

INTRODUCCIÓN

Desde hace años la degradación de los suelos es el mayor problema que confronta la agricultura de todo el mundo, la deforestación, cultivo intensivo en áreas vulnerables, sobre pastero y mal manejo del suelo para incrementar la producción tomando en cuenta la gran degradación del suelo, instituciones dedicadas a cambiar la vida de los campesinos con asistencia técnica y ejecución de proyectos realizan obras para prevenir estos riesgos que van a beneficiar a los mismos, se encargan de conservar el suelo para producción, pastoreo y reforestación, la erosión de los suelos, es considerada uno de los problemas ambientales más significativos del sector silvoagropecuario, asimismo, dicha problemática está asociada a una disminución de la productividad y eficiencia de los suelos, provocada por una baja retención tanto del agua, cuya tendencia a escurrir se manifiesta en mayor medida en terrenos con pendientes pronunciadas, la incorporación de las técnicas de conservación de aguas y suelos demanda un importante esfuerzo técnico y económico, por lo que los conocimientos referentes a esta temática y los estudios que se han realizado al respecto, son escasos, tal esfuerzo, está dirigido a pequeños propietarios agrícolas y forestales de sectores semiáridos y que tiene por objetivo el ofrecer nuevas tecnologías de conservación de aguas y suelos, que permitan actuaciones más acordes con el medio ambiente físico y social y que hagan posible acercarse hacia un desarrollo sostenible.

El suelo es un componente esencial del medio ambiente en que se desarrolla la vida, de difícil y larga recuperación (tarda de cientos a miles de años en formarse), y de extensión limitada por lo que se considera un recurso no renovable, un uso inadecuado puede provocar su pérdida irreparable en tan solo algunos años.

A nivel mundial el gran problema que existe para la conservación de suelos no es un descubrimiento de nuestra civilización, ya quedaba registrado en los

documentos de los romanos y griegos, no obstante en un principio el problema no era apremiante debido a la escasa densidad de población y al hecho de que las civilizaciones primitivas se establecían en las llanuras próximas a los ríos (suelos fértiles, con abundante agua), la explosión demográfica actual ha provocado la roturación de tierras en relieve cada vez con pendientes más fuertes, fuertemente degradables, y como consecuencia frenar la degradación del suelo se ha convertido en uno de los grandes retos de nuestra civilización (FAO 2005)

La conservación del suelo es pocas veces algo sencillo, sin un sistema seguro de tenencia de tierras, pocos agricultores están dispuestos a hacer el esfuerzo en conservar la tierra para las generaciones futuras, quizás haya que tomar en cuenta el régimen de tenencia de tierras, muchas veces al ser heredada la propiedad se divide, lo cual hace que el fomento a la conservación sea más dificultoso.

El interés por la conservación del suelo no es algo nuevo, muchos de los programas establecidos en América Latina por administraciones coloniales a comienzo de este siglo, tuvieron muy poco éxito, desde entonces se ha aprendido varias lecciones en el control de la erosión; se ha cometido varios errores, los métodos que se desarrollan varían según su cultura y aplicación, el clima, el país, existen algunas reglas universales que se aplican en cualquier parte. (WillCritchley y Oliva Graham, 2000).

En Bolivia, en gran medida la fertilidad del suelo está controlada por las actividades biogeoquímicas de la microbiota que actúa como abastecedor potencial de interés para las plantas, en nuestro país sólo se cultiva el 3% del territorio, teniendo en cuenta un potencial del 15% para la agricultura intensiva y extensiva.

La fertilidad del suelo es la capacidad de mantener una cubierta vegetal, apta para cualquier cultivo y requerimiento de la tierra, en la fertilidad intervienen todas las características del suelo, sean físicas, físico-químicas, la fertilidad del suelo se

mide por porcentaje de contenido de materia orgánica, un suelo con óptima capacidad productiva tiene un 5% de materia orgánica, en el altiplano y valles sin embargo en los suelos tropicales y sub tropicales, apenas alcanza a un 3-4% de materia orgánica. (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural MAGDR,2000)

El valle de Tarija al sur de Bolivia, se encuentra seriamente afectado por los acelerados procesos erosivos que están deteriorando todo tipo de actividad agrícola y/o forestal, la gradual pérdida del suelo apta para el cultivo y la degradación de la vegetación que carece de las condiciones mínimas necesarias del suelo y agua, no permiten sustentar una adecuada producción en los ecosistemas para la alimentación que demanda la población, por otro lado el uso inadecuado del suelo en las actividades de producción agrícola como así también agroforestal permiten alcanzar niveles bajos lo que significa que el proceso erosivo del suelo es mayor debido a la deforestación provocada por el hombre, el sobre pastoreo, factores climáticos ayudan al proceso erosivo.

Los estudios de impacto de las obras de conservación de suelos y habilitación de tierras son complementarios a los estudios biofísicos y permiten conocer información relacionada a la historia de la comunidad, la forma de vida de las familias, la forma de organización e interrelación entre comunarios, los usos y costumbres con relación a los recursos naturales, los ciclos agrícolas, principales productos y las prácticas agrícolas predominantes, en otros como problemas, demandas, intereses y necesidades de la población en la macro relación con las obras ejecutadas. , toda esta información se desarrolla a través de procesos y técnicas participativas en el marco de la organización comunal existente, lo que permite en una planificación participativa y concentrada.

La modificación progresiva de la naturaleza con el efecto de la erosión se tornan con frecuencia en nuestro entorno, las medidas de prevención y recuperación de suelo propuestas a mediano o largo plazo han contribuido a hacer de esta tarea de

conservación de suelos prácticas cotidianas de la investigación, así mismo no escapa en la realidad de la ciudad de Tarija, debido a que posee un clima de tipo semiárido, por lo tanto es de importancia realizar obras de captación de agua provenientes de lluvias

En la comunidad de Yesera Centro se ejecutaron varias técnicas de conservación de suelos y habilitación de tierras a secano con la finalidad de coadyuvar al desarrollo productivo de los comunarios de esta localidad, con la implementación de sistemas de riego , considerado un complemento indispensable en las medidas de protección del suelo y la habilitación de tierras, estas acciones brindan la posibilidad de estudiar para cuestionar sobre los beneficios económicos socioeconómicos desde el punto de vista de los pobladores del lugar.(PERTT 2008)

JUSTIFICACIÓN

Es evidente que la carencia de agua es un factor limitante para la producción agrícola y forestal, además del fenómeno de la erosión del suelo justifican la implementación de obras de conservación y rehabilitación de suelos, sin embargo las obras civiles y biológicas deben ser evaluadas para obtener indicadores de desarrollo, por ello el presente trabajo pretende determinar un sistema adecuado de técnicas de conservación.

En este sentido la importancia de conocer si establecer un método de captación de agua y conservación de suelos, será de utilidad, que sus resultados servirán como referencia para la realización de posteriores proyectos que se ejecuten en la comunidad así como también en otras comunidades con la finalidad de mejorar las condiciones de vida de los habitantes

El suelo es una fuente importante a ser evaluada en cuanto a calidad e importancia, actualmente no cuenta con información suficiente que permitan diseñar o realizar técnicas de conservación y manejo integral de mismo.

Es importante señalar que la instalación de zanjas de infiltración no cuenta con datos definidos al momento de realizar el diseño en un determinado terreno para que permitan un mejor aprovechamiento en la captación de agua y recuperación del suelo.

De esta manera se pretende, establecer un dimensionamiento de zanjas de infiltración en la comunidad de Yesera Centro para que en lo posterior, se puedan diseñar, aplicar estas prácticas orientadas a mejorar la calidad de suelo y captación de agua de lluvia.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo General

❖ Determinar el diseño hidrológico de las zanjas de infiltración a nivel de ladera, mediante el análisis de parámetros, climáticos y edafoclimáticos, que permita una captura y almacenamiento eficiente de agua en la micro cuenca La Tipa de la comunidad de Yesera Centro.

1.2. Objetivos Específicos

❖ Determinar los parámetros hidrológicos que permiten el diseño de zanjas de infiltración periodo de retorno, máximas intensidades de precipitación y valores mínimos de velocidad de infiltración de agua en el suelo.

❖ Caracterizar las condiciones actuales de las zanjas de infiltración que se encuentran en la ladera de la represa La Tipa de Yesera Centro, mediante mediciones directas.

❖ Contrastar la situación actual de las zanjas de infiltración con el diseño hidrológico determinado, a fin proponer medidas de mejora de estas obras de conservación de suelos.

1.3. Hipótesis.

Realizando un análisis técnico de las zanjas de infiltración establecidas en la comunidad de Yesera Centro, es posible determinar el diseño adecuado para optimizar la infiltración del agua en el suelo para las condiciones climáticas del lugar a su vez proponer mejoras del sistema actual.

2.1. Definición del suelo.

El suelo es un recurso natural básico; compuesto de materiales orgánicos y minerales; sus propiedades se deben al efecto integrado del clima y los organismos vivos que interactúan sobre el material parental, en determinado periodo de tiempo, sirve de soporte para el crecimiento de las plantas, microorganismos edáficos y micro fauna; regula el destino del agua en el ciclo hidrológico y es un sistema reciclador de nutriente y residuos orgánicos.

Actualmente es considerado como un recurso no renovable y su pérdida constituye para las generaciones actuales y futuras, se estima que el 81% del territorio nacional presenta algún grado de erosión que varía de leve a severa, los procesos erosivos no son de carácter local sino más bien regional de acuerdo a los principios que regulan las cuencas hidrográficas, existen factores ecológicos, climáticos, hidrológicos, sociales, económicos, culturales, etc., que se interrelacionan entre si dando su propia dinámica. (Beltrán. L.S y C. Loredó O 1996).

En las condiciones actuales, cuando el deterioro de los recursos naturales es acelerado y se busca el manejo integrado de los recursos para alcanzar índices de sostenibilidad aceptables, el concepto de suelo como una unidad de manejo puede ser estratégico si además de las condiciones físico-biológicas se consideran las condiciones sociales económicas de sus habitantes, lo ideal es alcanzar un balance entre la conservación del suelo y el manejo integral de los recursos que dependen de él, lo cual implica la planeación del uso y conservación del suelo, con un enfoque más amplio del que se puede tener a nivel local, considerando e integrando los siguientes aspectos:

- ❖ Las condiciones, inquietudes y oportunidades de los productores de la micro cuenca en la programación de las acciones del manejo
- ❖ Los programas y mecanismos institucionales.
- ❖ El conocimiento científico y tecnológico generado por las instituciones de investigación para implementar las acciones (Beltrán. L.S, Hernández 2005).

Desde el punto de vista agrícola se denomina suelo al sistema estructurado con características biológicamente activas que se desarrolla en la corteza terrestre, es una capa de material fértil que recubre la superficie de la tierra y que es explotada por las raíces de las plantas y a partir de lo cual se obtienen sostén, nutrimentos y agua, el proceso de formación del suelo comienza por las variaciones cualitativas y cuantitativas relacionadas y reguladas por el ritmo de los ciclos climáticos y biológicos del ecosistema del cual forma parte la desintegración de la roca madre que está expuesta en la superficie de la corteza terrestre a partir del rompimiento físico y químico ocasionado por las lluvias, viento la exposición al sol y la actividad mecánico biológica de las raíces de las plantas, en caso de actividad biológica las cianobacterias y los líquenes son los primeros colonizadores del sustrato rocoso, liberan ácidos orgánicos que disuelven lentamente la roca madre. El efecto mecánico del crecimiento de las raíces acelera la ruptura de las rocas además de que la presencia de las plantas permite una gran actividad de micro y meso organismos y la gran acumulación de materia orgánica en diferentes estados de descomposición la cual contribuye a la formación del suelo, aunque el suelo está en constante formación, el proceso es sumamente lento, se calcula que para tener un centímetro de suelo es la capa superficial son necesarios entre 100 y 400 años, por lo cual se considera un recurso no renovable en la escala del tiempo. (Lemus M. Navarro G.2003)

2.2. Importancia del suelo.

El suelo es un recurso natural básico; compuesto de organismos vivos que actúan sobre el material parental, en determinado periodo de tiempo, sirve de soporte para el crecimiento de las plantas, microorganismos edáficos y micro fauna; regula el destino del agua en el ciclo hidrológico, es un sistema reciclador de nutrientes y residuos orgánicos. Actualmente es considerado un recurso no renovable y su pérdida constituye un problema para las generaciones futuras, los suelos son sistemas complejos donde ocurren una inmensa gama de procesos físicos y biológicos que se ven reflejados en la gran variedad de suelos existentes en la tierra, son muchos los procesos que pueden contribuir a crear un suelo particular, algunos de éstos son: la

deposición eólica, sedimentación en cursos de agua, meteorización, y deposición de material orgánico, el suelo es materia y por lo tanto tiene propiedades, las cuales están estrechamente ligadas con la relación que existe entre el suelo y la planta (relación suelo-planta), todas las propiedades del suelo, aun siendo las mismas, se pueden clasificar de dos maneras: La primera clasificación, enfatizando las propiedades físicas, entre las cuales están : color, textura, estructura, porosidad, consistencia, densidad, permeabilidad, profundidad, propiedades térmicas y dinámica del agua. La principal propiedad química del suelo es la salinidad; y entre las principales propiedades físico-químicas están: potencial de oxidación, PH (reacción del suelo) e intercambio iónico. (Lemus .M 2003)

2.3. Usos del suelo

Menos del 30% de la superficie de nuestro planeta tierra, no toda ella puede ser utilizada por los humanos, motivo por el cual se constituye en un recurso natural valioso y sometido en muchas partes del mundo a una notable presión, en consecuencia es importante tener una visión correcta del uso que se está dando a un espacio concreto y si éste es el más apropiado, en los últimos años se ha producido grandes avances en las técnicas de análisis y representación cartográfica que se utiliza en el estudio de los usos del suelo, mientras que el tamaño de las áreas objeto del mismo ha sido incrementado, la agricultura siempre ha supuesto un impacto ambiental fuerte, hay que talar bosques para tener suelo apto para cultivo, hacer embalses de agua para regar, canalizar ríos, etc. La agricultura moderna ha multiplicado los impactos negativos sobre el ambiente, la destrucción y salinización del suelo, la contaminación por plaguicidas y fertilizantes, la deforestación o pérdida de la biodiversidad genética son problemas muy importantes a los que hay que hacer frente para poder seguir disfrutando de las ventajas de la revolución verde. (Francke.S, 2005).

2.4. Erosión del suelo.

La erosión del suelo es el resultado de la interacción de factores ambientales y humanos entre los que se encuentra el tipo de suelo, la topografía, el clima, la deforestación, el sobrepastoreo, la densidad poblacional, la manera en la que se usan los recursos naturales, tipo y estado de la cobertura vegetal, con respecto a este último factor, una parte de los suelos de los ecosistemas naturales presenta señales de erosión en sus diferentes procesos y niveles, en las selvas húmedas, bosques templados y manglares el nivel de erosión es ligero, en los bosques de montaña, y pastizal natural la erosión es moderada.(Pizarro. R.C. Sangüesa 2004).

Si se realiza una comparación del proceso de erosión por el tipo de vegetación natural, los suelos de bosque de montaña son mayormente afectados por la erosión hídrica debido al incremento de las escorrentías por la pendiente, esos daños pueden acrecentar si los bosques sufren algún tipo de perturbación tal como el corte de leña, la extracción de montes, si bien el suelo es el sitio donde se realiza gran parte de las actividades primarias (agricultura y ganadería) a partir de las cuales se producen nuestros alimentos y además sirve de sostén para la infraestructura habitacional, industrial, carretera y recreativa, su degradación forma parte de un proceso mayor llamado degradación de la tierra, por lo tanto en este sentido debe entenderse “tierra” como el área específica con características particulares que se aprecian del resultado de la actividad humana pasada y las interacciones entre todos los elementos. (García. J. 1999)

La decadencia de la fertilidad del suelo y consecuente degradación de la tierra, sin embargo, una mejor explicación y comprensión se encuentra si se considera la erosión del suelo como un efecto de la pérdida de fertilidad y de los procesos de degradación; la erosión acelerada del suelo no ocurre en suelos sanos como son los ecosistemas de suelos capaces de infiltrar cantidades excesivas de agua de lluvia debido a sus estructuras estables y que proporcionan suficientes nutrientes a las plantas a través de la actividad biológica, las áreas que han sido erosionadas tienen por lo general un bajo contenido de materia orgánica, ésta es la razón por la que los

sistemas de la agricultura de conservación, como cualquier otra actividad agrícola, no generarán inmediatamente experiencias positivas en estos suelos, desde el punto de vista biológico, estos suelos están muertos y se necesitan esfuerzos y energías para lograr su revitalización, antes de que es suelo se convierta en un ecosistema debe ser restaurado, es necesario crear un nuevo equilibrio entre los organismos del suelo (materia orgánica), el suelo puede mantener agua y retener lo nutrientes para la producción de cultivos. (Proyecto EIAS 2002)

Los factores que afectan la erosión del suelo causada por el agua son los tipos de lluvias, el gradiente y la longitud de las pendientes, el tipo de suelo, las estructuras de control de la erosión existentes, las prácticas de cultivo, especialmente la cobertura del suelo y el clima, mientras más fuerte sea la lluvia y más inclinada la pendiente, mayor y más rápida será la erosión hídrica, también puede ser causada por el viento sobre la tierra, dependiendo de la fuerza de los vientos, contrariamente a la erosión natural que puede ocurrir lentamente, la erosión inducida por el ser humano puede ser rápida y remover grandes cantidades de suelo, si esto sucede, puede ser una seria amenaza para la producción agrícola y el medio ambiente; la erosión siempre tiene efectos *in situ*, es decir, consecuencias en el lugar desde donde el suelo es movido y efectos *ex situ*, es decir, en los lugares que son afectados por el transporte de suelo erosionado o donde el suelo es depositado.

Efectos *in situ*:

- ❖ Pérdida de agua, fertilizantes y pesticidas (pérdida de producción inmediata)
- ❖ Pérdida de suelo (pérdida de productividad a largo plazo)

Efectos *ex situ*:

- ❖ Deterioro en la calidad del agua (contaminación de ríos, muerte de peces, más alto costo del agua de beber)
- ❖ Sedimentación del suelo transportado (o sea, cegado de embalses, cobertura de cultivos)
- ❖ Inundaciones en áreas deshabitadas (flujos de lodo, arenado de zanjas)

❖ Aumento de los flujos de los ríos (destrucción de obras estructurales, puentes). (Saavedra 1998).

2.5. Factores que contribuyen a la erosión del suelo.

Topografía: Entre las expresiones topográficas que influyen en la erosión están el grado y longitud de la pendiente y las dimensiones en la forma de la cuenca, mientras más inclinado sea el campo, mayor será el riesgo de erosión.

Clima: Entre los factores climáticos que influyen en la intensidad de la erosión hídrica están las precipitaciones, la temperatura, el viento, la humedad, y la relación solar, la relación entre las precipitaciones, la escorrentía y las pérdidas de suelos son muy complejas, la lluvia es el factor climático más importante con relación a la erosión de los suelos.

Suelos: Las propiedades del suelo que mayor efecto tienen sobre el valor de la erosión hídrica son: Estructura, textura, contenido de humedad y densidad, además de sus características químicas y biológicas, pero hasta el presente no se ha podido encontrar una de ellas que, proporcione un medio preciso para predecir la erosión

Vegetación: Es un factor primordial de la conservación de los suelos, toda planta defiende al suelo de la acción perjudicial de las lluvias, aunque en forma y proporciones diferentes, los principales efectos de la vegetación relacionados con la protección del suelo son: Intercepta las gotas de lluvia y reduce la escorrentía, retarda la erosión al disminuir la velocidad de la escorrentía, mejora la agregación y porosidad del suelo, aumenta la actividad biológica y la capacidad de almacenaje de agua del suelo.

El patrón de lluvias: Mientras más lluvia caiga y mayor sea la fuerza de la lluvia (la intensidad, o sea, la cantidad de lluvia que cae por minuto), habrá mayor erosión. (Pavez. A 2004).

2.6. Clasificación de los procesos erosivos

Dispersión de los agregados del suelo: En sus partículas elementales (textura), pueden formarse una costra superficial o un suelo sellado que impide una adecuada infiltración del agua generando una pérdida por escorrentía superficial.

Erosión laminar: Es la pérdida generada por circulación superficial difusa de agua de escorrentía

Erosión por surcos: Producido por el arrastre del flujo de agua que se canaliza y jerarquiza generando surcos.

Erosión por cárcavas: Se produce debido al arrastre del suelo por el agua que genera cárcavas (suelen comenzar en forma de surcos).

Erosión en Badlands: Son cárcavas profundas generalizadas que llega a eliminar toda la capa del suelo dando lugar a un paisaje “abarrancado”.

Erosión por sufusión (piping): se desarrolla una red de drenaje sub-superficial que termina por colapsarse.

Bio-erosión: Desgaste de las capas sub-superficiales del suelo causadas por la acción de organismos vivos.

Erosión mecánica: Pérdida del suelo causado por labores de labranza.

Erosión de los cauces fluviales: Causado por la incisión del agua pluvial o por el desplazamiento lateral de los propios cursos.

Erosión eólica o deflación: Pérdida del suelo debido al efecto del viento el cual arranca materiales edáficos del suelo.

Erosión eólica o corrosión: Desprendimiento de partículas (desgaste) debido al impacto de partículas previas suspendidas o arrastradas por el viento (Duarte y Couso 2001).

2.7. Métodos para el control de la erosión del suelo.

Las medidas de conservación del suelo deben incluir cuatro acciones básicas: 1) proteger el suelo contra el impacto de las gotas de lluvia; 2) incrementar la capacidad de infiltración para reducir el escurrimiento superficial; 3) mejorar la estabilidad de los agregados del suelo para hacerlo más resistente a la erosión por salpicamiento; y, 4) aumentar la dureza de la superficie para reducir la velocidad del escurrimiento, estas acciones se pueden lograr a través del manejo del terreno con prácticas agronómicas y vegetativas tales como la preparación adecuada del terreno, la aplicación de materia orgánica, la adición de abonos verdes, etc., así como prácticas mecánicas. (Lemus, A. Mauco 2003)

La conservación de los recursos naturales significa usar la tierra dentro de los límites de viabilidad económica mientras se la salvaguarda contra el empobrecimiento o agotamiento por la erosión, la degradación, el agotamiento de los nutrientes de la planta, la acumulación de sales tóxicas, la quema, las inundaciones, el cultivo inapropiado y cualquier otro tipo de uso inadecuado, con el transcurso de los años el término conservación de suelo y agua ha cambiado por agricultura de conservación o mejor manejo de la tierra con el objetivo de cambiar el énfasis de los aspectos de conservación por los aspectos agrícolas. (Mongil J. 2004).

EL desarrollo de prácticas para controlar la erosión con el fin de conservar el suelo, es decir, para evitar que el suelo se mueva de un lugar a otro; entre las prácticas de conservación de aguas y suelos más utilizadas se puede establecer la siguiente:

Barreras vivas: Son hileras de plantas perennes de crecimiento denso, sembradas transversalmente a la pendiente, casi siempre por las curvas de nivel, que quedan dispuestas en el terreno a determinadas distancia unas de otras.

Labranza con cobertura vegetal: Consiste en que los restos de cultivo anterior se han dejado sobre la superficie del suelo o a poca profundidad, este método es muy útil para combatir la erosión sobre todo durante los períodos en que las plantas que se cultivan no protegen adecuadamente al suelo.

Rotación de cultivos: Es una sucesión que se repite en un mismo terreno en forma más o menos regular, de diferentes cultivos, el éxito de este método depende de la selección que se haga en la siembra.

Siembra en cobertura y abonos verdes: Las siembras en coberturas, también llamados cultivos de protección tienen como finalidad impedir o reducir la erosión, estos cultivos protegen al suelo cuando no está ocupado con los cultivos habituales durante la época de las lluvias.

Siembra entre líneas. Es la siembra de gramíneas y leguminosas entre las hileras del cultivo principal, para controlar la erosión.

Prácticas Hidrológico-forestales

- Zanjas de infiltración
- Canales de evacuación de aguas lluvias (en tierra sin revestimiento)

Prácticas Mecánico-estructurales

- Diques de mampostería, transversales de madera, roca pesada, estructuras gaviondas.
- Muros de contención y/o sostenimiento
- Canales de desviación
- Terrazas de captación
- Colectores de aguas lluvias

Prácticas Agronómicas-culturales

- Surcos en contorno
- Subsolado
- Fajas de contención
- Terrazas

(Villanueva J. I Sánchez 2008).

2.8. Conservación del suelo

La conservación de suelos juntos con la mano de obras de mitigación de erosión, los recursos de producción, es un programa completo de estudios de investigación, proyectos, métodos y técnicas conectadas para remediar, prevenir o reducir la degradación del suelo, comprende la protección, mejoramiento y uso de los recursos naturales, acorde a sus principios que aseguran el más alto beneficio económico y social al hombre ahora y en el futuro, es necesario considerar factores adicionales que influyan directamente en el uso sostenible del suelo, por otro lado tenemos aproximadamente el 70% del territorio nacional está representado por condiciones de suelo de ladera, las que en algunos casos son de topografía muy quebrada. (Anaya, G.2010)

Los aspectos expuestos anteriormente hacen necesario referirse a la importancia de conservar el suelo y habilitar tierras como un punto de partida de la producción orgánica, desde un enfoque convencional basada en la implementación de obras físicas bajo una lógica conservacionista, el uso del suelo está dividido en categorías de capacidad de uso, los suelo llanos y estables se asignan a los cultivos anuales otras áreas a plantas perennes como herbáceas, leguminosas, pastoreo y explotación forestal. (Castellanos, B. J.D.Leon 2011)

La zonas que se establecen los cultivos se plasman diques y terrazas para minimizar la escorrentía, otro método es la realización de franjas de plantaciones este método es eficaz en el control de la erosión eólica en suelos semiáridos, además la fertilidad del suelo implica la aplicación de fertilizantes inorgánicos (químicos), para acondicionar el suelo. (Ríos Vega, 2009)

2.9.Bases hidrológicas para el diseño de zanjas de infiltración.

2.9.1. Infiltración en el suelo.

La infiltración es el proceso de movimiento de agua líquida que entra al suelo, producido por la acción de las fuerzas gravitacionales y capilares, parte del agua que

llega al suelo se infiltra en el, parte puede escurrir superficialmente y otra evaporarse desde el suelo, el agua que infiltra en el suelo puede ser retenida en cierta cantidad máxima actuando la fuerza de la gravedad (capacidad de campo); el excedente percola eventualmente hasta las napa freática o si encuentra una capa impermeable de material parental drena como flujo lateral o sub superficial, el régimen de precipitaciones puede ante eventos de diferente intensidad, determinar que el agua infiltrada alcance o no los horizontes profundos, la capacidad de campo o excesos de agua que dependiendo de las características del suelo se moviliza vertical y/o horizontalmente en el perfil.

Los factores que afectan a estas variables relacionadas con las características del suelo (textura, estructura, porosidad), la vegetación y las características de las precipitaciones, dentro de estos factores la porosidad es el factor más influyente en el proceso, se puede ver reducida por la compactación, alteraciones mecánicas, reducción de la cubierta vegetal protectora y destrucción de los agregados del suelo.

Sin descontar la influencia necesaria de los factores climáticos y geomorfológicos, tanto la infiltración como la escorrentía dependen básicamente de las características internas del suelo, tanto a nivel de sus propiedades físicas, biológicas y mineralógicas, como de su morfología general. (Martínez Navarro 1996)

2.9.2. Análisis de lluvias máximas.

Estudiar las precipitaciones y conocer su distribución temporal, con diversos fines como meteorológicos, edafológicos e hidrológicos, se pueden proporcionar índices de precipitación, escorrentía que permitan realizar un adecuado diseño y dimensionamiento de las zanjas de infiltración, es necesario conocer las intensidades de la precipitación para distintos periodos de retorno, para esto es preciso contar con información pluviométrica correspondiente a las estaciones pluviográficas en estudio, se necesita conocer el comportamiento a través de una curva en función a la duración y frecuencia cuyo fin será aportar patrones de conductas de las lluvias de tal manera que permitan realizar diseños confiables y efectivos. (Pizarro.R. Novoa 1998).

2.9.3 Escurrimiento superficial.

El es agua que escurre sobre la superficie del suelo y que se produce cuando la precipitación es alta y sobrepasa la capacidad de infiltración, alimenta en forma inmediata a los cursos de agua.

El escurrimiento superficial puede mantener más o menos constante o aparentar una exportación de agua a los ecosistemas, el relieve juega un papel importante en la tendencia dominante, en terrenos planos o de muy baja pendiente el escurrimiento superficial puede ser muy escaso y no constituir pérdida o ganancia significativa, en sitios de terrenos cóncavos el escurrimiento desde los ecosistemas puede implicar pérdidas, la ganancia de agua desde el subsuelo es evidente allí donde las napas de agua son surgentes o están cercanas a la superficie y pueden ser alcanzados por las raíces de las plantas.

Este escurrimiento superficial presenta dos externalidades negativas; cuando no existe una adecuada cubierta superficial, es el responsable de iniciar proceso de erosión en el suelo por su acción de la fuerza del agua y constituye una fuente de pérdida de agua aporta al caudal de la red hídrica aguas abajo.

Dentro de los factores que regulan la escorrentía se encuentra el suelo, como elemento fundamental donde las texturas más gruesas como en suelos arenosos presentan un mayor potencial de infiltración debido al mayor porcentaje de poros gruesos, la cubierta vegetal es otro factor que incide en la generación de la escorrentía, ya que la precipitación que llega al suelo depende en gran medida del tipo estructura y densidad de la cubierta vegetal, si bien disminuye la cantidad de agua que llega al suelo también aumenta la posibilidad de infiltración, disminuyendo la generación de escorrentía con respecto a la precipitación su intensidad deberá ser mayor que la velocidad de infiltración para producir un flujo de escorrentía, otros factores como la fauna presente en el suelo, ayudan a oxigenar y mejorar la estructura mezclando las fracciones minerales y orgánicas, la orientación del terreno también

tiene un grado de influencia las de posición norte son mas cálidos lo que deriva en tasas superiores de oxidación y descomposición de la materia orgánica favoreciendo la generación de escorrentía.

Aparte del suelo y sus características como la textura, porosidad, estructura, el material parental, entre otras el bosque también puede afectar los cambios en profundidad del nivel freático e incluso interviene directamente en la forma en que distribuye el agua en los distintos comportamientos del sistema y en la cantidad de agua que deja el corriente fluvial, en eventos extremos de precipitación se generan procesos dinámicos de escorrentía con movimiento de aguas superficial, arrastre de suelo y nutrientes, con el consecuente daño al suelo y su productividad, las mejores condiciones se dan cuando la mayoría del agua de precipitación entra a ser constituyente del suelo. (Ríos 2013)

2.9.4. Las zanjas de infiltración como práctica mecánica para la captación de agua y conservación de suelos

Las zanjas de infiltración, son canales de sección rectangular o trapezoidal sin desnivel construidos a curvas de nivel en los terrenos para captar parcial o totalmente es escurrimiento superficial generado por una tormenta , el fin es disminuir el caudal máximo y el volumen total de la escorrentía, recargar la napa subterránea y mejorar la calidad del suelo, almacenar el agua para los pastos y cultivos instalados debajo de las zanjas en las laderas, los cuales tienen por función acortar la longitud de la pendiente, disminuyendo de esta manera los riesgos de erosión, en las laderas durante la época de lluvias, otra función importante es depositar el agua de escorrentía de las laderas favoreciendo la infiltración en el terreno para mantener la humedad de pastos y plantaciones forestales estas obras de recuperación de suelos pueden ser construidas de forma manual o mecanizada se sitúan en la parte superior o media de una ladera, para capturar y almacenar agua proveniente de la escorrentía superficial.(Proyecto Jalda 2002)

Las zanjas de infiltración son agentes propiciadores de almacenamiento de humedad para los vegetales, debe señalarse así como un sistema de zanjas de infiltración para

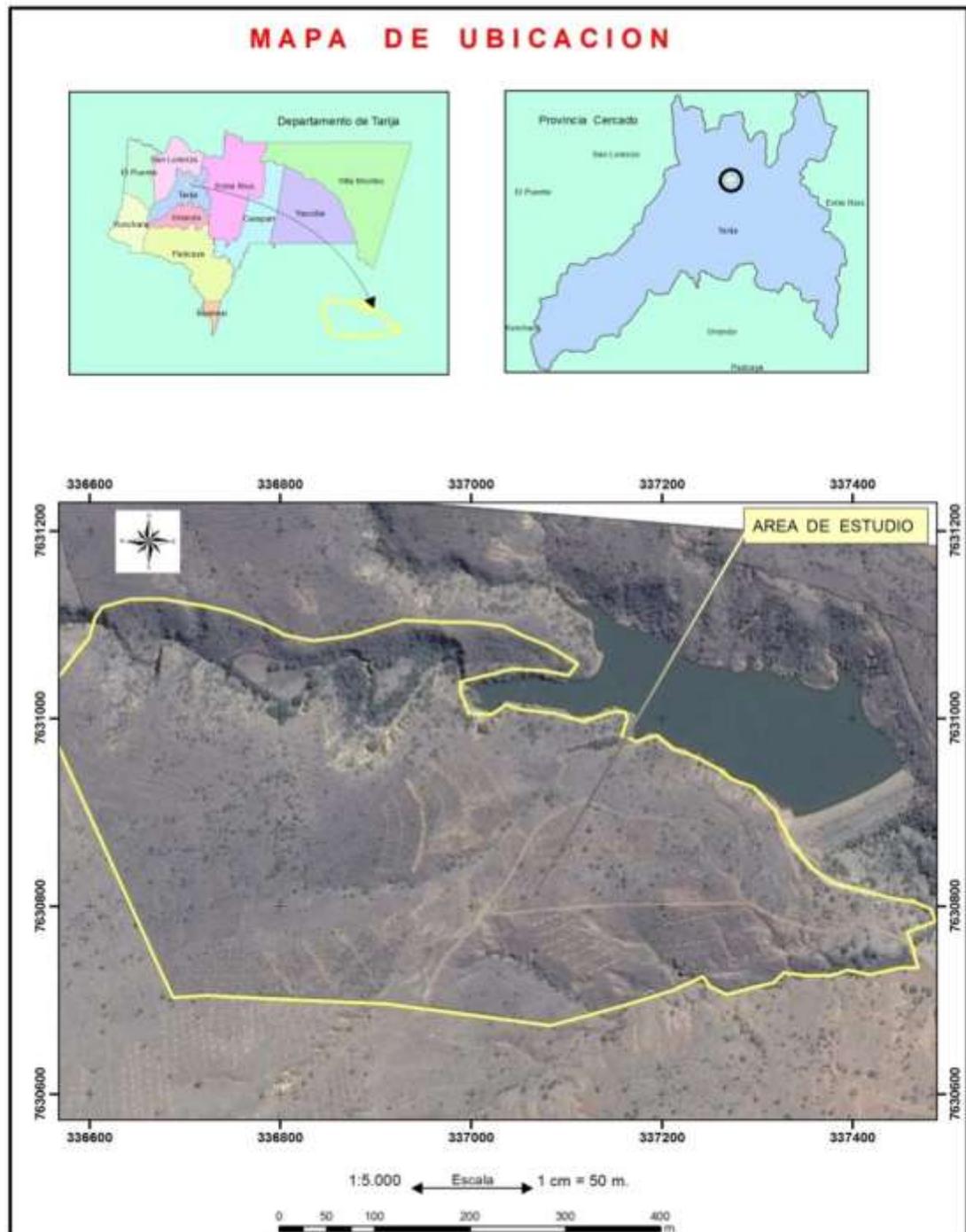
controlar el efecto erosivo. en el manejo de suelos, se utiliza bastante la construcción de zanjas de infiltración, especialmente como una práctica mecánico estructural; través del tiempo se ha asumido el rol de promocionar, las técnicas de construcción de zanjas, en las riberas cercanas a la gran masa de agua donde precisamente la única alternativa de atemperar el medio, es crear microclimas especiales con la retención del agua de escorrentía mediante la construcción de zanjas de infiltración, sin embargo, el aparente diseño y construcción, no es tal, porque requiere un buen análisis de la zona, donde se incluya los aspectos sociales y culturales.(Martínez A; 2011)

2.9.5. Ventajas de las zanjas de infiltración

El principio fundamental a la hora de diseñar las zanjas de infiltración corresponde a qué cantidad de agua de lluvia que cae en la zona de impluvio debe ser menor o igual a la que capta y absorbe la zanja, es decir la capacidad de éstas no debe ser sobrepasada por el total de aportaciones que a ella converjan. Las zanjas infiltración son utilizadas en zonas de baja precipitación para interceptar y almacenar temporalmente el agua, para optimizar la infiltración, así mejor las condiciones de humedad del suelo, estimular el crecimiento de las plantas, reducir la velocidad de escurrimiento y el volumen de agua y reducir la erosión del suelo especialmente en zonas con pendientes pronunciadas. (DESCO, 2008).

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Mapa N° 1



3.1.1. Localización.

La Comunidad de “Yesera Centro” Cantón Santa Ana perteneciente a la Provincia Cercado del Departamento de Tarija, geográficamente se encuentra entre el paralelo 21°24'48.25” de latitud sur, a 32 km de la ciudad de Tarija en dirección Nor-Este, limita al oeste con Rumicancha, al norte con Lajas, al este con Morro Gacho y Jaramillo y al sur con Caldera.

La presa La Tipa está ubicada en la zona la Mina las misma está alimentada por la quebrada La Tipa que tiene una capacidad de alimentación de 4500 m³ beneficiando a 37 familias.

3.1.2. Población.

Según el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2012), la comunidad de Yesera Centro posee una densidad de población baja, contando con 334 habitantes de los cuales el 50.6% son varones y el 49.4% mujeres haciendo un total de 88 familias con un promedio de 4 miembros por familia.

3.1.3. Salud

La comunidad no dispone de postas sanitarias, este problema está relacionado con los servicios básicos, los comunarios no cuentan con varias necesidades básicas, las familias pobres tienen una insatisfacción del 42.1% respecto a los niveles mínimos de vida, en tal sentido para ser atendidos en caso de enfermedades se tienen que trasladar hasta la ciudad o al centro de salud Yesera Norte.

3.1.4. Educación.

En el aspecto educativo la comunidad no cubre satisfactoriamente la demanda de educación de los niños y jóvenes, debido a que no cuenta con un nivel secundario y por factores económicos de tal manera se ven obligados a trasladarse a la ciudad. (PERTT, 2005)

3.1.5. Luz

El 100% de la población cuenta con este servicio eléctrico durante las 24 horas del día que es utilizado básicamente para el consumo domestico, la energía eléctrica es parte de la red rural la distribución es realizada por la empresa SETAR Tarija.

3.1.6. Agua.

La comunidad de Yesera Centro se abastece de la red de agua potable existente en la comunidad la misma que es un sistema por gravedad, captada de vertientes próximas que es potabilizada para el consumo humano (PERTT, 2005).

3.1.7. Vías de acceso

El acceso a la comunidad ingresa por la carretera asfaltada Tarija- al Chaco a 20Km desvía a la izquierda a la altura del puente Santa Ana un camino pavimentado a 20 km de ahí está ubicada la comunidad de Yesera Centro, la unidad de estudio está ubicada en dicha comunidad en zona la Mina, el tiempo estimado para llegar hasta el lugar es de 50 minutos en vehículo. (PERTT, 2005).

3.2. CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS

3.2.1. Geología

El área se encuentra en el paisaje que corresponde a una región montañosa interceptada por depresiones del valle principal, las zonas morfológicas una formada por serranías, en la zona montañosa los procesos de meteorización física son intensos y desintegran la roca produciendo grandes cantidades de material rocoso de diversos tamaños, que luego es transportado por corrientes fluviales hacia la zona baja.

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

3.2.3. Geomorfología.

Geomorfológicamente pertenece a la llanura lacustre de origen coluvio-aluvial, de pie de monte, con pendientes suaves orientadas al oeste disectadas por numerosas quebradas que son abundantes en la zona.

En la región predominan las terrazas altas que corresponden a la faja Sub- andina y una serie de planicies lacustres con todas sus características de erosiones por la fragilidad que presentan las mismas, el nivel freático es profundo en las tierras lacustres, en las tierras aluviales se encuentra a unos 4 metros de profundidad. (PERTT, 2005).

3.2.4. Suelos.

Los suelos de la zona de estudio, presentan textura franco y franco arcillosos a arcillosos. El PH varía de neutro a alcalino, con la presencia de suelos con abundante sodio, principalmente en las terrazas altas, con suelos a secano, el mismo tiene un efecto negativo sobre el desarrollo de las plantas debido a la baja infiltración y una alta escorrentía superficial acompañada de precipitaciones muy cortas. (PERTT, 2005).

3.2.5. Clima.

El clima es templado seco, la temperatura media anual 22°C el periodo lluvioso que va desde octubre hasta abril, un periodo seco de mayo a septiembre; en todo el año la evapotranspiración potencial es mayor que la precipitación a excepción de los meses de diciembre, enero y febrero, (PERTT, 2005)

3.2.6. Precipitación media anual.

De acuerdo a los análisis de zonificación pluviométrica se observa que el régimen pluviométrico es variable, a través del análisis realizado de la estación Yesera Norte se asume una media anual de 656m.m.valor fue asumido tomando en cuenta la densidad baja de la red pluviométrica, la poca extensión del área la diferencia del régimen pluviométrico de las estaciones. (PERTT, 2005).

3.2.7. Hidrografía.

El balance hídrico, la zona cuenta con un buen sistema hidrográfico en la época de verano tiene crecidas de gran caudal, los cuales son desperdiciados y corren río abajo, tiene un número considerable de quebradas y arroyos que aporta al caudal principal, el cual mantiene un caudal normal en la época de lluvia, en época seca baja su caudal

pero no se seca al menos en la parte alta, mientras que las quebradas y arroyos no mantienen agua. (PERTT, 2005)

3.2.8. Vegetación.

La vegetación presente en el área pertenecen a la región subtropical bajo, pre montano de bosque seco, la especie predominante en las diferentes terrazas es la *acacia caven*, conocida comúnmente como churqui, otras especies arbóreas son:

Cuadro N°1 Árboles y arbustos.

Nombre Común	Nombre Científico
Churqui	<i>Acacia caven</i>
Molle	<i>Schinus molle L.</i>
Tharkho	<i>Prosopisjuliflora</i>

Fuente (PERTT 2008)

Estas especies están sometidas a fuerte presión para la obtención de leña, la vegetación herbácea es la más abundante, sin embargo el pastoreo da lugar a un deterioro y degradación del suelo.(PERTT, 2005)

Cuadro N° 2 Pastos naturales

Nombre común	Nombre científico
Gramma de rhodes	<i>Chlorogayana</i>
Pata de perdiz	<i>Cynodactylon</i>
Pasto miel	<i>Paspalum dilatatum</i>
Pasto horqueta	<i>Notatum</i>

Fuente (PERTT 2008)

Cuadro N° 3 Principales cultivos tradicionales

Nombre común	Nombre científico
Maíz	<i>Zea mais</i>
Trigo	<i>Triticumvulgare</i>
Papa	<i>Salonumtuberosum</i>
Arveja	<i>Pisiumsalivum</i>

Fuente (PERTT 2008)

Cuadro N°4 Cultivos frutícolas

Nombre común	Nombre científico
Duraznero	<i>Prunus pérsica</i>
Vid	<i>Vitysvinifera</i>

Fuente (PERTT 2008)

3.3. MATERIALES

3.3.1. Material de campo

- ❖ Wincha
- ❖ Flexometro
- ❖ GPS
- ❖ Regla
- ❖ Naylon
- ❖ Azadón
- ❖ Baldes
- ❖ Cámara fotográfica.
- ❖ Planilla de recolección de datos
- ❖ **3.3.2. Materiales de gabinete.**
- ❖ Computadora
- ❖ Calculadora

3.4. METODOLOGÍA

3.4.1. Fase de pre campo.

Para la toma de datos se realizó un reconocimiento previo de toda el área en estudio, observando las características del terreno, para la preparación de las planillas y el equipo necesario a utilizar en la recolección de datos necesario para la evaluación.

3.4.2. Situación actual de las zanjas de infiltración.

Desde el punto de vista técnico en la actualidad las zanjas de infiltración ubicadas en predios de un área comunal de Yesera Centro no están cumpliendo con el rol para el cual fueron construidas, se realizó un levantamiento de datos de ubicación de las zanjas, las cuales carecen de un criterio técnico, se pueden estimar dimensiones variables de 2 a 7 metros de largo, los espaciamientos de la misma manera varían desde 0.50 a 20 metros, la altura no tiene una dimensión uniforme y se observa desde 0.20 a 0.50 metros, el ancho con medidas desde 1 a 1.50 metros, el trabajo que

está concebido mantener humedad y favorecer el crecimiento de una plantación, de casuarinas que están al borde de las zanjas de infiltración



3.4.3. Análisis de lluvias máximas

El análisis de la lluvias máxima se ajustó a la ley de Gumbel modificada tomando como base los datos de la estaciones cercanas al área de estudio con los cuales se determinó la cantidad de lluvia en la zona para determinar el dimensionamiento de las zanja de infiltración las cuales deberán captar la máxima cantidad de lluvia que puede precipitar en la duración del evento, esto implica utilizar ajustes probabilísticos de altura de intensidad de lluvia máxima en 24 horaa, aplicados a pluviómetros, cuya expresión es la siguiente:

$$i_{t;T} = \frac{E_d}{t} \cdot \left(\frac{t_i}{3}\right)^\beta \cdot (1 + K_t \log T) \quad (1)$$

Donde:

I_{tT} = Altura de lluvia máxima para una determinada duración “t” y periodo de retorno “T” (mm).

E_d = Valor modal para una determinada duración “t” del evento (mm).

t_i = Duración del evento (h)

β = Coeficiente de la distribución probabilística, 0.7 para un $t < 2h$.

K_t = Característica de la distribución probabilística

$\log T$ = Periodo de retorno del evento (años).

Considerando las alturas de lluvias máximas para las estaciones de (Laderas, Yesera Norte, Calderillas, Junacas, Gamoneda y Yesera Sud), con los respectivos parámetros de la Ley de Gumbel modificada, se obtuvieron las siguientes ecuaciones referidas a la intensidad de lluvia para tiempos de duración (t) menores y mayores a dos horas $t < 2h$.

- Para un $t < 2h$. $i_{tT} = \left(\frac{45.51}{t}\right) \cdot \left(\frac{t}{3}\right)^{0.7} \cdot (1 + 0.74 \cdot \log T)$
- Para un $t > 2h$. $i_{tT} = \left(\frac{45.51}{t}\right) \cdot \left(\frac{t}{3}\right)^{0.2} \cdot (1 + 0.74 \cdot \log T)$

Considerando un $t = 1h$ y un $T = 10$ años, reemplazando los valores se obtiene una intensidad de lluvia de 37 mm/h que se constituirá en la lluvia de diseño para las zanjas de infiltración.

3.4.4. Infiltración

Para determinar la velocidad de infiltración en la zona de estudio se realizó tres pruebas de infiltración en diferentes pendientes del terreno, habiéndose caracterizado tres zonas de acuerdo al porcentaje de pendiente, el método utilizado para determinar fue de Pourchet, las pruebas se realizaron de 2 horas cada una.

Infiltración básica:

I_b = promedio de los tres últimos valores de la infiltración

En relación con los datos encontrados en cada ensayo, se optó por el criterio de utilizar el promedio de los tres valores de menor velocidad de infiltración, con el fin de asumir un criterio conservador en el diseño de las zanjas de infiltración.

3.4.5. Coeficiente de escorrentía (C)

Para la determinación de C se utilizó la ecuación de Temez, cuya expresión es la siguiente:

$$C = \frac{(P_d - P_o) * (P_d + 23 * P_o)}{(P_d + 11 * P_o)^2}$$

Donde:

C = Coeficiente de escorrentía.

P_d = Altura de máxima de lluvia en 24 horas.

P_o = Umbral de escorrentía.

Para una altura de lluvia de 37 mm a un periodo de retorno de 10 años, se obtiene un valor de C = 0.70.

3.4.6. Separación horizontal y vertical

Para el dimensionamiento de las zanjas se tomó parámetros tales como relieve del terreno, base y altura actual de las zanjas, velocidad de infiltración, precipitación coeficiente de escorrentía.

Distancia Horizontal

$$Dh = \frac{b(h + Vi)}{(I * C)}$$

DH = Distancia horizontal

b = base actual de la zanja

h = Altura actual de la zanja

Vi = Velocidad de infiltración

P = Precipitación

Ce = Coeficiente de escorrentía.

Distancia Vertical

$$Dv = (Pendiente / 100) * Dh$$

Dv = Pendiente

Dh = Distancia horizontal

Distancia inclinada

$$Di = \sqrt{Dh^2 + Dv^2}$$

Di = Distancia inclinada

Dh = Distancia horizontal

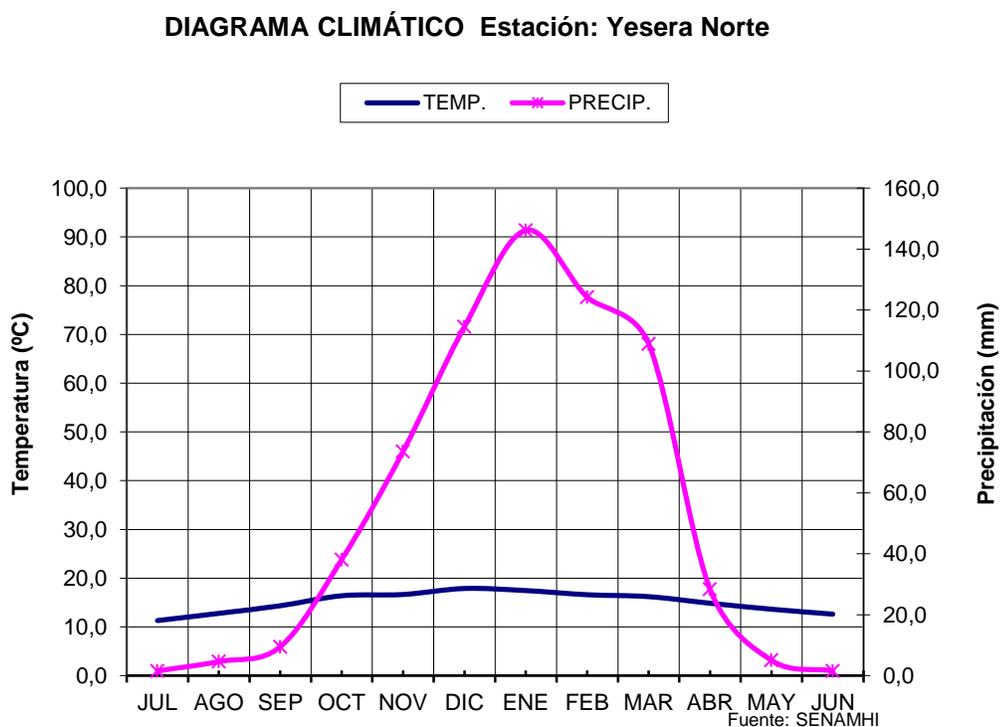
Dv = Distancia vertical

4. RESULTADOS.

4.1 Características climáticas.

La comunidad de Yesera Centro pertenece a clima Frío Semiárido (PMOT, 2009), según la clasificación de Holdridge (1967), las zonas de vida de Monte Espinoso Templado en las serranías medias; y bosque seco templado en los valles que conforman las colinas.

Gráfico N° 1 Diagrama Climático



La comunidad de Yesera Centro no cuenta con estación meteorológica donde se registren los datos climáticos, razón por el cual se tomó como referencia los datos de la estación meteorológica de Yesera Norte distante a 10 Km de la zona de estudio.

Esta zona presenta precipitación media anual de 656 mm se caracteriza por la presencia de lluvias mínimas y una época invernal relativamente seca para los meses de invierno se reporta un promedio de temperatura mínima de 3.1°C, mientras que la

temperatura media anual es 22°C. Los meses más secos abarcan de mayo a octubre y los meses de mayor precipitación corresponden al periodo noviembre a marzo (SENAMHI, 2013)

4.2. Análisis de la precipitación.

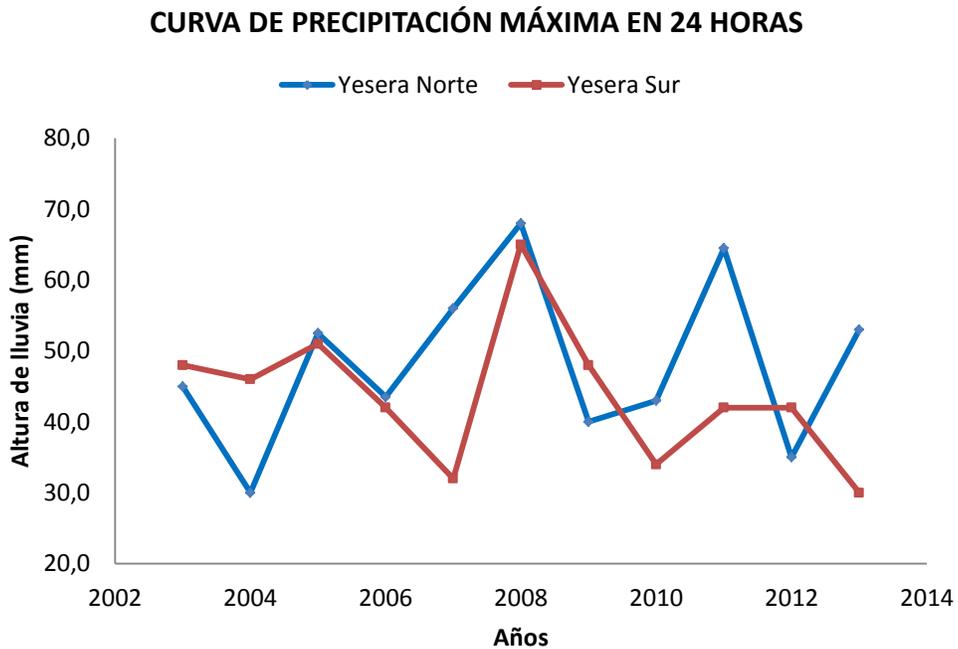
Para fines de este trabajo, precipitación es cualquier agua meteórica recogida sobre la superficie terrestre; esto incluye básicamente: lluvia y granizo. (También rocío y escarcha que en algunas regiones constituyen una parte pequeña pero apreciable de la precipitación total). El estudio de las precipitaciones es básico dentro de cualquier estudio hidrológico, para cuantificar los recursos hídricos, puesto que constituyen la principal (en general la única) entrada de agua al suelo, también es fundamental en la previsión de avenidas, diseño de obras de protección de riveras, regulación de caudales y obras de conservación de suelos.

En referencia a las características climáticas del lugar donde se encuentran las zanjas de infiltración denotan un ambiente frío con una humedad relativa baja; factor que influye para que la zona se considere de escasa pluviosidad, estas condiciones, sugieren que el balance hídrico sea negativo, sin embargo se debe considerar la concentración de lluvias de máximas intensidades en pocos meses del año, constituyéndose en un condicionante negativo para la protección de los suelos y favoreciendo a la erosión hídrica.

4.3. Lluvias máximas.

Se ha usado la ley de distribución de Gumbell, dado que este método, ha demostrado poseer una adecuada capacidad de ajuste, a valores máximos de caudales, precipitación en distintos periodos de tiempo, aportaciones a la cuenca por año, etc. Esta prueba es reforzada por la bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, asociado al coeficiente de determinación, el análisis asume que una variable aleatoria de precipitación máxima en 24 horas, sigue una distribución de probabilidad de Gumbel.

Gráfico N° 2



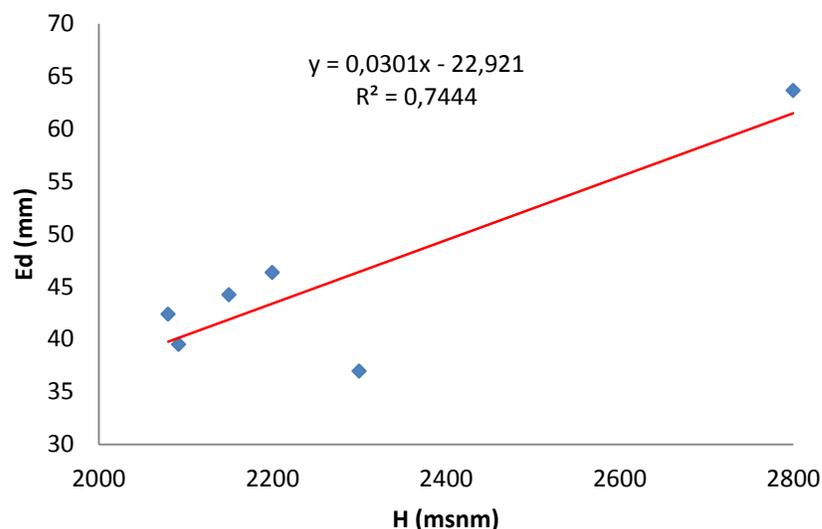
Con la gráfica es posible relacionar las precipitaciones con los caudales generados en los cauces superficiales, por ejemplo, el agua precipitada es demasiado variable de un año para otro, no muestra una homogeneidad en ninguna de las localidades, es decir en los años 2006 y 2007 se produce una caída en la curva, para luego experimentar una subida brusca y nuevamente se produce un descenso en la lluvia caída en 24 horas, eso quiere decir, que en algunos años puede haber agua suficiente para alimentar a los acuíferos, mientras que otros experimenta sequía y déficit de agua.

Cuadro N° 5 Resumen de altura de lluvia máxima en 24 horas (mm) por localidades

Parámetro	Altura de lluvia máxima en 24 horas (mm)					
	Laderas Centro	Yesera Norte	Calderillas	Junacas	Gamoneda	Yesera Sur
Media	55,3	52,5	71,6	45,7	53,5	43,8
Desviación	28,61	13,82	17,69	19,35	20,51	9,43
alfa	0,04	0,09	0,07	0,07	0,06	0,14
Ed	42,38	46,33	63,66	36,97	44,23	39,51
Cd	1,21	0,54	0,50	0,94	0,83	0,43
N°Años	23	32	26	23	22	11
H (m)	2080	2200	2800	2300	2150	2092
Latitud	21° 39'	21° 22'	21° 45'	21° 26'	21° 29'	21° 28'
K	0,74					
Ed	45,52					
I_T	37 mm/h					

Fuente: Elaboración propia

Considerando las alturas de lluvias máximas para las estaciones de Laderas, Yesera Norte, Calderillas, Junacas, Gamoneda y Yesera Sud, con sus respectivos parámetros estadísticos obtenidos el modelo conocido como Ley de Gumbel modificada, se obtuvo la intensidad de lluvia para tiempos menores de lluvia diaria (P_d), el valor de la lluvia diaria coincide con el valor de la lluvia de duración t . Para estimar los valores máximos de las precipitaciones correspondientes a tiempos menores de la lluvia diaria se calculó tiempos menores y mayores a dos horas, considerando un $t = 1h$ y un $T = 10$ años, reemplazando los valores se alcanza una intensidad de lluvia de 37 mm/hora tomando como base los datos de las estaciones mencionadas anteriormente, haciendo referencia que la lluvia caída en la zona se considere mínima.

Gráfico N° 3: Valor Modal en función a la altitud sobre el nivel del mar**Cuadro N° 6** Valor Modal ajustado por localidades

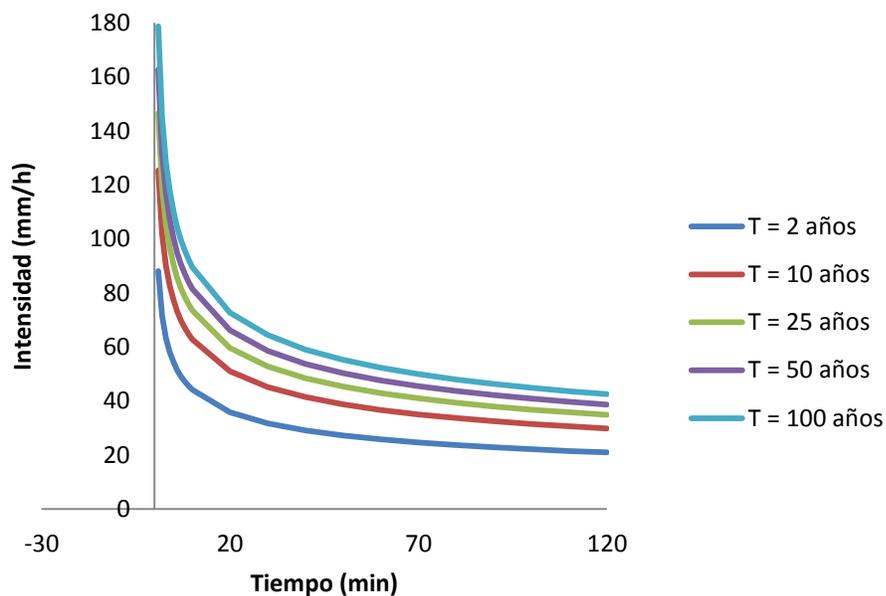
ESTACIONES	ELEVACIÓN	VALOR MODAL	Ed AJUSTADO
Laderas	2080	42,38	39,7
Yesera N	2200	46,33	43,3
Calderillas	2800	63,65	61,4
Junacas	2300	36,97	46,3
Gamoneda	2150	44,23	41,8
Yesera sur	2092	39,5	40,0
PROMEDIO		45,51	45,42

Fuente: elaboración propia.

Sobre la base de los resultados de la altura de lluvia máxima en 24 horas, se determinó la ecuación de regresión para la moda y ésta tiende a una recta con un coeficiente de determinación de 0,74, valor que indica un ajuste entre las variables del 74%, siendo la estación meteorológica de Junacas localizada a 2300 msnm, presenta mayor desviación estándar con respecto a la recta, de modo que aplicando la ecuación se obtiene un Ed. ajustado de 45,42 que difiere muy poco del promedio modal de las estaciones analizadas, tal como demuestran los cálculos efectuados.

La curva intensidad, duración y frecuencia (IDF), es importante para relacionar las precipitaciones con los caudales generados en los cauces superficiales, sobre todo cuando se trata de diseñar obras relacionadas con la escorrentía superficial como son las zanjas de infiltración, la elaboración de la curva Intensidad Duración y Frecuencia (IDF), de la zona pluviométrica se hizo, seleccionando para cada año la intensidad las precipitaciones para los 120 minutos y para diferentes periodos de retorno en años.

Gráfico N° 4. Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia de precipitación pluvial para la comunidad de Yesera Centro



Estas curvas muestran que a medida que aumenta la probabilidad de persistir una lluvia constante de 120 minutos, la intensidad de las precipitaciones disminuye, dicho de otro modo, si se presenta una lluvia continua durante 60 minutos para 10 años periodo de retorno, la intensidad sería 37 mm/h, mientras que si la lluvia persistiría por 120 minutos para este mismo periodo de retorno (10 años), la intensidad sería 29,8 mm/h.

Cuadro N° 7. Intensidad de la precipitación para diferentes periodos de retorno

Tiempo (min)	Periodos de retorno				
	T = 2 años	T = 10 años	T = 25 años	T = 50 años	T = 100 años
1	88,1	125,3	146,6	162,6	178,7
2	71,6	101,8	119,0	132,1	145,1
3	63,4	90,2	105,4	117,0	128,5
4	58,1	82,7	96,7	107,3	117,9
5	54,4	77,3	90,4	100,3	110,2
6	51,5	73,2	85,6	95,0	104,4
7	49,2	69,9	81,8	90,7	99,7
8	47,2	67,2	78,5	87,1	95,7
9	45,6	64,8	75,8	84,1	92,4
10	44,2	62,8	73,5	81,5	89,5
20	35,9	51,0	59,7	66,2	72,7
30	31,8	45,2	52,8	58,6	64,4
40	29,1	41,4	48,5	53,8	59,1
50	27,3	38,8	45,3	50,3	55,2
60	25,8	36,7	42,9	47,6	52,3
70	24,6	35,0	41,0	45,5	49,9
80	23,7	33,7	39,4	43,7	48,0
90	22,8	32,5	38,0	42,2	46,3
100	22,1	31,5	36,8	40,8	44,9
110	21,5	30,6	35,8	39,7	43,6
120	21,0	29,8	34,9	38,7	42,5

Fuente: elaboración propia.

Estos resultados, corroboran que las lluvias de alta intensidad son usualmente de corta duración y cubren áreas relativamente pequeñas, por el contrario, las lluvias de baja intensidad son típicamente de larga duración y cubren áreas grandes, dependiendo de las condiciones de humedad existente y del área de cobertura de la tormenta, ambos tipos de lluvias, las de alta y baja intensidad; pueden producir eventos de escurrimiento de magnitud comparable. De allí que, una descripción de lluvia que se reitere exclusivamente en la intensidad constante está limitada a zonas relativamente pequeñas.

4.4. Infiltración.

La infiltración el agua posee un rol fundamental en los procesos de escorrentía como respuesta a una precipitación dada, dependiendo de la intensidad de las lluvias, pueden producir caudales diferentes. Los investigadores en esta temática, sostienen que la infiltración depende de muchos factores, por lo que su estimación confiable es bastante difícil de obtener una relación única entre todos los parámetros que condicionan la infiltración de los suelos. El proceso de infiltración es de importancia dado que su velocidad determina la cantidad de agua de escurrimiento, pudiendo detectarse así el peligro de erosión durante lluvias muy intensas.

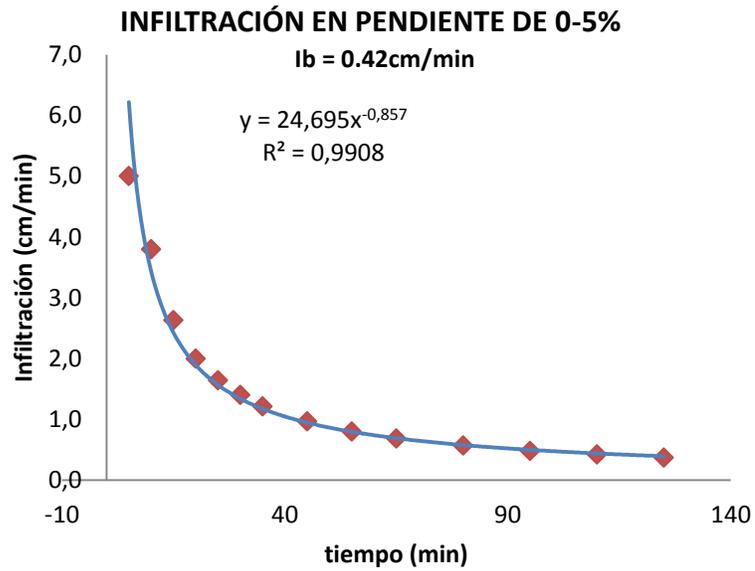
La obtención de los datos de infiltración del agua en campo, se realizó en la época seca con suelos que se encontraban en condiciones de sequía cercanas al punto de marchitez, para lo cual se recurrió a la técnica de Pourchet, en relación con los datos encontrados en cada ensayo, se optó por el criterio de utilizar el promedio de los tres últimos valores de menor velocidad de infiltración, para lo cual se consideraron las siguientes zonas de la ladera:

- a) Terreno con pendiente de 1-5%
- b) Terreno con pendiente 5-10%
- c) Terreno con pendiente de 10-30%

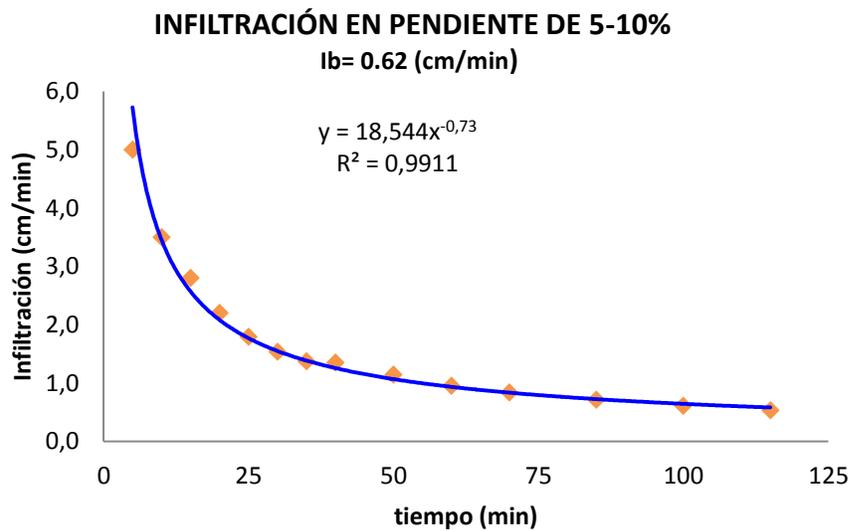
Con los datos obtenidos se elaboraron las curvas de infiltración, representando en las abscisas el tiempo acumulado desde el comienzo de la prueba hasta el final, y en las ordenadas los centímetros de agua infiltrada en un tiempo dado (velocidad de infiltración). Esto dio el siguiente un conjunto de curvas.

Gráfico N° 5. Curvas de infiltración de agua en el suelo para diferentes pendientes donde se encuentran las zanjas de infiltración (Yesera Centro)

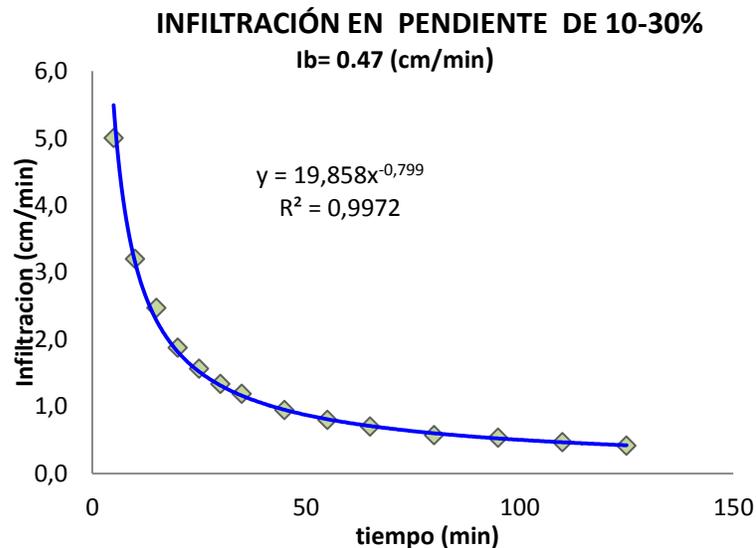
A. Infiltración en pendiente (0-5-%)



B. Infiltración en pendiente (5-10%)



C. Infiltración en pendiente (10-30%)



Las curvas muestran igual fisonomía, al comienzo del ensayo con suelos secos las velocidades de infiltración son relativamente altas pasando después a disminuir paulatinamente hasta la estabilización manteniéndose constante a lo largo del tiempo, los datos de velocidad constante es la que se denomina Infiltración básica (Ib). Como se aprecia en las curvas los valores de Ib son variables lo que permite valorar que los suelos con Ib = 0.62 cm/min; que se encuentran en la ladera media con pendientes entre 5 a 10 % son capaces de infiltrar más agua que la parte alta y más baja de la ladera. Asimismo, con estas curvas se demuestra matemáticamente que el modelo de infiltración de agua en el suelo es exponencial negativo del tipo $I = cx^{-b}$

4.5. Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía (C) representa la fracción de agua del total de lluvia precipitada que realmente genera escorrentía superficial una vez que se ha saturado el suelo por completo. Su valor depende de las características concretas del terreno que determinan la infiltración del agua en el suelo, como ser: La altura de la lluvia, las condiciones de humedad del suelo, propiedades físicas del suelo, pendiente, relieve, cobertura vegetal y uso del suelo, el Coeficiente de Escorrentía puede tomar valores

comprendidos entre cero y uno, es decir, si el valor del coeficiente de escorrentía tiende a 1 (valor máximo), se dice que escurre casi toda la cantidad de agua precipitada en una determinada superficie.

En el caso de la zona de estudio, es evidente que la topografía del terreno y la pendiente influyen notoriamente en la escorrentía, por ello, se optó por calcular a través de la ecuación de Temez que fue empleado por Martínez de Azagra & Navarro (1996), que toma en cuenta la altura máxima de lluvia en 24 horas correspondiente a un periodo de retorno “T” en mm y el umbral de escorrentía (mm), en función del tipo de suelo, condición hidrológica y cobertura vegetal. En nuestro caso se asume un valor de 7 mm para un suelo de tipo D, de condición hídrica pobre y tipo de uso como pradera, bajo condición de humedad baja, mismo valor que fue usado por Ríos (2002), para definir los criterios hidrológicos para el dimensionamiento de zanjas de infiltración.

Cuadro N° 8. Valores de Coeficiente de Escorrentía para diferentes Periodos de Retorno en función de la Altura de Lluvia Máxima

T (años)	$h_{24;T}$(mm)	Coef. Escorrentía
1	45,51	0,530
2	55,65	0,599
5	69,05	0,669
10	79,19	0,711
25	92,59	0,755
50	102,73	0,782
75	108,66	0,795
100	112,86	0,804

Fuente: Elaboración propia.

4.6. Dimensionamiento hidrológico y geométrico de las zanjas de infiltración.

Para realizar el dimensionamiento hidrológico de las zanjas de infiltración se tomó como parámetro la intensidad de lluvias producidas en 24 horas y el periodo de retorno en años, tomando como base las mediciones de las estaciones cercanas a la

zona, la velocidad de infiltración en el suelo de acuerdo a las pruebas realizadas en un tiempo de dos horas.

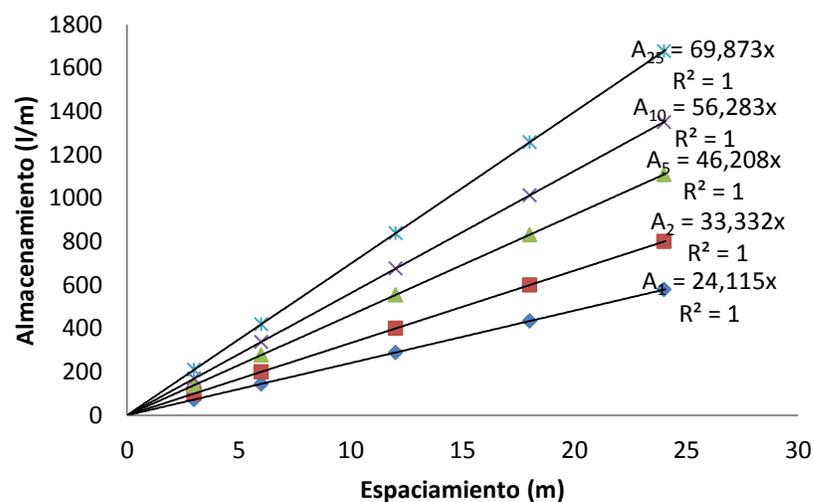
Cuadro N° 9. Valores de almacenamiento en $l.m^{-1}$ para diferentes espaciamientos (E) en mm y periodos de retorno (T) en años para la zona de estudio

T-E	PERIODO DE RETORNO (T) AÑOS				
	3	6	12	18	24
1	72,34	144,69	289,37	434,06	578,75
2	100,00	199,99	399,99	599,98	799,98
5	138,62	277,25	554,50	831,75	1109,00
10	168,85	337,70	675,39	1013,09	1350,79
25	209,62	419,24	838,48	1257,72	1676,96
50	240,86	481,72	963,45	1445,17	1926,89
75	259,24	518,49	1036,97	1555,46	2073,94
100	272,32	544,64	1089,28	1633,92	2178,56

Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos de la capacidad de almacenamiento se representaron gráficamente y fueron ajustados a ecuaciones de regresión en función del espaciamiento y del periodo de retorno con el propósito de calcular el dimensionamiento de la zanja de infiltración.

Gráfico N° 6. Ecuaciones para el dimensionamiento de las zanjas de infiltración



El modo de empleo de estos resultados, es: por ejemplo si se considera un periodo de retorno $T = 10$ años y un $E = 6$ m, la capacidad de almacenamiento de la zanja según la ecuación de regresión será:

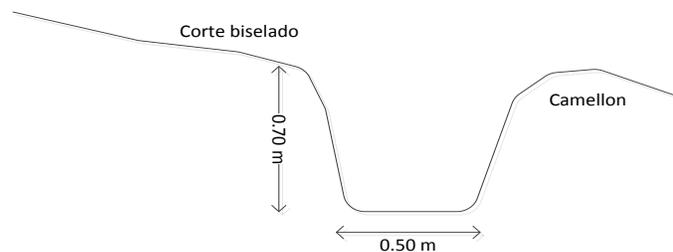
$$A_{10} = 56.283 * E = 56.283 * 6 = 337.698 \frac{l}{m} = 0.3376 m^2$$

Este resultado coincide con los valores del Cuadro N° 9 cuando se intercepta la fila T_{10} y la columna 6, para explicar de otra manera, si consideramos una zanja rectangular con el bordo de tierra en la parte inferior que compense la pendiente y que la base de la zanja sea de 0,5 m, por tanto la altura de la zanja debe ser:

$$Altura = \frac{0.3376 m^2}{0.5 m} = 0.675 m$$

En consecuencia para almacenar en 10 años litros/m de agua, se deberán construir zanjas rectangulares de 0,50 m de ancho x 0,70 m de sección transversal y de longitud variable en función a la topografía, el diseño debe considerar además un rebaje en el borde aguas arriba para facilitar la entrada de agua y evitar la erosión de las paredes.

Figura N° 1. Vista vertical de una zanja de infiltración



Asociado a la capacidad de almacenamiento, fue necesario calcular la distancia de separación a lo largo de la pendiente, determinando inicialmente la distancia horizontal (DH) entre zanjas, mediante la siguiente expresión:

$$dH = \frac{b \cdot (h + v)}{I \cdot e}$$

Dónde:

b = Base de la zanja (m)

h = Altura de la zanja (m)

v = Velocidad de infiltración (m/h)

I = Precipitación máxima en una hora (m/h)

C = Coeficiente de escorrentía

Remplazando con los valores determinados para un Periodo de 10 años, se obtiene:

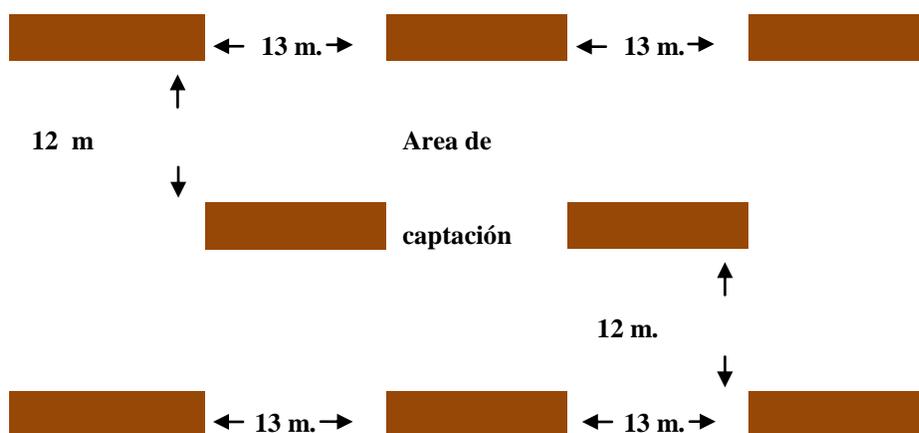
Cuadro N°10 Determinación de la distancia de separación entre zanjas de infiltración para la zona de Yesera Centro

Pend %	b(m)	h (m)	Vi (cm/min)	I(m/h)	C	DH (m)	Dv (m)	Di (m)
0 - 5	0,50	0,70	0,42	0,367	0,70	13	0,70	13
5 - 10	0,50	0,70	0,62	0,367	0,70	15	1,50	15
10 - 30	0,50	0,70	0,47	0,367	0,70	13	4	14

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados muestran que la construcción de las zanjas de infiltración a fin de que no sean sobrepasadas por el agua e intercepten de manera óptima, deben estar separadas de 13 m para pendientes de 0-5 %; de 15 m para pendientes entre 5-10 %, finalmente de 14 m para pendientes entre 10-30 %.

Figura N° 2. Esquema de las zanjas de infiltración



Considerado una intensidad de lluvia 37 mm/h, una superficie de aporte de cada zanja de 13 metros, profundidad de la zanja 0,70 la base de la zanja de 0,50 m una longitud de 1,30 m y una velocidad de infiltración de 0,42 mm/h el volumen de captación de en la zanja es de 0,46m³, la velocidad de infiltración es de 0,27 m³/h y el volumen de aportación a la zona de impluvio es de 0,73 m³.

4.7. Comparación de la situación actual con la propuesta de sistematización de las zanjas de infiltración

Criterios de evaluación	Condición actual
Las zanjas, se emplazan cuando la pendiente es menor a 40%	Las zanjas en la zona de estudio se encuentran entre 5 y 30 %, de pendiente
Las zanjas ayudan al control de la velocidad de escurrimiento y reduce la erosión hídrica	Las partes altas de la zona de estudio tiene una topografía inclinada, y en la época de lluvias, hay días en que llueve más de 10 mm en una hora, teniendo en cuenta que laderas tienen escasa cobertura vegetal, esto contribuye a la erosión hídrica.

<p>Los mejores suelos para construir las zanjias son franco arenosos o francos para optimizar la infiltración</p>	<p>Los suelos de la zona de estudio, presenta textura franco arcilloso a arcilloso, con presencia abundante de sodio, elemento que tiene un efecto negativo sobre el desarrollo de las plantas debido a la baja infiltración y una alta escorrentía superficial acompañada de precipitaciones cortas de alta intensidad.</p>
<p>El diseño de zanjias de infiltración debe atender fundamentalmente al criterio de la capacidad de captura de agua en las zanjias para almacenar un determinado volumen, en función a un análisis hidrológico sobre los datos climáticos del lugar.</p>	<p>Dimensiones variables de 2 a 7 metros largo, los espaciamientos entre zanjias de la misma manera varían desde 0.50 a 20 metros, la altura lo consiguiente no tienen una dimensión uniforme se observó desde 0.20 a 0.50 metros, el ancho las dimensiones son aleatorias con medidas desde 1 a 1.50 metros ,</p>
<p>Las zanjias de tamaño uniforme, dimensionados mediante cálculos matemáticos en función de la lluvia máxima, coeficiente de escorrentía y tipo de uso del suelo, además deben estar dispuestas siguiendo las curvas de nivel</p>	<p>Aparentemente las zanjias no responden a cálculos matemáticos, puesto que tienen diferentes tamaños y estan dispuestos desordenadamente en la curva de nivel.</p>
<p>El espaciamiento entre zanjias de infiltración responde a cálculos hidrológicos y depende de la pendiente del terreno, largo = 1,30 m. base = 0.50 m, altura = 0,70 m.</p>	<p>El espaciamiento entre zanjias varía entre 0,50 a 20 m, evidenciando que no se consideró la pendiente del terreno.</p>

<p>Para evitar el deterioro de las zanjas por erosión de las paredes laterales y para evitar que se rellene con material de arrastre desde las partes altas, se debe efectuar mantenimiento por lo menos una vez al año.</p>	<p>No hay evidencias de mantenimiento ni limpieza de la zanjas, mostrando completo abandono.</p>
<p>Las zanjas de infiltración tienen el propósito de incrementar la humedad del suelo, debido a ello favorecen al incremento de la cobertura vegetal</p>	<p>La zona fue reforestada con especies exóticas como pinos y casuarinas, pero falta de protección y de tratamientos silviculturales, los plantones se fueron secando. Por otra parte, la mejora de la vegetación natural no es muy evidente con respecto a las áreas circundantes.</p>
<p>La experiencia de zanjas de infiltración por ser una técnica de conservación de suelos y de cosecha de aguas debe ser adoptada por las comunidades vecinas.</p>	<p>Las comunidades vecinas a la zona no construyeron zanjas de infiltración en sus propiedades, posiblemente porque el campesino posee valiosos conocimientos y prácticas de uso del suelo que deben ser tomadas en cuenta por los técnicos.</p>

V. CONCLUSIONES

- ❖ Los datos pluviométricos de Yesera, demuestran dos épocas diferenciadas, una lluviosa que comprende los meses de Octubre a Marzo y una época relativamente seca desde el mes de Abril a Septiembre, con una humedad relativa promedio anual de 68%. Estas condiciones, sugieren que el balance hídrico es negativo porque las precipitaciones no satisfacen los requerimientos de la vegetación, convirtiéndose en un condicionante negativo para actividades agropecuarias y forestales.
- ❖ En términos hidrológicos, la distribución Gumbell, muestra un adecuado ajuste para precipitaciones máximas de 24 horas para diferentes periodos de retorno, con esta función, se deduce que: existe un 1% de probabilidad de que en una hora ($t = 1h$) y un Periodo de Retorno de 10 años, alcanza una intensidad de lluvia de 37 mm/hora
- ❖ Las curvas de infiltración de agua en el suelo en diferentes pendientes, experimentan al comienzo del ensayo en suelo seco, velocidades de infiltración relativamente altas pasando después a disminuir paulatinamente hasta mantenerse constante a lo largo del tiempo. El ajuste matemático demuestra que la Infiltración de agua en el suelo es exponencial negativo del tipo $I = cx^{-b}$
- ❖ El análisis hidrológico para realizar el dimensionamiento de las zanjas de infiltración, considerando la intensidad de lluvias producidas en 24 horas, el periodo de retorno en años y la velocidad de infiltración permite determinar valores de almacenamiento en litros.m^{-1} para diferentes espaciamientos entre zanjas a través de un modelo de tipo exponencial negativo.
- ❖ A fin de que no sean sobrepasadas por el agua e intercepten de manera óptima el flujo superficial se deben construir zanjas de infiltración de 0.50 m de base y 0.70 m de altura, la separación entre zanjas debe ser 13 m para pendientes hasta un 5%; 15 m para pendientes entre 5 y 10 %, finalmente 14 m para pendientes entre 10 y 30 %.

❖ Sobre la base de las conclusiones anteriores y de acuerdo a la observación en campo, se concluye que las zanjas en la zona de estudio fueron construidas sin ningún criterio técnico, sobredimensionadas en tamaño, con demasiada remoción del suelo que constituye un factor favorable para la erosión de los suelos.

VI. RECOMENDACIONES

- ❖ Por las características de los suelos con baja fertilidad y escasa cobertura vegetal, se recomienda encarar programas de re poblamiento forestal aplicando técnicas de restauraciones hidrológicas forestales y medidas de control de erosión de suelos, especialmente en el área de recepción de las zanjas para evitar los desbordes del flujo laminar.

- ❖ Se debe efectuar el manteniendo y limpieza de las zanjas actuales para evitar el deterioro por erosión de las paredes laterales y para evitar que se llene con material de arrastre desde las partes altas.

- ❖ Para encarar la construcción de represas inicialmente debemos contar con datos hidrológicos de la cuenca y en base a ellos dimensionar el tamaño de las represas.

- ❖ Para lograr mayor efectividad en cuanto a la duración de las represas se debe realizar un adecuado mantenimiento de la cuenca de captación de agua.

vegetación de suelos degradados.

RIOS 2013): Criterios Hidrológicos para el Dimensionamiento de Zanjas de Infiltración.

SANCHEZ, L. (1996): Manual de Conservación de Suelos. Proyecto de Escuela, Ecología y Comunidad Campesina, Ministerio de Agricultura, Lima.

SAAVEDRA (1998): Captación de lluvia y conservación de la humedad del suelo

SAGARPA. (2008): Curso sobre Uso y Manejo Sustentable del Suelo y Agua

VILLANUEVA J. I. SANCHEZ: Guía técnica sobre el estudio rural participativo basado en la conservación de suelos y agua