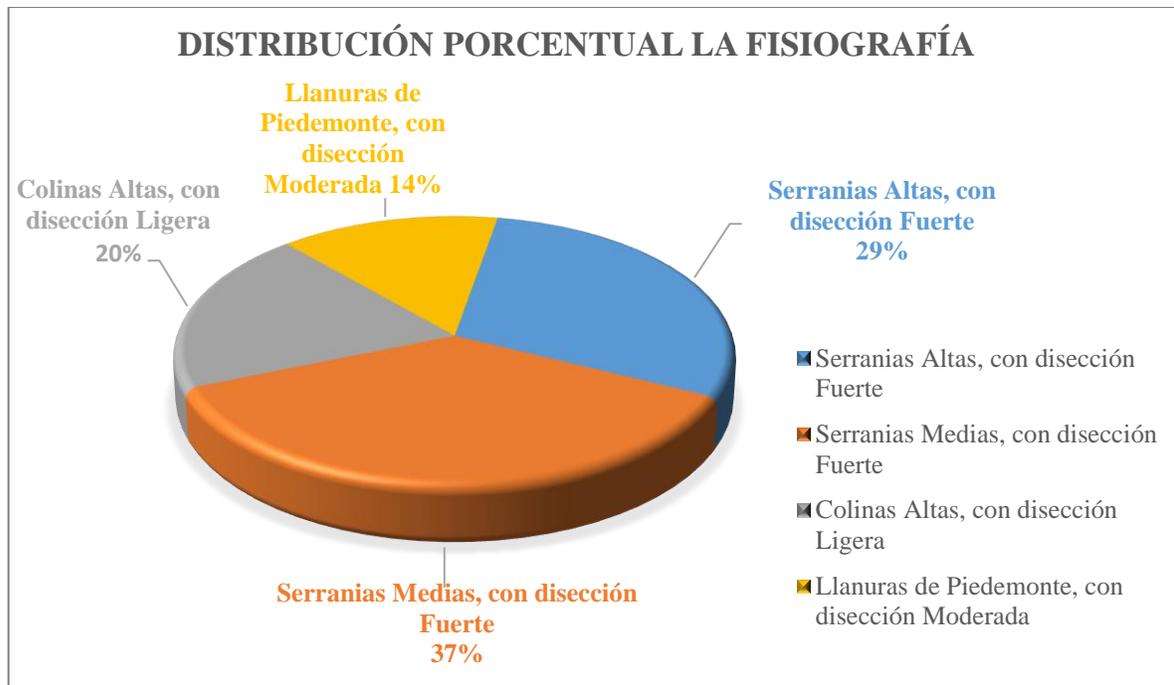
En las terrazas aluviales, a lo largo de las márgenes de los ríos Guadalquivir, Sella, Pinos, El Molino, Tolomosa, Santa Ana, Yesera y Tarija, se tiene la acumulación y posterior entallamiento y profundización de los ríos mencionados. Las llanuras fluvio-glaciales, aledañas a las montañas que fueron afectadas por glaciación, forman un paisaje suavemente ondulado y se ubican en una pequeña región por la comunidad de Pinos Sud. (AtlasYesera, FCAF, & UAJMS, 2021)

Tabla 5. Fisiografía de la Cuenca Pedagógica de Yesera

FISIOGRAFÍA	ÁREA Km2	%
Serranías Altas, con disección Fuerte	62,81	29,50
Serranías Medias, con disección Fuerte	77,73	36,51
Colinas Altas, con disección Ligera	41,97	19,71
Llanuras de Piedemonte, con disección Moderada	30,38	14,28
TOTAL	212,89	100

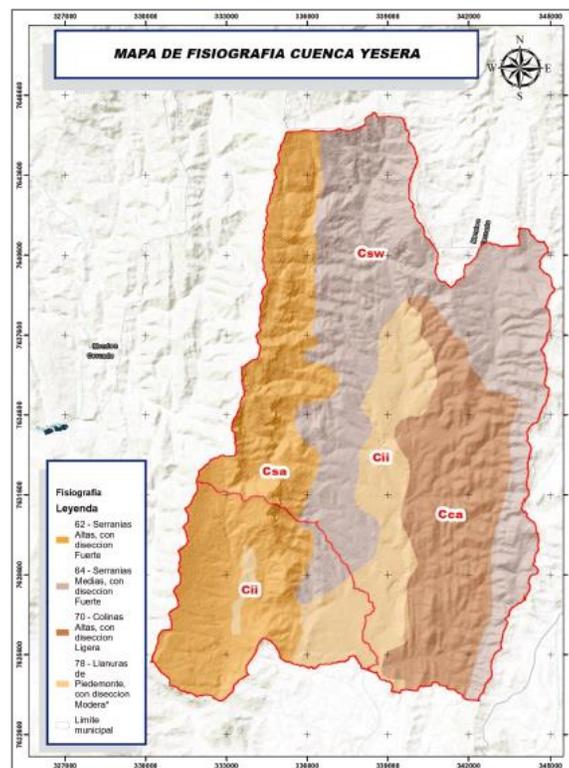
Fuente: (AtlasYesera, FCAF, & UAJMS, 2021)

Figura 3. Distribución porcentual de la fisiografía



Fuente: (AtlasYesera, FCAF, & UAJMS, 2021)

Figura 4. Fisiografía de la Cuenca Pedagógica de Yesera



Fuente: (AtlasYesera, FCAF, & UAJMS, 2021)

2.1.14 Suelos

Los suelos del área de estudio, están caracterizados en unidades fisiográficas bien definidas, el material parental de los suelos, en su mayoría es procedente de rocas del periodo Tríasico y Cretásico, encontrándose en su litología formada por areniscas, lutitas y limonitas.

Las características físicas de los suelos van variando de acuerdo a la posición fisiográfica en que se encuentren, pero de manera general se puede decir que los suelos ubicados en los complejos montañosos son poco profundos, generalmente tiene un contacto lítico próximo y se evidencia presencia de afloramientos rocosos, siendo su textura de pesada mediana. (MMAyA & UAJMS, 2018).

Tabla 6. Clasificación de suelos según la taxonomía de la FAO

TIPOS DE SUELOS SEGÚN FAO	Ha.	%
Asociación Leptosol - Cambisol - Phaeozem	5651,49	26,74
Asociación Cambisol - Leptosol	12715,75	60,17
Asociación calcisol - Lixisol	2764,36	13,08
TOTAL	21131,60	100,0

Fuente: (MMAyA & UAJMS, 2018)

Asociación Leptosol - Cambisol – Phaeozem

Localizada en el margen oeste de la Cuenca de Yesera. El paisaje geomorfológico son laderas en cuarcitas, areniscas y conglomerados cubierto con vegetación herbácea densa, graminoide baja, arbustiva, subalpino y vegetación herbácea semidensa, graminoide baja, mixto, montano.

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

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

Los phaeozem se encuentran un poco más dispersos dentro de esta unidad, los pedones 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. (MMAyA & UAJMS, 2018)

Asociación Cambisol – Leptosol

Se ubica en el Norte y Este de la Cuenca de Yesera, en las comunidades de Yesera San Sebastián, Chiguaypolla, Mullicancha y Comarca Lajas. El paisaje geomorfológico comprende laderas en areniscas, lutitas, limonitas y diamictitas, cubierto con vegetación de matorral ralo, bajo a medio, mayormente caducifolio, deciduo por sequía, montano y vegetación herbácea, semidensa, graminoide, baja, mixto, montano.

Los suelos son de muy superficiales a superficiales, con abundantes fragmentos gruesos en el perfil, de colores pardo oscuros a pardo amarillento oscuros, textura media, en las partes más bajas se encuentran los cambisoles con algunas evidencias de desarrollo pedológico, el pH es por lo general ligeramente ácido, la fertilidad natural es baja. (MMAyA & UAJMS, 2018).

Asociación Calcisol – Lixisol

Se ubica en las comunidades de Yesera Norte, Yesera Centro, Caldera Chica y Yesera Sud. El paisaje geomorfológico comprende abanicos y pequeños valles sobre depósitos fluvio-lacustres, cubiertos con vegetación de matorral denso a semidenso, alto, xeromórfico, deciduo por sequía, montano y áreas antrópicas. Estos suelos se caracterizan por presentar un desarrollo pedológico mayor que el caso anterior.

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.

Los lixisoles se encuentran sobre todo en los restos de terraza antigua lacustre, Estos son suelos con el mayor desarrollo pedogenético. Dentro del perfil, la arcilla ha sido transportada o eluviada de los horizontes superficiales a un horizonte subsuperficial de acumulación “iluvial”. Se forman en relieves planos a inclinados, frecuentemente a partir de materiales aluviales, coluvio - aluviales o lacustrinos. La formación de estos suelos presupone varios requisitos, entre ellos lógicamente la presencia de arcilla en el medio, procesos dispersivos que faciliten su migración y periodos de alternancia lluviosos y secos, que contribuyen a translocar las arcillas en periodos húmedos seguidos por su acumulación durante la época seca. (MMAyA & UAJMS, 2018).

Vegetación

La vegetación natural tiene múltiples relaciones con los componentes bióticos y abióticos del medio como protector del suelo, estabilizador de pendientes regulador de la cantidad de agua en la cuenca Yesera, habitad de la fauna silvestre; expresión de la fauna silvestre, expresión de las condiciones locales ambientales y estabilidad ecológica y calidad general del ecosistema.

Tipo, cobertura y manejo de la vegetación

La cobertura vegetal es poco densa. Varía desde la paja, pastos y musgo que se encuentran en las partes altas de la sub cuenca y entre las cotas 2.700 y 3.000, hasta superficies ampliamente expuestas en que se tienen generalmente árboles aislados de “churquis” (algarrobo). La vegetación corresponde a un clima o piso ecológico de Tierras Altas, con variaciones de los pisos ecológicos que llegan en la parte media hasta el bosque espinoso montano bajo subtropical. Localmente, especialmente a lo largo de los cauces, se tienen pequeñas áreas antropizadas con eucaliptos, molles y sauces. (MMAyA & UAJMS, 2018)

Tabla 7. Especies forestales más comunes

Nombre Común	Nombre Científico
Churqui	<i>Acacia caven</i>
Algarrobo blanco	<i>Prosopis alba</i>
Algarrobo negro	<i>Prosopis nigra</i>
Molle	<i>Schinus molle</i>
Jarca	<i>Acacia visco</i>
Chañar	<i>Geofraea decorticans</i>
Aliso	<i>Alnus sp.</i>
Chilca	<i>Bacharis sp.</i>
Tusca	<i>Acacia aroma</i>
Tola	<i>Paratrephia lepidophylla</i>

Fuente: (MMAyA & UAJMS, 2018)

Fauna

Según informaciones de los pobladores se pueden observar diferentes especies de vertebrados que cumplen las funciones de equilibrio del ecosistema natural. Se encuentran como las especies más importantes y predominantes se tienen las siguientes:

Tabla 8. Fauna

Nombre Común	Nombre científico
Comadreja	<i>Mistela nivalis</i>
Murciélago	<i>Desmodus rotundus</i>
Zorrino	<i>Mephitismephitis</i>
León (puma americano)	<i>Puma concolor</i>
Liebre	<i>Lepus californicus</i>
Urón	<i>Mustela putorius turo</i>
Zorro	<i>Didelphys virginiana</i>
Patos de las torrenteras	<i>Merganetta armata</i>
Víbora	<i>Vipera aspis</i>
Pájaros - palomas	-
Taraschis	-
Bientefue	-

Fuente: (MMAyA & UAJMS, 2018)

Uso de la tierra

En cuanto al uso de la tierra, las partes bajas de la cuenca Yesera, los terrenos cuaternarios se encuentran sometidas a cultivos agrícolas en tres modalidades de riego como se indica a continuación:

- 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.
- Medio riego, que no alcanza a dotar de agua al cultivo más que en época húmeda sin llegar a cubrir la estación seca.
- Secano, que, en las partes bajas, con cultivos de maíz, papa, arveja y trigo, especialmente.

La agricultura asentada en los suelos cuaternarios de la cuenca Yesera 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 existente 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. (MMAyA & UAJMS, 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 Yesera, 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. (MMAyA & UAJMS, 2018).

Tabla 9. Uso actual de la tierra

Descripción	Ha.	%
Agrosilvopastoril en matorrales con caprinos, ovinos y cultivos anuales	12346,60	58,40
Ganadero extensivo con ovinos y caprinos	6880,30	32,60
Agropecuaria extensiva con cultivos anuales y perennes y vacunos, ovinos y caprinos	828,70	3,90
Silvopastoril con vacunos, caprinos, ovinos y extracción de productos del bosque	675,80	3,20
Agrosilvopastoril en matorrales con cultivos anuales, caprinos, ovinos, vacunos y extracción de leña	203,80	1,00
Agrícola intensivo con cultivos anuales	196,40	0,90
Total	21131,60	100,00

Fuente: (MMAyA & UAJMS, 2018)

2.1.15 Aspectos Socio-demográficos

La población total de las seis comunidades de interés de acuerdo al Censo Nacional de Población y Vivienda 2012 realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE), alcanza a 1.594 habitantes que corresponden a 398 familias con una media de 4 y 5 miembros por familia como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10. Población de área de estudio

Comunidad	Mujer	Hombre	Total	% Mujer	%Hombre
Caldera Grande	38	37	75	51	49
Chiguaypolla	44	62	106	42	58
Yesera Centro	180	183	363	50	50
Yesera Norte	219	223	442	50	50
Yesera San Sebastián	59	61	120	49	51
Yesera Sud	243	245	488	50	50
TOTAL	783	811	1594	49	51

Fuente: (MMAyA & UAJMS, 2018)

Las principales actividades en que se sustentan las familias de las comunidades de la Cuenca Pedagógica Yesera, es el cultivo de forma extensivo mecanizada y manual cultivándose maíz, papa, arveja, cebolla etc. tanto a riego por inundación y secano.

La producción excedente es comercializada en el mercado campesino de Tarija, y cierta parte es para el consumo propio.

Los residuos de la producción agrícola como es la chala de maíz se almacenada para incorporar en la alimentación del ganado en épocas de sequía.

La crianza extensiva de animales (ganado vacuno, caprino, ovino y porcino) es también uno de sus principales fuentes de ingresos monetarios y provisión de carne para el consumo propio, cueros y lanas y otros.

También existe en la zona la producción de frutas como durazno, frutilla, arándano, uva, y manzana, que se comercializa en el mercado campesino y consumo propio.

Otras actividades son que trabajan como jornaleros por día o contratos (cavado o ablandamiento de pequeñas parcelas (frutales, huertos caseros mixtos) de forma manual. también trabajan

como sembradores y cosechadores, por lo general estas labores los realizan las mismas familias del hogar padre, esposa e hijos.

La principal actividad de los varones es la agricultura, dedicándose a la misma el 79,60% de los trabajadores, el 2,10% son chóferes, el 0,40% son porteros, el 0,40% enfermeros, y el 1,90% son profesores, y el restante 15,60% corresponde a los que no respondieron. (MMAyA & UAJMS, 2018)

La principal actividad a la que se dedican las mujeres son labores de casa, dedicándose a la misma el 84,60% de las mujeres, esta actividad conlleva todas las tareas domésticas del hogar, siendo la fundamental la crianza y educación de los hijos, por otra parte en las labores de casa se incluye las faenas donde las mujeres ayudan a la siembra, la cosecha, el riego, el cuidado de los animales, etc. actividad de gran aporte que hace la mujer a la economía del hogar y que sin embargo no tiene conciencia de la misma, ni es valorada por ella misma ni por los miembros de la familia, el 0,40% corresponde a las mujeres dedicadas a la agricultura, el 1,00% corresponde a las mujeres que son profesoras, el 1,00% de las mujeres se dedican tanto a labores de casa como son profesoras y el restante 13,00% de las mujeres no respondieron. (MMAyA & UAJMS, 2018).

Tabla 11. Principales actividades en la Cuenca Pedagógica de Yesera

Actividad	Género	%	Actividad	Género	%
Agricultura	Hombres	79,60	Labores de casa	Mujer	84,60
Choferes	Hombres	2,10	Agricultura	Mujer	0,40
Porteros	Hombres	0,40	Profesoras	Mujer	1,00
Enfermeros	Hombres	0,40	Labores de casa y profesora	Mujer	1,00
Profesores	Hombres	1,90	No respondieron	Mujer	13,00
No respondieron	Hombres	15,60			
TOTAL		100,00			100,00

Fuente: (MMAyA & UAJMS, 2018)

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1.16 Material de gabinete

- Imagen de satélite
- LANDSAT_8_
- ArcGIS 10.3
- Computadora
- Calculadora

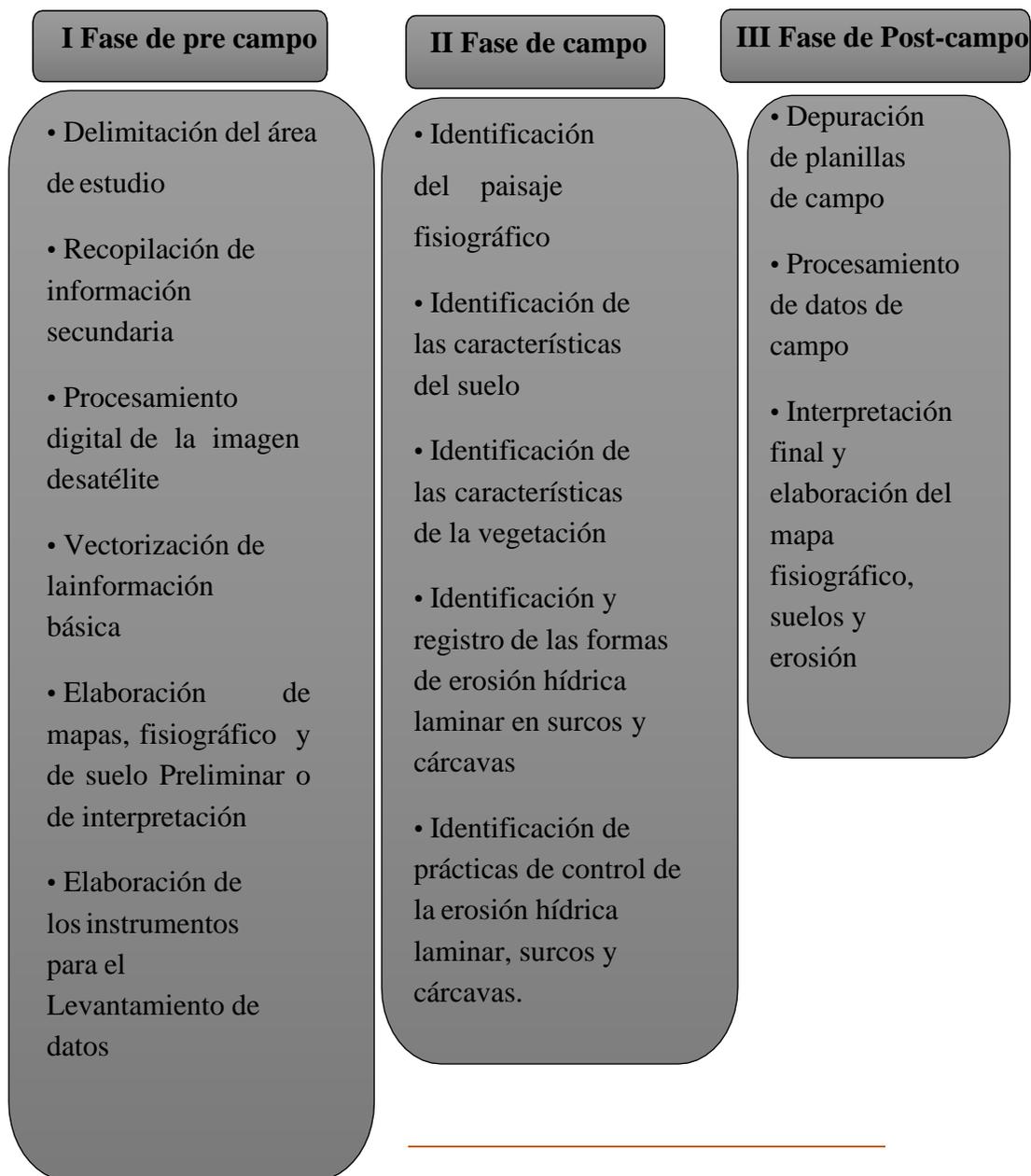
2.1.17 Materiales de campo

- 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

3 METODOLOGÍA

La identificación y caracterización de las formas y procesos de erosión hídrica actual del suelo en el paisaje fisiográfico de la Cuenca pedagógica de Yesera del Municipio de Cercado –Tarija, se realizó en base al método del enfoque geo-pedológico, vale decir, relación suelo - paisaje fisiográfico (Villota, 1989; Rossiter, 2002) empleando técnicas de teledetección, imágenes de satélite, herramientas como el sistema de información geográfica ArcGis 10.3 para el manejo de la información y métodos de gabinete y campo, en este sentido, la metodología comprende las siguientes fases, las que se indican en la siguiente figura:

Tabla 12. MARCO METODOLÓGICO DE TRABAJO



Fuente: elaboración propia

Descripción resumida de la metodología

4.1.1. Fase de pre campo

Comprende las siguientes actividades en forma secuencial:

3.1.1.1 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 el límite topográfico del territorio de la Cuenca pedagógica de Yesera del Municipio de Cercado – Tarija, 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.

3.1.1.2 Recopilación de información secundaria

En esta fase comprende 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 Cuenca pedagógica de Yesera del Municipio de Cercado – Tarija.

3.1.2 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 procedió 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).

3.1.3 Vectorización de la información

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 puede realizar el análisis de perímetros y áreas de los paisajes fisiográficos, suelos y erosión.

3.1.4 Interpretación fisiográfica y de suelo

Mediante el análisis e interpretación del paisaje fisiográfico en la imagen de satélite se delimitaron y clasificaron las unidades de paisaje fisiográfico cuyos límites corresponden generalmente a los límites de suelos. La interpretación se realiza empleando criterios morfográficos, morfométricos y morfogénicos de las categorías de paisaje fisiográfico, de esta manera la provincia fisiográfica se identificó a partir del macro relieve y su origen; para identificar el gran paisaje fisiográfico se empleó criterios de asociación o complejos de paisajes con una misma relación espacial y genética, para identificar la categoría de paisaje fisiográfico se ha empleado criterios de relieve, litología, origen, disección, posición fisiográfica, cobertura vegetal y uso del suelo.

De esta manera, los criterios para identificar el paisaje se considera también válidos para la identificación de las características generales de la clase de suelos por paisaje fisiográfico dentro del área de estudio de la cuenca de Yesera El empleo de los criterios mencionados líneas arriba en la categoría de paisaje fisiográfico son también los criterios de los factores formadores de suelo La identificación y caracterización preliminar de suelo y sus variaciones dentro de cada paisaje fisiográfico se ha identificado en base a criterios de relieve, formas del relieve, red de drenaje, disección, posición topográfica, tono, textura y contraste. De esta manera se tiene un mapa preliminar de paisaje fisiográfico y de suelos del área de estudio. Interpretación de procesos 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 morfológico 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.

Sobre el mapa preliminar de erosión y en base a los criterios mencionados, se procedió a identificar en la imagen satelital los sitios de muestreo con criterios de mapeo libre de manera que corten el mayor número de suelos y paisajes con áreas afectadas por procesos de 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 determinar la erosión como el relieve (pendiente), disección, cobertura vegetal y uso de la tierra.

3.1.5 Elaboración de los instrumentos para el levantamiento de datos de campo

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

Identificación y registro de datos del paisaje fisiográfico y relieve

Identificación y registro de datos del suelo

Identificación y registro de datos de tipos de vegetación y uso de la tierra

Identificación de formas y procesos de erosión hídrica.

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 e identificando las características del suelo concentrando la atención en los sitios con procesos de erosión.

3.1.6 Verificación del paisaje fisiográfico

La verificación de las categorías del paisaje fisiográfico, especialmente el paisaje y sus principales características en cuanto a relieve, disección y material geológico, se realizó en base a la metodología de las unidades de terreno descrita en el manual de campo del proyecto ZONISIG (2001).

3.1.7 Identificación de las características del suelo

La identificación de las características del suelo se ha realizado identificando y registrando la información de los sitios de muestreo definidos en la fase de pre campo 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.

3.1.8 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.

Identificación y registro de las formas de erosión hídrica

3.1.9 Erosión hídrica laminar

La identificación de esta forma de erosión se ha realizado en parcelas de 1 m² ubicadas en sitios representativos del paisaje y suelo afectado 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

3.1.10 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.

3.1.11 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 Este procedimiento se repite en los suelos afectados por esta forma de erosión, se concluye con un resumen de evaluación del proceso de la erosión en forma de surcos en el sitio de muestreo.

3.1.11.1 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.

3.1.12 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. 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.

3.1.12.1 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 prevenir o en su caso controlar el proceso de erosión hídrica en forma de cárcavas.

Fase de Post campo

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

3.1.13 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.

3.1.14 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.

3.1.15 Interpretación y elaboración del mapa de erosión actual por paisaje

Sobre los polígonos del mapa de suelos y en base a las características pictóricas 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 con su respectiva leyenda.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

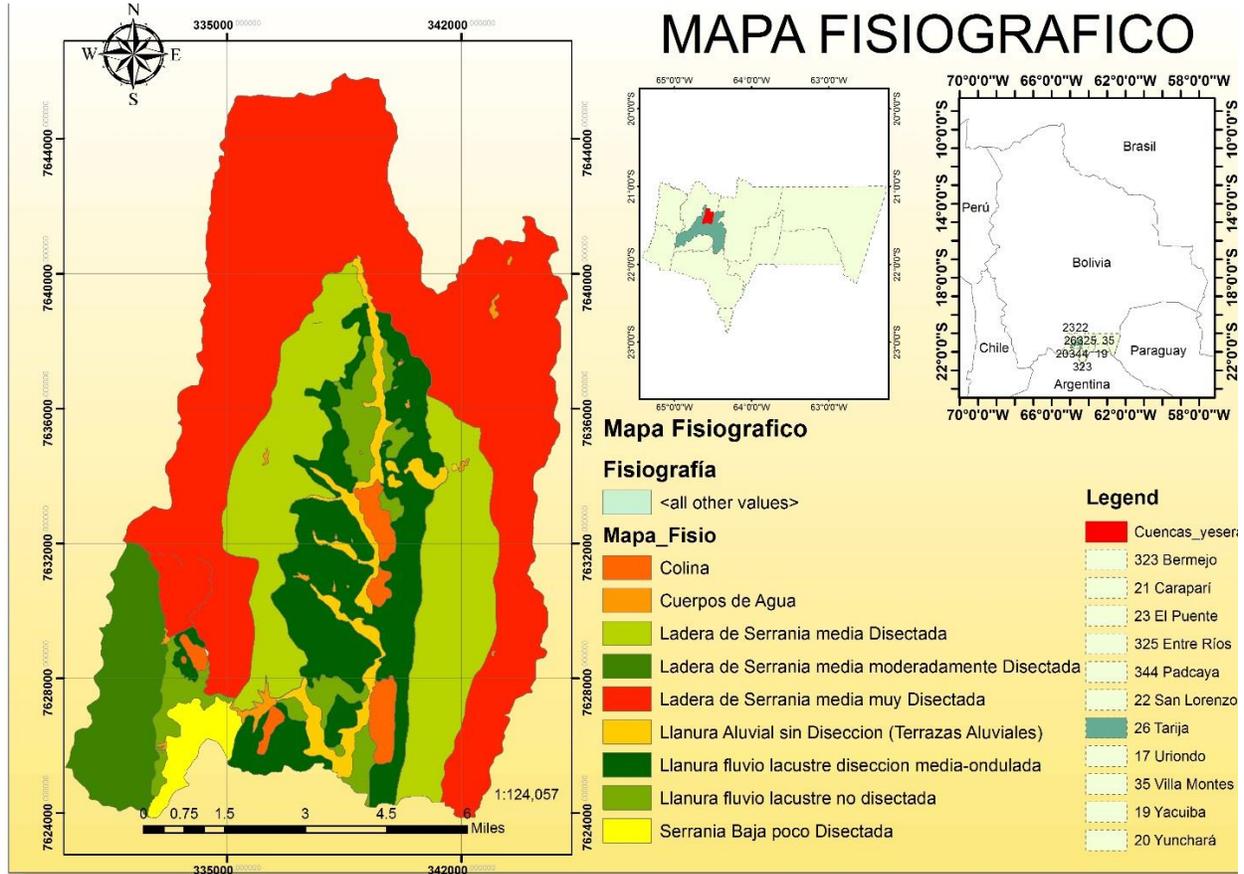
De acuerdo a los objetivos planteados: Identificar y caracterizar las formas y procesos de erosión hídrica que afectan a los suelos por paisaje fisiográfico en la cuenca de Yesera, con el fin de contribuir con información sobre áreas con suelos erosionados. Identificar en el terreno las medidas o prácticas biológicas y mecánicas para prevenir o controlar las diferentes formas y procesos de erosión que afectan los suelos por paisaje fisiográfico de la cuenca de Yesera, a continuación, se describe los principales resultados de la investigación.

Descripción del mapa fisiográfico, suelos y erosión

Del punto de vista fisiográfico a nivel nacional el territorio de la cuenca de Yesera corresponde a la provincia fisiográfica Cordillera Oriental, en la cual se han identificado dos 3 Grandes paisajes. Serranía media, Colina y Piedemonte. En el gran paisaje de Serranías se han identificado por altura y disección cuatro Paisajes: En el gran paisaje de colina no se tiene un paisaje de colina. En el gran paisaje de piedemonte en base a criterios de forma de relieve, procesos de sedimentación y disección se han identificado los siguientes tres paisajes: Llanura fluvio lacustre con disección media, ondulada, llanura fluvio lacustre no disectada y llanura aluvial sin disección con terrazas aluviales.

Considerando que el paisaje natural es la unidad central del análisis fisiográfico en la presente investigación, a continuación, se describen las principales características del paisaje, suelos y principalmente los procesos de erosión por paisaje fisiográfico que muestra el mapa fisiográfico, suelos y erosión.

MAPA FISIOGRAFICO DE LA CUENCA DE YESERA



Fuente: Elaboración Propia

Mapa Fisiografico

Fisiografía

<all other values>

Mapa_Fisio

- Colina
- Cuerpos de Agua
- Ladera de Serrania media Disectada
- Ladera de Serrania media moderadamente Disectada
- Ladera de Serrania media muy Disectada
- Llanura Aluvial sin Diseccion (Terrazas Aluviales)
- Llanura fluvio lacustre diseccion media-ondulada
- Llanura fluvio lacustre no disectada
- Serrania Baja poco Disectada

1. Cuadro Nro. 2 Leyenda del mapa Fisiográfico, Suelos y Erosión

Leyenda Fisiográfica, Suelos y Erosión						
Fisiográfica	Gran Paisaje	Paisaje	N.º Sitio de Muestreo	Suelos#	Proceso de erosión dominante	Símbolo
Cordillera Oriental	Serranía Media	ladera muy disectada	2	Leptosol	Hídrica Laminar	1
		ladera disectada	2	Leptosol	Hídrica Laminar	2
		Ladera moderadamente disectada	2	Leptosol	Erosión hídrica laminar, surcos, cárcavas	3
	Serranía Baja	Ladera poco disectada	2	Cambisol	Erosión hídrica laminar, surcos, cárcavas	4
	Colina	Ladera sin disección a poco disectada	2	Cambisol	Erosión hídrica laminar, surcos, cárcavas	5
	Piedemonte	llanura fluvio - lacustre con disección media ondulado	2	Lixisol	Erosión hídrica laminar, surcos, cárcavas	6
		llanura fluvio - lacustre no disectado	2	Calcisol	Erosión hídrica laminar, surcos, cárcavas	7
		llanura aluvial sin disección - terrazas aluviales	-	Fluvisol	Sin evidencia visible de erosión	8
	Cuerpos de Agua					

Fuente: Elaboración Propia

#: Fuente: (MMAyA & UAJMS, 2018)

4.2.1. Gran paisaje de Serranía media

3.1.15.1 Ladera muy disectada, símbolo en el mapa: 1

El paisaje de ladera muy disectada formado por rocas de los sistemas devónico (lutitas, limolitas y 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.

Los suelos que presenta este paisaje son superficiales con mucho afloramiento rocoso afectados por procesos de erosión hídrica laminar principalmente.

	
<p>Perfil del suelo afectado por erosión hídrica laminar con poca cobertura vegetal en la pendiente</p>	<p>Suelo afectado por erosión hídrica laminar, presenta una escasa cobertura vegetal de hierbas y pasto y notándose piedras y rocas.</p>

3.1.15.2 Ladera disectada. , símbolo en el mapa: 2

Estas laderas disectadas presentan pendientes escarpadas, de forma irregular largas mayores a 500 metros de longitud, con suelos muy superficiales de la consociación leptosol muy superficiales, con mucho afloramiento rocoso y abundante pedregosidad en la superficie, cm, con evidencias de erosión hídrica laminar.

3.1.15.3 Ladera moderadamente disectada. , símbolo en el mapa: 3

Este paisaje de laderas estructurales presenta pendiente muy escarpada de forma regular y largas, con suelos muy superficiales y mucho afloramiento rocoso de la consociación leptosol con mucha rocosidad y abundante pedregosidad, muy superficial de 30 cm o menos de profundidad con mucha evidencia de Erosión hídrica laminar, surcos, cárcavas.

3.1.16 Paisaje de Serranía baja con disección moderada. , símbolo en el mapa: 4

Suelos provenientes de rocas de los sistemas devónico (lutitas, limolitas, areniscas), perteneciente a la consociación 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.



3.1.17 Ladera poco disectada, Símbolo en el mapa: 5

Esta ladera corresponde al gran paisaje de serranía baja, con Suelos con pendiente moderadamente escarpada, recta, 100-200 m de longitud, perteneciente a la consociación leptosol, presenta mucha rocosidad, y abundante pedregosidad. Suelos superficiales con evidencia de Erosión hídrica laminar, surcos, cárcavas

3.1.18 Colina sin disección a poco disectada Símbolo en el mapa:6

Este paisaje de colina presenta colinas modernamente escarpadas, con suelos modernamente pedregosos con algunos afloramientos rocosos superficiales a modernamente profundos, afectados principalmente por Erosión hídrica laminar por la poca cobertura vegetal y el pastoreo extensivo de ganado menor y mayor

3.1.19 Llanura Fluvio – Lacustre con disección media ondulada Símbolo en el mapa: 7

El paisaje de piedemonte coluvio aluvial, fluvio – lacustre con influencia fluvio – glaciar, que forma parte del valle de la cuenca de yesera, este paisaje tiene suelos de la consociación 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 sedimentosaluviales por el agua de las diferentes quebradas.

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 mucha a poca pedregosidad superficial. Son suelos de profundidad variable superficiales a profundos 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.

3.1.20 Llanura fluvio lacustre no disectada Símbolo en el mapa: 8

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

3.1.21 Llanura aluvial sin disección, Símbolo en el mapa: 9

Suelos pertenecientes a la consociación Fluvisol 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 agrícolas.

abajo por el agua de escurrimiento difuso, como se puede apreciaren las siguientes fotos.

3.1.21.1 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.



Suelo afectado por erosión hídrica laminar por la escasa a nula de cobertura vegetal suelos con mucha pedregosidad,

3.1.21.2 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.

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 también muestran evidencias de procesos de estabilización por el crecimiento de hierbas y arbustos.



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 cárcava.

3.1.22 Serranía baja con disección ligera.

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

3.1.22.1 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.

3.1.22.2 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 varía 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 profundización o incisamiento del suelo. El sitio se encuentra fuertemente afectado por erosión hídrica activa en forma de surcos.



Suelo afectado por erosión en surcos de 4 a 15 cm de profundidad, estos surcos están activos y presentan crecimiento retrocedente con incisamiento en el fondo del surco.

3.1.22.3 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 escorrentía en el fondo de la cárcava.



Suelo afectado por erosión en cárcavas de 11 a 45 m de longitud, estas cárcavas están activas y presentan crecimiento retrocedente con incisamiento en el fondo de la cárcava.

Paisaje piedemonte coluvio aluvial con disección moderada.

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

3.1.22.4 Erosión laminar

Los suelos del paisaje de piedemonte 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.



Un aspecto de suelo afectado por erosión hídrica laminar con una pérdida de suelo de 3 cm de suelo en el sitio, causado por el impacto de las precipitaciones y el escurrimiento difuso superficial, Nótese los pedestales con pastos que muestran el grado de pérdida de suelo.

3.1.22.5 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

Medidas de control

De acuerdo a las observaciones en los procesos de erosión analizados en campo a continuación se sugiere las medidas que se consideran recomendable para el control o disminución de la erosión laminar:

- Cerramiento de áreas afectadas por la erosión hídrica evitando el pastoreo extensivo por ganado menor y mayor.
- Establecer adicionalmente Plantaciones forestales con fines de protección del suelo.
- Implementación de zanjas de infiltración.
- Construcción de medias lunas

Beneficios

- Con el fin de favorecer la regeneración natural de la vegetación herbácea, arbustiva
Productos no maderables y maderables de las plantaciones forestales
- Interceptar el agua de escurrimiento difuso y almacenar en las zanjas, para evitar el transporte de partículas del suelo.
- Permiten el control de la erosión. Retienen y conservan la humedad en áreas localizadas.

3.1.22.6 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, profundiza miento 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.



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

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.

Medidas de control

De acuerdo a las observaciones de los procesos de erosión en surcos observados y analizados en campo a continuación se sugiere las medidas que se consideran recomendable para el control o disminución de la erosión en surcos:

- Construcción de terrazas de formación sucesivas
- Implementación de barreras vivas
- Barreras de piedra

Beneficios

- Retienen suelo. Favorecen una mayor retención de humedad. Favorecen el desarrollo de especies forestales y vegetación natural.
- Las barreras vivas reducen la velocidad del agua. Sirven también como filtro, captando sedimentos que van en el agua de escurrimiento.
- Reduce la velocidad de la escorrentía y detiene el suelo que se erosiona en las partes superiores de la ladera.

Erosión en cárcavas.

Los procesos de erosión en cárcavas que afectan a los suelos del paisaje de pie de montecoluvio 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.

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.

Otro proceso activo prácticamente en todas las cárcavas es el incisamiento o profundización originada por el agua de esorrentía 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 influyen en el proceso de infiltración y formación de la cárcava, además es una limitante para el crecimiento de raíz de las plantas.



Cárcava con procesos activos, profundidad 1.20 m con una anchura de 5 m, estos suelos se ven muy afectados por la erosión debido a la escasa cobertura vegetal del suelo.

3.1.22.7 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, 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.

Medidas de control

De acuerdo a las observaciones en los procesos de erosión analizados en campo a continuación se sugiere las medidas que se consideran recomendable para el control o disminución de la erosión laminar:

- Diques o trampas de sedimentos de piedra
- Diques o trampas de sedimentos de geocostales
- Diques o trampas de sedimentación de llantas
- Zanjas derivadoras de escorrentía

Objetivo estratégico

A continuación, se muestran los objetivos de las prácticas que han sido presentadas:

- Contener los sedimentos dentro de la cárcava. Reducir la velocidad de escurrimiento.
- Contener los sedimentos dentro de la cárcava. Reducir la velocidad de escurrimiento.
- Controlar la erosión. Reduce la velocidad de escurrimiento
- Interceptar el agua de la escorrentía. Disminuir la velocidad del agua de escurrimiento. Proteger los caminos y zonas de cárcavas activas.

Beneficios

- Estabiliza el fondo de cárcavas a corto plazo. Favorece la acumulación de sedimentos.
- Estabiliza el fondo de cárcavas a corto plazo Favorece la acumulación de sedimentos.
- Reduce la erosión hídrica. Estabiliza el fondo de cárcavas. Empleo de material durable y de bajo costo.
- Disminuyen la velocidad del escurrimiento. Reducen el crecimiento de la cárcava. Desvían el escurrimiento superficial del agua.

3.1.23 Suelos del piedemonte coluvio aluvial sin disección.

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.

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 cuenca de yesera, se ha realizado en base a las características de las formas y procesos de erosión hídrica laminar, surcos y cárcavas por paisaje 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.





Toma de muestras de la calicata de los diferentes perfiles para la identificación del tipo de suelo



Toma de datos de los diferentes perfiles de la calicata, usando agua se puede identificar las características internas del suelo



Identificación de los diferentes tipos de perfiles de la calicata, separando estos diferentes perfiles con un cuchillo para su mejor identificación

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

En los paisajes y suelos de la Cuenca de Yesera 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 al 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 Cuenca de Yesera, 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 el proceso de 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 geo costales, diques dellantas, diques de piedra, zanjas derivadoras de escorrentía.

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 Cuenca de Yesera
- 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