



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA

Canada



**FOREST
TRENDS**

GUÍAS PARA ELABORAR ESTUDIOS DEFINITIVOS
DE INFRAESTRUCTURA NATURAL (IN)
CON ENFOQUE DE GESTIÓN DEL RIESGO
DE DESASTRES (GRD)

Diseño de medidas de infraestructura natural para el control de erosión y estabilidad de laderas



**Infraestructura
Natural**

para la Seguridad Hídrica



**Imperial College
London**

Autores

Lucio Leonardo Santi Morales¹, Alex Roger Zambrano Ramírez², Zoila Yessica Armas Benites², Abel Aucasime Orihuela² y Claudia Lebel Castillo²

Colaboradores

Iván Enrique Sanabria Alarcón¹, Vivien Bonnesoeur³ y Carla Mónica Zúñiga Loayza¹

Supervisión editorial

Gabriel Rojas Guillén²

Cuidado de edición



Diseño y diagramación

Roger Ramirez Miranda

Corrección de estilo

Antonio Luya Cierzo y Ximena Basadre Málaga

Foto de portada

Forest Trends.

Forest Trends Association

RUC: 20603007396

Calle Los Ángeles 395, Miraflores

Lima, Perú

Desarrollo de contenidos: enero del 2022 a enero 2022 a junio del 2023

Ira edición: julio del 2024

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N.º 2025-00597

Afiliaciones

¹ Experto temático

² Forest Trends, Washington D. C. - Estados Unidos

³ Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), Lima - Perú

Agradecimientos

Agradecemos la valiosa revisión de quienes ayudaron con sus aportes y/o gestión: Fernando Momiy², Gena Gammie² y Fernando León².

Esta publicación ha sido posible gracias al apoyo del pueblo de los Estados Unidos de América a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y el Gobierno de Canadá. Los puntos de vista/opiniones de esta publicación son responsabilidad de Forest Trends y no reflejan necesariamente los de USAID, los del Gobierno de los Estados Unidos y el Gobierno de Canadá.





Foto: Armando Molina

Siglas y acrónimos

ANA	Autoridad Nacional del Agua
cm	Centímetro
D	Duración
F	Frecuencia
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
GRD	Gestión del riesgo de desastres
H	Hora
ha	Hectárea
I	Intensidad
IN	Infraestructura natural
IGV	Impuesto General a las Ventas
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
km	Kilómetro
m	Metro
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
Minagri	Ministerio de Agricultura y Riego
Midagri	Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego
mm	Milímetro
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
S	Segundo
t	Tonelada
T	Periodo de retorno

Índice

Presentación

1. Consideraciones generales
 - 1.1. Antecedentes
 - 1.2. Objetivo
 - 1.3. Alcance
2. Marco general de infraestructura natural para la gestión del riesgo de desastres
 - 2.1. Definiciones conceptuales
 - 2.2. Marco conceptual de medidas de infraestructura natural
 - 2.3. Medidas de infraestructura natural para el SERRN
 - 2.3.1. Medidas de infraestructura natural para el control de erosión y estabilidad de laderas
3. Medidas de infraestructura natural para el control de la erosión del suelo y la estabilidad de laderas
 - 3.1. Control de cárcavas
 - 3.1.1. Definición
 - 3.1.2. Tipos de cárcavas
 - 3.1.3. Diques para control de cárcavas
 - 3.1.4. Diseño de diques de control de cárcavas
 - Consideraciones para el diseño de diques de control de cárcavas
 - Diseño de diques de para el control de cárcavas
 - 3.1.5. Consideraciones para la construcción de diques
 - 3.1.6. Ejemplo aplicativo
 - 3.2. Terrazas de formación lenta
 - 3.2.1. Definición
 - 3.2.2. Diseño de terrazas de formación lenta
 - 3.2.3. Consideraciones para la construcción de terrazas
 - 3.2.4. Ejemplo aplicativo
 - 3.3. Andenes
 - 3.3.1. Definición
 - 3.3.2. Diseño de andenes
 - Criterios para el diseño de andenes
 - Diseño
 - Parámetros principales
 - 3.3.3. Consideraciones para la construcción de andenes
 - Proceso de construcción
 - Consideraciones para el mantenimiento de andenes
 - 3.3.4. Ejemplo aplicativo
 - Condiciones generales
 - Metodología utilizada
 - Planilla de metrados
 - Presupuesto de obra

- 3.4. Zanjás de infiltración
 - 3.4.1. Definición
 - 3.4.2. Diseño de zanjás de infiltración
 - 3.4.3. Consideraciones para la construcción de zanjás de infiltración
 - 3.4.4. Ejemplo aplicativo
- 3.5. Amunas
 - 3.5.1. Definición
 - 3.5.2. Diseño de amunas
- 3.6. Qochas
 - 3.6.1. Definición
 - 3.6.2. Diseño de qochas
 - 3.6.3. Consideraciones para la construcción de diques de qochas

Bibliografía

Anexos

- Anexo 1. Planilla de metrados para diques de retención
- Anexo 2. Presupuesto de diques de retención
- Anexo 3. Planilla de metrados para terrazas de formación lenta
- Anexo 4. Presupuesto de terrazas de formación lenta
- Anexo 5. Planilla de metrados para zanja de infiltración

Índice de figuras

- Figura 1.** Cadena de valor de las intervenciones en el SERRN
- Figura 2.** Secuencia lógica para el marco conceptual de un proyecto de inversión que busca recuperar el SERRN
- Figura 3.** Medidas de infraestructura natural por tipo de factor de producción
- Figura 4.** Aumento progresivo de la cabecera de la cárcava
- Figura 5.** Cárcava: aumento progresivo de la cabecera
- Figura 6.** Cárcava: proceso de formación
- Figura 7.** Cárcava en forma de U
- Figura 8.** Cárcava forma de V
- Figura 9.** Principales servicios ecosistémicos proporcionados por el control de cárcavas
- Figura 10.** Dique de retención
- Figura 11.** Diques de retención construidos con materiales accesibles
- Figura 12.** Diques de retención: distancia entre ellos
- Figura 13.** Diques de ramas: especificaciones de diseño
- Figura 14.** Diques de piedra acomodada: geometría del diseño
- Figura 15.** Diques de piedra: perfil del esquema
- Figura 16.** Aliviadero de diques: perfil del esquema
- Figura 17.** Cárcavas: esquema de disposición de vegetación en las cabeceras
- Figura 18.** Colapso de un dique por erosión lateral
- Figura 19.** Socavación en la parte baja del dique
- Figura 20.** Elementos faltantes en los diques
- Figura 21.** Relleno de cárcava
- Figura 22.** Terrazas de formación lenta: vista de perfil
- Figura 23.** Terrazas
- Figura 24.** Terrazas de formación lenta: principales elementos
- Figura 25.** Andén
- Figura 26.** Tipología I, Cusco
- Figura 27.** Sistema de andenería
- Figura 28.** Ancho del andén
- Figura 29.** Zanjás de infiltración: perfil típico
- Figura 30.** Erosión por lluvias (A y B) y erosión por escorrentía (C y D)
- Figura 31.** Zanja de infiltración: configuración geométrica
- Figura 32.** Distribución de las zanjás de infiltración
- Figura 33.** Nivel en A
- Figura 34.** Paso 1 de la calibración: marcado en el punto A
- Figura 35.** Paso 2 de la calibración: marcado en el punto B
- Figura 36.** Paso 3 de la calibración: medición de la distancia
- Figura 37.** Paso 4 de la calibración: determinación del punto medio de AB
- Figura 38.** Paso 5: marcado del punto de nivelación (C)
- Figura 39.** Nivel en A calibrado
- Figura 40.** Zanjás de infiltración terminadas y revegetadas

Figura 41. Vista frontal de amuna
Figura 42. Distribución del agua que captan las amunas
Figura 43. Componentes del canal amunero
Figura 44. Elementos de una curva
Figura 45. Sección típica de un canal
Figura 46. Componentes de una qocha
Figura 47. Esquema del fetch, la línea del embalse y la dirección del viento
Figura 48. Esquema de fetch máximo
Figura 49. Dique de tierra
Figura 50. Dique de material mixto
Figura 51. Dique de material enrocado

Índice de tablas

Tabla 1. Cárcavas: medidas de control, por tipo
Tabla 2. Dique de retención, tipos, según dimensiones y materiales de construcción
Tabla 3. Diques de retención de piedra: dimensiones
Tabla 4. Diques de retención: espacio óptimo entre ellos (en metros)
Tabla 5. Diques de ramas: dimensiones
Tabla 6. Capacidad de un aliviadero de sección trapezoidal o parabólica en función de su anchura y altura (tirante máximo de agua permisible sobre su coronación)
Tabla 7. Diques de retención: planilla de metrados en el ejemplo
Tabla 8. Diques de retención: presupuesto de obra en el ejemplo
Tabla 9. Terrazas de formación lenta: altura según pendiente y altura de muros
Tabla 10. Terrazas de formación lenta: distancia máxima entre muros en función de la pendiente y la altura del talud
Tabla 11. Terrazas de formación lenta: planilla de metrados en el ejemplo
Tabla 12. Terrazas de formación lenta: presupuesto de obra en el ejemplo
Tabla 13. Tipología de andenes
Tabla 14. Distribución de andenes (ha) según rangos de altitud (m s. n. m.) en regiones Lote I
Tabla 15. Clasificación de pendiente
Tabla 16. Andén: dimensiones en el ejemplo
Tabla 17. Andenes: planilla de metrados
Tabla 18. Andenes: presupuesto de obra en el ejemplo
Tabla 19. Coeficiente de escorrentía: valores promedio según tipo de cobertura vegetal
Tabla 20. Zanjas de infiltración: distancia según pendiente del terreno y cobertura vegetal
Tabla 21. Taludes apropiados para distintos tipos de material
Tabla 22. Zanjas de infiltración: dimensiones en el ejemplo

Tabla 23. Zanjas de infiltración: planilla de metrados en el ejemplo
Tabla 24. Zanjas de infiltración: presupuesto de obra en el ejemplo
Tabla 25. Radio mínimo en función del caudal
Tabla 26. Radio mínimo en canales abiertos para $Q < 20 \text{ m}^3/\text{s}$
Tabla 27. Radio mínimo en canales abiertos en función del espejo de agua
Tabla 28. Relación plantilla vs. tirante para máxima eficiencia, mínima infiltración y el promedio de ambas
Tabla 29. Valores de rugosidad de "n" de Manning
Tabla 30. Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes
Tabla 31. Taludes apropiados para distintos tipos de material
Tabla 32. Pendientes laterales en canales según tipo de suelo
Tabla 33. Máxima velocidad permitida en canales no recubiertos de vegetación
Tabla 34. Velocidades máximas en hormigón en función de su resistencia
Tabla 35. Borde libre en función del caudal
Tabla 36. Borde libre en función de la plantilla del canal
Tabla 37. Amunas: planilla de metrados en el ejemplo
Tabla 38. Amunas: presupuesto de obra en el ejemplo
Tabla 39. Taludes de tierra homogénea
Tabla 40. Ancho de la corona para diques o presas pequeñas de materiales sueltos o tierra homogénea
Tabla 41. Criterios para la altura de ola
Tabla 42. Altura de la ola significativa
Tabla 43. Altura del remonte de ola por el paramento
Tabla 44. Altura del borde libre y cota de coronamiento
Tabla 45. Factor de seguridad del dique según norma DIN 4084

Presentación

El Perú, megadiverso y vulnerable al cambio climático, debe integrar en su desarrollo un enfoque de Reducción del Riesgo de Desastres (RRD) hidrometeorológicos, alineando políticas y compromisos internacionales de Gestión del Riesgos de Desastres (GRD) y promoviendo la conservación de la biodiversidad para aprovechar los servicios ecosistémicos. La Autoridad Nacional de Infraestructura (ANIN), en el marco del acuerdo de Gobierno a Gobierno entre el Perú y el Reino Unido, se encarga de la ejecución de proyectos para reducir riesgos en diecisiete (17) cuencas vulnerables del Perú.

Forest Trends, a través del Proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica (NIWS por sus siglas en inglés), brinda asistencia técnica para elaborar estudios definitivos de infraestructura natural. Ante la falta de metodologías, Forest Trends ha desarrollado guías para orientar estos procesos, disponibles en la *Serie de Guías para la Elaboración de Estudios Definitivos de Infraestructura Natural con Enfoque en Gestión del Riesgos de Desastres*.

Los proyectos de infraestructura natural para la gestión del riesgo de desastres se centran en abordar los principales factores que impactan los ecosistemas capaces de proporcionar el servicio ecosistémico de regulación de riesgos en la zona de origen de los peligros de inundación y movimientos de masas. Según el marco conceptual propuesto en esta serie de guías, estos factores incluyen: 1) áreas con ecosistemas degradados vulnerables a movimientos de masa y 2) áreas susceptibles a erosión y estabilidad de laderas. Esta guía específica se enfoca en el diseño de medidas de infraestructura natural dirigidas al segundo factor.

Esta guía presenta criterios esenciales para diseñar alternativas técnicas destinadas a controlar la erosión y estabilizar laderas, con el objetivo principal de reducir la velocidad del escurrimiento del agua de escorrentía y su concentración sobre la superficie del terreno en las zonas de origen. Entre las principales medidas de infraestructura natural desarrolladas en esta guía se incluyen: diques de control de cárcavas, terrazas de formación lenta, andenes, zanjas de infiltración, amunas y qochas.

Es importante destacar que las dos (2) primeras medidas están directamente relacionadas con el control de la estabilidad y la erosión, por lo tanto, son consideradas medidas principales. Las tres (3) últimas, son medidas complementarias que apoyan a las principales y su implementación debe ser evaluada según las características específicas de la zona a intervenir, asegurando que no se desvíe del objetivo del proyecto. Sin embargo, pueden ser complementadas, además, con medidas como reforestación, revegetación, barreras vivas, sistemas forestales para uso sostenible y sistemas de pastos para uso sostenible.

Cada medida de infraestructura natural presentada en esta guía incluye especificaciones técnicas detalladas, costos unitarios y una programación precisa de actividades para cada alternativa técnica propuesta. Esto la convierte en una herramienta práctica para la elaboración de estudios definitivos, utilizando un lenguaje accesible tanto para intervenciones públicas como privadas.





Consideraciones generales

1.1. Antecedentes

El proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica (NIWS por sus siglas en inglés) es ejecutado por Forest Trends junto con sus socios el Consorcio para el Desarrollo de la Ecorregión Andina (CONDESAN), la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA), los expertos internacionales de EcoDecisión e investigadores de la universidad Imperial College London. Este proyecto se implementa a través de un acuerdo de cooperación con la misión de USAID en el Perú y aportes del Gobierno de Canadá.

Por su parte, la Autoridad para la Reconstrucción con Cambios (ARCC) impulsa la ejecución de soluciones integrales con el objetivo de reducir el peligro de inundaciones y movimientos de masa en los ríos y quebradas cada vez que su caudal crece o se activa. Esta es la primera vez en el Perú que se enfrenta el problema de riesgos de desastres y fenómenos naturales incorporando de manera técnica y sistemática los conceptos y datos relacionados a inundaciones y movimientos de masa en diecisiete ríos y cinco quebradas en la costa norte y central. La iniciativa forma parte de las soluciones integrales para la prevención de desastres propuestos en el Plan Integral para la Reconstrucción con Cambios (PIRCC), que busca una planificación integral de intervenciones para reducir los impactos y las causas de este tipo de desastres naturales.

En este contexto, el NIWS ha sumado esfuerzos con la ARCC para incluir y definir las intervenciones en IN que forman parte de estos planes integrales. Con este objetivo, ha contribuido en la conceptualización y el desarrollo de proyectos enfocados en atender los problemas en las zonas de origen de los peligros de inundación y movimientos de masa. Estos proyectos, al estar enmarcados en el Sistema Nacional de Inversión Pública del Perú, cumplen un ciclo de inversión: programación, formulación y evaluación, ejecución y funcionamiento. Actualmente, los proyectos se encuentran en la fase de ejecución, por lo que se requiere diseñar los estudios definitivos para su implementación en campo. Este documento forma parte de una serie de guías técnicas que apuntan a orientar el desarrollo de estos proyectos.

1.2. Objetivo

Brindar orientaciones para el diseño de medidas de IN asociadas a problemas de control de erosión y estabilidad de laderas, como parte de las intervenciones que recuperan servicios ecosistémicos de regulación de riesgos naturales en el marco de la elaboración de los estudios definitivos de los proyectos relacionados a IN con enfoque de GRD.

1.3. Alcance

Esta guía está dirigida a los especialistas técnicos de las entidades públicas y privadas que requieren diseñar medidas de IN asociadas al control de la erosión de suelos y estabilidad de laderas, y que forman parte de proyectos de inversión para la recuperación de servicios ecosistémicos de regulación de riesgos naturales.





Marco general de infraestructura natural para la gestión del riesgo de desastres

2.1. Definiciones conceptuales

Amuna. Técnica ancestral para captar las aguas que se producen por el escurrimiento de las lluvias en las alturas.

Cárcava. Incisión natural en el terreno causada por el flujo del agua por la cual fluye la escorrentía durante o después de un evento de lluvia.

Conocimiento tradicional. Conjunto acumulativo de conocimientos, prácticas y creencias que han evolucionado por procesos adaptativos en grupos humanos y han sido transmitidos a través de diferentes generaciones. El conocimiento tradicional no es exclusivo de comunidades campesinas o indígenas. Se distingue por la forma en que se adquiere y utiliza a través de procesos sociales de aprendizaje e intercambio.

Curvas a nivel. Líneas o trazos imaginarios que tienen la misma altura en cualquier punto de la pendiente.

Erosión hídrica. Es el proceso de desagregación, transporte y deposición de materiales del suelo debido a la acción de la lluvia y el escurrimiento superficial. Se distinguen tres (3) tipos de erosión hídrica con una intensidad de erosión creciente: aminorar, por surcos y por cárcavas (Molina *et al.*, 2021).

Escorrentía. Parte de la precipitación pluvial que alimenta las corrientes superficiales, continuas o intermitentes de una cuenca.

Gestión del riesgo de desastres. Proceso social cuyo fin último es la prevención, la reducción y el control permanente de los factores del riesgo de desastres, así como la adecuada preparación y respuesta ante situaciones de desastre. Toma en consideración las políticas nacionales con especial énfasis en aquellas relativas a aspectos económicos, ambientales, de seguridad y defensa nacional y territorial, de manera sostenible.

Infiltración. Proceso por el cual el agua de riego o de lluvia ingresa al suelo a través de la superficie.

Infraestructura natural. Consiste en una diversidad de sistemas recuperados, naturales y seminaturales, que pueden ser manejados e intervenidos para responder a los varios desafíos que implica la GRD.

Nivel freático. Nivel por debajo del cual el suelo y las rocas están permanentemente mojados o saturados.

Resiliencia. Capacidad de un ecosistema de retornar a sus

condiciones originales o reorganizarse luego de un proceso de disturbio.

Riesgo de desastres. Probabilidad de que la población y sus medios de vida sufran daños y pérdidas como consecuencia de su condición de vulnerabilidad y el impacto de un peligro.

Sedimentos. Capas de partículas minerales y orgánicas, a menudo muy finas, que se encuentran en el fondo de reservorios de aguas naturales, tales como lagos, ríos y océanos.

Servicio ecosistémico de regulación de control de la erosión. Capacidad del ecosistema de disminuir las fuerzas que provocan el desprendimiento de las partículas del suelo, principalmente las fuerzas de erosión producidas por el agua. La cobertura vegetal evita la exposición del suelo a la acción de la lluvia, la escorrentía y el viento, e impide la erosión.

Tasa de infiltración. Medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación o la irrigación.

Terrazas. Obras de conservación de suelos en terrenos con pendientes.

Zanja de infiltración. Sistema de gestión de aguas pluviales diseñado para maximizar la eliminación de contaminantes de la lluvia. Se construye con componentes altamente permeables para promover la recarga del agua subterránea.

2.2. Marco conceptual de medidas de infraestructura natural

Tomando como punto de partida la vinculación entre las tres temáticas señaladas (ecosistemas, GRD y cambio climático), se puede decir que se interviene en los ecosistemas para reducir su vulnerabilidad y la de las áreas susceptibles en las zonas de origen a través de medidas de IN, que al ser a su vez medidas de adaptación, no permiten recuperar la resiliencia del ecosistema mediante el servicio ecosistémico que brinda. Finalmente, la recuperación del Servicio Ecosistémico de Regulación de Riegos Naturales (SERRN) repercute en el incremento de la resiliencia y disminuye la exposición de las poblaciones y medios de vida afectados por el impacto de los peligros de inundación y movimientos de masa.

Figura 1. Cadena de valor de las intervenciones en el SERRN



Fuente: Forest Trends



Foto: Forest Trends

Según el marco normativo del Perú relacionado a la inversión pública, se puede intervenir en bienes o servicios públicos. Los servicios ecosistémicos son servicios públicos cuyas intervenciones se dan para poder recuperar la capacidad de los ecosistemas de proveer servicios ecosistémicos. En ese contexto, el SERRN es uno de los servicios de regulación que forma parte del grupo de servicios ecosistémicos que se encuentran normados por la Ley n.º 30215, en la que se definen las intervenciones con inversiones.

Las inversiones públicas deben identificar a la unidad productora de los servicios ecosistémicos, que en el caso del SERRN son los ecosistemas en áreas susceptibles a peligros de inundación y movimientos de masa. La identificación del tipo de peligro que se aborda permite determinar los factores de producción. Los factores de producción del servicio son aquellos elementos indispensables que deben estar en óptimas condiciones para que la unidad productora pueda brindar los servicios ecosistémicos que van a ser recibidos por la población y medios de vida afectados.

Han sido identificados tres (3) factores de producción:



1. Cobertura vegetal



2. Control de erosión y estabilidad de laderas



3. Manejo y gestión del territorio

Estos tres elementos, denominados factores de producción, deben ser diagnosticados para determinar el nivel de afectación del ecosistema y su estado actual, a fin de identificar el problema y plantear las alternativas de solución que permitan recuperar su capacidad de proveer el SERRN. Este proceso es fundamental para el planteamiento de los factores de producción. En el caso de estos proyectos se han identificado los peligros de inundación y movimientos de masa, ambos de origen hidrometeorológico.

Figura 2. Secuencia lógica para el marco conceptual de un proyecto de inversión que busca recuperar el SERRN



Fuente: Forest Trends

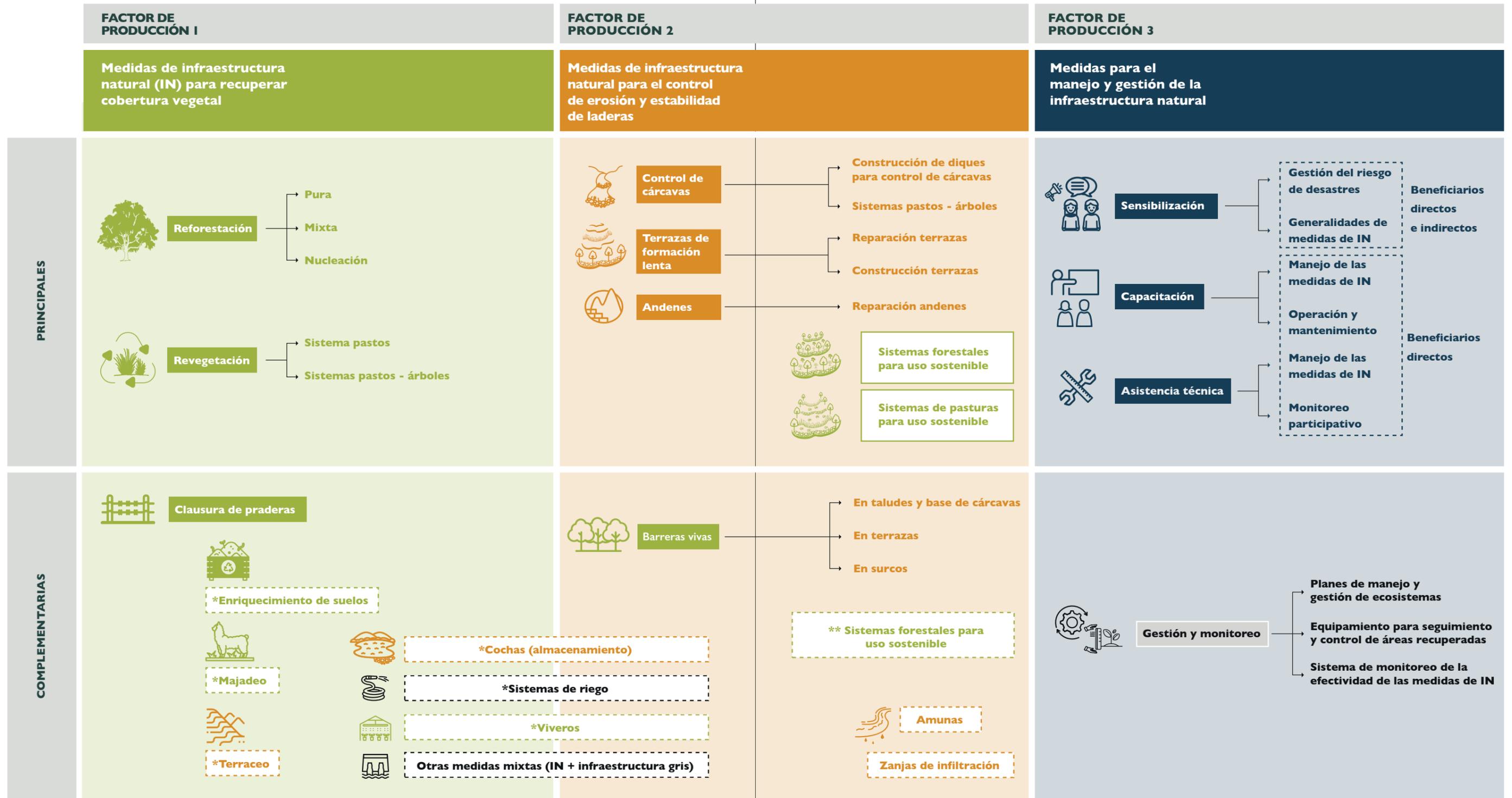
2.3. Medidas de infraestructura natural para el SERRN

Las medidas de IN responden a los problemas identificados en cada uno de los factores de producción, por lo que se propone un menú de medidas a utilizar, sin excluir otras que pueden ser consideradas en los proyectos siempre que sea posible sustentar su relación directa con el objetivo de la medida.

Las medidas de infraestructura se han agrupado de acuerdo con su objetivo en principales y complementarias. Las medidas principales están dirigidas a atender de manera directa el problema asociado al factor de producción; es decir, su planteamiento es imprescindible dentro de la solución. Por otro lado, las medidas complementarias están enfocadas en apoyar el funcionamiento de las medidas principales y pueden o no estar presentes en la solución del proyecto, dependiendo de las particularidades de las zonas a intervenir.



Figura 3. Medidas de infraestructura natural por tipo de factor de producción



* Pueden ser medidas complementarias o actividades como parte del diseño de medidas principales dependiendo de las características específicas del proyecto.

** Pueden ser complementarias a las terrazas de formación lenta.

El Proyecto NIWS ha elaborado guías metodológicas que desarrollan los criterios y procedimientos de diseño de cada una de las medidas relacionadas con cobertura vegetal y control de erosión y estabilidad de laderas. Asimismo, para las medidas asociadas a gestión y manejo del ecosistema se ha elaborado una guía que detalla los criterios para la elaboración del plan de fortalecimiento de capacidades con enfoques transversales.

2.3.1. Medidas de infraestructura natural para el control de erosión y estabilidad de laderas

Comprenden las intervenciones de IN que dentro del Factor de producción 2 se orientan a la conservación de suelos y estabilidad de laderas, empleando mayormente material natural de la zona. Entre estas medidas destacan principalmente las terrazas de formación lenta, los andenes y los diques de control de cárcavas, así como los sistemas agroforestales de protección con especies nativas para uso sostenible y los sistemas de pasturas mixtas de protección con especies nativas para uso sostenible. El objetivo de estas medidas es reducir la susceptibilidad alta y muy alta de las zonas identificadas con presencia de problemas asociados a cambio de uso y baja productividad.

También, se consideran las barreras vivas, las amunas y las zanjas de infiltración, cuyo objetivo es apoyar a las medidas principales en su funcionamiento. Asimismo, los sistemas agroforestales de protección con especies nativas para uso sostenible pueden ser complementados con medidas como terrazas y andenes, dependiendo de las características y particularidades de las zonas a intervenir. Adicionalmente, podrían requerirse medidas asociadas a sistemas de riego y almacenamiento, según los requerimientos de la zona.

A continuación, mostramos algunas definiciones cortas para cada una de las medidas y sus tipos, teniendo en cuenta que los detalles de su diseño se encuentran en la *Guía de diseño de medidas asociadas al control de erosión de suelo y estabilidad de laderas*.



Control de cárcavas

Medidas enfocadas en reducir los procesos erosivos del avance de las cárcavas, que son depresiones en el suelo causadas por la erosión hídrica que siguen la dirección de la pendiente del terreno y por donde su cauce corre el agua proveniente de las lluvias.



Terrazas de formación lenta

Serie sucesiva de plataformas (bancos o terraplenes) dispuestas en las laderas a modo de escaleras.



Andenes

Modificación que realiza el ser humano a la topografía del suelo que presenta pendientes, con el fin de aprovechar los recursos de agua, clima y suelo.



Zanjas de infiltración

Excavaciones que se realizan en el terreno en forma de canales de sección, generalmente rectangulares o trapezoidales.



Amunas

Canales ancestrales donde se infiltra el agua transportada por el canal amunero o canal simple. Permiten conducir el agua de lluvia a lo largo de la parte alta, haciendo que el agua se infiltre por el subsuelo y aumente el agua subterránea.



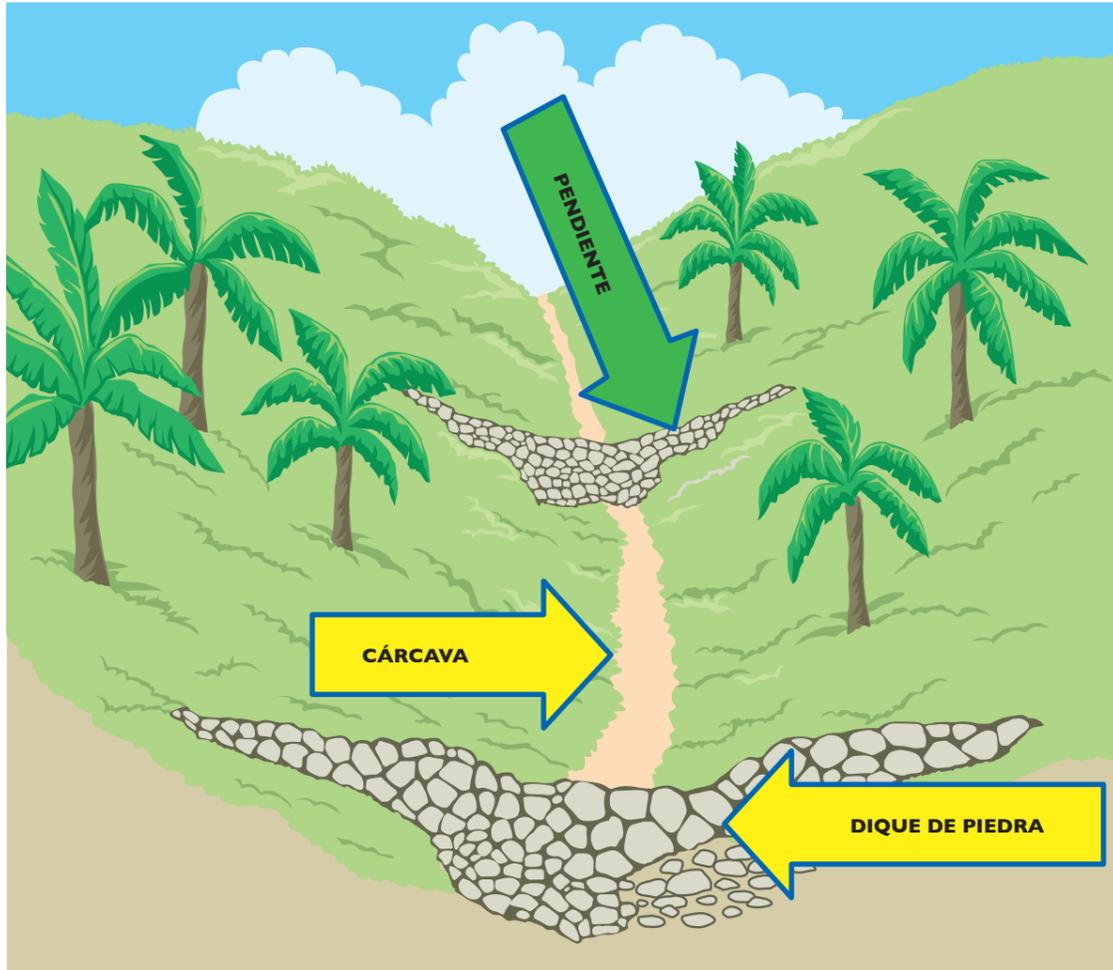
Cochas o qochas

Depósitos pequeños de agua, ubicados en las cabeceras de cuenca, que retienen y represan el agua de lluvia.



Medidas de infraestructura natural para el control de la erosión del suelo y la estabilidad de laderas

3.1. Control de cárcavas



3.1.1. Definición

Las cárcavas son depresiones en el suelo causadas por la erosión hídrica, siguen la dirección de la pendiente del terreno y el agua proveniente de las lluvias corre por su cauce. Pueden formarse por el impacto de las actividades antropogénicas (mayormente labores agrícolas) y los factores físicos, como el uso inapropiado del suelo y la vegetación, el

sobrepastoreo, la cantidad de lluvia o las características del suelo, entre otros (Bocco, 1991; Strunk, 2005).

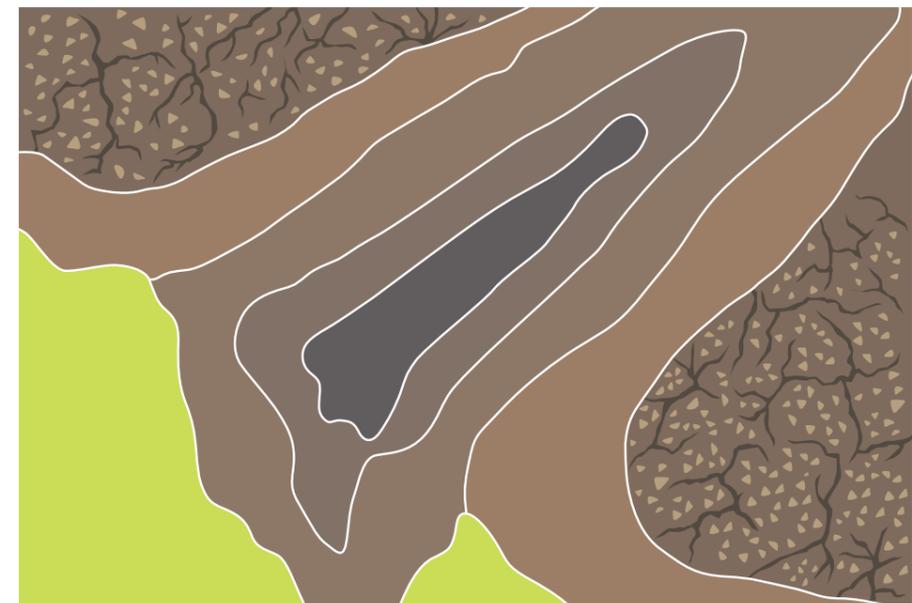
Por su parte, Gómez *et al.* (2011) consideran cárcavas a todas aquellas hendiduras en el terreno natural cuya profundidad sea mayor a 60 cm y con un ancho superior a 40 cm, aproximadamente (Figuras 4 y 5).

Figura 4. Aumento progresivo de la cabecera de la cárcava



Fuente: FAO y Ministerio de Agricultura y Ganadería (1988)

Figura 5. Cárcava: aumento progresivo de la cabecera



Fuente: adaptado de FAO y Ministerio de Agricultura y Ganadería (1988)

Entre los principales objetivos para controlar las cárcavas están:

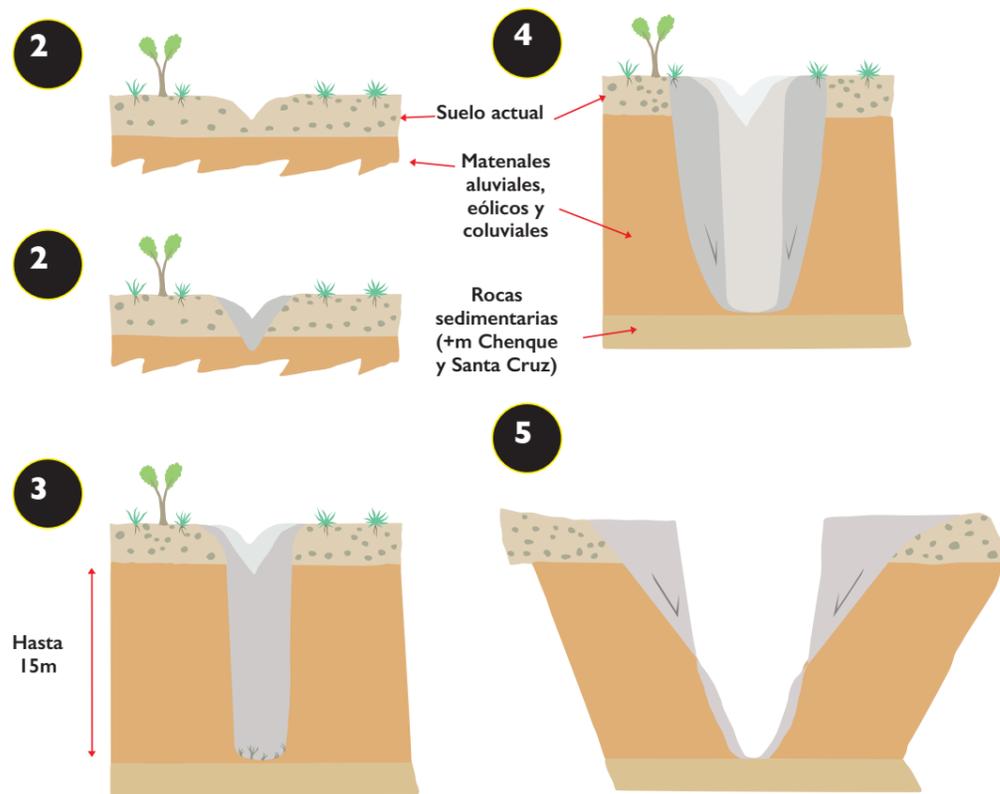
- Reducción de los procesos erosivos (aminorar la escorrentía por medio de la mejora en las condiciones del terreno y el aumento de la cobertura vegetal).
- Desviación de la escorrentía que pudiera entrar en la cárcava.
- Estabilización de la cárcava mediante estructuras (generalmente, diques de retención) y revegetación.
- Contención del aumento de las dimensiones (longitud, anchura y profundidad) para proteger las superficies productivas.

Proceso de formación

Según Paredes *et al.* (2017), el proceso de formación de las cárcavas pasa por cinco (5) momentos (Figura 6):

- Surcos de escorrentía.
- Incisión hasta alcanzar el relleno cuaternario, formado por materiales blandos.
- Etapa de profundización durante la tormenta.
- Etapa de socavamiento de la base y desplomes gravitacionales.
- Etapa de ensanchamiento y estabilización de las laderas de la cárcava.

Figura 6. Cárcava: proceso de formación



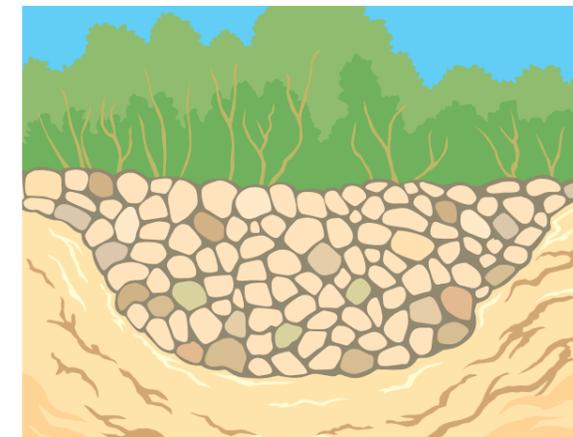
Fuente: Paredes *et al.* (2017)

Formas de las cárcavas

Las cárcavas adoptan dos (2) formas típicas:

- en U, en suelos arcillosos y sin presencia de piedras, y
- en V, en suelos arenosos y con presencia de piedras.

Figura 7. Cárcava en forma de U



Fuente: FAO y Ministerio de Agricultura y Ganadería (1988)

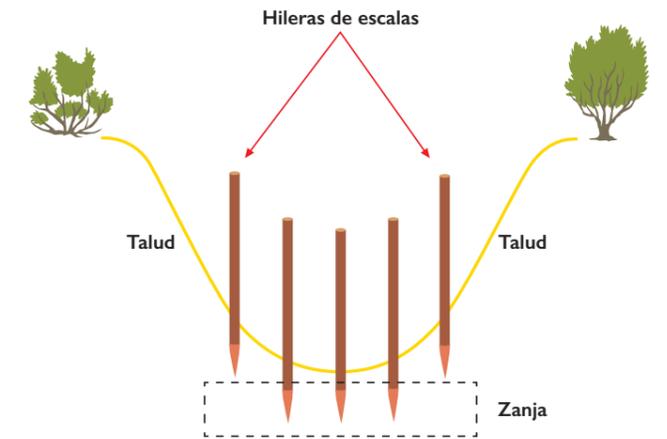
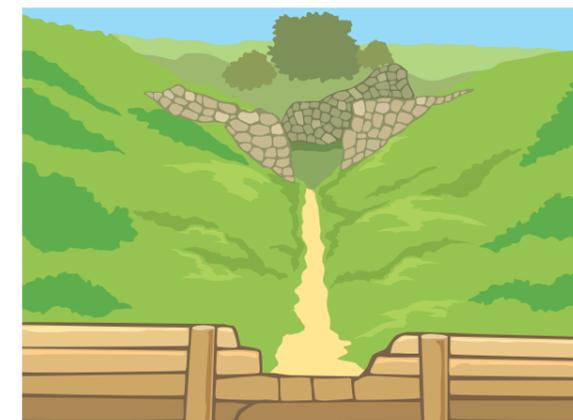
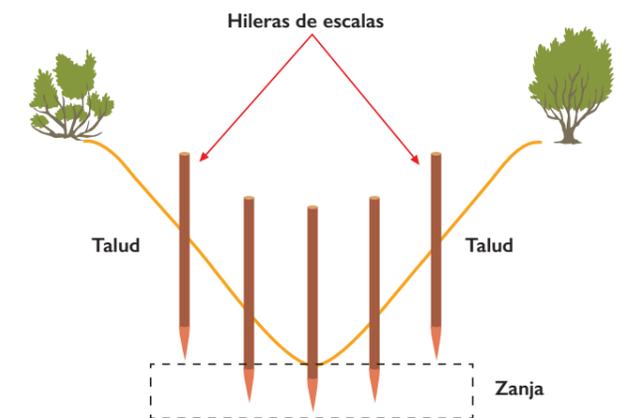


Figura 8. Cárcava forma de V

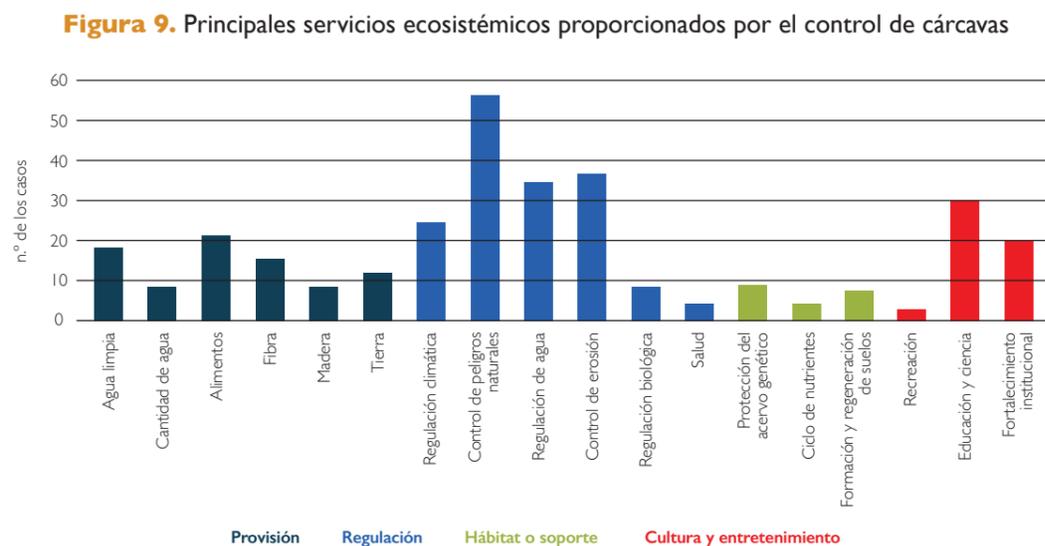


Fuente: Oropeza, s. f



Las medidas de control de cárcavas proporcionan notables beneficios en el mismo lugar donde se ejecutan (*on site*) y también aguas abajo (*off site*) desde un punto de vista socioeconómico, cultural, ecológico y de producción, al tiempo que

protegen servicios cruciales de los ecosistemas. Contribuyen a la conservación del suelo, el agua y los servicios ecosistémicos de regulación a través del control de la erosión del suelo, el ciclo hidrológico y la prevención de riesgos naturales.



Fuente: Romero-Díaz et al. (2019)

3.1.2. Tipos de cárcavas

Según Gómez et al. (2011), de acuerdo con su permanencia en el tiempo, las cárcavas se pueden dividir en dos (2) tipos:

Cárcavas efímeras

Pueden eliminarse por los procedimientos habituales de laboreo, se encuentran ligadas mayormente a terrenos agrícolas y sus dimensiones oscilan alrededor del medio metro de profundidad.

Cárcavas permanentes

No pueden eliminarse mediante los procedimientos habituales de laboreo agrícola y sus dimensiones aumentan cada año.

De acuerdo con Gómez et al. (2019), las cárcavas también se pueden clasificar por sus características y, según los distintos tipos de cárcavas, se pueden emplear diferentes me-

das de control (Tabla 1), entre las que destacan los diques de retención:

Tipo I *Cárcavas poco profundas con poco caudal:* se recomienda utilizar el suelo de las áreas contiguas para rellenarlas y sembrarlas con especies herbáceas.

Tipo II *Cárcavas de tamaño mediano:* se deben utilizar diques de retención (de hasta 1 m de altura) y revegetación. Una vez corregidas, queda una superficie libre para evacuación de los caudales, presentan un desnivel reducido entre la superficie aladaña y la base de la cárcava.

Tipo III *Cárcavas de gran tamaño:* se deben utilizar diques de retención (de hasta 1 m de altura) y revegetación. Se podrán observar secciones que presenten elevados desniveles.

Tabla 1. Cárcavas: medidas de control, por tipo

Tipo I: Cárcavas poco profundas con poco caudal	
Características aproximadas	Tratamiento: tapizado vegetal
Área de drenaje < 3 ha Profundidad < 1 m	1) Relleno del terreno con material contiguo 2) Perfilado de sección 3) Creación de obstáculos 4) Siembra de plantas herbáceas
Tipo II: Cárcavas de tamaño mediano	
Características aproximadas	Tratamiento: diques de retención
Área de drenaje > 3 ha Profundidad < 2 m	1) Diques de retención 2) Revegetación
Tipo III: Cárcavas de gran tamaño	
Características aproximadas	Tratamiento: diques de retención
Área de drenaje > 3 ha Profundidad > 2 m	1) Diques de retención 2) Revegetación 3) Posible inicio de un nuevo control

Fuente: adaptado de Gómez et al. (2019)

Si en la ladera existen cárcavas previamente establecidas, se deben realizar trabajos que consisten en la colocación de diques o pequeñas barreras transversales a la cárcava a fin de disminuir la velocidad del agua y favorecer la sedimentación de las partículas que lleva el agua de escorrentía en suspensión. Se debe tener en cuenta que las cárcavas se inician en la parte baja de las laderas, donde hay materiales de suelo y subsuelo con diferentes tipos de estabilidad y consolidación. Si no hay control, estas van creciendo en ancho y profundidad hacia la parte alta de la ladera.

Las medidas de control de cárcavas más eficaces consisten en la combinación de medidas vegetativas (IN) y estructurales. Es importante que la intervención se realice en toda la cuenca hidrográfica. En los taludes y dentro de la cárcava se pueden instalar árboles o arbustos nativos, a curvas de nivel siguiendo las indicaciones consideradas para la medida de IN barreras vivas.

Por su parte, cuando la cárcava es pequeña se puede intervenir realizando tratamiento al surco de erosión, que

consiste en taparlo con sedimentos o tierra de los alrededores y revegetar con pastos o arbustos nativos. Cuando la cárcava es de tamaño medio se deben instalar diques para control de cárcavas, descritos a continuación.

3.1.3. Diques para control de cárcavas

Los diques son barreras u obstáculos transversales a la cárcava que impiden el paso del agua.

Objetivos

Frenar la velocidad del agua proveniente de la escorrentía (acción que favorece que el sedimento se deposite antes de que el agua pase por lo alto del muro de retención) y, con el tiempo, rellenar la cárcava y restaurarla.

Disminuir la capacidad erosiva de los suelos, el elevado transporte de sedimentos y, gracias a ello, mejorar su capacidad de producción.

Los diques se construyen a lo largo de la cárcava (Figura 10).

Figura 10. Dique de retención



Fuente: Vásquez et al., 2016

Tipos

Gómez et al. (2019) proponen una tipología de dique a utilizar de acuerdo con la clasificación de la cárcava, teniendo como

consideración los recursos de materiales disponibles además de piedra, como palos, sacos de arena, ramas o paja, y mano de obra para el control de la cárcava (Tabla 2 y Figura 11).

Tabla 2. Dique de retención, tipos, según dimensiones y materiales de construcción

		Anchura de la cárcava		
		< 1 m	1-3 m	> 3 m
Profundidad de la cárcava	< 1 m	<ul style="list-style-type: none"> • Cordones de escollera • Siembra de herbáceos 	<ul style="list-style-type: none"> • Piedra mallada • Escollera suelta 	<ul style="list-style-type: none"> • Piedra mallada • Escollera suelta
	> 1 m		<ul style="list-style-type: none"> • Placa de hormigón prefabricado • Mampostería (simple o doble) • Escollera suelta 	<ul style="list-style-type: none"> • Mampostería (simple o doble) • Escollera suelta

Fuente: Gómez et al. (2019)

Figura 11. Diques de retención construidos con materiales accesibles



Fuente: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), s/f. (2017)

3.1.4. Diseño de diques de control de cárcavas

• Consideraciones para el diseño de diques de control de cárcavas

a. Criterios hidrológicos

Se recomienda calcular a partir de la tormenta con un periodo de retorno de veinticinco (25) años, usando la fórmula siguiente del método racional:

$$q = \frac{CiA}{3,6}$$

Donde:

q = caudal de diseño: m³/segundos (s)

C = coeficiente de escorrentía

i = intensidad de lluvia (mm/h) correspondiente a ese periodo de retorno y por una duración igual al tiempo de concentración de la zona aguas arriba del dique de retención

A = área aportadora (km²)

El tiempo de concentración se puede calcular a partir de diferentes fórmulas, una de las más usadas es la de Kirpich:

$$T_c = 0,0195L^{0,77} S^{-0,385}$$

Donde:

T_c = tiempo de concentración (minutos)

L = máxima longitud recorrida por la escorrentía (m)

S = pendiente (en tanto por uno) media del área aportadora

b. Criterios topográficos

Un segundo factor para tomar en consideración en el diseño es la distancia entre diques. Es conveniente que el borde superior de un dique esté al mismo nivel que la base del dique contiguo aguas arriba, y así sucesivamente (Tabla 3).

Tabla 3. Diques de retención de piedra: dimensiones

Característica	Dimensión (cm)
Espesor mínimo del borde superior	20-30
Espesor mínimo del borde inferior	30-50
Altura efectiva	50-100
Empotramiento en el fondo y en las paredes laterales de la cárcava	30-50

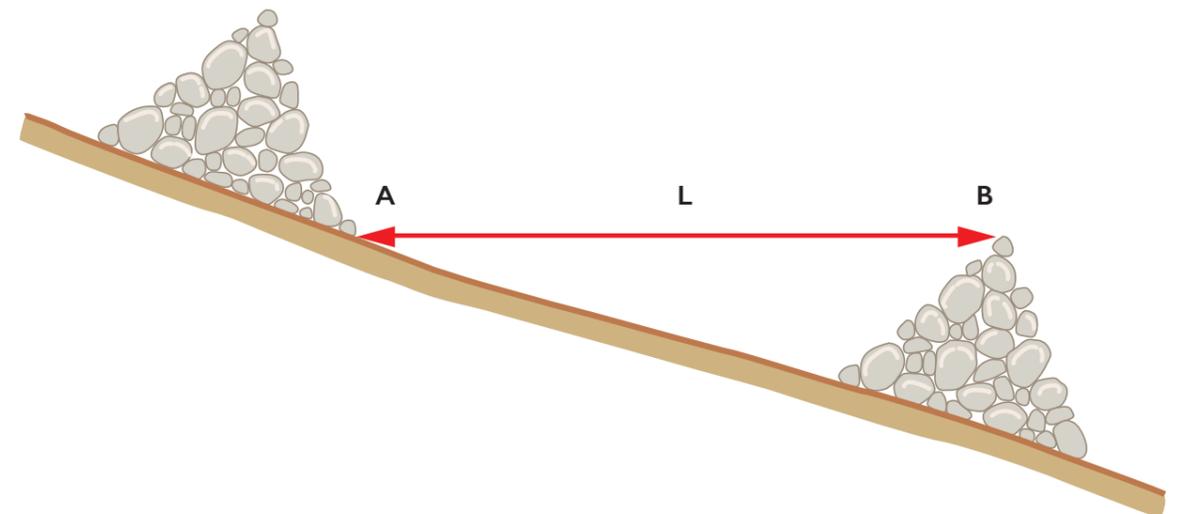
Fuente: Vázquez et al., 2016

c. Distanciamiento entre diques

La regla básica para espaciar los diques de retención entre sí a lo largo de la cárcava es hacerlo para aproximarse a una situación en la que el nivel máximo del agua detrás de un dique llegue hasta el pie del dique de retención situado inmediatamente aguas arriba (Figura 12). Así se busca lograr que no quede ninguna sección de la cárcava en la que el agua no esté retenida para reducir su velocidad. Se recomienda que para los diques Tipo III (área de drenaje

mayor a 3 ha y profundidad superior a 2 m) se considere la utilización de modelización hidráulica para el cálculo de parámetros hidráulicos, con el fin de determinar la distancia adecuada, verificar la reducción de las velocidades erosivas y considerar la afectación a terceros. Por motivos presupuestales es difícil seguir este criterio general exactamente en campo. Por su parte, las tablas de distancia recomendada (Tabla 4) incorporan un factor de corrección empírico que asume en la práctica una mayor distancia.

Figura 12. Diques de retención: distancia entre ellos



Fuente: Gómez et al. (2011)



Foto: Forest Trends

Tabla 4. Diques de retención: espacio óptimo entre ellos (en metros)

Pendiente de la cárcava (%)	2	6	10	16	20	24	30	40
Altura del dique (m)								
0,1	17	6	3	2	2	1	1	1
0,3	50	17	10	6	5	3	2	2
0,5	83	28	17	11	8	4	3	3
0,7	117	39	23	15	12	6	5	4
0,9	150	5	30	19	15	8	6	5
1,1	183	61	37	23	19	9	8	6
1,3	217	72	44	27	22	11	9	7
1,5	250	83	50	32	25	13	10	8
1,7	283	95	57	36	29	15	12	9
1,9	317	106	64	40	32	17	13	10

Fuente: Coppin y Richards, 1990

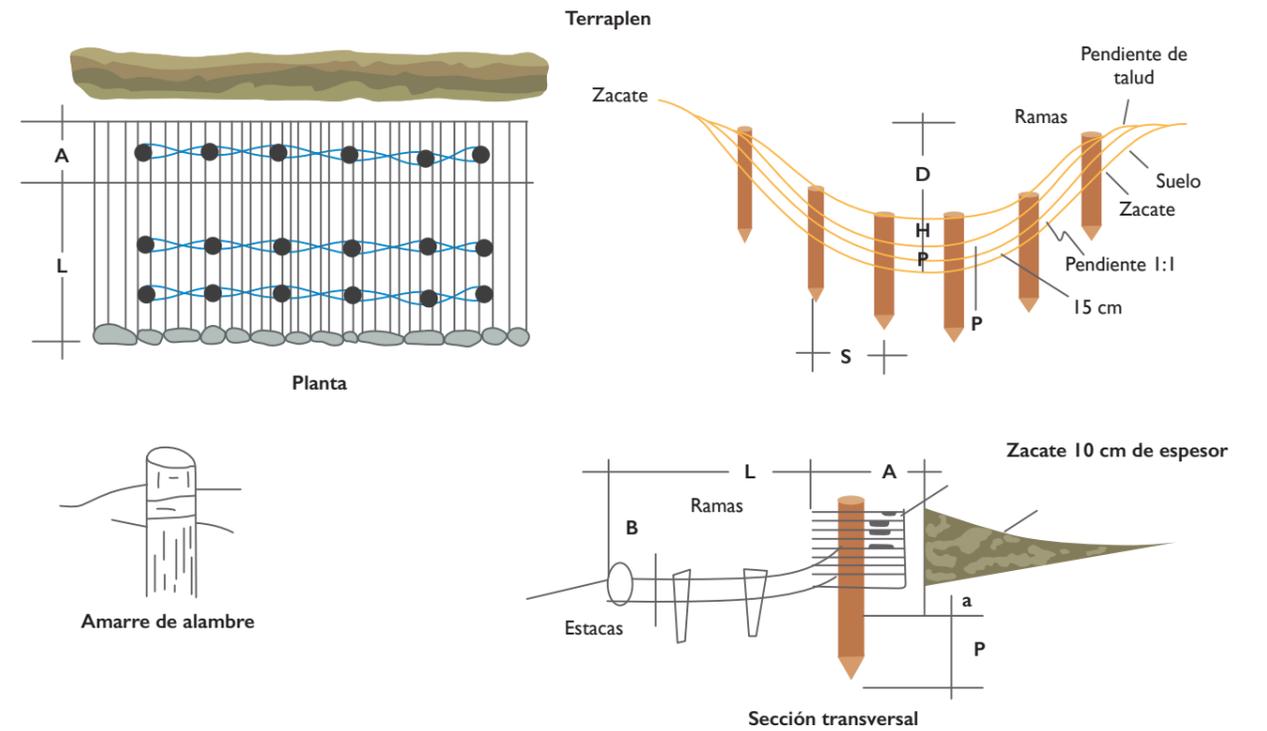
Diseño de diques de para el control de cárcavas

El diseño de los diques debe ajustarse a los materiales a usar (ramas, piedra acomodada), tanto para el dique como para sus componentes (aliviadero).

a. Diques de ramas

Se llaman así porque se forman básicamente con ramas y hierbas (zacate). Además, se requieren materiales, como alambres, postes o polines, y herramientas, como pico, pala, pinzas y una barrena postera. La Figura 13 presenta las especificaciones técnicas para la construcción de este tipo de diques y la Tabla 5 muestra las distancias que se deben respetar.

Figura 13. Diques de ramas: especificaciones de diseño



Fuente: Oropeza, s. f.

Figura 13. Diques de ramas: especificaciones de diseño

Altura H (cm)	a (cm)	P (cm)	(cm)	P (cm)	A (cm)	T (cm)	L (cm)	B (cm)	S (cm)
50	20	20	20	20	50	40	75	10	200
100	30	30	25	30	75	50	150	20	150
150	35	30	50	30	100	60	175	30	100

Fuente: Oropeza, s. f.

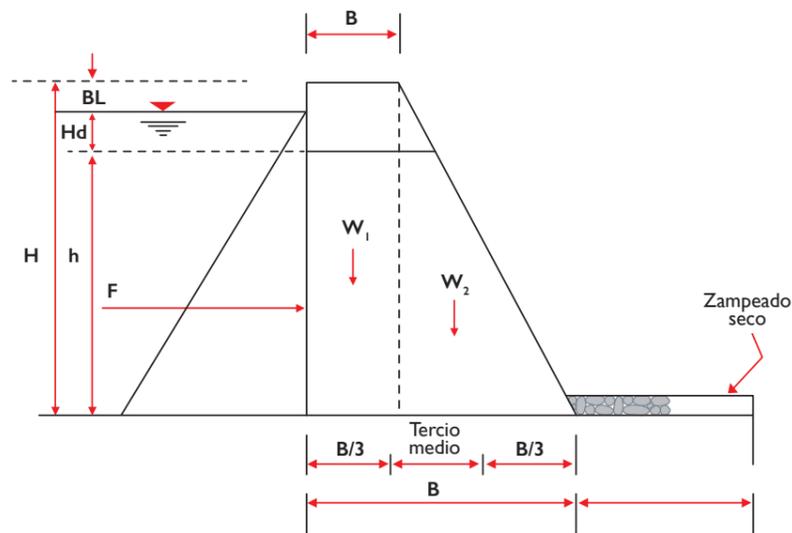
b. Diques de piedra acomodada

Son estructuras construidas con piedras acomodadas, que se colocan en forma transversal a la dirección del flujo de la corriente y se utilizan para el control de la erosión en cárcavas. Se consideran las obras más eficientes para el control de cárcavas por su facilidad de diseño, construcción y disponibilidad de materiales, así como por su adaptabilidad para el tratamiento tanto de cárcavas de formación incipiente como de tamaño mediano. Debido a la resistencia de sus materiales

se recomienda su uso en cuencas de tamaño mediano y en cárcavas con pendiente moderada (Cueva, 2018).

Al igual que en las presas de mampostería se considera como factor crítico para su diseño la resistencia al volcamiento; por lo tanto, la resultante de las fuerzas que actúan en la presa debe pasar por el tercio medio de su base. La Figura 14 muestra la geometría del diseño y el detalle del recubrimiento (zampeado).

Figura 14. Diques de piedra acomodada: geometría del diseño



Fuente: Oropeza, s. f.

$$B = \sqrt{\frac{5}{4C^2} + H^2} + \frac{C}{2}$$

De acuerdo con el material existente en los sitios de construcción, se considera para el diseño de estabilidad las siguientes constantes:

- Relación de vacíos = 1/3
- Peso específico de la piedra = 2,40 toneladas (t)/m³
- Peso específico del agua con sedimentos = 1,20 t/m³
- Coeficiente de fricción piedra sobre piedra = 0,67
- Coeficiente de fricción piedra sobre grava = 0,50

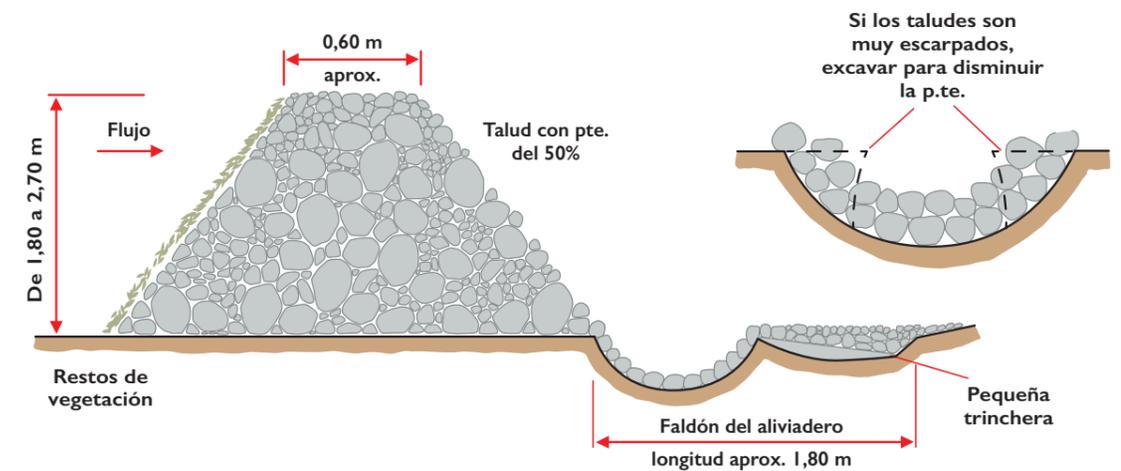
El dimensionamiento de la base de la presa estará sujeto a la siguiente fórmula:

Donde:

- B** = ancho de la base (m)
- C** = ancho de corona en m (valor obtenido experimentalmente)
- H** = altura total de la presa (m)
- BL** = borde libre, en todos los casos será 0,20 m
- B** = ancho del recubrimiento excederá en 0,60 m a la longitud (L) del vertedor (0,30 m a cada lado)

La Figura 15 presenta el perfil del esquema del dique de piedra.

Figura 15. Diques de piedra: perfil del esquema



Fuente: Gray y Leiser, 1989

c. Aliviadero

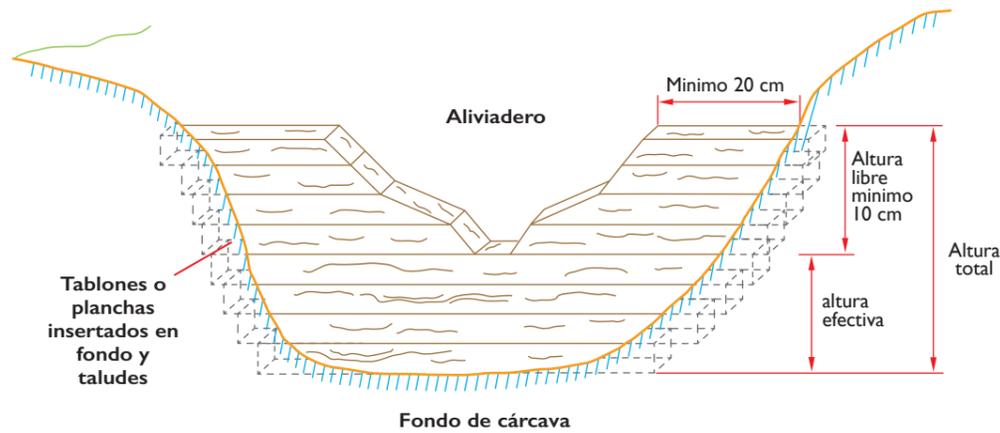
Se debe diseñar de manera que sea capaz de evacuar el caudal de diseño rebosando por el centro del dique de retención, sin que ese caudal alcance los lados del dique y comience a erosionar las paredes de la cárcava. Normal-

mente, los aliviaderos son de sección rectangular o trapezoidal. Los trapezoidales son mejores, porque resultan más eficaces para desalojar ramas y restos que pueden quedar atrapados (Figura 16). La Tabla 6 ayuda a dimensionar el aliviadero una vez conocido el caudal de diseño.



Foto: Forest Trends

Figura 16. Aliviadero de diques: perfil del esquema



Fuente: Gray y Leiser, 1989

Tabla 16. Capacidad de un aliviadero de sección trapezoidal o parabólica en función de su anchura y altura (tirante máximo de agua permisible sobre su coronación)

Anchura de aliviadero (m)	0,2	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	5,2
Altura de agua en aliviadero (m)								
0,15	0,02	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
0,30	0,04	0,10	0,25	0,40	0,50	0,60	0,75	0,90
0,45	0,07	0,20	0,50	0,70	0,90	1,20	1,40	1,50
0,60	0,11	0,35	0,70	1,10	1,50	1,80	2,20	2,50
0,75	0,15	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,30
0,90	0,20	0,60	1,30	2,00	2,70	3,30	3,90	4,70

Fuente: Coppin y Richards, 1990

3.1.5. Consideraciones para la construcción de diques

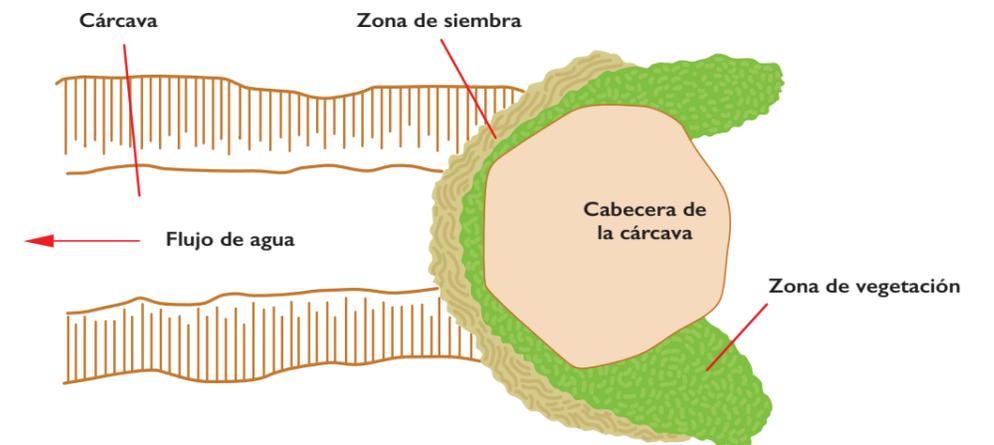
La construcción de diques de retención siempre se debe iniciar desde la parte más alta de la cárcava hacia abajo, para disminuir o controlar el escurrimiento superficial que se pueda presentar a lo largo de esta. Se deben aplicar los siguientes criterios:

- Todos los diques, no importa lo pequeños que sean, deben hacerse dejando una zona rebajada (en el centro) para evacuar el exceso de agua sin salirse por los lados del muro. Esto se llama aliviadero.
- Por seguridad y costos, se debe procurar construir diques de menos de 1,2 m de altura, medida desde el punto donde empieza a verter el agua (aliviadero).
- En la zona donde cae el agua de este aliviadero se debe reforzar el lecho para amortiguar el impacto. Como regla aproximada, esta zona de disipación de energía debe tener una longitud de entre una y media y dos veces la altura efectiva del dique.

Un buen diseño debe considerar la forma y el tamaño de estos elementos. Hacerlo reducirá problemas, como que el agua se abra camino por los bordes del dique y lo vuelva ineficaz, o que este se derrumbe al formarse un socavón al pie.

El control de la cárcava debe comenzar desde su cabecera, que es el lugar donde empieza a formarse. Los bordes superiores de esta cárcava deben rodearse con vegetación (herbácea y/o leñosa, según el caso) para frenar la velocidad del agua y hacer que las raíces la retengan mejor en el terreno. La anchura mínima de esa zona de vegetación depende del tamaño de la cárcava. Si en el nacimiento es pequeña (profundidad menor de 1 m), posiblemente basta con sembrar una barrera de vegetación herbácea de una anchura no menor de 5 m. Si la cárcava tiene más de 1 m de profundidad en su cabecera, lo recomendable es combinar especies leñosas y herbáceas. La Figura 17 ofrece una idea de la anchura recomendada.

Figura 17. Cárcavas: esquema de disposición de vegetación en las cabeceras



Fuente: Gray y Leiser, 1989

Fallas frecuentes

A continuación, se presenta una serie de ejemplos a tener en cuenta al momento de la construcción de los diques

para evitar fallas. La Figura 18 muestra que el dique ha fallado, lo que puede deberse a un mal anclaje lateral del dique al talud de la cárcava.

Figura 18. Colapso de un dique por erosión lateral



Fuente: Forest Trends.

La Figura 19 exhibe un hueco en la parte baja de la cárcava, que pudo originarse debido a un excesivo espaciamiento entre diques o ausencia de un cuenco de disipación.

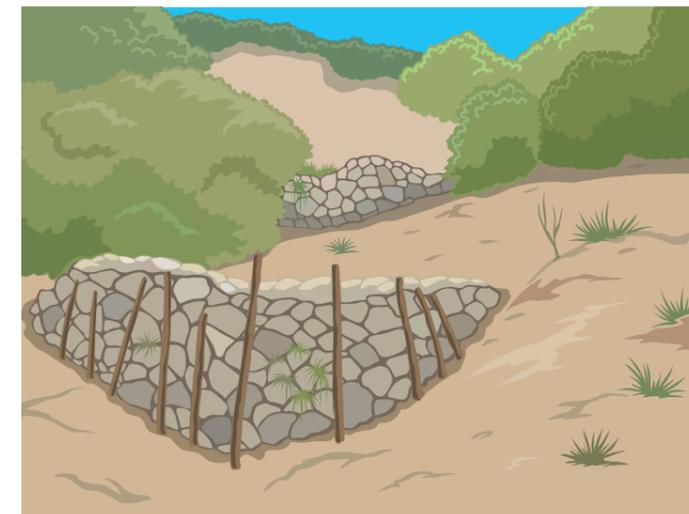
Figura 19. Socavación en la parte baja del dique



Fuente: Forest Trends.

Por su parte, la Figura 20 evidencia el fallo de construcción de un dique sin aliviadero y sin anclaje lateral y, por lo tanto, endeble al caudal que pueda discurrir por la cárcava.

Figura 20. Elementos faltantes en los diques



Fuente: Forest Trends.

En la Figura 21 se pueden observar dos pobladores rellenando las cárcavas con el terreno aledaño; sin embargo, realizar exclusivamente esta actividad no es un método de control, debido a que las lluvias tienen la capacidad de arrastrar sin ninguna dificultad el suelo depositado.

Figura 21. Relleno de cárcava



Fuente: Forest Trends.

Recomendaciones para el mantenimiento

El Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri, 2014) recomienda las siguientes medidas para el mantenimiento de los diques:

- Inspeccionar todos los diques después de cada tormenta importante. En temporada de sequía debe de hacerse periódicamente (cada tres a seis meses).
- Reparar inmediatamente los daños observados para mantener el dique de acuerdo con su diseño original.
- Colocar más piedras para subir el tamaño del dique en caso se haya rellenado.
- Sembrar especies de tamaño bajo y medio como vegetación protectora una vez estabilizado el equilibrio en el fondo de la cárcava.
- Tener cuidado con las estructuras existentes (diques) al efectuar labores de siembra o pastoreo.
- Realizar por lo menos dos visitas al año, antes y después de las lluvias, para revisar las estructuras.

3.1.6. Ejemplo aplicativo

Se presenta como ejemplo el caso del diseño de diques para el control de cárcavas en la zona de Olmos, en el departamento de Lambayeque.

Condiciones básicas

El proyecto consiste en la construcción de veinticinco (25) diques Tipo I, cien (100) diques Tipo II y ochenta y cinco (85) diques Tipo III, empleando dos (2) tecnologías: diques de piedra canteada y diques de sacos de arena. Los tipos mencionados hacen alusión a las dimensiones del dique. Los metrados se obtienen de una lectura adecuada de los planos definitivos del proyecto, que permite trasladar la información de forma acotada a una planilla de metrados. Se debe tener en cuenta que parte de la información a considerar también se encuentra en el plano clave.

Con la planilla de metrados lista se pueden desarrollar los análisis de costos unitarios, verificando que los rendimientos sean los adecuados a cada partida y teniendo en cuenta las condiciones particulares de cada proyecto.

Por su parte, el análisis del flete terrestre presenta los costos adicionales de los insumos por efecto del transporte

desde el lugar de compra hasta el almacén de obra. El costo final del insumo en obra depende de la distancia a recorrer, los tipos de carretera y su altitud promedio.

Planilla de metrados

Los metrados se desarrollan de forma ordenada y secuencial, según la ejecución de las actividades que se desarrollan en las distintas etapas (obras preliminares, obras provisionales y construcción, sea de diques de piedra canteada o de diques de sacos de arena).

Las obras preliminares consideran la movilización y la desmovilización, la construcción y el mejoramiento de trochas de acceso a la zona de plantación, el trazado y el replanteo de las cárcavas por kilómetro, y la limpieza y el desbroce manual del terreno a trabajar. Las obras provisionales consideran la construcción del campamento provisional y el cartel de obra.

Los diques de piedra canteada consideran tres (3) etapas de construcción:

- Peinado de la cárcava, que consiste en labores de limpieza y relleno del dique.
- Excavación en material suelto.
- Nivelación, perfilado y compactación manual: para la cimentación de la estructura, el fondo de la cimentación se nivela y compacta manualmente, finalmente se coloca la piedra canteada en la cimentación, los muros y el dissipador según los planos de diseño.

Los diques con sacos de arena añaden una etapa consistente en levantar los muros desde la cimentación mediante sacos de arena. La arena se obtiene manualmente del mismo lugar, mientras que la piedra puede ser traída de los alrededores o de una cantera situada a unos cuantos kilómetros de distancia.



Foto: Forest Trends

Tabla 7. Diques de retención: planilla de metrados en el ejemplo

Ítem	Partida	Unidad	Dimensiones (m)			Parcial	Total		
01.00.00	Obras preliminares								
01.01.00	Movilización y desmovilización	Global	n.º de veces	Cantidad	Largo	Ancho	Altura		
				1,00				1,00	1,00
02.00.00	Obras provisionales								
02.01.00	Campamento provisional de obra y almacenes	m ²	n.º de veces	Cantidad	Largo	Ancho	Altura		
				200,00				200,00	200,00
02.02.00	Cartel de obra de 4,80x3,6 m (gigantografía)	m ²	n.º de veces	Cantidad	Largo	Ancho	Altura		
				200,00				200,00	200,00
03.00.00	Diques de piedra canteada								
03.01.00	Construcción del dique								
03.01.01	Peinado	m ²	Área	Cantidad	Largo	Ancho	Altura	47 900,00	47 900,00
	Tipo I		25,00	60,00				1 500,00	
	Tipo II		100,00	124,00				12 400,00	
	Tipo III		400,00	85,00				34 000,00	
03.01.02	Excavación manual en material suelto	m ³	Área	Cantidad	Largo	Ancho	Altura	543,60	543,60
	Tipo I			60,00	5,00	0,50	0,20	30,00	
	Tipo II			124,00	10,00	0,70	0,20	173,60	
	Tipo III			85,00	20,00	1,00	0,20	340,00	

Fuente: Forest Trends

Presupuesto de obra

El presupuesto del proyecto de diques está compuesto por los costos directos y los costos indirectos (Tabla 8).

Tabla 8. Diques de retención: presupuesto de obra en el ejemplo

Ítem	Partida	Unidad	Dimensiones (m)					Parcial	Total
			Área	Cantidad	Largo	Ancho	Altura		
03.01.03	Nivelación, perfilado y compactación manual	m ²	Área	Cantidad	Largo	Ancho	Altura	2 718,00	2718,00
	Tipo I		60,00	5,00	0,50		150,00		
	Tipo II		124,00	10,00	0,70		868,00		
	Tipo III		85,00	20,00	1,00		1 700,00		
03.01.04	Colocación de piedra canteada	m ³	Perímetro	Cantidad	Largo	Ancho	Altura	15 681,60	15 681,60
	Tipo I								
	Cimentación		60,00	5,00	0,50	1,20	180,00		
	Muros		60,00	5,00	0,50	1,20	180,00		
	Disipador		60,00	5,00	1,00	1,20	360,00		
	Tipo II								
	Cimentación		124,00	10,00	0,70	1,60	1 388,80		
	Muros		124,00	10,00	0,70	1,60	1 388,80		
	Disipador		124,00	10,00	1,00	1,60	1 984,00		
	Tipo III								
	Cimentación		85,00	20,00	1,00	2,00	3 400,00		
	Muros		85,00	20,00	1,00	2,00	3 400,00		
	Disipador		85,00	20,00	1,00	2,00	3 400,00		
05.00.00	Diques de sacos de arena								
05.01.00	Construcción del dique								

Fuente: Forest Trends

Nota: la estructura de costos indirectos corresponde a la modalidad por contrata.

En el ejemplo, el presupuesto de obra asciende a la suma de 6 969 774,32 soles. Asimismo, se ha asumido los gastos generales entre un 10 y 12 % del costo directo; sin embargo, este porcentaje puede variar según el requerimiento de la entidad a cargo de la ejecución o por consideraciones particulares de cada proyecto. Respecto a la utilidad, se considera en el presupuesto solo si va a ser ejecutado por contrata. En caso la implementación sea por administración directa, este rubro debe ser retirado.

Especificaciones técnicas

Para el ejemplo, se presentan las especificaciones técnicas y se brindan las pautas para establecer las actividades o tareas a realizar para el control de cárcavas mediante la construcción de diques de piedra canteada y diques con sacos de arena de poliestireno. Se debe tener en cuenta que es prioritario el uso de materiales de la zona.

a. Peinado de cárcavas

Consiste en eliminar el suelo ubicado en el borde o en los taludes de la cárcava. Cuando ya presenta un efecto erosivo, tanto en el interior como en el borde, la estabilidad estructural del suelo es muy débil y carece de cohesión, por ello cualquier especie vegetal que se pretenda establecer será arrastrada junto con el suelo al continuar los procesos erosivos. Por eso, en el peinado se elimina un ancho aproximado de 30 a 40 cm desde el borde de la cárcava, lo cual se puede hacer en forma manual con ayuda de una pala.

Para la ejecución de esta tarea, los obreros, organizados en cuadrillas de trabajo según el tamaño de la cárcava, excavan el material de la capa superficial del suelo alrededor de esta y la depositan sobre el fondo, con la finalidad de rellenarla con material más estable que retenga la revegetación. La actividad involucra únicamente mano de obra. La unidad de medida es el metro cuadrado (m^2) y el trabajo se paga proporcionalmente y conforme al avance medido en campo, según los planos y previa aprobación de la supervisión.

b. Excavación manual en material suelto

Comprende el suministro de mano de obra, materiales, herramientas para las excavaciones o los cortes necesarios

para el acondicionamiento del terreno a las necesidades de la obra. Se considera como materiales sueltos y medianamente sueltos aquellos que se pueden excavar con herramientas simples (picos, lampas y carretillas) y que no requieren el uso de procedimientos especiales para su extracción. Entre estos están la arena, los suelos arcillosos, los limosos y los gravosos hasta de 4 pulgadas de diámetro.

La excavación se realiza con base en la estructura para la formación de la cimentación, hasta la profundidad indicada en los planos. Se estima un rendimiento de 2,5 m^3 /día de material suelto por trabajador, cifra que considera todos los tiempos muertos. La unidad de medida es el metro cúbico (m^3) y el pago se hace con el precio unitario de la partida correspondiente, que comprende todos los gastos de mano de obra, materiales, equipos, herramientas y todas las actividades necesarias para su óptima ejecución.

c. Nivelación y compactación manual del terreno

Es la nivelación y compactación manual del fondo de la zanja con la finalidad de preparar el terreno para la construcción de la cimentación de la estructura. Se debe definir la profundidad de excavación hasta la que se procederá con la nivelación y compactación del terreno. En esta instancia es crucial retirar la basura, piedras o protuberancias que puedan distorsionar la cimentación a colocar. En caso falte material, se debe rellenar con material propio zarandeado manualmente o de préstamo. La unidad de medida es el metro cuadrado (m^2) y el trabajo se paga proporcionalmente y conforme al avance medido en el campo, según los planos y con la aprobación previa de la supervisión.

d. Colocación de piedra canteada

Se trata de la construcción de una estructura formada por piedras colocadas o acomodadas manualmente para levantar la cimentación y, luego, los muros del dique. Debe realizarse de forma que se mantenga la estabilidad de toda la estructura y las piedras se acunén unas con otras. En las zonas críticas las piedras se acomodan según lo disponga la supervisión.

Las piedras se obtienen de las canteras autorizadas por el supervisor. Se distinguen diversos tamaños de roca, pues

se emplea un diámetro nominal variable con un máximo de 12 pulgadas de diámetro promedio. El diámetro menor corresponde al sector de menor sección transversal.

La forma de la piedra se trabaja mediante el procedimiento mecánico de canteo para lograr superficies planas que permitan una mejor acomodación, mayor estabilidad y disminuir los espacios vacíos. La unidad de medida es el metro cúbico (m^3), según la sección típica, y el trabajo se paga al precio unitario de la partida, conforme al avance ejecutado en campo y con la aprobación previa de la supervisión.

e. Colocación de sacos de arena de poliestireno

Consiste en llenar sacos de poliestireno con arena zarandeada manualmente, para luego apilarlos uno sobre otro para conformar la cimentación y el muro del dique. Al momento de rellenar los sacos, se debe evitar el ingreso de piedras porque podrían dañarlos y provocar un hueco por donde escape la arena. Una vez llenos se procede a coser la abertura y colocarlos en posición adecuada para conformar la cimentación y los muros del dique, según lo indicado en los planos. La unidad de medida es la unidad (ud.) de saco llenado y colocado en posición final, el pago se efectúa a la culminación del dique, según las indicaciones y medidas señaladas en los planos.

3.2. Terrazas de formación lenta



Foto: Douglas Walsh

3.2.1. Definición

En el Perú, las terrazas han sido utilizadas desde el imperio Inca. De acuerdo con Willems *et al.* (2021), las terrazas reducen la escorrentía superficial, ya que promueven la infiltración de agua en los suelos al ofrecer mayor cobertura vegetal y mayor profundidad de suelos. También, afirman que las terrazas impactan positivamente en la conservación de los suelos, debido a que reducen hasta en un 90 % la pérdida de suelos, pues al disminuir la pendiente, las terrazas reducen la escorrentía superficial y la capacidad erosiva del agua. Por último, resaltan que la capacidad de regulación hídrica de las terrazas a nivel de parcela necesita ser comprobada a escala de cuenca, igual que su impacto en el rendimiento hídrico.

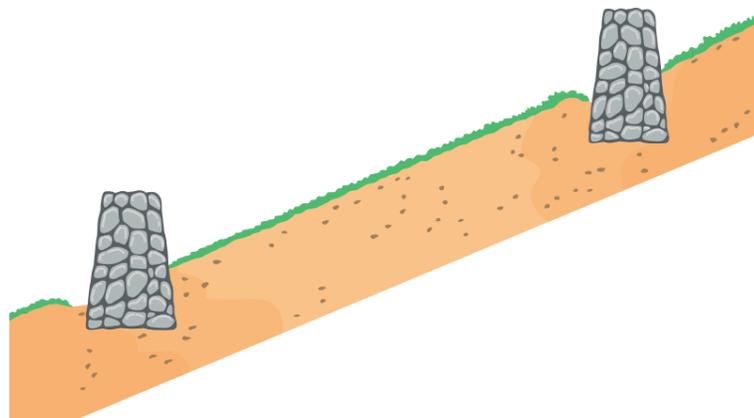
Las terrazas de formación lenta son una serie sucesiva de plataformas (bancos o terraplenes) dispuestas a manera de escaleras en las laderas (Figura 22). Son estructuras formadas por taludes a manera de gradas o bancos, debido a la presencia de barreras de piedras o barreras de tierra con vegetación (pasto) en la parte baja de la parcela. Debido a la erosión por labranza en la parte alta de la parcela, el material se mueve y se va acumulando lentamente en la parte baja.

Las terrazas de formación lenta constituyen uno de los medios mecánicos más antiguos para la protección contra la erosión de suelos. Se forman progresivamente por efecto del arrastre y la acumulación de sedimentos en las barreras construidas de piedra, tierra, champas, vegetación o una combinación de ellas, que se ubican transversalmente a la pendiente máxima del terreno (González, 2015). Su construcción implica un proceso de varias etapas a partir de levantar la altura del muro. Se estima que la construcción concluye cuando la pendiente de la plataforma es menor al 12 %. La distancia entre las terrazas varía de acuerdo con el grado de la pendiente, el tipo de suelo, la cantidad de precipitación y la clase de cultivo a sembrar. Para una mayor efectividad mientras se va formando la terraza, esta práctica debe ser complementada con medidas agronómicas y vegetativas.

Se recomienda el uso de esta medida en terrenos con pendientes elevadas y en aquellos amenazados por cárcavas. El efecto de las terrazas sobre el control de la erosión hídrica

es particularmente importante en zonas semiáridas, donde los suelos suelen ser poco profundos (< 50 cm); a diferencia de zonas más húmedas, donde la profundidad de los suelos puede exceder los 2 m.

Figura 22. Terrazas de formación lenta: vista de perfil



Fuente: Forest Trends.

En la Figura 22 se observa la vista lateral de terrazas de formación lenta de una altura máxima de 1,50 m, que aparecen como franjas secuenciales que dividen la ladera en secciones perpendiculares a la pendiente. Sus límites superiores e inferiores se orientan por las curvas de nivel y están protegidos por muros de piedra (pircas) o bordos de tierra.

Figura 23. Terrazas



Fuente: Molina et al. (2020)

Funciones

- Reducir la erosión hídrica en los suelos de ladera; es decir, incrementar la infiltración del agua procedente de las lluvias y disminuir la velocidad de escorrentía.
- Reducir la pendiente media de la ladera.
- Estimular la infiltración del agua que discurre en la superficie.
- Contribuir a un mejor control de los procesos de erosión, pudiendo reducir hasta en un 90 % la pérdida de suelos.

Ventajas

- Control de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo.
- Retención de la humedad.
- Contribución al incremento de la productividad de los cultivos.
- Aprovechamiento de pasto y/o frutales.
- Requerimiento de menor cantidad de mano de obra en comparación con las terrazas de banco.
- Formación natural de la terraza en el tiempo.

- Abastecimiento de materia orgánica por parte de las especies arbóreas y arbustivas.
- Contribución a la creación de microclimas por efecto de las especies agroforestales.
- Aumento de la infiltración de agua de las lluvias.
- Disminución de la pendiente, lo que facilita la labranza y reduce la velocidad de escorrentía.

Desventajas

- En las terrazas de tierra, la estabilización del muro es difícil si no se coloca oportunamente el complemento vegetal (pastos y/o arbustos).
- La construcción requiere de un trabajo por etapas y de un mantenimiento permanente.

3.2.2. Diseño de terrazas de formación lenta

Las terrazas de formación lenta pueden construirse con muros de piedra, bordos de tierra o bloques de costra calcárea. En el diseño es necesario tener en cuenta ciertos criterios, como el ancho de la terraza y la altura y el tipo del muro (Tabla 9).

Tabla 9. Terrazas de formación lenta: altura según pendiente y altura de muros

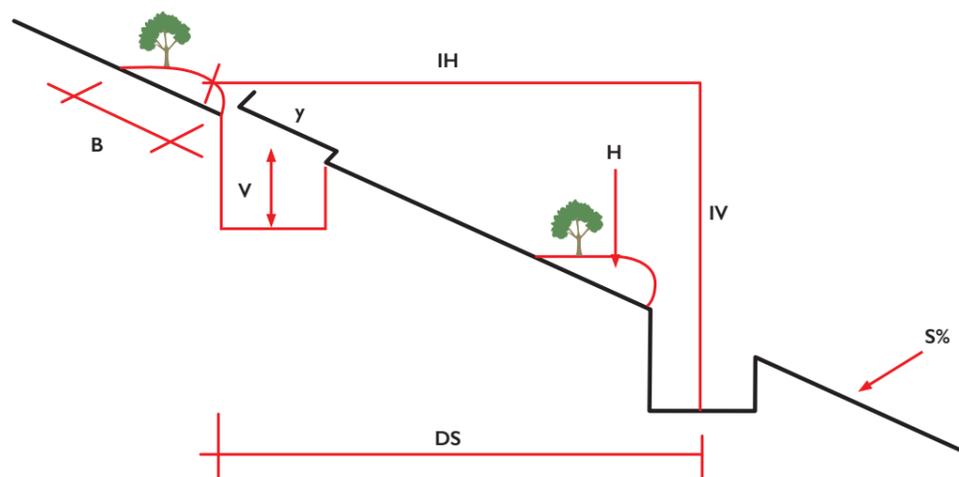
Pendiente del terreno (%)	Distancia entre muros (m)	Altura del muro o talud (m)
10	9,3	0,99
15	7,3	1,10
20	6,3	1,26
25	5,7	1,43
30	5,3	1,60
35	5,0	1,77

Fuente: Programa de Desarrollo Rural Sostenible de Cajamarca (2005)

El ancho de la terraza lo da la distancia entre los muros, se recomienda que tenga el mayor ancho posible para facilitar el uso de la yunta y las labores de cultivo. El ancho de la terraza depende de la pendiente del terreno y

de la profundidad del suelo. A menor pendiente y mayor profundidad, el ancho es mayor. El diseño debe partir de la inclusión de los elementos de la terraza de formación lenta (Figura 24).

Figura 24. Terrazas de formación lenta: principales elementos



Fuente: Programa de Desarrollo Rural Sostenible de Cajamarca (2005)
 Nota: intervalo vertical (IV), intervalo horizontal (IH), distancia superficial (DS), profundidad de corte (x), longitud de corte (y), altura del borde (H) y base del borde (B).

Al tanto de todos estos elementos, se debe definir el ancho de las terrazas y la distancia mínima entre ellas. La fórmula para calcular el ancho de la terraza es:

$$D = \frac{100 \times h}{S_0 - S_f}$$

Donde:
D = distancia entre terrazas
h = altura del muro
S₀ = pendiente inicial
S_f = pendiente final
 Luego, interviene la tabla de distancias máximas, que es una tabla guía para determinar la distancia máxima entre los muros de las terrazas, en función de la pendiente del terreno y la altura del muro o talud.

La Tabla 10 detalla la distancia entre muros de 0,60 a 2,00 m de alto.

Tabla 10. Terrazas de formación lenta: distancia máxima entre muros en función de la pendiente y la altura del talud

Pendiente (%)	Altura del muro (m)			
	2,00	1,50	1,00	0,60
10	20	14	9,0	5,0
15	13	10	6,0	3,5
20	10	7	5,0	2,5
25	8	6	4,0	2,0
30	7	5	3,0	2,0
35			3,0	1,5
40			2,5	1,5
45			2,0	1,0
50			2,0	1,0

Fuente: Programa de Desarrollo Rural Sostenible de Cajamarca (2005)

3.2.3. Consideraciones para la construcción de terrazas

Proceso de construcción

De acuerdo con Claros et al. (2010), los pasos para la construcción de terrazas son:

Planificación y concertación: el primer paso para construir las terrazas en terrenos con pendiente es realizar una adecuada planificación y concertación con los beneficiarios directos.

Trazado y replanteo: luego se procede con el trazado del terreno con el nivel en A para el trazo y replanteo del terreno, para obtener solo un nivel.

Excavación: se realiza una excavación del terreno para dar

mayor firmeza a los muros de las terrazas. Se debe considerar colocar las piedras más grandes en la parte inferior para garantizar la estabilidad del talud.

Construcción de muros de contención: para evitar el deslizamiento del terreno se deben construir muros de contención que pueden ser de piedras o palos de madera, entre otros (de acuerdo con el material disponible en la zona).

Existen dos tipos de terrazas:

Terrazas simples: para la su construcción se excava una zanja de 0,2 m para el cimiento. Luego se realiza el apilamiento de una sola fila de piedra, generalmente de tamaño grande para

que exista un buen soporte de la tierra, y se rellena el muro con piedras de tamaño mediano y grava.

Terrazas dobles: son estructuras construidas con dos filas de piedra en el muro. Se recomienda construir la primera fila y el cimiento con piedras grandes, en tanto que la segunda fila puede realizarse con piedras medianas. Los espacios que quedan entre las piedras se deben rellenar con piedras pequeñas, a manera de cuña, para darle estabilidad de la terraza. Además, se debe rellenar con grava para evitar que los ratones hagan sus madrigueras.

También es importante tener en cuenta la relación inversa entre la pendiente del terreno y la distancia entre bordos o pircas:

- En el caso de las terrazas de formación lenta de tierra, la construcción se inicia con la remoción de una franja de tierra de 0,60 m de ancho y 0,80 m de profundidad. Sobre la curva de nivel se forma el camellón de la terraza con el suelo removido. Se recomienda apisonar la tierra sobre el camellón para darle mayor consistencia y resistencia ante el agua de escorrentía y evitar desbordes. Al finalizar la construcción, en la parte inferior del muro queda una zanja de infiltración para almacenar agua de lluvia.
- Cuando se utiliza champa, es necesario construir un cimiento con una base mínima de 50 cm. El camellón de tierra debe levantarse con la altura que permita la masa de suelo excavada, un máximo de 1,50 m. Por su parte, los taludes tienen un diseño de 1:1. Si el camellón es de tierra, debe complementarse con una barrera viva de protección, ya sea de arbustos, frutales o una combinación de estos con pastos, de modo que permita su estabilización. La plantación se realiza en la parte superior del muro y las especies se seleccionan de acuerdo con la zona agroecológica. Las terrazas construidas con muros de tierra necesitan mantenimiento anual, hasta lograr su completa estabilización y que cumplan con su función de retener el agua y los sedimentos.
- En el caso de utilizar muros de piedra, las dimensiones son: 0,80 m en la base, 1,70 de altura (0,5 m de cimentación y 1,20 m de altura efectiva) y 0,50 m para el ancho de corona. Como siempre, las piedras más grandes van en la base del muro.

Como su nombre lo indica, las terrazas de formación lenta se van formando paulatinamente. Esto implica que al final de cada campaña se debe emprender la siguiente etapa, sea acumulando la piedra que sale del terreno o colocando una nueva capa de tierra hasta alcanzar la altura deseada.

3.2.4. Ejemplo aplicativo

El caso es el diseño de una terraza de formación lenta en la comunidad de Laraos, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, en un ecosistema de pajonal de puna húmeda.

Condiciones básicas

El ejemplo considera la excavación manual del terreno sobre el espacio previamente trazado según planos y las curvas de nivel, de tal forma que se excave el menor material posible. El material excavado se traslada como relleno para formar las terrazas, que se mantienen por medio de la colocación de piedra acomodada. Todo el trabajo de excavación, relleno, compactado, pircado y eliminación del desmonte es actividad manual.

Una lectura adecuada de los planos definitivos del proyecto permite trasladar la información de forma acotada hacia una planilla de metrados, teniendo en cuenta que parte de la información a considerar también se encuentra en el plano clave. Como ya se indicó anteriormente, con la planilla de metrados se puede trabajar los costos unitarios, verificando que los rendimientos sean los adecuados a cada partida y teniendo en cuenta las condiciones particulares de cada proyecto.

Planilla de metrados

Los metrados se desarrollan de forma ordenada y secuencial según la ejecución de las actividades, teniendo en cuenta las etapas de obras preliminares y obras provisionales; las terrazas de formación lenta son un trabajo eminentemente manual. La formación de las terrazas de formación lenta tiene dos (2) sub etapas:

Movimiento de tierras

Tiene como objetivo lograr una superficie plana mediante la excavación y la colocación de la tierra extraída en la zona

a rellenar para reducir al mínimo el transporte de material; luego se recolectan piedras cercanas o se traen desde una cantera para construir el pircado según indican los planos.

Revegetación

La revegetación de las terrazas ya formadas puede hacerse por siembra al voleo o por esquejes.



Foto: Douglas Walsh

Tabla 11. Terrazas de formación lenta: planilla de metrados en el ejemplo

Ítem	Partida	Unidad	Dimensiones (m)				Parcial	Total
			Número de veces	Cantidad	Largo	Ancho		
01.00	Obras preliminares							
01.01	Movilización y desmovilización	Global	Número de veces	Cantidad	Largo	Ancho	Altura	
				1,00				1,00
02.00	Obras provisionales							
02.01	Campamento provisional de obra y almacenes	m ²	Número de veces	Cantidad	Largo	Ancho	Altura	
				200,00				200,00
02.02	Cartel de obra 4,80x3,60 m (gigantografía)	Unidad	Número de veces	Cantidad	Largo	Ancho	Altura	
				1,00				1,00
03.00	Terrazas de formación lenta							
03.01	Formación de terrazas							
03.01.01	Excavación manual para formación de terrazas en material suelto	m ³	Área	Área corte	Largo	Cantidad		
			100,00	1,15	100,00	12,00		138 000,00
03.01.02	Relleno compactado con material propio	m ³	Área	Área de relleno	Largo	Cantidad	Altura	
			100,00	1,10	100,00	12,00		132 000,00
03.01.03	Pircado con piedra, diámetro máximo 12" para formación de terrazas	m ³	Área	Cantidad	Largo	Ancho	Altura	
			100,00	12,00	100,00	0,40	0,60	28 800,00
03.01.04	Eliminación manual de desmonte a una distancia promedio de 0,50 km	m ³	Volumen	Factor	Largo	Ancho	Altura	
	Excavación		138 000,00					
	Relleno		132 000,00					
			6000,00	1,25				7 500,00
03.02	Revegetación por siembra al voleo							
03.02.01	Volteo y gradeo manual de terreno Área para revegetar	ha	n.º de veces	Área	Largo	Ancho	Altura	
				25,00				25,00
03.02.02	Siembra al voleo con chillihua Área para revegetar	ha	n.º de veces	Área	Largo	Ancho	Altura	
				25,00				25,00
03.02.03	Riego por gravedad con cisterna Área para revegetar	ha	n.º de veces	Área	Largo	Ancho	Altura	
			3,00	25,00				75,00
03.03	Revegetación por esquejes							
03.03.01	Apertura de hoyos de 0,30x0,30x0,30 m para esquejes	Unidad	Área	Distancia	Largo	Ancho	Altura	
			25,00	2,00	500,00			6 250,00
03.03.02	Selección y corte de esquejes para revegetación	Unidad	Cantidad	Factor	Largo	Ancho	Altura	
			6 875,00	1,10				7 562,00
03.03.03	Transporte de esquejes	Unidad	Cantidad	Factor	Largo	Ancho	Altura	
			6 875,00	1,10				7 562,00
03.03.04	Tratamiento con hormona enraizadora	Unidad	Cantidad	Factor	Largo	Ancho	Altura	
			6 875,00	1,10				7 562,00
03.03.05	Riego manual en cama de almácigo/ repique	m ²	Cantidad	m ² /plantones	Largo	Ancho	Altura	
			6 875,00	64,00				107,42
03.03.06	Aplicación y siembra de esquejes	Unidad	Cantidad	Factor	Largo	Ancho	Altura	
			6 875,00	1,10				7 562,00
03.03.07	Riego manual con balde	Unidad	Cantidad	Nro. veces	Largo	Ancho	Altura	
			6 875,00	3,00				20 625,00

Fuente: Forest Trends

Presupuesto de obra

Como se ha explicado en el caso de las zanjas de infiltración y de los diques de retención, el presupuesto del proyecto de las terrazas de formación lenta está compuesto por los costos directos y los costos indirectos (Tabla 12).

Tabla 12. Terrazas de formación lenta: presupuesto de obra en el ejemplo

Ítem	Descripción	Unidad	Metrado	Precio (S/)	Parcial (S/)
01.00	Obras preliminares				114 500,18
01.01	Movilización y desmovilización para terrazas	Global	1,00	60 119,19	60 119,19
01.05	Limpieza manual del terreno	ha	25,00	285,04	7 126,00
02.00	Obras provisionales				82 287,55
02.01	Campamento provisional de obra y almacenes	m	200,00	389,21	77 842,00
02.02	Cartel de obra 4,80x3,60 m (gigantografía)	Unidad	1,00	4 445,55	4 445,55
03.00	Terrazas de formación lenta				2 500 048,68
03.01	Formación de las terrazas				2 333 052,00
03.01.01	Excavación en material suelto con equipo mediano	m	35 000,00	10,50	367 500,00
03.01.02	Relleno compactado con material propio	m	30 800,00	40,54	1 248 632,00
03.01.03	Pircado con piedra, diámetro promedio de 12" para terrazas	m	4 000,00	131,35	525 400,00
03.01.04	Eliminación manual de desmonte a una distancia promedio de 0,5 km	m	5 250,00	36,48	191 520,00
03.02	Revegetación por siembra al voleo				112 880,00
03.02.01	Volteo y gradeo manual del terreno	ha	25,00	890,75	22 268,75
03.02.02	Siembra al voleo	ha	25,00	294,75	7 368,75
03.02.03	Riego por inundación con cisterna	ha	75,00	1 109,90	83 242,50
03.03	Revegetación por esquejes				54 116,68
03.03.01	Apertura de hoyos de 0,30x0,30x0,30 m para esquejes	Unidad	6 250,00	1,73	10 812,50
03.03.02	Selección y corte de esquejes para revegetación	Unidad	7 562,00	0,96	7 259,52
03.03.03	Transporte de esquejes hasta 15 km	Unidad	7 562,00	0,16	1 209,92
03.03.04	Aplicación y siembra de esquejes	Unidad	7 562,00	1,77	13 384,74
03.03.05	Riego periódico con mochila	Unidad	20 625,00	1,04	21 450,00
Costos directos		2 696 836,41			
Gastos generales		337 104,55			

Fuente: Forest Trends

Especificaciones técnicas

En el caso del ejemplo, se presentan las especificaciones técnicas para las principales partidas para la construcción de las terrazas de formación lenta: la excavación manual para formación de las terrazas en material suelto, el relleno compactado con material propio y el pircado con piedra para la formación de las terrazas.

a. Excavación manual para formación de terrazas en material suelto

Antes de realizar la excavación manual para la formación de la terraza se debe observar la topografía del terreno, luego realizar el trazado en dirección de la curva de nivel e iniciar la excavación con un ancho de 0,40 m y una profundidad de 0,20 a 0,40 m. Después, el material retirado de la excavación se coloca en la parte superior para armar el camellón (0,30 a 0,40 m). Los materiales necesarios para esta labor son pico, pala y carretilla.

Para trazar las curvas de nivel primero se debe realizar la verificación de la pendiente del terreno con un palo de un metro de largo que se coloca a nivel en el suelo para medir el desnivel.

A continuación, toca medir la profundidad. Para cumplir esta labor se realiza una pequeña calicata que permite obtener los parámetros de la distancia entre líneas a nivel. Después, con el nivel en A calibrado, se trazan las líneas a nivel y se marcan de manera visible. Tanto el trazado de las curvas a nivel como la construcción de las terrazas se inician por la parte más alta y de mayor pendiente. Para el replanteo de la distancia entre curvas base se deben tener en consideración las especificaciones técnicas, las formas, las herramientas de labranza y el compromiso y las posibilidades de las familias involucradas.

En zonas húmedas y/o de alta precipitación, el trazado y la construcción de las terrazas deben realizarse con un desnivel de 1 % hacia el lugar de evacuación del exceso de humedad. Se recomienda que la distancia entre los muros no sea menor a 5 m, pues la mayoría de las familias utiliza la tracción animal (yunta) para la labranza y una distancia menor dificultaría esta actividad.

b. Relleno compactado con material propio

Esta labor considera la utilización de material propio para la formación de la plataforma del relleno en los lugares indicados en los planos o donde lo apruebe la supervisión. Contempla el suministro de mano de obra, materiales y equipo y la ejecución de todas las operaciones necesarias para formar los rellenos con material propio. El costo incluye los procesos de zarandeo, extracción, acarreo del material del sitio, descarga, extendido, homogeneización, riego, nivelación y compactación.

El relleno con material propio se realiza una vez asentado el pircado con piedra para formar las terrazas. La superficie de fundación debe estar regularizada, limpia, tratada y compactada según especificaciones, para colocar los rellenos en capas horizontales de 30 cm de espesor o según lo indiquen los planes y la supervisión. La unidad de medida es el metro cúbico (m³) y el pago del trabajo es por metro cúbico de relleno compactado con material propio y ejecutado de acuerdo con los planos y las especificaciones técnicas, y previa aprobación de la supervisión.

c. Pircado con piedra, diámetro promedio 12 pulgadas para formación de terrazas

Consiste en la colocación de piedras sobre la excavación del cemento hasta lograr un muro de 0,6 a 1,00 m. En el cimientado se colocan las piedras de mayor tamaño para que la estructura sea sólida, luego se apilan las piedras en forma inclinada con el 10 % hacia arriba para obtener mayor estabilidad. Así se consigue un muro sólido y estable. Las dimensiones de los muros de piedra son: 0,60 m en la base, 1,20 m de altura (0,40 m de cimentación y 0,80 m de altura efectiva) y 0,50 m de ancho de corona. Es necesario tener en cuenta que en la labranza del terreno debe dejarse una franja denominada por algunos agricultores como pestaña (borde de seguridad de 30 cm) para no debilitar el muro.

3.3. Andenes

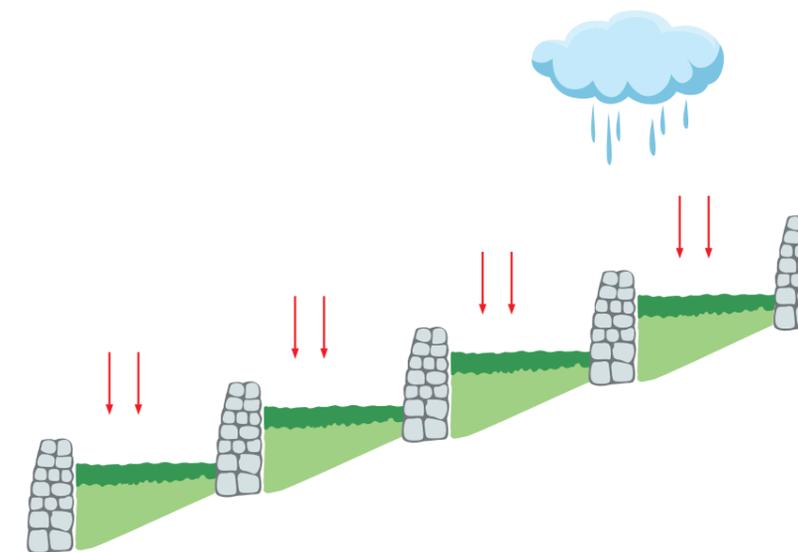
3.3.1. Definición

Los andenes se pueden definir como la modificación que realiza el ser humano a la topografía del suelo que presenta pendientes, con el fin de aprovechar los recursos de agua,

clima y suelo (Figura 25). Se construyen con el propósito de modificar la pendiente del terreno para favorecer la absor-

ción del agua e incrementar la producción, permitiendo la sostenibilidad del uso del suelo a través del tiempo.

Figura 25. Andén



Fuente: Forest Trends.

Se caracterizan por presentar muros de piedra y estar articulados entre sí a través de un sistema de canales. Según

Kendall y Rodríguez (2009), los andenes se pueden clasificar de la siguiente manera:

Tabla 13. Tipología de andenes

Tipo	Perfil de la plataforma	Muro de contención	Sistema de riego	Factores distintivos
Andén tipo I	Horizontal	Inclinado	Sí	Rellenos estratigráficos de piedras y suelos
Andén tipo II	Horizontal	Vertical	Sí y no	Rellenos de algunas piedras detrás de la cimentación o base
Andén tipo III	Inclinado	Rústico	Generalmente no	Pocas piedras de rellenos detrás de un muro de contención

Fuente: Kendall y Rodríguez (2009)

Figura 26. Tipología I, Cusco



Fuente: Willems et al. (2021).

La mayoría de los andenes se presentan en las altitudes de 3000 a 4000 m s. n. m. en las cuatro (4) regiones. De acuerdo con el estudio del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2021), la distribución de los andenes en el Perú es la siguiente:

Tabla 14. Distribución de andenes (ha) según rangos de altitud (m s. n. m.) en regiones Lote I

Región	<1000	1000-2000	2001-3000	3001-4000	>4000	Total
Lima	11,67	888,79	13 236,93	40 988,86	868,64	55 994,89
Ayacucho		363,14	9 575,86	36 437,72	2,50	46 379,22
Apurímac			3 883,63	39 855,61	388,26	44 127,50
Huancavelica		365,74	3 376,82	17 930,90	205,53	21 878,99
Total	11,67	1 617,67	30 073,24	135 213,09	1 464,93	168 380,60
Porcentaje	0 %	1 %	18 %	80 %	1 %	100 %

Fuente: Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural - Agrorural (2021)

3.3.2. Diseño de andenes

Criterios para el diseño de andenes

a. Pendiente

Es un factor decisivo para realizar la construcción de andenes. En rangos de pendiente comprendidos entre 25 y 50 %, los suelos presentan riesgo por erosión de suelos y pérdidas de agua de riego, así como en épocas de precipi-

tación pluvial se incrementan los efectos por erosión por lavado de suelo.

En el Perú, los rangos utilizados para las pendientes los indica el Anexo IV de la *Guía de clasificación de los parámetros edáficos* del Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, aprobado por Decreto Supremo n.º 017-2009 del Minagri.

Tabla 15. Clasificación de pendiente

Rango	Clasificación
0-4 %	Nula o casi a nivel
4-8 %	Ligeramente inclinada
8-15 %	Ligeramente inclinada a moderadamente inclinada
15-25 %	Moderadamente inclinada
25-50 %	Empinada
50-75 %	Muy empinada
Más de 75 %	Extremadamente empinada

Fuente: Minagri (2009)

En los terrenos con pendientes superiores al 50 % se dificulta la construcción de andenerías, pues sus suelos tienen poca profundidad y menos valor productivo. Por lo tanto, no es rentable construir andenes en esas zonas.

contrario, si hay presencia frecuente de lluvias de moderada intensidad y el suelo es arcilloso, se debe construir un canal con pendiente longitudinal en el borde interno de la terraza para facilitar el drenaje del exceso de agua.

b. Profundidad del suelo

Determina la profundidad del corte y el ancho de la plataforma. A menor profundidad del suelo, menor es el ancho de la plataforma, lo cual disminuye el uso de la terraza. En cambio, una mayor profundidad del suelo permite una plataforma más ancha.

Diseño

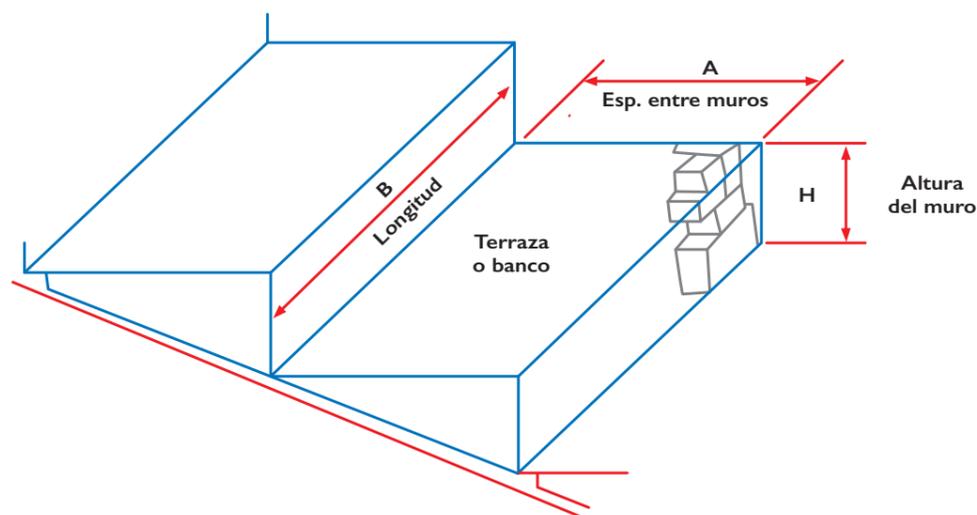
Un sistema de andenería queda definido por los siguientes parámetros (Figura 27).

- Pendientes transversal y longitudinal de la terraza
- Espaciamiento entre muros (A)
- Dimensiones de la terraza: largo (B) y ancho (D) del banco
- Altura del muro (H)
- Talud del muro de contención (Z)
- Dimensiones y pendientes de acequias y partidores
- Ancho y pendiente de los senderos

c. Textura del suelo

Los suelos de textura franca son fácilmente adaptables a los andenes debido a su buena capacidad de infiltración. Por el

Figura 27. Sistema de andenería



Fuente: Forest Trends.

Parámetros principales

La pendiente longitudinal y la transversal del banco o terraza son los parámetros principales porque definen la velocidad del flujo del agua. Para que no sea erosivo, tales pendientes deben estar entre 0,0 y 0,3 %.

a. Espaciamiento entre muros

Es la distancia horizontal entre los muros longitudinales de dos andenes consecutivos (Figura 28). Su dimensión está en razón directa a la altura del muro y en razón inversa a la inclinación original de la ladera, según la relación:

$$A = \frac{H}{\text{tg}\theta}$$

Cuando el ángulo de inclinación de la ladera (θ) es mínimo (3° a 6°), el espaciamiento entre muros (A) es máximo. En ese caso funcionan como limitantes la capacidad humana y la de la herramienta usada para nivelar terrazas (15 a 30 m). Cuando θ crece, el distanciamiento entre muros es de-

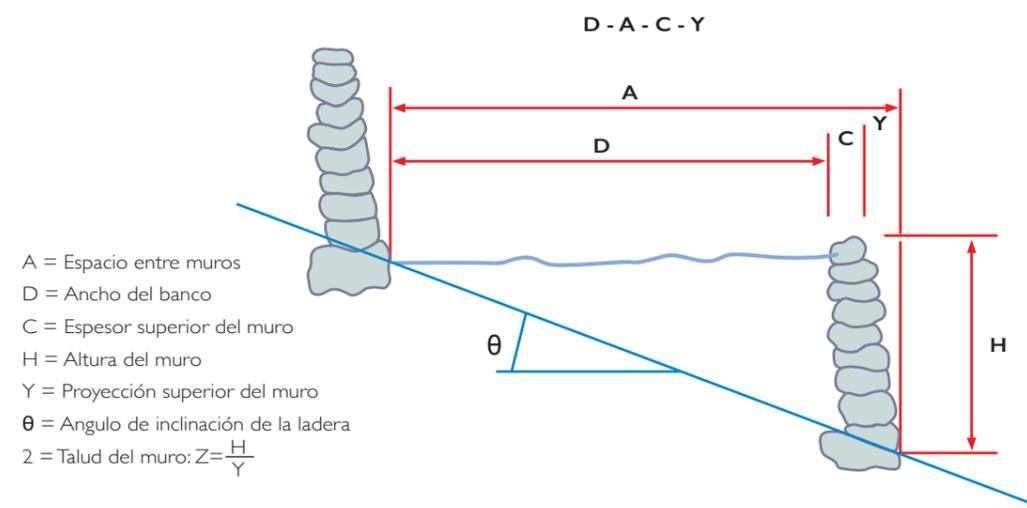
finido por la altura del muro (H), que en promedio tiene un límite comprendido entre 1,5 y 2,0 m. Excepcionalmente, la distancia entre muros llega a 3,0 m cuando en la ladera original, antes de la construcción de los andenes, la capa de tierra sobre la roca fue delgada, lo que obliga a disminuir la altura del muro y, consecuentemente, el espaciamiento. Paralelamente, se observa que casi siempre el muro está basado en la roca subyacente.

b. Dimensiones de la terraza

La longitud (B) es limitada por la presencia de obstáculos, como cauces naturales, cambios bruscos en la orientación de la ladera, afloramientos de roca o excesiva pedregosidad. Las acequias y caminos se construyen paralelos a los andenes o transversales a ellos, por lo cual corren a pendiente mínima o, en caso contrario, a máxima pendiente. Con frecuencia, los partidores están en tramos a 0,0 % de pendiente.

El ancho del andén (D) es la dimensión transversal de la terraza, igual al espaciamiento entre muros (A) menos el espesor del muro (C) y menos la proyección horizontal del talud del muro ($y = Z \times H$) (Figura 28).

Figura 28. Ancho del andén



- A = Espacio entre muros
- D = Ancho del banco
- C = Espesor superior del muro
- H = Altura del muro
- Y = Proyección superior del muro
- θ = Ángulo de inclinación de la ladera
- Z = Talud del muro: $Z = \frac{H}{Y}$

Fuente: Forest Trends.

c. Altura del muro

La altura que el muro puede alcanzar (H) tiene un límite equivalente a la estatura humana. Puede alzarse desde la altura de la rodilla (0,5 m) hasta 1,5 o 2,0 m y, ocasionalmente, hasta los 3,0 m, como en Pisac. Es entonces un limitante la fuerza disponible para alzar piedras: levanta fácilmente 30 kg, puede desplazar piedras grandes de hasta 70 kg de peso haciéndolas rodar a mano y el triple si usa una palanca.

Otros limitantes son la dimensión y la forma de la piedra. Las piedras grandes de forma regular (roca quebrada) garantizan estabilidad; en cambio, con piedras pequeñas no es posible hacer muros altos, tampoco con piedras redondeadas por la acción aluvial (piedra de río).

d. Talud del muro de contención

Los muros se pircan en seco (sin argamasa de unión) con una inclinación de 0,05:1 a 0,15:1 hacia el interior del banco que sostienen. Esta inclinación favorece la estabilidad de los muros, que también depende de la forma, el tamaño y el peso de cada roca empleada, del material depositado tras el muro y de un drenaje adecuado.

e. Dimensiones y pendientes de acequias y partidores

Depende del caudal de agua disponible para el riego, pero el máximo no supera lo que es capaz de manejar una persona a mano: $\pm 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Los cauces corren paralelos al andén a pendiente mínima (0,0-0,3 %) o a través de estos a pendiente máxima. Los partidores y tomas casi siempre son en tramos a 0,0 % de pendiente.

f. Senderos

Como obra labrada a mano, los senderos deben ser recorridos a pie: los principales (1,5 a 2 m) de a dos o tres personas, y de a uno en la mayoría de los casos (0,6 a 1,0 m). Salvo algunos senderos principales, casi todos van paralelos a las acequias o son la acequia misma.

3.3.3. Consideraciones para la construcción de andenes

Proceso de construcción

Al conocer la pendiente natural de la ladera sobre la cual se quiere construir andenes, se pueden definir el espaciamiento entre muros, el largo del andén, la altura de los muros y otras dimensiones.

En la construcción se pueden seguir los siguientes pasos:

a. Trazo de los muros

Con un nivel de ingeniero y mira, una manguera transparente, un caballete para nivelación o el nivel en A se deben trazar las líneas sobre las que se construirán los muros, espaciándolas sobre la pendiente según el diseño. Se traza ubicando jalones cada 5, 10 o 20 m, dependiendo si el terreno es ondulado o no; con estos se señala una línea curva a pendiente constante, la pendiente de diseño. Se puede también trazar “al ojo” una línea aproximadamente a nivel. Luego, se construye un surco a todo lo largo del trazo y se hace discurrir por ese surco un pequeño flujo de agua (± 1 l/s) para usarlo como indicador de nivel, de uno a otro extremo, y se descuentan los centímetros necesarios para darle la pendiente requerida.

b. Corrección de curvas

Generalmente, el trazo inicial con instrumentos entrega curvas muy sinuosas, que es necesario corregir promediando altos y bajos para obtener curvaturas amplias a radios mayores a 50 m o trazos en línea recta.

c. Apertura de zanjas

Se debe cavar hasta la roca subyacente para cimentar sobre ella el muro de contención, pero si el perfil de tierra es profundo, solo es necesario cavar hasta una profundidad equivalente a un cuarto o un tercio de la altura diseñada para el muro. Al cavar, hay que separar la capa fértil del resto de tierra, así como las piedras pequeñas o grandes.

La pirca se empieza con las piedras más grandes. Si se basan sobre la roca, es necesario cortarla para asentar las piedras en una superficie plana, de modo que el muro quede afirmado contra posibles deslizamientos provocados por el empuje horizontal. Las piedras no empleadas en la pirca, por ser pequeñas o redondas, pueden usarse como relleno en el lado interno del muro en este orden: las grandes debajo, las medianas enseguida y, finalmente, las pequeñas. Luego, se corta cualquier afloramiento rocoso que pueda estar a nivel de la capa de raíces o muy cerca de ella. Después toca rellenar la sub rizosfera con capas de 15 cm, compactando cada una antes de depositar la siguiente. Depositar la capa de raíces sin compactar. Finalmente, hay que nivelar la su-

perficie de la terraza y comprobar que la capa arable sea de 30 cm de espesor, como mínimo. De no ser así, se debe cortar la roca y/o despedrar para que la capa de raíces contenga poco o nada de piedra.

Consideraciones para el mantenimiento de andenes

Se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

a. Prevención de derrumbes

Los derrumbes violentos son originados por la saturación y plastificación del perfil. Es conveniente aplicar durante el riego solo la cantidad de agua necesaria, para evitar los excesos de agua. En caso de presentarse una tormenta, se debe impedir que ingrese agua de escorrentía de la acequia al andén y abrir el boquerón de evacuación de la culata del andén para que drene superficialmente el agua de lluvia acumulada en la terraza. También, conviene mantener limpios de vegetación los muros, no permitir que animal alguno anide entre sus piedras, ni que crezcan árboles en él.

b. Gravedad

Actúa a través de los siguientes elementos:

- Peso del muro, se relaciona directamente con la estabilidad.
- Presión del relleno contra el respaldo del muro. Semejante a la presión hidrostática, crea un empuje horizontal en la parte interior del muro. Se supone que la presión aumenta en función de la profundidad, formando un triángulo de presiones.
- La presión del muro sobre la cimentación, en sentido vertical y en sentido horizontal.
- Las fuerzas hidrostáticas debidas al agua acumuladas tras el muro.

c. Movimientos sísmicos

Dependiendo de su intensidad, hacen vibrar y deslizar una sobre otra cada piedra de la pirca. Un sismo suave puede determinar la caída de muros desestabilizados, que sin el sismo hubiesen demorado en derrumbarse. Durante el periodo lluvioso del año y después de un aguacero, un sismo puede provocar la licuación del perfil de tierra y determinar un derrumbe violento.

d. Clima

El clima ataca al andén con la sucesión de estiajes, lluvias y heladas, con la repetición de cambios de humedad en el relleno. El estío, reseca el suelo, provocando disminución del volumen y rajaduras que pueden profundizar más de 10 cm por debajo de la superficie. Además, el suelo superficial se pulveriza por la acción del viento, del movimiento de las ramas o por las pisadas de animales. La lluvia, el primer aguacero de la estación, cae en suelo seco, disuelve, moja y transporta material fino por todas las fisuras que hizo el estiaje; este lodo funciona como lubricante debajo de la cuña de Rankine, que se describe luego. Las siguientes lluvias rellenan las rajaduras, el perfil termina de mojarse y se expande por el humedecimiento empujando al muro hacia afuera. La fuerza del empuje depende del tipo de arcilla. Si el primer aguacero es intenso y largo, puede provocar un derrumbe violento.

Las heladas pueden provocar que el agua infiltrada en la tierra del andén se congele. Ese hielo luego producirá expansiones y empuje, a modo de cuña, además de mezclarse con el lodo para actuar como lubricante.

De este modo, gradualmente, año tras año se van desequilibrando las piedras del muro. Primero aparece una convexidad creciente y después de un día o varios años el muro se derrumba. Todo depende del tamaño y la forma de las piedras con que se pircó el muro, del relleno colocado detrás y del espesor y tipo de tierra que forma el perfil.

e. Flora

Los árboles que crecen en o sobre el muro, con la base del tronco y con sus raíces en continuo crecimiento, separan las piedras y empujan el muro para afuera. Además, al resistir los embates del viento en direcciones cambiantes trasladan esfuerzos y movimientos al andén y desequilibran el muro que lo sostiene. Las gramíneas como *Pennisetum clandestinum* (kikuyo) tienen rizomas y raíces agresivas, que con la escasez de agua adelgazan y se introducen entre las fisuras y más, luego, al engrosar con el riego, ensanchan su espacio y separan y desplazan las piedras del muro.

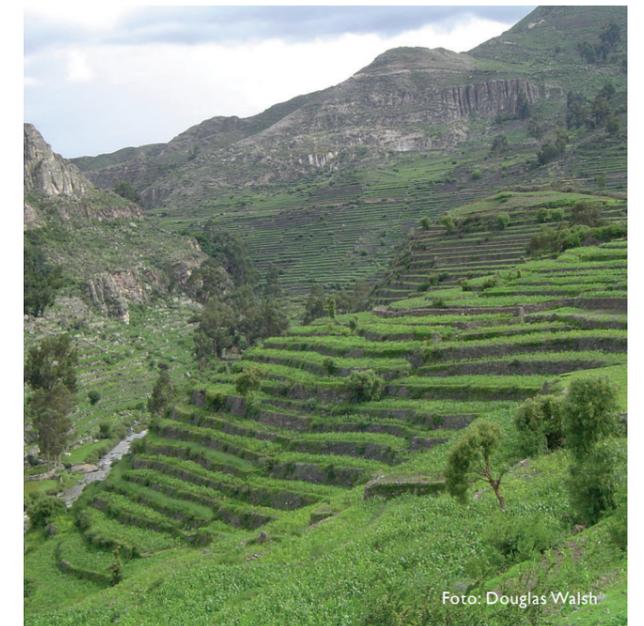
f. Fauna

Diversos animalitos, especialmente bajo la protección de vegetación herbácea y/o arbustiva, pueden construir sus madrigueras en el andén, entre ellos cuyes, ratas, ratones y algunas aves, como la lechuza. También están aquellos animales que escarban galerías en busca de alimento, como los zorrillos.

g. El hombre

Cuando el grupo organizado que hereda las terrazas agrícolas se deteriora social, tecnológica o económicamente, se deterioran también los andenes. Los andenes necesitan uso constante para seguir existiendo como ecosistema y, cuando el grupo los descuida o abandona, la sequedad y la humedad extrema los malogran.

Manejarlos bien implica evitar la saturación profunda del suelo y que el agua escurra por encima del muro, prevenir derrumbes, conservar la nivelación, reconstruir pronto los muros caídos y no dejar de cultivarlos. Es importante adaptar al andén tecnologías y herramientas nuevas en búsqueda de mayor productividad y rentabilidad.



3.3.4. Ejemplo aplicativo

El ejemplo consiste en la construcción de un muro pircado de 208 m, con 3,28 km de andenes Tipo I, 1,79 km de Tipo II y 1,25 km de Tipo III.

Condiciones generales

El caso es el diseño de un andén ubicado en el distrito de Olmos, en la provincia y región de Lambayeque. El diseño propuesto se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 16. Andén: dimensiones en el ejemplo

Parámetros	Dimensiones
Muro pircado	208 m
Andén tipo I	3,28 km
Andén tipo II	1,79 km
Andén tipo III	1,25 km

Fuente: Forest Trends

Metodología utilizada

Para la construcción del andén se utilizó la siguiente metodología:

- Trazado, consiste en realizar el trazado de dos curvas de nivel consecutivas a partir del costado del terreno que tenga la mayor pendiente. Se establece el distanciamiento entre las curvas de nivel en función del ancho promedio que se requiera dar a la terraza y se debe cuidar de no exceder los límites recomendados para la altura del talud.
- Inicio de cimentación.
- Apertura de zanjas para el cimiento en el terreno de contención. Es necesario tener en cuenta el tipo de perfil de la ladera y los volúmenes de tierra que mover.
- Levantamiento de muro y relleno de material filtrante.
- Construcción de la pirca por una esquina del andén. Se colocan las piedras de mayor tamaño en la cimentación, debidamente acomodada, acuñada y alineada. Las piedras deben ir superpuestas y entrecruzadas, pero sin amalgama. Los espacios generados u orificios entre las piedras funcionarán como drenes.
- Retiro de los afloramientos rocosos y los fragmentos; luego, estos se pueden colocar junto con las piedras no utilizadas como relleno permeable. Para ello es necesario compactar el relleno en capas de 0,15 m en el lado interior del muro y mantener una pendiente hacia el interior.
- Relleno del andén compactando por capas de 0,15 m, hasta un espesor no mayor de 0,7 m para evitar el sifonamiento del muro.
- Nivelación de la terraza con un tablón de madera. Debe darle una pendiente de hasta 0,3 % y una pendiente transversal de hasta 0,1 % hacia afuera para que discurra el agua de riego. Luego se trazan los surcos transversales o diagonales.
- Construcción de las acequias de riego empedradas con sus respectivos partidores y acondicionamiento de los caminos de acceso.
- Transporte desde el lugar de compra hasta el almacén de obra. El costo final del insumo en obra depende del peso, la distancia a recorrer, los tipos de carretera y su altitud promedio.

Planilla de metrados

Los metrados se desarrollan de forma ordenada y secuencial según la ejecución de las actividades para los distintos tipos de andenes (I, II y III), teniendo en cuenta etapas como obras preliminares y obras provisionales. En las obras preliminares se considera la movilización y desmovilización, la construcción y el mejoramiento de trochas de acceso a la zona de plantación, el trazo y el replanteo de la zona de trabajo, y la limpieza y desbroce manual del terreno a trabajar. Las obras provisionales consideran la construcción del campamento provisional y la instalación de un cartel de obra.

La etapa de construcción de andenes Tipo I, Tipo II y Tipo III, contiene sub etapas de movimiento de tierras, la construcción de un muro pircado y la revegetación. El movimiento

de tierra se realiza en material suelto, roca suelta y roca fija, se contempla un relleno compactado con material propio y de préstamo, la colocación de una capa de suelo con tierra de cultivo y la eliminación del material excedente. Los andenes se construyen con un pircado de piedras de diferentes diámetros, desde 12 hasta 30 pulgadas, por lo que se requiere equipo especial para el traslado de las más grandes. Al culminar el pircado se debe colocar una capa de 10 cm de tierra de cultivo, el metrado de las partidas de pircado se hace por metros cúbicos y según los diagramas indicados en los planos. Finalmente, se contempla la etapa de revegetación mediante la siembra al voleo de especies vegetales. Las dimensiones de las obras a realizar se expresan en metros cuadrados (m²), metros cúbicos (m³) y kilómetros (km).

Tabla 17. Andenes: planilla de metrados

Infraestructura Natural - Construcción de andenes					
Planilla de metrados					
Ítem	Descripción	Und.	Parcial	Cantidad	Final
01.00.00	Obras Preliminares				
01.01.00	Movilización y Desmovilización	glb	1,00	1,00	1,00
01.02.00	Trazo, nivelación y replanteo por hectárea	ha	163,00	1,00	163,00
01.03.00	Limpieza y desbroce de terreno	ha	163,00	1,00	163,00
01.04.00	Demolición manual de estructuras	m ³	359,00	1,00	359,00
01.05.00	Eliminación Manual de Desmonte dist. Prom 0.5 Km	m ³	448,75	1,00	448,75
02.00.00	Obras Provisionales				
02.01.00	Campamento provisional de obra y almacenes	m ²	200,0	1,00	200,00
02.02.00	Cartel de obra 4.80 x 3.60 m con gigantografía	und	1,00	1,00	1,00
03.00.00	Andenes Tipo I				
03.01.00	Movimiento de tierras				
03.01.01	Excavación manual en material suelto	m ³	6 798,3	1,00	6 798,3
03.01.02	Excavación en roca suelta	m ²	1 169,71	1,00	1 169,71
03.01.03	Excavación en roca fija	m ³	225,06	1,00	225,06

Infraestructura Natural - Construcción de andenes					
Planilla de metrados					
Ítem	Descripción	Und.	Parcial	Cantidad	Final
03.01.04	Relleno compactado con material propio	m ³	6 798,73	1,00	6 798,73
03.01.05	Relleno compactado con material de préstamo	m ³	13 94,77	1,00	13 94,77
03.01.06	Nivelación, perfilado y compactación manual	m ²	12 889,32	1,00	12 889,32
03.01.07	Eliminación Manual de Desmonte dist. Prom 0.5 Km	m ³	1 743,46	1,00	1 743,46
03.02.00	Muro Pircado				
03.02.01	Pircado con Piedra, día prom. 12" en muro	m	472,6	1,00	472,6
03.02.02	Pircado con Piedra, día prom. 16" en muro	m	559,95	1,00	559,95
03.02.03	Pircado con Piedra, día prom. 20" en muro	m	478,55	1,00	478,55
03.02.04	Pircado con Piedra, día prom. 25" en muro	m	372,60	1,00	372,60
03.02.05	Pircado con Piedra, día prom. 30" en cimient	m	340,60	1,00	340,60
03.02.06	Transporte, colocación y extendido de tierra de cultivo	m	1 288,93	1,00	1 288,93
03.03.00	Revegetación por siembra y al voleo				
03.03.01	Volteo y gradeo manual del terreno	ha	105,95	1,00	105,95
03.03.02	Siembra al voleo	ha	105,95	1,00	105,95
03.03.03	Riego por inundación	ha	317,85	1,00	317,85
04.00.00	Andenes Tipo II				
04.01.00	Movimiento de tierras				
04.01.01	Excavación manual en material suelto	m ³	3 773,28	1,00	3 773,28
04.01.02	Excavación en roca suelta	m ²	612,36	1,00	612,36
04.01.03	Excavación en roca fija	m ³	122,20	1,00	122,20
04.01.04	Relleno compactado con material propio	m	3 773,28	1,00	3 773,28
04.01.05	Relleno compactado con material de préstamo	m ³	734,56	1,00	734,56
04.01.06	Nivelación, perfilado y compactación manual	m ²	7 141,94	1,00	7 141,94
04.01.07	Eliminación Manual de Desmonte dist. Prom 0.5 Km	m	918,2	1,00	918,2

Infraestructura Natural - Construcción de andenes					
Planilla de metrados					
Ítem	Descripción	Und.	Parcial	Cantidad	Final
04.02.00	Muro Pircado				
04.02.01	Pircado con Piedra, día prom. 12" en muro	m	302,50	1,00	302,50
04.02.02	Pircado con Piedra, día prom. 16" en muro	m	292,90	1,00	292,90
04.02.03	Pircado con Piedra, día prom. 20" en muro	m	269,00	1,00	269,00
04.02.04	Pircado con Piedra, día prom. 25" en muro	m	227,75	1,00	227,75
04.02.05	Pircado con Piedra, día prom. 30" en cimient	m	161,75	1,00	161,75
04.02.06	Transporte, colocación y extendido de tierra de cultivo	m	714,19	1,00	714,19
04.03.00	Revegetación por siembra al voleo				
04.03.01	Volteo y gradeo manual del terreno	ha	105,95	1,00	105,95
04.03.02	Siembra al voleo	ha	105,95	1,00	105,95
04.03.03	Riego por inundación	ha	317,85	1,00	317,85
05.00.00	Andenes Tipo III				
05.01.00	Movimiento de tierras				
05.01.01	Excavación manual en material suelto	m ³	2 492,23	1,00	2 492,23
05.01.02	Excavación en roca suelta	m ²	412,69	1,00	412,69
05.01.03	Excavación en roca fija	m ³	85,54	1,00	85,54
05.01.04	Relleno compactado con material propio	m	2 492,23	1,00	2 492,23
05.01.05	Relleno compactado con material de préstamo	m ³	498,23	1,00	498,23
05.01.06	Nivelación, perfilado y compactación manual	m ²	4 890,97	1,00	4 890,97
05.01.07	Eliminación Manual de Desmonte dist. Prom 0.5 Km	m	622,79	1,00	622,79
05.02.00	Muro Pircado				
05.02.01	Pircado con Piedra, día prom. 12" en muro	m	208,5	1,00	208,5
05.02.02	Pircado con Piedra, día prom. 16" en muro	m	192,75	1,00	192,75
05.02.03	Pircado con Piedra, día prom. 20" en muro	m	152,3	1,00	152,3
05.02.04	Pircado con Piedra, día prom. 25" en muro	m	139,00	1,00	139,00

Infraestructura Natural - Construcción de andenes					
Planilla de metrados					
Ítem	Descripción	Und.	Parcial	Cantidad	Final
05.02.05	Picardo con Piedra, día prom. 30" en cemento	m	111,25	1,00	111,25
05.02.06	Transporte, colocación y extendido de tierra de cultivo	m³	367,71	1,00	367,71
05.03.00	Revegetación por siembra al voleo				
05.03.01	Volteo y gradeo manual del terreno	ha	105,95	1,00	105,95
05.03.02	Siembra al voleo	ha	105,95	1,00	105,95
05.03.03	Riego por inundación	ha	317,85	1,00	317,85

Fuente: Forest Trends

Presupuesto de obra

El presupuesto del proyecto lo conforman los costos directos (producto del costo unitario de la partida por el metrado de dicha partida) y los costos indirectos. Estos últimos son los

gastos generales sustentados y presentados como un porcentaje del costo directo, la utilidad (estimada en un 10 % del costo directo) y el IGV, que representa el 18 % del subtotal (suma del costo directo, gastos generales y la utilidad).

Tabla 18. Andenes: presupuesto de obra en el ejemplo

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/)	Parcial (S/)
1	Obras preliminares				229 885,22
1.01	Movilización y desmovilización para andenes	glb	1	61 036,77	61 036,77
1.04	Trazo, nivelación y replanteo por hectárea	ha	163	519,23	84 634,49
1.05	Limpieza manual de terreno	ha	163	285,04	46 461,52
1.06	Demolición manual de estructuras	m³	359	59,56	21 382,04
1.07	Eliminación manual de desmonte a una distancia promedio de 0,5 km	m³	448,75	36,48	16 370,40
2	Obras provisionales				82 287,55
2.01	Campamento provisional de obra y almacenes	m²	200	389,21	77 842,00

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/)	Parcial (S/)
2.02	Cartel de obra 4,80 x 3,60 m (gigantografía)	und	1	4 445,55	4 445,55
3	Andenes tipo I				2 362 819,65
3.01	Movimiento de tierras				1 113 114,50
03.01.01	Excavación manual en material suelto	m³	6 798,73	63,82	433 894,95
03.01.02	Excavación en roca suelta	m³	1 169,71	70,88	82 909,04
03.01.03	Excavación en roca fija	m³	225,06	255,54	57 511,83
03.01.04	Relleno compactado con material propio	m³	6 798,73	40,54	275 620,51
03.01.05	Relleno compactado con material de préstamo	m³	1 394,77	113,61	158 459,82
03.01.06	Nivelación y compactación manual de terreno	m²	12 889,32	3,19	41 116,93
03.01.07	Eliminación manual de desmonte a una distancia promedio de 0,5 km	m³	1 743,46	36,48	63 601,42
3.02	Muro picado				771 319,71
03.02.01	Picado con piedra, día. prom. 12" en muro	m³	472,6	239,71	113 286,95
03.02.02	Picado con piedra, día. prom. 16" en muro	m³	559,95	267,49	149 781,03
03.02.03	Picado con piedra, día. prom. 20" en muro	m³	487,55	326,13	159 004,68
03.02.04	Picado con piedra, día. prom. 25" en muro	m³	372,6	406,38	151 417,19
03.02.05	Picado con piedra, día. prom. 30" en cemento	m³	340,6	488,68	166 444,41
03.02.06	Tierra de cultivo	m³	1 288,93	24,35	31 385,45
3.03	Revegetación por siembra al voleo				478 385,44
03.03.01	Volteo y gradeo manual de terreno	ha	105,95	890,75	94 374,96
03.03.02	Siembra al voleo	ha	105,95	294,75	31 228,76
03.03.03	Riego por inundación con cisterna	ha	317,85	1 109,90	352 781,72
4	Andenes tipo II				1 730 437,13
4.01	Movimiento de tierras				824 475,05
04.01.01	Excavación manual en material suelto	m³	3 773,28	63,82	240 810,73
04.01.02	Excavación en roca fija	m³	612,36	255,54	156 482,47
04.01.03	Excavación en roca suelta	m³	122,2	70,88	8 661,54
04.01.04	Nivelación y compactación manual de terreno	m²	3 773,28	3,19	12 036,76

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/)	Parcial (S/)
04.01.05	Relleno compactado con material de préstamo	m ³	734,56	113,61	83 453,36
04.01.06	Relleno compactado con material propio	m ³	7 141,94	40,54	289 534,25
04.01.07	Eliminación manual de desmonte a una distancia promedio de 0,5 km	m ³	918,2	36,48	33 495,94
4.02	Muro pircado				427 576,64
04.02.01	Pircado con piedra, dia. prom. 12" en muro	m ³	302,5	239,71	72 512,28
04.02.02	Pircado con piedra, dia. prom. 16" en muro	m ³	292,9	267,49	78 347,82
04.02.03	Pircado con piedra, dia. prom. 20" en muro	m ³	269	326,13	87 728,97
04.02.04	Pircado con piedra, dia. prom. 25" en muro	m ³	227,75	406,38	92 553,05
04.02.05	Pircado con piedra, dia. prom. 30" en cemento	m ³	161,75	488,68	79 043,99
04.02.06	Tierra de cultivo	m ³	714,19	24,35	17 390,53
4.03	Revegetación por siembra al voleo				478 385,44
04.03.01	Volteo y gradeo manual de terreno	ha	105,95	890,75	94 374,96
04.03.02	Siembra al voleo	ha	105,95	294,75	31 228,76
04.03.03	Riego por inundación con cisterna	ha	317,85	1 109,90	352 781,72
5	Andenes tipo III				1 155 524,45
5.01	Movimiento de tierras				406 124,96
05.01.01	Excavación manual en material suelto	m ³	2 492,23	63,82	159 054,12
05.01.02	Excavación en roca suelta	m ³	412,69	70,88	29 251,47
05.01.03	Excavación en roca fija	m ³	85,54	255,54	21 858,89
05.01.04	Relleno compactado con material propio	m ³	2 492,23	40,54	101 035,00
05.01.05	Relleno compactado con material de préstamo	m ³	498,23	113,61	56 603,91
Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/)	Parcial (S/)
05.01.06	Nivelación y compactación manual de terreno	m ²	4 890,97	3,19	15 602,19
05.01.07	Eliminación manual de desmonte a una distancia promedio de 0,5 km	m ³	622,79	36,48	22 719,38
5.02	Muro pircado				271 014,05
05.02.01	Pircado con piedra, dia. prom. 12" en muro	m ³	208,5	239,71	49 979,54

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/)	Parcial (S/)
05.02.02	Pircado con piedra, dia. prom. 16" en muro	m ³	192,75	267,49	51 558,70
05.02.03	Pircado con piedra, dia. prom. 20" en muro	m ³	152,3	326,13	49 669,60
05.02.04	Pircado con piedra, dia. prom. 25" en muro	m ³	139	406 38	56 486,82
05.02.05	Pircado con piedra, dia. prom. 30" en cemento	m ³	111,25	488,68	54 365,65
05.02.06	Tierra de cultivo	m ³	367,71	24,35	8 953,74
5.03	Revegetación por siembra al voleo				478 385,44
05.03.01	Volteo y gradeo manual de terreno	ha	105,95	890,75	94 374,96
05.03.02	Siembra al voleo	ha	105,95	294,75	31 228,76
05.03.03	Riego por inundación con cisterna	ha	317,85	1 109,90	352 781,72
	Costo directo				5 560 954,00
	Gastos generales				892 070,65
	Utilidad				556 095,40
	Subtotal				7 009 120,05
	IGV				1 261 641,61
	Total				8 270 761,66

Fuente: Forest Trends

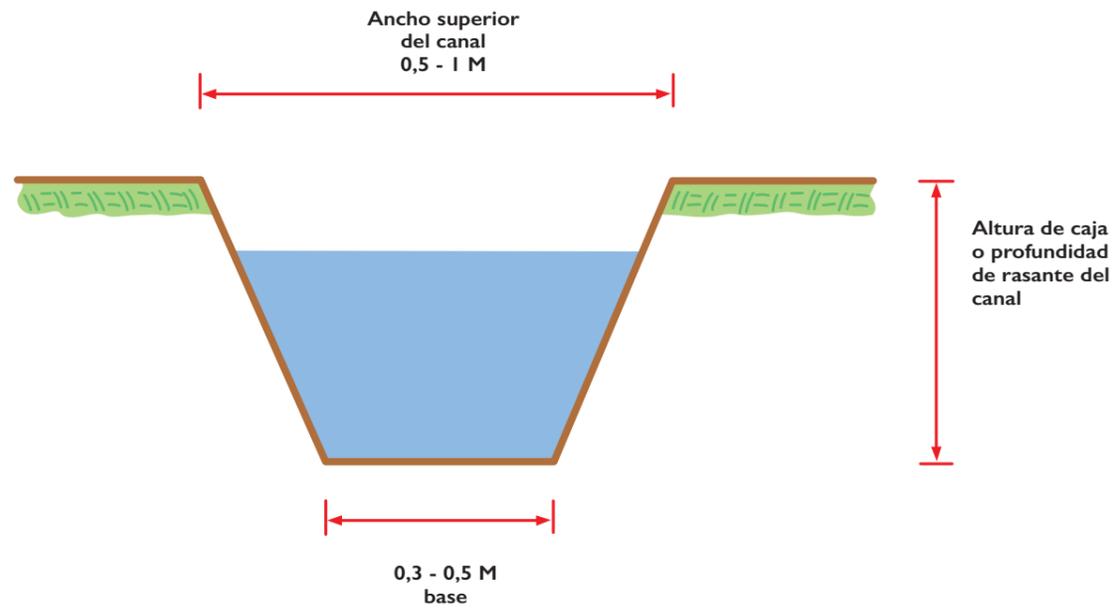


3.4. Zanjas de infiltración

3.4.1. Definición

Las zanjas de infiltración son excavaciones que se realizan en el terreno en forma de canales de sección, generalmente rectangulares o trapezoidales. Se construyen de manera transversal a la máxima pendiente del terreno. El fondo de estos canales debe estar paralelo a las curvas de nivel. Son sistemas de gestión de aguas pluviales construidas con componentes altamente permeables y diseñadas para minimizar la erosión producida por la lluvia y promover la recarga del agua subterránea. La Figura 29 muestra el perfil típico de una zanja de infiltración y permite apreciar que el ancho superior debe ser mayor que la base.

Figura 29. Zanjas de infiltración: perfil típico



Fuente: Forest Trends.

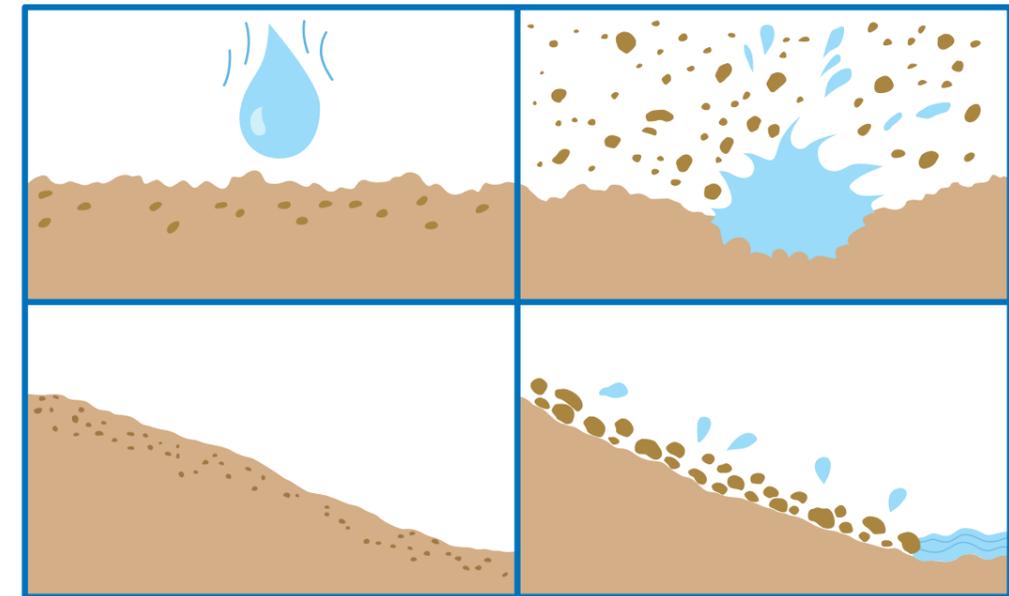
Función

Su principal función consiste en disminuir la longitud de la pendiente para disminuir los riesgos de escorrentía producidos por las épocas de lluvia, que, generalmente, causan la erosión de los suelos. Al detener o depositar el agua de escorrentía en las laderas, estas zanjas favorecen la infiltración y, por lo tanto, mantienen la humedad en beneficio de los pastos o las plantaciones forestales. Cuando los terrenos presentan pendientes, el agua que se infiltra a los suelos es mínima debido a que la mayoría se pierde en la superficie. Las zanjas de infiltración brindan un almacenamiento en el corto plazo para el agua proveniente de las lluvias, esta agua almacenada desciende lentamente a medida que se infiltra en el suelo.

Al diseñar las zanjas de infiltración, se debe tener en cuenta que la infiltración de aguas pluviales no debe realizarse en áreas donde se prevé una alta carga de contaminantes o sedimentos, debido a que pueden contaminar el acuífero.

La erosión hídrica la causan principalmente las lluvias y los escurrimientos, es un proceso de desagregación, transporte y deposición de materiales del suelo debido a la acción de lluvias y escorrentía superficial (Figura 30). De acuerdo con Molina *et al.* (2021), la erosión hídrica no solo provoca la pérdida de suelo en las laderas, también transporta sólidos y sedimentación a lo largo del sistema fluvial.

Figura 30. Erosión por lluvias (A y B) y erosión por escorrentía (C y D)



Fuente: Forest Trends.

La construcción de zanjas de infiltración en las laderas siguiendo las curvas de nivel es una práctica que apunta a la recolección de agua de lluvia, la recarga de acuíferos y la conservación del suelo y el agua.

Ventajas

- Evitan la erosión del suelo.
- Son una alternativa ante los efectos del cambio climático, porque favorecen la siembra y la cosecha de agua.
- Aumentan la capacidad de infiltración del agua de lluvia en el subsuelo.
- Favorecen el prendimiento y el crecimiento de las plantaciones forestales.

- Incrementan la humedad del suelo y benefician la agricultura, los pastos naturales y, en general, contribuyen al crecimiento de la cobertura vegetal.
- Aumentan el volumen de agua de los manantiales.
- Contribuyen a disminuir los conflictos socio ambientales por el acceso al agua.

Desventajas

- Pueden obstaculizar el libre y normal tránsito del ganado.
- Sin una limpieza y mantenimiento periódicos, pueden ocasionar desbordes del agua almacenada y la formación de cárcavas laderas abajo.

3.4.2. Diseño de zanjas de infiltración

Factores que considerar en el diseño:

a. Hidrología

Periodo de retorno

Es el tiempo que transcurre entre dos fenómenos de las mismas características, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$T = \frac{1}{1 - F(x)}$$

Donde:

T = periodo de retorno

F(x) = intensidad de infiltración

Curvas de intensidad/duración/frecuencia

Son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, todos correspondientes a una misma frecuencia o periodo de retorno. La construcción matemática de las curvas de intensidad/duración/frecuencia (IDF) se realiza, entre otros métodos, con el propuesto por Aparicio (1997). Ese autor plantea la alternativa de obtener una ecuación que genere

las curvas IDF a través de un modelo de regresión lineal, para lo cual es necesario relacionar simultáneamente las tres variables en una familia de curvas. Se utiliza la siguiente fórmula:

$$I = \frac{kT^m}{D^n}$$

Donde:

k, m y n = constantes de regresión lineal múltiple

T = periodo de retorno en años

D = duración en minutos (min) u horas (h)

I = intensidad de precipitación en milímetros (mm)/h

Coefficiente de escorrentía

Es un parámetro que mide la parte de la precipitación que se presenta en forma de flujo de agua superficial en el suelo. Su dimensión varía entre 0 y 1, y está inversamente correlacionado con la capacidad de infiltración, es decir, son las superficies impermeables que tienen el más alto coeficiente de escorrentía (Tabla 19). En esta propuesta metodológica se consideró recomendable utilizar valores altos de coeficientes de escorrentía para generar mayores condiciones de seguridad y garantizar que la obra no sea sobrepasada por las aguas de lluvia.



Foto: Forest Trends

Tabla 19. Coeficiente de escorrentía: valores promedio según tipo de cobertura vegetal

Cobertura vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno				
		Pronunciada > 50 %	Alta > 20 %	Media > 5 %	Suave > 1 %	Despreciable < 1 %
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC (2011)

Tasa de infiltración

Las zanjas de infiltración deben ubicarse donde el subsuelo sea lo suficientemente permeable para cumplir con la tasa mínima de infiltración. La tasa de infiltración de diseño del suelo debe medirse en suelo saturado, para hacerlo se re-

quiere un análisis de subsuelo y una prueba de permeabilidad. Dado que las tasas de permeabilidad pueden variar con el tiempo, se debe considerar un factor de permeabilidad de 2 para determinar la tasa de permeabilidad de diseño. La tasa máxima de permeabilidad de diseño es de 10 pul-

gadas/h para cualquier tasa de permeabilidad probada de 20 pulgadas/h o más. La tasa mínima de permeabilidad de diseño del subsuelo es de 0,5 pulgadas/h, lo que equivale a una tasa de permeabilidad mínima probada de 1 pulgada/h.

Profundidad a cuerpos de agua

Las zanjas de infiltración no deben construirse en sitios con niveles freáticos altos, pues la separación inadecuada entre el fondo de la cuenca y la superficie del nivel freático puede resultar en la contaminación de este. Se requiere una distancia de separación mínima de 5 m entre el fondo de una cuenca de infiltración y la superficie del nivel freático estacionalmente alto, idealmente son 10 m de separación.

b. Topografía

Pendiente

Es recomendable construir las zanjas de infiltración en pendientes del 10 % al 40 %. El área de infiltración debe estar lo más nivelada posible para distribuir de manera uniforme la infiltración de escorrentía sobre la superficie y hacia el subsuelo.

Las dimensiones de la sección transversal de las zanjas pueden variar con el clima, la pendiente, el tipo de suelo y la vegetación. Si el ancho de la base y la profundidad son de 40 cm, la distancia entre las zanjas (para las condiciones climáticas de la región altoandina del Perú) varían según los valores que se presentan en el Tabla 20.

Tabla 19. Coeficiente de escorrentía: valores promedio según tipo de cobertura vegetal

Cobertura vegetal	Pendiente del terreno (%)	Distancia entre zanjas (m)
Sin	10	30
	15	20
	20	15
	25	13
	30	11
Con	10	45
	15	30
	20	23
	25	20
	30	17
	40	12

Fuente: Minagri (2014)

Topografía kárstica

En áreas con topografía kárstica se debe tener en cuenta que el lecho rocoso está compuesto por rocas altamente

solubles, por lo que una infiltración por la escorrentía puede provocar hundimientos y sumideros. Por este motivo se debe prestar mayor atención a estas áreas.

c. Suelos

Tipo de suelo

Las zanjas de infiltración deben ubicarse en terrenos con textura franca y dejen infiltrar fácilmente el agua. No son recomendables en terrenos con textura suelta

que pueda derrumbarse. La inclinación de las paredes laterales de un canal depende de varios factores, en especial de la clase de terreno en la que se ubique. La Tabla 21 presenta los taludes apropiados para distintos tipos de material.

Tabla 21. Taludes apropiados para distintos tipos de material

Material	Talud (h:v)
Roca	Prácticamente vertical
Suelos de turba y detritos	0,25:1
Arcilla compacta o tierra con recubrimiento de concreto	0,5:1 hasta 1:1
Tierra con recubrimiento de piedra o tierra en grandes canales	1:1
Arcilla firme o tierra en canales pequeños	1,5:1
Tierra arenosa suelta	2:1
Greda arenosa o arcillo-porosa	3:1

Fuente: Autoridad Nacional del Agua - ANA (2010)

Almacenamiento de agua

Las zanjas de infiltración deben estar libres de agua estancada; por tanto, el tiempo de drenaje para el agua estancada en la superficie del fondo de la zanja o en la estructura de desbordamiento no debe exceder las 72 h después de cualquier evento de lluvia. Los tiempos de almacenamiento superiores a 72 h pueden hacer que estas zanjas sean ineficaces y presenten condiciones anaeróbicas, olores y problemas de calidad de las aguas pluviales como de reproducción de mosquitos.

Diseño

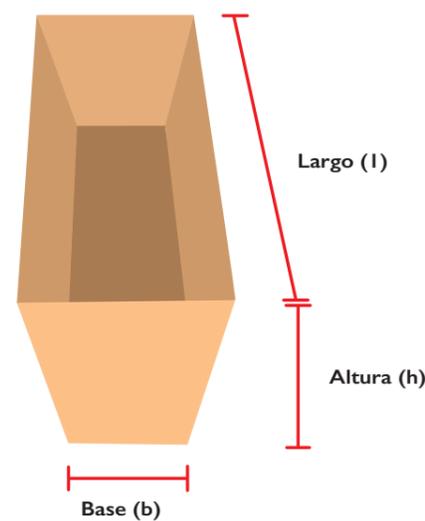
El diseño de zanjas de infiltración propuesto tiene como objetivo mitigar la erosión del suelo como consecuencia de las lluvias y la escorrentía. De acuerdo con Vásquez *et al.* (2016), el diseño debe responder a la cantidad de agua de lluvia que cae desde la zona de impluvio, que debe ser menor o igual a la que capta y a la que absorbe la zanja, en un diferencial de tiempo. Es decir, la capacidad de la zanja no debe ser sobrepasada por el total de aportaciones que a ella convergen, como se muestra en las cuatro ecuaciones siguientes:

$$Vazu = Vazz + Vazin \quad (1)$$

Donde:
Vazi = volumen de aportación de la zona de impluvio
Vazz = volumen de captación de la zona de zanjas
Vazin = volumen de infiltración

La forma de las zanjas de infiltración es trapezoidal (Figura 31). Además, el diseño considera un rebaje en el borde aguas arriba para facilitar la entrada de agua y evitar la erosión de las paredes.

Figura 31. Zanja de infiltración: configuración geométrica



Fuente: Forest Trends.

Las expresiones que definen cada una de las variables de la ecuación (1) se desglosan así:

$$Vazi = I \times S \times e \quad (2)$$

Donde:
Vazi = volumen de portación de la zona de impluvio en m³/h
I = precipitación máxima en l h⁻¹
S = superficie de impluvio en m²
e = coeficiente de escorrentía

$$Vazz = b \times h \times l \quad (3)$$

Donde:
Vazz = volumen de captación de las zanjas (m³/h), la captación en m³ se extiende a una hora para hacer coincidir las unidades
b = base de la zanja (m)
h = altura de la zanja (m)
l = largo de la zanja (m)

$$Vazin = b \times v \times l \quad (3')$$

Donde:
Vazin = volumen de infiltración (m³/h)
b = base de la zanja (m)
v = velocidad de infiltración de la zanja (m/h)
l = largo de la zanja (m)

Al asociar esta información con la ecuación (1) y operando, se obtiene la siguiente expresión para la distancia horizontal entre zanjas:

$$Vazi = Vazz + Vazin \quad (4)$$

$$I \times S \times e = (b \times h \times l) + (b \times v \times l)$$

$$I \times (l \times d) \times e = (b \times h \times l) + (b \times v \times l)$$

$$D = \frac{b \times (h + v)}{I \times e}$$

De acuerdo con Vásquez *et al.* (2016), las características hidráulicas promedio de las zanjas construidas manualmente para los Andes peruanos son:

- Pendiente longitudinal: 0
- Ancho de la base inferior: 30-50 cm
- Ancho del borde superior: 50-100 cm
- Profundidad efectiva de zanja: 30-50 cm
- Pequeños tabiques: 5-10 cm (espesor), espaciados cada 10-20 m a lo largo de la zanja de infiltración
- Espaciamiento superficial: 10-15 m

La información básica utilizada para los cálculos es la siguiente:

- a. Velocidad de infiltración básica según tipo de suelo:
 Suelo arenoso: 0,100 m/h = 1,67 mm/min
 Suelo franco: 0,040 m/h = 0,67 mm/min
 Suelo arcilloso: 0,012 m/h = 0,20 mm/min
- b. Intensidad máxima de precipitación (I_{max}):
 Periodo de retorno o frecuencia (F): 25 años
 Duración (D): 60 min
 Intensidad máxima (I_{max}): 27,8 mm/h
 Coeficiente de escorrentía superficial (C_e): 0,5-0,9
 Pendiente de la ladera: 15-70 %

3.4.3. Consideraciones para la construcción de zanjas de infiltración

La construcción de las zanjas de infiltración se divide en dos (2) etapas:

- El movimiento de tierras o excavación de las zanjas, según lo indicado en los planos, para la formación de las zanjas; y
- La excavación de la zanja, el perfilado manual de sus taludes, la formación del camellón con el material extraído, la eliminación del material sobrante y la revegetación de las áreas aledañas.

Apertura manual de zanjas

Las dimensiones de la zanja están sujetas al volumen de agua que se va a captar, así como la extensión y la topografía del terreno; sin embargo, usualmente miden 0,40 m de ancho y 0,30 m de profundidad. Por lo general, es de forma trapezoidal, con extremos cerrados y con tabiques cada 5 a 10 m para prevenir desbordes. No se recomienda construir zanjas de infiltración en terrenos arcillosos con mala permeabilidad, ni en terrenos con fuerte pendiente y de textura suelta, porque pueden ocasionar deslizamientos.

a. Ejecución

Sobre el eje marcado con tiza en la etapa de replanteo se realiza la excavación de la zanja con las medidas recomendadas en el expediente técnico, el proceso es completa-

¹ Se considera una hora porque se asume que ese periodo es suficiente para incorporar eventos de alta intensidad al diseño de las obras. Considerar un valor menor a una hora, como treinta minutos, involucra costos que es difícil asumir en este tipo de obras desde un punto de vista económico, dado que el diferencial de captación e infiltración de agua puede subir en más del 60 % al considerar treinta minutos, y más del 80 % al incorporar quince minutos.

mente manual. El material extraído es acumulado a poca distancia, aguas arriba de la zanja de forma longitudinal para evitar que materiales de arrastre puedan llenar la zanja. Luego, sobre el camellón conformado se realiza la revegetación con especies endémicas de la zona.

b. Medición y pago

La unidad de medida es el metro lineal (ML) y el trabajo se paga conforme y proporcionalmente al avance ejecutado en campo, según lo indicado en los planos y previa aprobación de la supervisión.

Perfilado manual de taludes

Consiste en el raspado de las paredes verticales de la zanja con herramientas manuales para conferirle un pequeño talud señalado en los planos, con el objeto de desprender preventivamente el material para evitar que caiga sobre la zanja y la obstruya.

a. Ejecución

El perfilado de los taludes se debe realizar adecuadamente para no dañar la superficie final, evitar la descompresión prematura o excesiva de su pie y contrarrestar cualquier otra causa que pueda comprometer la estabilidad de la excavación final. Los trabajos de perfilado de taludes se deben ajustar a la geología y la topografía del terreno, en especial en el caso de aquellos ubicados en sectores críticos.

El perfilado de taludes consiste en las operaciones necesarias para conseguir el acabado geométrico de los taludes de terraplenes y la capa de coronación de pedraplenes, así como de los taludes de desmonte. Debe hacerse con una transición gradual, cuidando especialmente aquellas entre taludes de distinta inclinación. En las intersecciones de desmonte y rellenos, los taludes se alabearán (curvarán) para unirse entre sí y con la superficie natural del terreno. El perfilado de los taludes debe ser uniforme y totalmente acorde con la superficie del terreno, sin grandes contrastes y sin dañar los árboles existentes.

b. Medición y pago

La unidad de medida es el metro lineal (ML) y el pago se

hace por metro lineal de zanja ejecutada, incluyendo la conformación del camellón.

Conformación del camellón

El camellón es una técnica agrícola para la producción de cultivos en la que se amontona la tierra en línea para brindarle a la planta condiciones que faciliten su desarrollo radicular. Con el camellón, debido a la elevación de la tierra, se extiende el área del suelo que recibe la luz del sol.

Consiste esencialmente en una serie de plataformas de tierra rodeadas por canales de agua. Las plantas se cultivan sobre las plataformas y el nivel del agua en los canales puede controlarse a través de entradas y salidas de agua. Un beneficio importante y ampliamente reconocido de este sistema de manejo en el altiplano es su contribución a la mitigación de heladas nocturnas durante la campaña agrícola.

Eliminación manual de desmonte

Esta partida corresponde al acarreo manual de material proveniente de las excavaciones y desmonte hacia lugares previamente señalados en los planos u aprobados por la supervisión, a una distancia promedio de 0,5 km.

a. Ejecución

El material extraído se ha de amontonar a distancias prudentes de la zona de ejecución de los trabajos para evitar los accidentes y la obstaculización de las actividades. La carga se hace de forma manual y el transporte en *buggies*. Luego, el material extraído debe ser regado periódicamente para evitar la contaminación del aire a través de la acción del viento.

Si es apropiado para relleno de estructuras, el material excavado puede ser amontonado y usado como material selecto y/o clasificado de relleno.

b. Medición y pago

La unidad de medida es el metro cúbico (m³) y el trabajo se paga conforme se ejecute la eliminación del volumen de desmonte acumulado.

3.4.4. Ejemplo aplicativo

El ejemplo consiste en la construcción de zanjas de infiltración de 0,40 x 0,30 m sobre terrenos de ladera moderada y siguiendo las curvas de nivel, con la finalidad de retener la escorrentía superficial, controlar los movimientos de masa o huacos y favorecer la infiltración del agua en el terreno.

Condiciones generales

El caso es el diseño de zanjas de infiltración en el valle de Ica, departamento de Ica, en un ecosistema de pajonal de puna húmeda. El diseño propuesto se muestra en el Tabla 22.

Tabla 22. Zanjas de infiltración: dimensiones en el ejemplo

Parámetros	Dimensiones
Sección trapezoidal (m)	0,50x0,40x0,40
Longitud (m)	10,0
Ancho de tabique (m)	0,50

Fuente: Forest Trends

a. Especies forestales

- Quinual (*Polylepis racemosa*)
- Queñual (*Polylepis incana*)
- Colle (*Buddleja coriacea*)
- Quishuar (*Buddleja incana*)
- Chachacomo (*Escallonia resinosa*)

b. Metodología utilizada

Simple, basada en mano de obra no calificada y herramientas manuales. Para la excavación de las zanjas de infiltración se trazan las líneas a nivel con la ayuda del nivel en A o nivel de caballete, empezando por la parte más alta de la ladera. La tierra que se extrae de la excavación se deposita en la parte baja de la zanja, formando una plataforma o camellón donde, posteriormente, se instalarán plantones de especies forestales nativas que presentan mayor adaptabilidad a las condiciones de la parte alta de la cuenca. La distancia entre el plantón y el borde de la zanja debe ser de 1 m, mientras que la distancia entre plantones debe ser de 3 m.

Una lectura adecuada de los planos definitivos del proyecto permite trasladar la información de forma acotada des-

de los planos hacia una planilla de metrados, teniendo en cuenta que parte de la información a considerar también se encuentra en el plano clave del proyecto. El análisis de costos unitarios se debe realizar con base en la planilla de metrados previamente trabajada, verificando que los rendimientos sean los adecuados a cada partida y teniendo en cuenta las condiciones particulares de cada proyecto. Por su parte, el análisis del flete terrestre calcula los costos adicionales de los insumos por efecto del transporte desde el lugar de compra hasta el almacén de obra. El costo final del insumo en obra depende del peso, la distancia a recorrer, los tipos de carretera y su altitud promedio.

Planilla de metrados

Los metrados se desarrollan de forma ordenada y secuencial según la ejecución de las actividades, teniendo en cuenta etapas como obras preliminares y obras provisionales y formación de las zanjas de infiltración, que incluye la revegetación (Tabla 23). En las obras preliminares se considera la movilización y la desmovilización, el trazo y el replanteo de la zona de trabajo y la limpieza y el desbroce manual del terreno a trabajar.

Tabla 23. Zanjas de infiltración: planilla de metrados en el ejemplo

Ítem	Partida	Unidad	Dimensiones (m)					Parcial	Total
01.00.00	Obras preliminares								
01.01.00	Movilización y desmovilización	Global	Número de veces	Cantidad	Largo	Ancho	Altura		
				1,00				1,00	
02.00.00	Obras provisionales								
02.01.00	Campamento provisional de obra y almacenes	m ²	Número de veces	Cantidad	Largo	Ancho	Altura		
				200,00				200,00	
02.02.00	Cartel de obra 4,80x3,60 m (gigantografía)	Unidad	Número de veces	Cantidad	Largo	Ancho	Altura		
				1,00				1,00	
03.00.00	Zanjas de infiltración								
03.01.00	Formación de las zanjas								
03.01.01	Apertura manual de la zanja de 0,4x0,30 m en material suelto	km	Área	Cantidad	Largo	Ancho	Altura		
			100,00		3 600,00			360,00	
03.01.02	Perfilado manual de taludes	m ²	Área	Cantidad	Largo	Ancho	Altura		
			100,00	2,00	3 600,00	0,30		216 000,00	
03.01.03	Formación del camellón	m ³	Área	Cantidad	Largo	Ancho	Altura		
				12,00	100,00	0,40	0,60	28 800,00	
03.01.04	Eliminación manual de desmonte a una distancia promedio de 0,50 km	m ³	Volumen	Factor	Largo	Ancho	Altura		
			43 200,00						
	Apertura de zanjas		36 000,00						
	Formación del camellón		7 200,00	1,25				9 000,00	

Fuente: Forest Trends

Presupuesto de obra

El presupuesto del proyecto comprende dos (2) grandes rubros: los costos directos (producto del costo unitario de la partida por el metrado de dicha partida) y los costos indirectos (gastos generales sustentados, correspondientes a los gastos administrativos y en servicios). La utilidad se estima como un porcentaje del costo directo, generalmente

alrededor del 10 %, y el IGV es el 18 % de la suma del costo directo, los gastos generales y la utilidad (Tabla 24).

Para variar el diseño de pie del presupuesto se deben ingresar los porcentajes de cada costo indirecto, según sea lo conveniente, los gastos generales varían de acuerdo con el porcentaje del costo directo.

Tabla 24. Zanjas de infiltración: presupuesto de obra en el ejemplo

Ítem	Descripción	Unidad	Metrado	Precio (S/)	Parcial (S/)
01.00	Obras preliminares				196 198,28
01.01	Movilización y desmovilización para zanjas de infiltración	Global	1,00	60 102,96	60 102,96
02.00	Obras provisionales				82 287,55
02.01	Campamento provisional de obra y almacenes	m ²	200,00	389,21	77 842,00
02.02	Cartel de obra 4,80x3,60 m (gigantografía)	Unidad	100,00	4 445,55	4 445,55
03.00	Zanjas de infiltración				2 029 146,68
03.01	Formación de las zanjas				1 862 150,00
03.01.01	Excavación manual en material suelto	m ³	15 000,00	63,82	957 300,00
03.01.02	Perfilado manual de taludes	m ²	5 000,00	1,42	7 100,00
03.01.03	Formación del camellón	m ³	9 000,00	69,35	624 150,00
03.01.04	Eliminación manual de desmonte a una distancia promedio de 0,5 km	m ³	7 500,00	36,48	273 600,00
Costos directos				2 307 632,51	
Gastos generales				288 454,06	
Utilidad (10 %)				230 763,25	
Subtotal				2 826 849,82	
IGV (18 %)				508 832,97	
Total				3 335 682,79	

Fuente: Forest Trends
Nota: la estructura de costos indirectos corresponde a la modalidad por contrata.

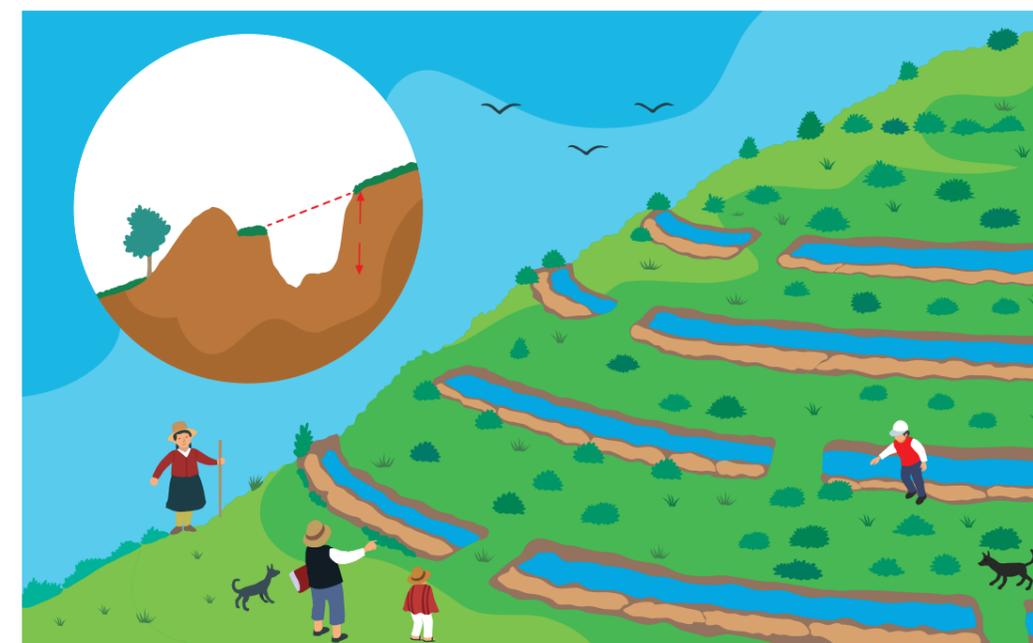
Especificaciones técnicas

En el caso del ejemplo, las siguientes especificaciones técnicas brindan las pautas para establecer el trazo y el replanteo, la apertura manual de zanjas en material suelto, el perfilado manual de taludes y la formación de camellones, pasos que forman parte de la fase de construcción.

a. Trazo y replanteo

La distribución de las zanjas de infiltración se debe realizar de acuerdo con las curvas de nivel, como se observa en la Figura 32. El trazo y replanteo requiere de un mínimo de material y equipo para construir el nivel en A, instrumento que sirve para trazar curvas de nivel en el campo, y seguir el procedimiento de instalación y calibración de este instrumento (Vásquez et al., 2016).

Figura 32. Distribución de las zanjas de infiltración



Fuente: Forest Trends.

De acuerdo con Vásquez et al. (2016), los materiales necesarios para construir el nivel en A son:

- 3 palos delgados
- Soguilla, cordel o pita
- Piedra o plomada

El procedimiento para la construcción del nivel en A se

inicia con la armazón. Primero se deben coger dos palos y amarrarlos por uno de los extremos ajustándolos con fuerza. Luego, el tercer palo se coloca formando la letra «A» y se atan los extremos como se observa en la Figura 33. Finalmente, en el extremo superior se coloca una pita que sostiene la piedra o cordel que hace las veces de plomada.

Figura 33. Nivel en A

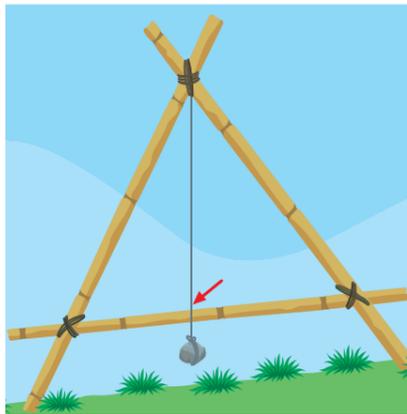


Fuente: Forest Trends.

Después viene la fase de calibración, que consta de cinco (5) pasos:

Paso 1: para la calibración se coloca el instrumento en dos (2) puntos firmes del terreno con diferencia de nivel, los cuales se marcan para conocer el lugar en el que las dos (2) patas tocan el suelo. Luego, se busca que se establezca la plomada y se pone una marca en el palo transversal exactamente en el punto donde lo cruza el cordel (punto A de la Figura 34).

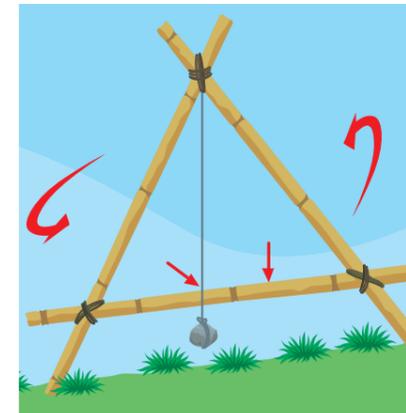
Figura 34. Paso 1 de la calibración: marcado en el punto A



Fuente: Forest Trends.

Paso 2: se invierte la posición del aparato, de tal manera que la pata derecha quede exactamente donde estuvo la pata izquierda y viceversa. Una vez estabilizada la plomada, se marca en el palo transversal el punto donde lo cruza el cordel (punto B de la Figura 35).

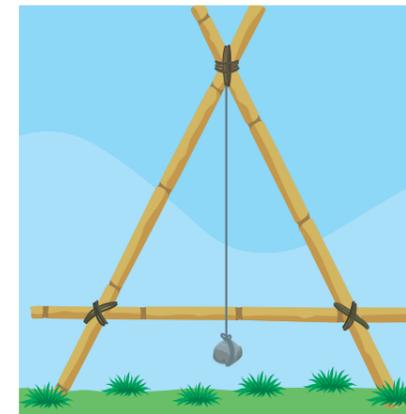
Figura 35. Paso 2 de la calibración: marcado en el punto B



Fuente: Forest Trends.

Paso 3: se mide la distancia entre los puntos A y B con ayuda de una pita o un cordel delgado (Figura 36).

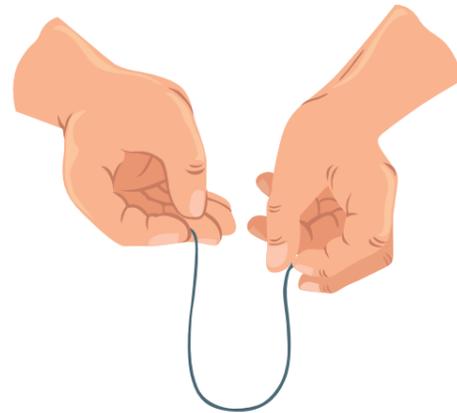
Figura 36. Paso 3 de la calibración: medición de la distancia



Fuente: Forest Trends.

Paso 4: se obtiene la mitad de la distancia medida en el punto anterior (entre A y B). Para conseguir esta medida solo hay que doblar la pita o medirla con una wincha (Figura 37).

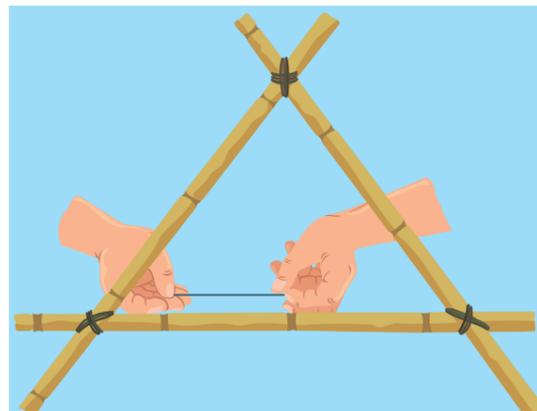
Figura 37. Paso 4 de la calibración: determinación del punto medio de AB



Fuente: Forest Trends.

Paso 5: se marca el punto medio (punto C) entre los puntos A y B. El punto C representa el punto de calibración del instrumento (Figura 38).

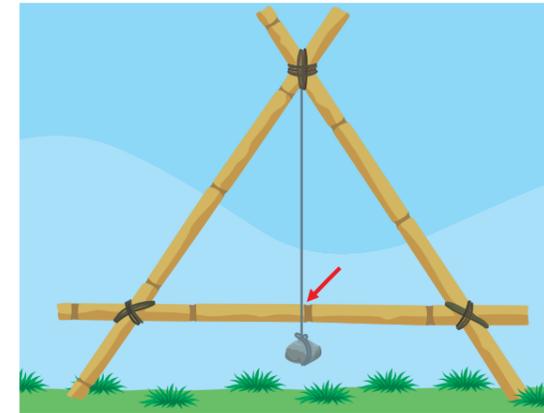
Figura 38. Paso 5: marcado del punto de nivelación (C)



Fuente: Forest Trends.

Finalmente, se tiene el instrumento calibrado y listo para ser utilizado (Figura 39).

Figura 39. Nivel en A calibrado



Fuente: Forest Trends.

Figura 30. Zanjas de infiltración terminadas y revegetadas



Fuente: Vázquez et al. (2016)

b. Ejecución

El método de ejecución es completamente manual. Se inicia sobre el eje marcado con tiza en la etapa de replanteo, donde se realiza la excavación de la zanja con las medidas recomendadas en el expediente técnico. El material extraído se acumula a poca distancia aguas arriba de la zanja, de forma longitudinal para evitar que materiales de arrastre puedan llenar la zanja. Luego, sobre el camellón formado, se realiza la revegetación con especies endémicas de la zona.

La unidad de medida es el metro (m) y el trabajo se paga conforme y proporcionalmente al avance ejecutado en campo, según lo indicado en los planos y previa aprobación de la supervisión.

c. Perfilado manual de taludes

El perfilado consiste en el raspado de las paredes verticales de la zanja con herramientas manuales para conferirle un pequeño talud señalado en los planos, con el objetivo de prevenir que el material caiga sobre la zanja y la obstruya. El perfilado debe ser ejecutado de forma muy cuidadosa para no dañar su superficie final, evitar la descompresión prematura o excesiva de su pie y contrarrestar cualquier otra causa que pueda comprometer la estabilidad de la excavación final.

Los trabajos de perfilado de taludes se deben ajustar a la geología y la topografía del terreno, en especial en el caso de los taludes en sectores críticos. Comprenden todas las operaciones necesarias para conseguir el acabado geométrico de los taludes de terraplenes y la capa de coronación de pedraplenes, así como de los taludes de desmonte. El perfilado de taludes debe hacerse con una transición gradual, en especial en los casos de transiciones entre taludes de distinta inclinación. En las intersecciones de desmonte y rellenos, los taludes se alabean para unirse entre sí y con la superficie natural del terreno. El perfilado de los taludes debe ser uniforme y totalmente acorde con la superficie del terreno, sin grandes contrastes y sin dañar los árboles existentes.

La unidad de medida es el metro (m) y el trabajo se paga por metro lineal de zanja ejecutada, incluyendo la formación

del camellón, según lo indicado en los planos y previa aprobación de la supervisión.

d. Formación del camellón

El camellón es una técnica agrícola para la producción de cultivos en la que se amontona la tierra en línea para brindar a las plantas condiciones que faciliten su buen desarrollo radicular. Con el camellón, debido a la elevación de la tierra, se extiende el área del suelo que recibe la luz del sol.

Consiste esencialmente en una serie de plataformas de tierra rodeadas por canales de agua. Las plantas se cultivan sobre las plataformas y el nivel del agua en los canales puede controlarse a través de entradas y salidas de agua. Un beneficio importante y ampliamente reconocido de este sistema de manejo en el altiplano es su contribución a la mitigación de las heladas nocturnas durante la campaña agrícola.

3.5. Amunas

3.5.1. Definición

Las amunas son canales ancestrales donde se infiltra el agua transportada por el canal amunero o canal simple. Permiten conducir el agua de lluvia a lo largo de la parte alta haciendo que el agua se infiltre por el subsuelo y aumente el agua subterránea. Generalmente, se ubican a gran altitud en la zona de los Andes; sin embargo, esta práctica preinca también se emplea en algunas cuencas, como la de Lima, donde están las amunas de San Andrés de Tupicocha.



Foto: Forest Trends

Figura 41. Vista frontal de amuna



Fuente: Cárdenas (2020)

Las amunas captan el agua desde las quebradas y la conducen en su terreno permeable, que permite que el agua filtre al subsuelo durante la temporada de lluvias (siembra de agua).

Figura 42. Distribución del agua que captan las amunas



Fuente: Aquafondo (13/01/2021)

Ventajas

- Incrementan la disponibilidad del agua en los manantiales durante gran parte del año.
- Retienen y mantienen la humedad del suelo, lo que permite el desarrollo de una vegetación y una biodiversidad que sin esta práctica no existirían.
- No son estructuras invasivas como las represas.
- El impacto visual es menor, son ambientalmente amigables.

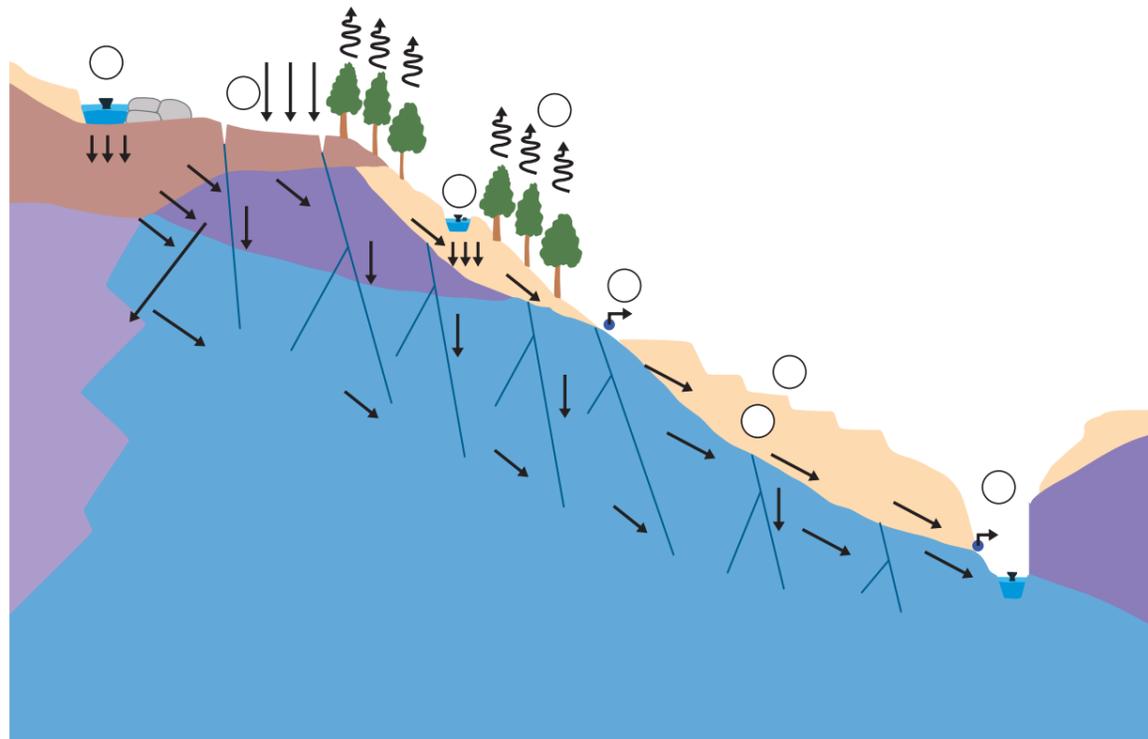
Desventajas

- Requieren de mantenimiento anual del canal amunero, como mínimo.
- Requieren mano de obra, que no siempre está disponible.
- Requieren dedicación, participación de los usuarios y desarrollo de liderazgos que no siempre está disponible o es fácil de mantener.
- En las zonas altas de Lima, disminuyen la provisión de agua en la época de estiaje, también disminuyen los caudales máximos mediante su desviación en canales durante la época de lluvia.

Componentes

Entre los principales componentes están las áreas de aporte, el muro de canalización, el vertedero de excedencias y los diques transversales (Figura 43).

Figura 44. Componentes del canal amunero



Esquema de funcionamiento hidráulico de recarga de amunas

1. Acequia amunera
2. Área de recarga
3. Manantiales
4. Reservorio con andenes de cultivo
5. Riachuelo permanente
6. Circulación en suelos coluviales
7. Circulación profunda en roca fracturada
8. Vegetación arbustiva

Fuente: Forest Trends.

Características Hidráulicas

Caudal

El caudal de los canales y las acequias de las amunas (la recarga) puede llegar hasta los 200 l/s, el caudal recibido en los manantiales de una misma área de recarga puede alcanzar de 1 a 5 l/s, lo cual indica una baja permeabilidad del acuífero, que podría estar entre los 4 a 5 m/día.

3.5.2. Diseño de amunas

Trazo de canales

De acuerdo con la ANA (2010), para el trazo del canal amunero se debe recolectar la siguiente información básica:

- Fotografías aéreas e imágenes satelitales que permitan localizar los centros poblados, áreas de cultivos, vías de comunicación, entre otros.
- Planos topográficos y catastrales.
- Estudios geológicos, salinidad, suelos y demás información que pueda conjugarse en el trazo canales.
- Con la información obtenida, en gabinete se realiza un trazo preliminar, que debe replantearse en campo para hacer los ajustes necesarios y obtener un trazo definitivo. En caso de no existir la información topográfica básica, se debe levantar el relieve del canal. Estos son los pasos:

a. Reconocimiento del terreno. Se debe anotar todos los detalles que pueden influir en el eje probable de trazo, asimismo es necesario determinar un punto inicial y final (georreferenciado)

b. Trazo preliminar. Con la ayuda de un equipo topográfico, se debe realizar un levantamiento de la zona y luego la nivelación del terreno.

c. Trazo definitivo. Con los datos obtenidos se procede al trazo definitivo, teniendo en cuenta la escala del plano, la cual depende de la topografía de la zona y de la precisión que se desea. En terrenos con pendiente transversal mayor a 25 %, se recomienda una escala de 1:500. Mientras que en aquellos con pendiente transversal menor a 25 % son recomendables escalas de 1:1000 a 1:2000.

Radio mínimo en canales

Para el diseño del canal amunero se debe tener en cuenta que el cambio brusco de dirección se sustituye por una curva, cuyo radio no debe ser muy grande. Debe escogerse un radio mínimo, dado que trazar curvas con radios mayores al mínimo no significa ningún ahorro de energía; es decir, la curva no será hidráulicamente más eficiente, en cambio sí elevará los costos al darle una mayor longitud.

Tabla 25. Radio mínimo en función del caudal

Capacidad del canal	Radio mínimo
Hasta 10 m ³ /s	3 * ancho de la base
10-14 m ³ /s	4 * ancho de la base
14-17 m ³ /s	5 * ancho de la base
17-20 m ³ /s	6 * ancho de la base
20 m ³ /s a más	7 * ancho de la base
Los radios mínimos deben ser redondeados hasta el próximo metro superior	

Fuente: International Institute for Land Reclamation and Improvement (1978)

Tabla 26. Radio mínimo en canales abiertos para $Q < 20 \text{ m}^3/\text{s}$

Capacidad del canal	Radio mínimo
20 m ³ /s	100 m
15 m ³ /s	80 m
10 m ³ /s	60 m
5 m ³ /s	20 m
1 m ³ /s	10 m
0,5 m ³ /s	5 m

Fuente: International Institute for Land Reclamation and Improvement (1978)

Tabla 27. Radio mínimo en canales abiertos en función del espejo de agua

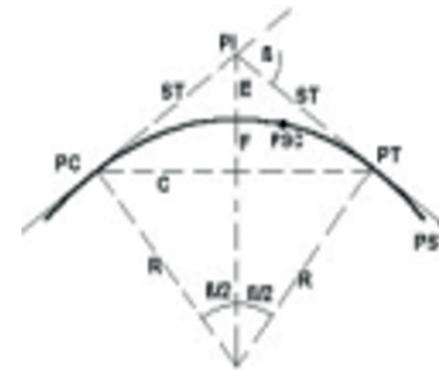
Canal de riego		Canal del drenaje	
Tipo	Radio	Tipo	Radio
Subcanal	4T	Colector principal	5T
Lateral	3T	Colector	5T
Sublateral	3T	Subcolector	5T

Siendo el T el ancho superior del espejo del agua

Fuente: Salzgitter Consult GMBH (1984)

Elementos de una curva

Figura 44. Elementos de una curva



Fuente: Salzgitter Consult GMBH (1984)

Donde:

- A** = arco (longitud de curva medida en cuerdas de 20 m)
- C** = cuerda larga (cuerda que subtiende la curva desde PC hasta PT)
- B** = ángulo de deflexión, formado en el PI
- E** = external (distancia de PI a la curva medida en la bisectriz)
- F** = flecha (longitud de la perpendicular bajada del punto medio de la curva a la cuerda larga)
- G** = grado (ángulo central)
- LC** = longitud de curva que une PC con PT
- PC** = principio de una curva
- PI** = punto de inflexión
- PT** = punto de tangente
- PSC** = punto sobre curva
- PST** = punto sobre tangente
- R** = radio de la curva
- ST** = subtangente (distancia del PC al PL)

Rasante de un canal

Una vez definido el trazo del canal, se proceden a dibujar el perfil longitudinal de dicho trazo. Las escalas más usuales son de 1:1000 o 1:2000 para el sentido horizontal y 1:100

o 1:200 para el sentido vertical, normalmente la relación entre la escala horizontal y vertical es de 1 a 10. El procesamiento de la información y el dibujo se pueden efectuar empleando algún *software* de tipo CAD.

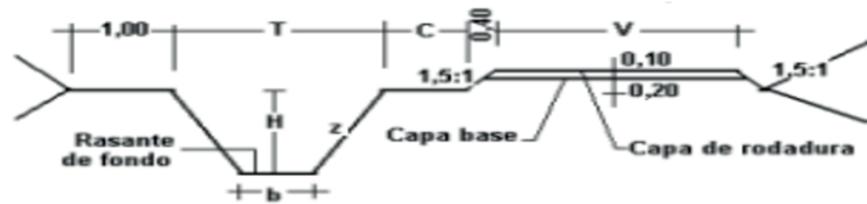
Para el diseño de la rasante se debe tener en cuenta:

- La rasante se debe trabajar sobre la base de una copia del perfil longitudinal del trazo.
- Los puntos de captación cuando se trate de un canal de riego y los puntos de confluencia, si se trata de un dren o una obra de arte.
- La pendiente de la rasante de fondo debe ser igual al pendiente natural promedio del terreno (optimizar el movimiento de tierras). Cuando no es posible debido a fuertes pendientes, se proyectan caídas o saltos de agua.
- Para definir la rasante del fondo se prueba con el caudal especificado y diferentes cajas hidráulicas, chequeando la velocidad obtenida en relación con el tipo de revestimiento a proyectar o si va a ser en lecho natural, también se tiene la máxima eficiencia o mínima infiltración.

El plano final del perfil longitudinal de un canal debe presentar como mínimo la siguiente información:

- Kilometraje
- Cota de terreno
- BMs (cada 500 o 1000 m)
- Cota de rasante
- Pendiente
- Indicación de las deflexiones del trazo con los elementos de curva
- Ubicación de las obras de arte
- Sección o secciones hidráulicas del canal, indicando su kilometraje
- Tipo de suelo
- Tabla con elementos geométricos e hidráulicos del diseño

Figura 45. Sección típica de un canal



Fuente: ANA (2010)

Donde:

T = ancho superior del canal

b = plantilla

Z = valor horizontal de la inclinación del talud

C = berma del camino (0,5 m si el canal es de tercer orden, 0,75 m si es de segundo orden o 1,00 m si es de primer orden)

V = ancho del camino de vigilancia (3 m si el canal es de tercer orden, 4 m si es de segundo orden y 6 m si es de primer orden)

H = altura de caja o profundidad de rasante del canal

En algunos casos el camino de vigilancia puede ir en ambos márgenes, según las necesidades del canal. Igualmente, la capa de rodadura de 0,10 m puede no ser necesaria, dependiendo de la intensidad del tráfico.

Sección hidráulica óptima

a. Determinación de máxima eficiencia hidráulica

Se dice que un canal es de máxima eficiencia hidráulica cuando para la misma área y pendiente conduce el mayor caudal posible. Esta condición está referida a un perímetro húmedo mínimo, la ecuación que determina la sección de máxima eficiencia hidráulica es:

$$\frac{b}{y} = 2 * \operatorname{tg} \left(\frac{\Theta}{2} \right)$$

Donde:

Θ = ángulo que forma el talud con la horizontal

$\arctan = l/z$

b = plantilla del canal

y = tirante o altura de agua

dición depende del tipo de suelo y del tirante del canal, la ecuación que determina la mínima infiltración es:

$$\frac{b}{y} = 4 * \operatorname{tg} \left(\frac{\Theta}{2} \right)$$

b. Determinación de mínima filtración

Se aplica cuando se quiere obtener la menor pérdida posible de agua por infiltración en canales de tierra. Esta con-

La siguiente tabla presenta estas condiciones, además del promedio recomendado.

Tabla 28. Relación plantilla vs. tirante para máxima eficiencia, mínima infiltración y el promedio de ambas

Talud	Ángulo	Máxima eficiencia	Mínima infiltración	Promedio
Vertical	90°00'	2,0000	4,000	3,000
¼:1	75°58'	1,5616	3,1231	2,3423
½:1	63°26'	1,2361	2,4721	1,8541
4/7:1	60°15'	1,1606	2,3213	1,7410
¾:1	53°08'	1,0000	2,000	1,500
1:1	45°00'	0,8284	1,6569	1,2426
1 ¼:1	38°40'	0,7016	1,4031	1,0523
1 ½:1	33°41'	0,6056	1,2111	0,9083
2:1	26°34'	0,4721	0,9443	0,7082
3:1	18°26'	0,3246	0,6491	0,4868

Fuente: ANA (2010)

De todas las secciones trapezoidales, la más eficiente es aquella donde el ángulo que forma el talud con la horizontal es 60°, además para cualquier sección de máxima eficiencia debe cumplirse:

$$R = y / 2$$

Donde:

R = radio hidráulico

y = tirante del canal

No siempre se puede diseñar de acuerdo con las condiciones mencionadas, al final se imponen una serie de circunstancias locales que imponen un diseño propio para cada situación.

Diseño de secciones hidráulicas

Se deben tener en cuenta factores como el tipo de material del cuerpo del canal, el coeficiente de rugosidad, la velocidad máxima y la mínima permitidas, la pendiente del canal, los taludes, entre otros. La ecuación más utilizada es la de Manning o Strickler, y su expresión es:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

Donde:

Q = caudal (m³/s)

n = rugosidad

A = área (m²)

R = radio hidráulico (área de la sección húmeda/perímetro húmedo)

Criterios de diseño

En el diseño de canales se consideran diferentes factores, como el caudal a conducir, los factores geométricos e hidráulicos de la sección, los materiales de revestimiento, la topografía existente, la geología y geotecnia de la zona,

los materiales disponibles en la zona o en el mercado más cercano, los costos de materiales, la disponibilidad de mano de obra calificada, la tecnología actual, la optimización económica, la socioeconomía de los beneficiarios, la climatología, la altitud y otros. Si se tienen en cuenta todos estos factores, se llegará a una solución técnica y económica más conveniente.

a. Rugosidad

Depende del cauce y el talud, las paredes laterales del mismo, la vegetación, la irregularidad y el trazado del canal, el radio hidráulico y las obstrucciones en el canal. Generalmente al diseñar canales en tierra se supone que el canal está recientemente abierto, limpio y con un trazado uniforme; sin embargo, el valor de rugosidad inicialmente asumido difícilmente se conservará con el tiempo, lo que quiere decir que en la práctica se hará frente a un continuo cambio de la rugosidad.

En canales proyectados con revestimiento, la rugosidad es función del material usado, que puede ser concreto, geomanta, tubería PVC, HDP o metálica, o si van a trabajar a presión atmosférica o presurizados. La siguiente tabla muestra valores estimados de “n” que pueden ser refutados con investigaciones y manuales, pero funcionan como una referencia para el diseño.

Tabla 29. Valores de rugosidad de “n” de Manning

n	Superficie
0,010	Muy lisa, vidrio, plástico, cobre
0,011	Concreto muy liso
0,013	Madera suave, metal, concreto frotachado
0,017	Canales de tierra en buenas condiciones
0,020	Canales naturales de tierra, libres de vegetación
0,025	Canales naturales con alguna vegetación y piedras esparcidas en el fondo
0,035	Canales naturales con abundante vegetación
0,040	Arroyos de montaña con muchas piedras

Fuente: ANA (2010)

Tabla 30. Relaciones geométricas de las secciones transversales más frecuentes

Sección	Área hidráulica A	Perímetro mojado P	Radio hidráulico R	Espejo de agua T
Rectangular	by	b+2y	$\frac{by}{b+2y}$	b
Trapezoidal	(b+zy)y	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	b + 2zy
Triangular	zy ²	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	2zy
Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$\frac{(\text{sen}\frac{\theta}{2})D}{2\sqrt{y(D-y)}}$
Parabólica	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Fuente: ANA (2010)

b. Talud apropiado según el tipo de material

La inclinación de las paredes laterales de un canal depende de varios factores, pero en especial de la clase de terre-

no donde están alojados. La U. S. Bureau of Reclamation recomienda un talud único de 1,5:1 para sus canales.



Foto: USAID Perú

Tabla 31. Taludes apropiados para distintos tipos de material

Material	Talud (h:v)
Roca	Prácticamente vertical
Suelos de turba y detritos	0,25:1
Arcilla compacta o tierra con recubrimiento de concreto	0,5:1 hasta 1:1
Tierra con recubrimiento de piedra o tierra en grandes canales	1:1
Arcilla firme o tierra en canales pequeños	1,5:1
Tierra arenosa suelta	2:1
Greda arenosa o arcilla porosa	3:1

Fuente: Aguirre (1974)

Tabla 32. Pendientes laterales en canales según tipo de suelo

Material	Canales poco profundos	Canales profundos
Roca en buenas condiciones	Vertical	0,25:1
Arcillas compactas o conglomerados	0,5:1	1:1
Limos arcillosos	1:1	1,5:1
Limos arenosos	1,5:1	2:1
Arenas sueltas	2:1	3:1
Concreto	1:1	1,5:1

Fuente: Aguirre (1974)

c. Velocidades máxima y mínima permisibles

La velocidad mínima permisible es aquella velocidad que no permite sedimentación. Este valor es muy variable y no puede ser determinado con exactitud. Cuando el agua fluye sin limo, este valor carece de importancia, pero la baja velocidad favorece el crecimiento de las plantas en los

canales de tierra. El valor de 0,8 m/s se considera como la velocidad apropiada, pues no permite sedimentación e impide el crecimiento de plantas en el canal. La velocidad máxima permisible generalmente se estima de acuerdo con la experiencia local o el juicio de la persona a cargo de la obra.

Tabla 33. Máxima velocidad permitida en canales no recubiertos de vegetación

Material de la caja del canal	"n" Manning	Velocidad (m/s)		
		Agua limpia	Agua con partículas coloidales	Agua transportando arena, grava o fragmentos
Arena fina coloidal	0,020	1,45	0,75	0,45
Franco arenoso no coloidal	0,020	0,53	0,75	0,60
Franco limoso no coloidal	0,020	0,60	0,90	0,60
Limos aluviales no coloidales	0,020	0,60	1,05	0,60
Franco consistente normal	0,020	0,75	1,05	0,68
Ceniza volcánica	0,020	0,75	1,05	0,60
Arcilla consistente muy coloidal	0,025	1,13	1,50	0,90
Limo aluvial coloidal	0,025	1,13	1,50	0,90
Pizarra y capas duras	0,025	1,80	1,80	1,50
Grava fina	0,020	0,75	1,50	1,13
Suelo franco clasificado no coloidal	0,030	1,13	1,50	0,90
Suelo franco clasificado coloidal	0,030	1,20	1,65	1,50
Grava gruesa no coloidal	0,025	1,20	1,80	1,95
Grava y guijarros	0,035	1,80	1,80	1,50

Fuente: Krochin (1978)

En general, los canales viejos soportan mayores velocidades que los nuevos. Además, un canal profundo conduce el agua a mayores velocidades sin erosión, que otros menos profundos.

Tabla 34. Velocidades máximas en hormigón en función de su resistencia

Resistencia (kg/cm ²)	Profundidad del tirante (m)				
	0,5	1	3	5	10
50	9,6	10,6	12,3	13,0	14,1
75	11,2	12,4	14,3	15,2	16,4
100	12,7	13,8	16,0	17,0	18,3
150	14,0	15,6	18,0	19,1	20,6
200	15,6	17,3	20,0	21,2	22,9

Fuente: ANA (2010)

La Tabla 34 da valores de velocidad admisibles altos; sin embargo, la U. S. Bureau of Reclamation recomienda que cuando se trata de revestimiento de canales de hormigón no armado las velocidades no excedan de 2,5-3,0 m/s, para evitar que el revestimiento se levante. Cuando se tenga que proyectar tomas laterales u obras de alivio lateral, se debe tener en cuenta que las velocidades tienen que ser previamente controladas (pozas de regulación), con la finalidad de no producir turbulencias que originen perturbaciones.

d. Borde libre

Es el espacio entre la cota de la corona y la superficie del agua. No existe ninguna regla que se pueda aceptar universalmente para el cálculo del borde libre, debido a que las fluctuaciones de la superficie del agua en un canal se pueden originar por causas incontrolables.

La U. S. Bureau of Reclamation recomienda estimar el borde libre con la siguiente fórmula:

$$\text{Borde libre} = \sqrt{CY}$$

Donde:

C = 1,5 para caudales menores a 20 pies³/s, y hasta 2,5 para caudales del orden de los 3000 pies³/s

Y = tirante del canal en pies

La Autoridad Nacional del Agua (2010) muestra valores recomendados para el borde libre a partir del caudal y del tipo de revestimiento:

Tabla 35. Borde libre en función del caudal

Caudal m ³ /s	Revestido (cm)	Sin revestir (cm)
0,05	7,5	10,0
0,05-0,25	10,0	20,0
0,25-0,50	20,0	40,0
0,50-1,00	25,0	50,0
>1,0	30,0	60,0

Fuente: ANA (2010)

Villón (1981) sugiere valores en función de la plantilla del canal:

Tabla 35. Borde libre en función del caudal

Ancho de la plantilla (m)	Borde libre (m)
Hasta 0,8	0,4
0,8-1,5	0,5
1,5-3,0	0,6
3,0-20,0	1,0

Fuente: Villón (1981)

Criterios de espesor de revestimiento

No existe una regla general para definir los espesores del revestimiento de concreto; sin embargo, según la experiencia acumulada en la construcción de canales en el país, se puede usar un espesor de 5 a 7,7 cm para canales pequeños y medianos y de 10 a 15 cm para canales medianos y grandes, siempre que estos se diseñen sin armadura. Si se quiere proyectar un revestimiento con geomembranas se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para canales pequeños se debe usar geomembrana de PVC y para canales grandes una geomembrana de polietileno HDP.
- Los espesores de la geomembrana varían entre 1 y 1,5 mm.
- Hay que cuidar que el canal se ubique en zonas donde pueda ser vigilado constantemente para que no pueda ser afectada la membrana.
- Tener cuidado en las actividades de operación y mantenimiento.

- Técnica y cuidados de instalación de la geomembrana.
- El grupo social para servir tiene que ser capacitado para el manejo de este tipo de revestimiento.
- También se puede usar la geomembrana asociada con un revestimiento de concreto. Así, la geomembrana actúa como elemento impermeabilizante (el concreto se deteriora con las bajas temperaturas) y el concreto como elemento de protección, sobre todo en obras ubicadas por encima de los 4 000 m s. n. m. o en zonas desoladas.

Ejemplo aplicativo

Condiciones generales

- Construcción de una bocatoma de mampostería de piedra.
- Construcción de un desarenador de mampostería de piedra.
- Construcción de 5 km de canal impermeabilizado de mampostería de piedra con sistema de un desarenador.
- Construcción de 5 km de canal de tierra para infiltración del agua en el terreno.

Planilla de metrados

Los metrados se desarrollan de forma ordenada y secuencial según la ejecución de actividades, teniendo en cuenta etapas como obras preliminares, obras provisionales, construcción de bocatoma y desarenador, construcción de canal de impermeabilizado y construcción de canal de infiltración.

Las obras preliminares comprenden la movilización y desmovilización, la construcción y el mejoramiento de trochas de acceso a la zona de plantación, el trazo y replanteo de la zona de trabajo, la limpieza manual del terreno a trabajar, la demolición de estructuras existentes, la eliminación manual de desmonte y la sensibilización a la población. Entre las obras provisionales están la construcción del campamento provisional y de un cartel de obra.

La etapa de construcción de la bocatoma y el desarenador incluye el movimiento de tierras en terreno suelto, semirocoso y rocoso. Las obras en concreto consideran la mampostería de piedra canteada, las juntas asfálticas de dilatación y el suministro y la colocación de compuertas.

La etapa de construcción de canal de impermeabilizado se caracteriza por el movimiento de tierras, la eliminación de material exente y las obras en concreto. El movimiento de tierras se realiza en material suelto, semirocoso y rocoso, un relleno con material propio y material de préstamo. Las obras en concreto consisten básicamente en el encofrado del canal o cerchas, la mampostería de piedra canteada y las juntas asfálticas de dilatación. Finalmente, está la etapa de construcción del canal de infiltración, que constituye únicamente la excavación en los tres (3) tipos de terreno y la eliminación del material excedente.

El metrado de los canales de impermeabilización e infiltración debe realizarse por progresivas, a través de secciones transversales sobre un terreno con los tramos de tipos de suelo previamente identificados.



Foto: Forest Trends

Tabla 37. Amunas: planilla de metrados en el ejemplo

Infraestructura Natural - Construcción de canal amunas					
Planilla de metrados					
Ítem	Descripción	Und.	Parcial	Cantidad	Final
01.00.00	Obras Preliminares				
01.01.00	Movilización y Desmovilización para canal amuna	glb	1,0	1,0	1,0
01.02.00	Trazo, nivelación y replanteo por hectárea	Km	10,0	1,0	10,0
01.03.00	Limpieza manual de terreno	ha	20,00	1,0	20,00
01.04.00	Demolición manual de estructuras	mg	16,00	1,0	16,00
01.05.00	Eliminación Manual de Desmonte dist. Prom 0.5 Km	mg	20,00	1,0	20,00
01.06.00	Sensibilización a la población en canales amunas	eve	1,00	1,0	1,0
02.00.00	Obras Provisionales				
02.01.00	Campamento provisional de obra y almacenes	mh	200,0	1,00	200,00
02.02.00	Cartel de obra 4.80 x 3.60 m con gigantografía	ud.	1,00	1,00	1,00
03.00.00	Bocatoma rústica				
03.01.00	Movimiento de tierras				
03.01.01	Excavación manual en material suelto	mg	5,0	1,0	5,0
03.01.02	Excavación en roca suelta	mg	2,0	1,0	2,0
03.01.03	Excavación en roca fija	mg	1,0	1,0	1,0
03.01.04	Nivelación y compactación manual de terreno	mg	22,85	1,0	22,85
03.01.05	Relleno compactado con material propio	mg	4,16	1,0	4,16
03.01.06	Relleno compactado con material de préstamo	mg	1,95	1,0	1,95
03.01.07	Eliminación Manual de Desmonte dist. Prom 0.5 Km	mg	5,69	1,0	5,69
03.02.00	Obras en concreto				
03.02.01	Suministro e instalación de compuerta metálica plana de 0,40 x 0,60	ud.	1,0	1,0	1,0
03.02.02	Mampostería de piedra canteada con concreto FC* 140 kg/cm ²	mg	8,63	1,0	8,63
03.02.03	Pircado con Piedra, día prom. 20" en muro	m	478,55	1,00	478,55
04.00.00	Desarenador rústico				
04.01.00	Obras en concreto				
04.01.01	Movimiento de tierras	mg	4,90	1,0	4,90

Infraestructura Natural - Construcción de canal amunas					
Planilla de metrados					
Ítem	Descripción	Und.	Parcial	Cantidad	Final
04.01.02	Excavación en roca suelta	mg	2,20	1,0	2,20
04.01.03	Excavación en roca fija	mg	1,23	1,0	1,23
04.01.04	Nivelación, perfilado y compactación manual	mg	18,45	1,0	18,45
04.01.05	Relleno compactado con material propio	mg	3,08	1,0	3,08
04.01.06	Relleno compactado con material de préstamo	mg	1,47	1,0	1,47
04.01.07	Eliminación manual de desmonte dist. prom. 0,5 km	mg	5,44	1,0	5,44
04.02.00	Obras en concreto				
04.02.01	Suministro e instalación de compuerta metálica plana de 0,4 x 0,6 m	ud.	1,00	1,0	1,00
04.02.02	Mampostería de piedra canteada con concreto FC*140 kg/cm ²	mg	6,24	1,0	6,24
05.00.00	Desarenador rústico				
05.01.00	Movimiento de tierras				
05.01.01	Excavación manual en material suelto	mg	1750,00	1,0	1750,00
05.01.02	Excavación en roca suelta	mg	612,50	1,0	612,50
05.01.03	Excavación en roca fija	mg	192,50	1,0	192,50
05.01.04	Nivelación, perfilado y compactación manual	mg	14 750,00	1,0	14 750,00
05.01.05	Relleno compactado con material propio	mg	805,00	1,0	805,00
05.01.06	Relleno compactado con material de préstamo	mg	308,00	1,0	308,00
05.01.07	Eliminación manual de desmonte dist. prom. 0,5 km	mg	2075,00	1,0	2075,00
05.02.00	Obras en concreto				
05.02.01	Mampostería de piedra canteada con concreto FC*140 kg/cm ²	mg	1100,25	1,0	1100,25
06.00.00	Canal de infiltración				

Presupuesto de obra

El presupuesto del proyecto lo conforman los costos directos e indirectos. El costo directo es el producto del costo unitario de la partida por el metrado de dicha partida. Por su parte, el costo indirecto está representa-

do por los gastos generales sustentados y presentados como un porcentaje del costo directo, la utilidad (estimada en un 10 % del costo directo) y el IGV, estimado en un 18 % del subtotal (suma del costo directo, gastos generales y la utilidad).

Tabla 38. Amunas: presupuesto de obra en el ejemplo

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/)	Parcial (S)
1	Obras preliminares				80 479,27
1.01	Movilización y desmovilización para canal amuna	glb	1	60 257,21	60 257,21
1.04	Trazo, nivelación y replanteo por kilómetro	km	10	583,87	5 838,70
1.05	Limpieza manual de terreno	ha	20	285,04	5 700,80
1.06	eDemolición manual de estructuras	m ³	16	59,56	952,96
1.07	Eliminación manual de desmonte a una distancia Promedio de 0,5 km	m ³	20	36,48	729,60
1.08	Sensibilización a la población en canales amunas	eve	1	7 000,00	7 000,00
2	Obras provisionales				44 857,55
2.01	Campamento provisional de obra y almacenes	m ²	200	202,06	40 412,00
2.02	Cartel de obra 4,80x3,60 m (gigantografía)	und	1	4 445,55	4 445,55
3	Bocatoma rústica				4 977,14
3.01	Movimiento de tierras				1 430,65
03.01.01	Excavación manual en material suelto	m ³	5	63,82	319,10
03.01.02	Excavación en roca suelta	m ³	2,60	70,88	184,29
03.01.03	Excavación en roca fija	m ³	1,10	255,54	281,09

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/)	Parcial (S)
03.01.04	Nivelación y compactación manual de terreno	m ²	22,85	3,19	72,89
03.01.05	Relleno compactado con material propio	m ³	4,15	34,74	144,17
03.01.06	Relleno compactado con material de préstamo	m ³	1,95	113,61	221,54
03.01.07	Eliminación manual de desmonte a una distancia promedio de 0,5 km	m ³	5,69	36,48	207,57
3.02	Obras en concreto				3 546,49
03.02.01	Suministro y colocación de compuerta metálica plana de 0,40x0,60 m	und	1	915,12	915,12
03.02.02	Mampostería de piedra canteada con concreto f'c=140 kg/cm ²	m ³	8,63	304,91	2 631,37
4	Desarenador rústico				4 163,32
4.01	Movimiento de tierras				1 345,56
04.01.01	Excavación manual en material suelto	m ³	4,90	63,82	312,72
04.01.02	Excavación en roca suelta	m ³	2,20	70,88	155,94
04.01.03	Excavación en roca fija	m ³	1,23	255,54	314,31
04.01.04	Nivelación y compactación manual de terreno	m ²	18,45	3,19	58,86
04.01.05	Relleno compactado con material propio	m ³	3,98	34,74	138,27
04.01.06	Relleno compactado con material de préstamo	m ³	1,47	113,61	167,01
04.01.07	Eliminación manual de desmonte a una distancia promedio de 0,5 km	m ³	5,44	36,48	198,45
4.02	Obras en concreto				2 817,76
04.02.01	Suministro y colocación de compuerta metálica plana de 0,40x0,60 m	und	1	915,12	915,12
04.02.02	Mampostería de piedra canteada con concreto f'c=140 kg/cm ²	m ³	6,24	304,91	1 902,64
5	Canal impermeabilizado				740 654,72
5.01	Movimiento de tierras				403 348,03
05.01.01	Excavación manual en material suelto	m ³	1 750,00	63,82	111 685,00

Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/)	Parcial (S)
05.01.02	Excavación en roca suelta	m ³	612,5	70,88	43 414,00
05.01.03	Excavación en roca fija	m ³	192,5	255,54	49 191,45
05.01.04	Nivelación y compactación manual de terreno	m ²	14 750,00	3,19	47 052,50
05.01.05	Relleno compactado con material propio	m ³	895	34,74	31 092,30
05.01.06	Relleno compactado con material de préstamo	m ³	398	113,61	45 216,78
05.01.07	Eliminación manual de desmonte a una distancia promedio de 0,5 km	m ³	2 075,00	36,48	75 696,00
5.02	Obras en concreto				337 306,69
05.02.01	Mampostería de piedra canteada con concreto f'c=140 kg/cm ²	m ³	1 106,25	304,91	337 306,69
6	Canal de infiltración				343 192,24
6.01	Excavación manual en material suelto	m ³	1 892,00	63,82	120 747,44
6.02	Excavación en roca suelta	m ³	259	70,88	18 357,92
6.03	Excavación en roca fija	m ³	352	255,54	89 950,08
6.04	Eliminación manual de desmonte a una distancia promedio de 0,5 km	m ³	3 128,75	36,48	114 136,80
	Costo directo				1 218 324,24
	Gastos generales				227 777,22
	Utilidad				121 832,42
	Subtotal				1 567 933,88
	IGV				282 228,10
	Total				1 822 228,10

Fuente: Forest Trends

3.6. Qochas

3.6.1. Definición

Las *qochas* son depósitos pequeños de agua, ubicadas en las cabeceras de cuenca, que retienen y represan el agua de lluvia. Mediante una lenta infiltración recargan permanentemente las aguas subterráneas, manteniendo las manantes aguas abajo. Han sido utilizadas a lo largo de la historia por poblaciones altoandinas y, en general, se implementan en el contexto de tierras agrícolas.

El beneficio hídrico que las *qochas* pueden generar al caudal base en estación seca depende en gran medida de cómo su diseño responda a los factores hidrológicos y físicos que influyen en la evapotranspiración, evaporación, captura de escorrentía, recarga del agua subterránea y extracciones localizadas de agua (Foster *et al.*, 2020).

Existen dos tipos de *qochas*: naturales y artificiales. Las *qochas* naturales se forman mediante una depresión existente y las artificiales son las realizadas por el ser humano. Por lo general, se usa una combinación: se construye un dique y se consigue una mayor área de almacenamiento para la infiltración.

Ventajas

- Mantienen por un periodo más prolongado los manantes ubicados en la parte baja, así aumentan la disponibilidad de agua.
- Generan humedad en las áreas cercanas, lo que impacta positivamente en la producción de pastos naturales.
- Mejoran la calidad del agua, porque al infiltrarse en su recorrido por el subsuelo limpia.
- Contribuyen a recuperar y mantener los bofedales.

Desventajas

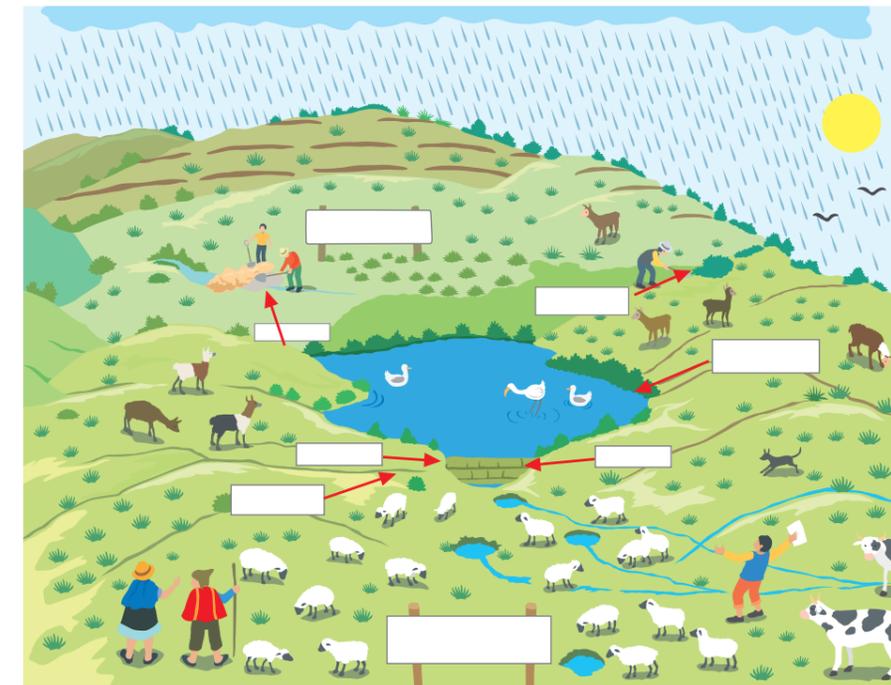
- No es tan fácil tener u obtener áreas para construirlas, ya que las familias de las comunidades utilizan el terreno para el ganado.
- No todas las áreas son apropiadas para su construcción. Se requiere de asesoramiento técnico para su ubicación y la posterior construcción del dique que garantice su calidad, estabilidad, operación y mantenimiento.

Componentes de la qocha

- Área tributaria:** parte alta de la *qocha*, por donde el agua de lluvia discurre antes de llegar al área de almacenamiento.
- Área de influencia:** parte baja de la *qocha*, donde aparecen o se recuperan los bofedales, manantes y pastos naturales como resultado de la infiltración.
- Área de almacenamiento:** parte que ocupa el agua almacenada, puede ser permanente o temporal, dependiendo del tamaño y tipo de suelo.
- Dique:** muro construido con piedras, champas y tierra compactada para evitar que el agua discorra por el cauce natural.
- Desarenador:** zanja o montículo de piedra construido antes del ingreso del agua al área de almacenamiento para evitar la acumulación de tierra, arena u otros en la base de la *qocha*.
- Acequia colectora:** acequia construida para colocar el agua de lluvia de quebradas laterales, lagunas, manantes o bofedales de las partes altas.
- Aliviadero:** canal construido en un extremo de la parte superior del dique para evacuar el exceso de agua de la *qocha* y evitar la erosión y destrucción del dique.
- Acequia de excedencia:** inicia en el aliviadero y sirve para evacuar el agua excedente y mejorar la humedad en zonas secas de la parte baja de la *qocha*.



Figura 46. Componentes de una qocha



Fuente: Forest Trends.

3.6.2. Diseño de qochas

Consideraciones para el diseño de qochas

a. Hidrogeológicas

- Porosidad del basamento rocoso.
- Presencia de fracturas o fallas geológicas.
- Afloramientos rocosos.

b. Nivel de precipitación, recarga hídrica y erosión

Se debe tener en cuenta la estacionalidad y la variabilidad de las precipitaciones y considerar los periodos pico de lluvia. Asimismo, se debe considerar la erosión eólica, que puede reducir el área tributaria y anular el flujo de agua.

c. Área aportante

Se debe tener dimensionar un adecuado tamaño del área portante que concuerde con la oferta de agua proveniente de las lluvias.

d. Geología

Es necesario considerar la pendiente y la disponibilidad de los materiales de construcción para el dique.

e. Accesibilidad constructiva

La disposición de la comunidad a donar áreas para las futuras qochas y el traslado de los materiales de construcción

para el dique utilizado en la qocha son dos aspectos importantes a tener en cuenta.

Orientaciones técnicas para el diseño de qochas

a. Predimensionamiento de la qocha

i. Ubicación del dique

La ubicación del dique exige condiciones topográficas, hidrológicas, geológicas y de mecánica de suelos. Es muy importante tener presente que la qocha debe almacenar y/o filtrar la mayor cantidad de agua y la longitud del dique debe ser lo más angosta posible para obtener el máximo beneficio al menor costo.

ii. Condiciones hidrológicas

El sector elegido debe tener características para un buen almacenamiento; es decir, sea una laguna natural antigua o una depresión de suelo con poca escorrentía, debe tener topografía suave y área tributaria suficiente para que la escorrentía garantice el escurrimiento necesario y abastecimiento.

Se recomienda construir los diques en temporada seca para que el dique invada el área del espejo de la laguna por el retroceso del agua. Esto asegura la estabilidad del dique con respecto a la pendiente de salida.

iii. Condiciones topográficas

Las condiciones topográficas son necesarias para tener un estrechamiento topográfico suficiente para conformar la boquilla donde se ubique el dique de tierra, para favorecer la economía y la técnica de construcción del dique. Mientras más corto sea, se utilizará menos material, se realizará una buena compactación y se garantizará la eficiencia del represamiento (solidez y duración). La pendiente del escurrimiento superficial a la salida de la zona de almacenamiento debe ser entre 0 y 2 %, pues cuanto menor sea la gradiente el dique se conservará mejor.

iv. Condiciones geológicas y geotécnicas

Las condiciones geológicas son necesarias para que el dique tenga la capacidad de resistir el peso y las características de la permeabilidad del cimiento. El dique no debe estar ubicado demasiado cerca al área de almacenamiento, ya que ge-

neralmente en ella se encuentran suelos orgánicos (turberas), que dificultan la construcción con excavaciones profundas y requieren costosas obras de drenaje. Si el área cercana al almacenamiento no tiene suelos altamente orgánicos se puede invadir el área de la laguna en época de estiaje.

Las condiciones de mecánica de suelos se exigen para contar con bancos de materiales arcillosos, piedras y champas cercanos, que proporcionen la impermeabilidad necesaria en el dique de almacenamiento.

b. Dimensionamiento de la geometría del dique

i. Los componentes o elementos de un dique de tierra son:

- **Cuerpo:** estructura que tiene por objeto crear un almacenamiento de agua o derivar el río. Como términos asociados se utiliza la palabra terraplén si es de relleno de suelo, o pedraplén si el relleno es de enrocado. La estructura esté ubicada en la sección de cierre del vaso o boquilla.
- **Corona:** superficie superior del dique de la qocha.
- **Drenes:** elementos ubicados en la parte inferior del talud seco del dique, que sirven para el desfogue de agua por filtración.
- **Diafragma:** ubicado en la parte frontal inferior, sirve para el anclaje de la estructura impermeable.
- **Geomembrana:** elemento que sirve como pantalla impermeable en todo el frente del dique, en la cara en contacto con el agua (cara húmeda).
- **Altura:** distancia vertical máxima entre la corona y la cimentación. Por la presencia de depósitos aluviales no necesariamente coincide con la medida desde el cauce del río.
- **Talud:** pendiente entre las longitudes del cateto vertical y el horizontal; por ejemplo, un talud 1:2 hace referencia a que la cotangente del ángulo que forma el plano o traza con la horizontal es de 2.
- **Protección con champas y piedras:** colocación de champas y piedras para proteger el cuerpo del dique de la erosión que pueden causar las lluvias.
- **Borde libre:** distancia vertical entre la corona y el nivel de tirante del caudal de salida por el vertedero, en este parámetro se incluye la altura de reptación de olas producidas por ráfagas de vientos.

ii. Niveles característicos

- **Nivel de inoperativo (N. I.):** nivel mínimo de agua en el embalse. Delimita superiormente el volumen muerto del embalse, el cual debe exceder en capacidad al volumen de sedimentos calculado durante la vida útil para que el embalse los pueda contener. Cota superior del volumen muerto y que corresponde al nivel del umbral de la estructura de captación (toma o descarga de servicio).
- **Nivel de operación (N. O.):** la operación del dique se lleva a cabo entre el N. I. y el N. O., que es el máximo nivel con que se puede operar una presa. Cuando el vertedor de excedencias no es controlado por com-

puertas, el N. O. coincide con la rasante de su cresta o punto más bajo del vertedor. Corresponde al volumen útil del embalse.

- **Nivel de avenidas (N. A.):** el nivel de aguas máximas extraordinarias es el nivel más alto que debe alcanzar el agua en el vaso bajo cualquier condición. El volumen que queda entre ese nivel y el N. O., llamado súper almacenamiento, sirve para controlar las avenidas que se presentan cuando el nivel del vaso está cercano al N. O., momento en que la avenida de diseño alcanza la altura de descarga que mantiene al aliviadero trabajando a plena capacidad. Para el balance de los niveles de almacenamiento se utiliza la siguiente relación:

$$\text{Vol. total del embalse} = \text{Vol. inoperativo} + \text{Vol. útil} + \text{Vol. extraordinario}$$

c. Criterios para el diseño del dique

Previo análisis se debe tener en cuenta las fallas graves o catastróficas en el dique de materiales locales, que según el orden de ocurrencia son:

- Rebase de la cortina
- Sifonamiento mecánico
- Agrietamiento transversal
- Deslizamiento del talud aguas abajo
- Sismos
- Licuación

d. Factores que influyen en el diseño

El diseño de una cortina de tierra y enrocado está basado en procedimientos analíticos y la experiencia del proyectista. Además, en el conocimiento de las características particulares de cada sitio, porque para cada sitio puede existir una gran variedad de soluciones técnico económicas como funcionales. Los factores que afectan al diseño son:

- Función de la actividad.
- Tipo, calidad y localización de los materiales.
- Características de la boquilla, cimentación y vaso.
- Desviación de agua.
- Acción probable del oleaje.
- Características climatológicas de la región.

- Características geológicas de la región.
- Importancia general de la actividad.

e. Requisitos para la construcción de un terraplén

Proyectar un terraplén significa determinar la sección transversal de un dique. La gran heterogeneidad del material de construcción hace imposible la aplicación de fórmulas de diseño. Un terraplén debe cumplir los siguientes requisitos:

- Tener taludes estables bajo todas las condiciones de construcción y operación de la qocha.
- Controlar las filtraciones a través del dique.
- Estar seguro contra rebosamientos.
- Contar con taludes seguros contra la erosión.
- Ser de costo mínimo y emplear materiales económicos a disposición máxima.
- Ser del tipo homogéneo, compuesto o de diafragma, los taludes se determinan de acuerdo con el tipo de suelo, la cimentación y el tipo del dique.

f. Consideraciones para el dimensionamiento geométrico

i. Determinación de taludes

A continuación, lo taludes recomendados para presas de tierra homogéneas sobre cimentaciones estables, considerando la altura del dique.

Tabla 39. Taludes de tierra homogénea

TALUD AGUAS ARRIBA (Z1) Y TALUD AGUAS ABAJO (Z2)			
Criterio		Z1 (H:V)	Z2 (H:V)
Ciertos reglamentos de presas fijan un rango de taludes con respecto a la altura de presa	H = 4,5-12 m	2,0:1	1,5:1
	H = 12-30 m	2,5:1	2,0:1
	H = 30-45 m	3,0:1	2,5:1
Fórmulas empíricas propuestas por Hay y Bratz para la fijación de taludes		$H = \frac{394, H^2 - 1,7 C (c + H W \cdot \tan \beta)}{H(2c + H W \cdot \tan \beta)}$	

ii. Ancho de corona y consideraciones de diseño

Tabla 40. Ancho de la corona para diques o presas pequeñas de materiales sueltos o tierra homogénea

ANCHO DE CORONA			
Criterio	Altura de presa (m)	Ancho de corona (m)	
Ciertos reglamentos de presas fijan un rango de taludes con respecto a la altura de presa	H = 4,5-12 m	2,71	3,00
	H = 12-30 m	2,71	4,50
	H = 30-45m	2,71	6,00
T KNAPEN	√	2,71	2,72
ET PREECE	√	2,71	2,81
CÓDIGO DE ARIZONA (1960)	√	2,71	3,89
USBR BUREAU OF RE-CLAMATION	H/5 + 3,048	2,71	3,59
Relación H y coeficiente de fundación	C = (H)1/2; C =	2,71	1,56
Valor asumido			4,00

Fuente: Martínez et al. (2007)

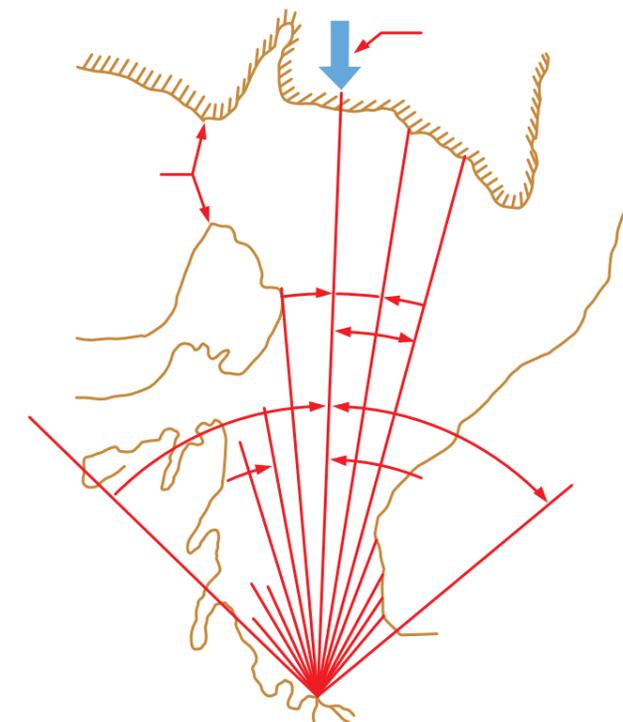
iii. Altura de coronación

La altura de coronación es el nivel de operación máximo (NAMO) más el resguardo que asegure que las olas, en el momento cuando se produce el nivel de agua de máximas extraordinarias (NAME), no se desborden sobre la qocha proyectada.

iv. Borde libre

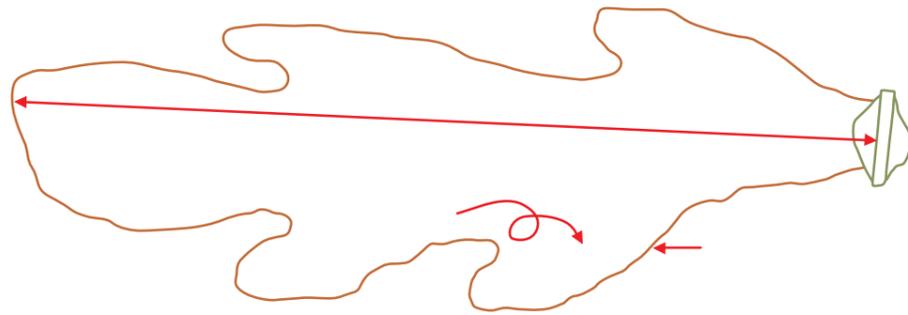
Para el cálculo del borde libre se considera el fetch. El proceso de oleaje es de carácter intermitente y se produce a alturas de impacto variable sobre el paramento de aguas arriba. El peligro radica en que el dique de materiales sueltos podría sobrepasarla y verter sobre ella. En algunos casos, los empujes dinámicos son de poca intensidad como para tenerlos en cuenta.

Figura 47. Esquema del fetch, la línea del embalse y la dirección del viento



Fuente: Forest Trends.

Figura 48. Esquema de fetch máximo



Fuente: Forest Trends.

Asimismo, se calcula un resguardo sobre el nivel máximo previsible con isotacas para intensidades del viento a 10 m y para ráfagas de 3 seg en el lugar del emplazamiento de obra, para una recurrencia de cincuenta (50) años. Otra forma de calcular el fetch o línea de agua (F) es a través de la máxima longitud entre el dique y la orilla más alejada.

v. Altura de la ola
Los métodos de cálculo para la altura de la ola son diversos. Los más utilizados están en función de F, como las fórmulas empíricas de Stevenson y la U. S. Bureau of Reclamation, como se muestra a continuación:

Tabla 41. Criterios para la altura de ola

Criterio	
Stevenson	$h_m = V^2 + F(\cos \alpha / 2 \cdot 600 * D)$
U.S. Bureau of Reclamation (USBR)	$S = V^2 * F / 4 \cdot 850 * D$
	$t = F^{(2/3)} / v^{0,41}$
Valor asumido	$t < 1 \text{ h}$

Fuente: Martínez et al. (2007)

Donde:
V = velocidad del viento para una recurrencia de cincuenta (50) años (m/s)
F = fetch efectivo o alcance (km)

D = calado o profundidad media del vaso (m)
A = ángulo formado por la dirección del viento y el fetch (*)
t = tiempo necesario para el desarrollo del oleaje (h)
 Si $t < 1 \text{ h}$ cumple la condición, no reducir "V" en 5 %

Tabla 42. Altura de la ola significativa

Altura de ola significativa			
Criterio		h' (m)	hs (m)
Stevenson	$h' = 0,34 (F)^{1/2} + 0,76 - 0,26(F)^{1/4}$	0,716	0,909
Irribarren		0,615	0,781
Molitor-Stevenson	$H_0 = 0,0323\sqrt{VF} + 0,76 - 0,272^4\sqrt{F}$	0,659	0,837
USBR	$H_s = \frac{v^{1,23} * F^{1/2}}{87 * 3}$		0,126
Valor asumido			0,126

Fuente: Martínez et al. (2007)

Donde:
Hs = altura de ola significativa (m)
L y **F** = fetch efectivo (m) h',
H0 = altura promedio de las olas (m)
 v. velocidad de viento (m/s)

Tabla 43. Altura del remonte de ola por el paramento

Criterio	
Stevenson	$H_e = 0,4 T g h s^{1/2} t g \beta$
USBR	$T = 0,556 v^{0,41} F^{1/3}$
	$Lo = (g/2\pi) * T^2$
	$R = \frac{H}{0,4} + \left(\frac{H^{0,5}}{L}\right) cot \beta$

Fuente: Martínez et al. (2007)

Donde:

B = ángulo con la horizontal del talud de aguas arriba de la presa (°)

He, R = altura de olas de rodamiento sobre el talud o altura de remonte (m)

T = tiempo del oleaje por la altura de ola significativa (s)

L = longitud de ola para cada significativa (m)

vi. Altura de seguridad

$$h_{se} = \frac{l}{n} \text{ (NAME - NAMO)}$$

Tabla 44. Altura del borde libre y cota de coronamiento

Criterio
BL = Hm + He + Hse
Nivel de coronamiento = Name + BL

Fuente: Martínez et al. (2007)

vii. Descarga de fondo

Estas obras deben estar conformadas por una caja de toma, tubería de descarga y una caja de válvula.

viii. Estructura de alivio

El objetivo de esta estructura es evacuar el caudal exceden-

te durante la temporada de avenidas, cuando este se encuentra con el nivel de agua por encima del NAMO, coincidente con la cresta del vertedero. Se diseña con el caudal de máxima avenida en la microcuenca, con el que se procede a calcular las dimensiones del aliviadero de demasías para el caudal estimado mediante la fórmula del vertedero:

$$Q = C_d L H^{3/2}$$

Donde:

Q = caudal que pasa sobre el vertedero

C_d = coeficiente de descarga

L = ancho del vertedero

H = carga sobre el vertedero

El coeficiente de descarga puede determinarse con la siguiente ecuación:

$$C_d = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g}$$

Donde:

μ = 0,75

g = aceleración de la gravedad

Algunas consideraciones sobre esta estructura:

- Debe ser ubicada sobre terreno natural y alejado del estribo, ya sea en la margen izquierda o derecha, sobre una cimentación conformada por suelo natural.
- Está diseñado para evacuar la avenida laminada de caudal máximo (m³/s), que permita evacuar la avenida máxima probable.

ix. Estabilidad en el cuerpo de dique

Se recomienda analizar la condición de equilibrio usando el mecanismo de falla circular de Bishop y el mecanismo de cuña, según el método de Morgenstern-Price. La información necesaria para hacerlo es:

- Peso específico
- Ángulo de fricción interna
- Cohesión

Tabla 45. Factor de seguridad del dique según norma DIN 4084

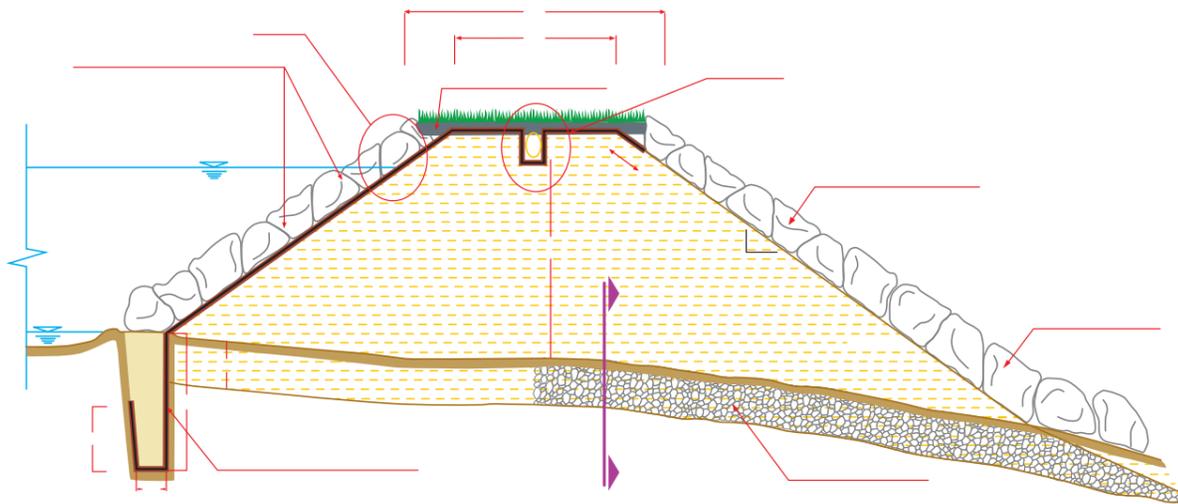
Análisis usando el método de los círculos de falla de acuerdo con BISHOP-Condición de inundación	Factor de seguridad
LC 1. Caso estándar	2,04
LC 2. Falla del drenaje en el pie de la presa	1,39
LC 2. Falla del muro de impermeabilización	1,51
Análisis usando superficies de falla poligonales según JANBU-Condición de inundación	Factor de seguridad
LC 1. Caso estándar	2,04
LC 2. Falla del drenaje en el pie de la presa	1,39
LC 2. Falla del muro de impermeabilización	1,51

Fuente: Martínez et al. (2007)

3.6.3. Consideraciones para la construcción de diques de qochas

a. Tipo I: dique de tierra

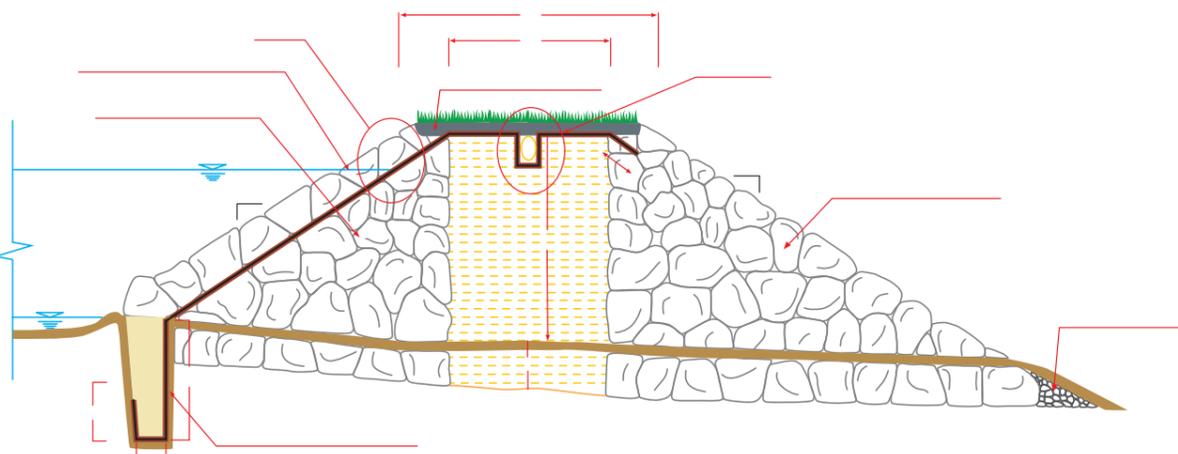
Figura 49. Dique de tierra



Fuente: Forest Trends.

b. Tipo II: dique de material mixto

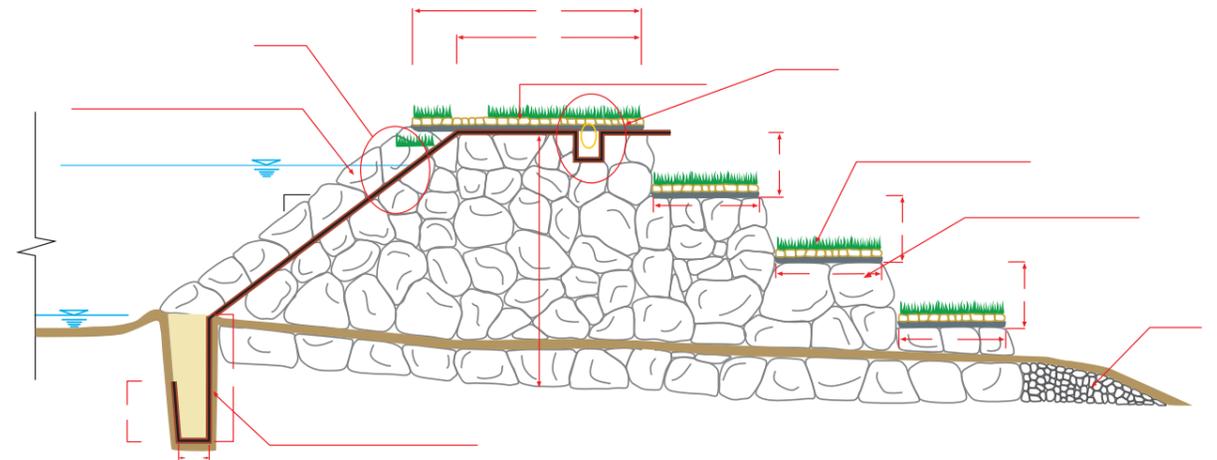
Figura 50. Dique de material mixto



Fuente: Forest Trends.

c. Tipo III: dique de material enrocado

Figura 51. Dique de material enrocado



Fuente: Forest Trends.

Proceso constructivo

Estas son las condiciones básicas para iniciar la ejecución:

- Ubicar un paso natural que puede o no estar en curso de agua de una quebrada o acequia, que contenga una cerrada en el extremo de salida, sobre la cual sea posible el emplazamiento de un dique que permita cerrar el vaso para la conformación del embalse.
- Identificar las canteras de materiales (roca, grava, arena arcillosa, arena limosa) más cercanas a la zona de emplazamiento del dique. La sección típica del dique está en función de la disponibilidad del tipo de material proveniente de la cantera más próxima.
- Identificar accesos para el ingreso de maquinaria pesada para los trabajos de conformación del dique y la explotación de cantera. Para un dique de dimensiones considerables es necesario el empleo de maquinaria pesada, como camiones, retroexcavadoras y rodillos, mientras que los diques de poca altura se pueden trabajar exclusivamente con mano de obra y equipo ligero, como una compactadora tipo plancha.

- Estudiar las condiciones de la cimentación a lo largo del eje del dique (debe ser de naturaleza impermeable de tal forma que ayude a embalsar el recurso en el vaso). Asimismo, se debe evaluar la permeabilidad en el vaso que permita definir la infiltración a través del suelo para la recarga de los acuíferos aguas abajo del dique.

Partidas básicas del proceso constructivo

a. Trazo y replanteo

Consiste en trasladar al terreno los ejes y niveles establecidos en los planos de construcción del dique a través de puntos referenciales con las cotas establecidas, de esta forma elementos como los ejes y las secciones son ubicados y llevados al terreno con sus dimensiones reales y con las secciones transversales de los elementos que se detallan en los planos. Esta partida se ejecuta de forma paralela a cada una de las partidas restantes que requiera este control, como son la excavación, los rellenos, entre otros.

b. Limpieza y desbroce de terreno

Consiste en el suministro de la mano de obra y equipo necesarios para efectuar la limpieza y el desbroce del terreno superficial y, de ser necesario, la remoción de una capa de terreno natural al interior de las áreas que van a ser ocupadas por la construcción de las obras permanentes o para depósito o extracción de materiales hasta la profundidad indicada en los planos del proyecto. A través de esta actividad se elimina toda clase de arbustos, raíces, hierbas, escombros, desperdicios y cualquier material que resulte inadecuado para la cimentación de la estructura o que pueda significar un peligro para el desarrollo de las labores de construcción del dique. En algunos casos es necesario excavar una mayor profundidad para eliminar todo el material inadecuado que pudiera existir.

c. Excavación para la cimentación

Consiste en la excavación, remoción, carguío y transporte hasta el límite de acarreo libre para colocar en los sitios de desecho de los materiales provenientes de los cortes requeridos para la construcción de la cimentación y otras estructuras que componen el dique. De ser necesario comprende la excavación y remoción de la capa vegetal y de otros materiales blandos, orgánicos y objetables en las áreas donde se hayan de realizar las excavaciones de la explanación y terraplenes.

La persona a cargo de la obra debe emplear los equipos más adecuados para las operaciones. Si las dimensiones del dique lo requieren, se puede trabajar con equipo mecánico pesado para ahorrar tiempo y costos. En todo momento será necesario tener cuidado de no provocar daños innecesarios en el entorno (construcciones y cultivos cercanos). Antes de la ejecución de los trabajos se debe verificar:

- La disposición de todos los permisos requeridos para la ejecución de los trabajos.
- El estado y funcionamiento del equipo utilizado.
- La eficiencia y seguridad de los procedimientos adoptados.
- El cumplimiento de los programas de trabajo.
- El alineamiento, el perfil y la sección de las áreas excavadas.
- Que toda superficie para base de terraplén o subrasante mejorada quede limpia y libre de materia orgánica.
- La compactación de la subrasante.

d. Relleno con material de grava para filtro

Es la conformación gradual de una capa de filtro de granos de grava o piedra partida, colocados en el cuerpo del dique según lo indicado en los planos para permitir la depresión de la línea freática a través del cuerpo del dique y la posterior evacuación de las probables filtraciones. Antes de ser colocado, el material de filtro debe humedecerse totalmente. La colocación se realiza junto con el relleno para conformación del núcleo del dique: el filtro se coloca en capas de 30 cm, compactándose en forma manual los bordes con el talud indicado para proceder con la siguiente capa.

e. Relleno compactado para terraplén

Comprende el suministro de la mano de obra, el equipo y la ejecución de las operaciones necesarias para la colocación y compactado de los materiales sueltos para terraplén sobre una superficie previamente preparada, con la finalidad de acrecentar la plataforma o elevar el nivel del terreno del dique hasta alcanzar la cota indicada en los planos. El material utilizado en la construcción de terraplenes debe provenir de una cantera y ser de tipo grava arcillosa o limosa para garantizar la impermeabilidad del núcleo según lo indicado en los planos.

Antes de la colocación de la primera capa de material se debe preparar la limpieza de la subrasante y eliminar todas las piedras que superen los 10 cm, para finalmente realizar un escarificado de la superficie. Luego, se procede a eliminar cualquier piedra de más de 10 cm que pudiera quedar, para posteriormente aplicar el riego. Después, el material de relleno se extiende por medios mecánicos en cantidad suficiente hasta obtener capas horizontales de 30 cm de espesor después de compactadas. Posteriormente, se realiza la compactación con rodillo vibratorio realizando un escarificado de la superficie antes de aplicar la siguiente tongada. La compactación de los terraplenes se realiza cuando el material presenta una humedad adecuada, hasta alcanzar una densidad no menor al 95 % de la densidad máxima obtenida por el método Proctor estándar. En caso los materiales seleccionados presenten características notoriamente diferentes, deben ser mezclados para obtener la uniformidad necesaria. Es importante aclarar que en el material de

terraplén no debe haber piedras de más de 10 cm, ni estar constituido por arcillas o limos uniformes, ni contener materia orgánica, porque son perjudiciales.

f. Suministro y colocación de geomembrana

Consiste en la provisión del material y la ejecución de todos los trabajos necesarios para la colocación de un manto impermeabilizante tipo geomembrana en el talud aguas arriba

del dique, de acuerdo con lo indicado en los planos. Antes de colocar la geomembrana, es necesario limpiar y nivelar la superficie, así como eliminar el material de desecho. Una vez lista la superficie, se coloca el manto de geomembrana evitando la formación de cualquier tipo de pliegue, arruga o doblez que altere su función. Si el ancho del rollo de geomembrana resulta insuficiente para cubrir todo el ancho requerido, se debe efectuar un solape por extrusión,



de acuerdo con lo indicado por el fabricante. Finalmente, se deben soldar las mantas de geomembrana con equipos adecuados para garantizar la estanqueidad de la cara húmeda del dique.

g. Relleno compactado para anclaje de geomembrana

El relleno para anclaje debe ser construido conforme al trazo, los alineamientos y las secciones transversales indicadas en los planos. En caso de que la calidad del terreno lo requiera, se puede aumentar o disminuir el ancho de la fundación para garantizar la fijación de la geomembrana en el terreno.

El material empleado en estos rellenos debe ser de baja permeabilidad y consistir en suelos granulares o finos de baja plasticidad y con tamaño máximo de 2 pulgadas, de modo que no dañen a la estructura y que sean fáciles de compactar con pisonés neumáticos o eléctricos. Pueden ser materiales designados como GC y/o SC del sistema de clasificación unificada de suelos y que no tengan un contenido mayor de 5 % de materia orgánica, provenientes de la cantera reconocida.

Se deben efectuar ensayos de verificación del material preparado en la cantera propuesta para determinar su granulometría y sus características de máxima densidad y contenido óptimo de humedad, por medio de ensayos de Proctor estándar. Una vez aprobado el material preparado en cantidad suficiente para cubrir los rellenos previstos, se puede empezar con su colocación siguiendo los procedimientos usuales en estos trabajos. Durante este proceso se efectúan ensayos rutinarios periódicos para certificar que la calidad del material preparado se mantenga. Este debe ser adecuadamente protegido de la lluvia, para evitar que su contenido de humedad aumente significativamente con relación al contenido óptimo de humedad. Una vez concluidos los trabajos de explotación de la cantera, esta debe ser reconformada de modo que su superficie quede uniforme, cubierta con tierra vegetal proveniente de la limpieza y desbroce de las obras, revegetada y/o con la apariencia que tuvo antes de su explotación. Estos costos de conformación están incluidos en los precios unitarios del tratamiento de la

zona de cantera previstos en los trabajos de preservación del medio ambiente.

h. Anclaje de geomembrana en corona

Consiste en la excavación de una zanja longitudinal (dimensiones indicadas en los planos) a lo largo del eje sobre la corona del dique y que sirve para el anclaje de la geomembrana. La geomembrana se coloca pegada a los bordes de la zanja excavada, para luego ser rellena con material impermeable y, posteriormente, compactado manualmente o con equipo ligero. Es importante verificar que el material de relleno de la zanja esté limpio de restos vegetales y piedras de más de 10 cm que pudieran dañar la geomembrana. Esta operación puede realizarse por tramos mientras se va soldando longitudinalmente la geomembrana a lo largo del dique.

i. Colocación de enrocado de protección

Consiste en la colocación de un enrocado de protección en el talud aguas arriba y abajo del dique. Las piedras se pueden seleccionar en la misma fuente o hacer la selección durante la colocación, o combinar ambos métodos. El material seleccionado debe cumplir con los requerimientos de diámetro mínimo y peso señalados en los planos. Los bloques de piedra se descargan directamente de los volquetes y con ayuda de peones o de equipos mecánicos, como retroexcavadoras, son acomodados de manera que los fragmentos grandes queden uniformemente distribuidos y que los pequeños sirvan para llenar los espacios vacíos entre ellos. El resultado es una capa de espesor y superficie uniforme bien acuñada y densamente colocada, para evitar movimientos posteriores. No se permite la colocación de piedras en gradas.

j. Colocación de champa en corona

Consiste en instalar material vegetal tipo champa sobre la corona del dique. Su función es proteger la superficie de la corona con el objetivo de evitar la erosión por lluvias o la saturación del núcleo que pudiera acarrear derrumbes. Antes de colocar la champa se debe limpiar la superficie de la corona y retirar todo el material vegetal existente, así como las piedras de más de 10 cm. La champa se puede colocar por estratos de pie cuadrado tratando de cubrir toda el área y de llenar todos los espacios vacíos.



Bibliografía

Aguirre Pe, J. (1974). *Hidráulica de canales*. Mérida: Centro Interamericano de Desarrollo de Aguas y Tierras.

Aparicio Mijares, F. J. (1997). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Ciudad de México: Limusa Grupo Noriega Editores.

Apaza Idme, D., Arroyo Hurtado, R. y Alencastre Calderón, A. (2006). *Las amunas de Huarochiri. Recarga de acuíferos en los Andes*. Lima: Gestión social del agua y ambiente en cuencas – GSAAC.

Autoridad Nacional del Agua. (2010). Manual: criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico. Lima: Autoridad Nacional del Agua. Dirección de Estudios de Proyectos Hidráulicos Multisectoriales.

Bocco, G. (1991). Gully erosion: processes and models. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 15(4), 392-406. <https://doi.org/10.1177/030913339101500403>

Canal Aquafondo. (13 de enero de 2021). *Las amunas y la situación hídrica de Lima* [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=nmiOA-zOtLA>

Cárdenas Panduro, A. (2020). *Impacto de las amunas en la seguridad hídrica de Lima*. Lima: The Nature Conservancy.

Carrasco Jiménez, J. (2019). *Manejo y control de cárcavas*. Rengo: Centro Regional de Investigación Agraria Rayentehué, Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud. (2003). *Especificaciones técnicas para el diseño de zanjas y pozas de infiltración*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud.

Claros Reynaga, J., Chungara Atalaya, A. y Zeballos Flores, G. (2010). *Procesos y difusión de experiencias: conservación de suelos y prácticas agroecológicas. Zona biocultural Subcentral Waca Playa, Tapacarí*. Cochabamba: Agroecología Universidad Cochabamba, Universidad Mayor de San Simón.

Conesa García, C. (2004). Los diques de retención en cuencas de régimen torrencial: diseño, tipos y funciones. *Nimbus* (13-14), 125-142.

Coppin, N. J. y Richards, I. G. (1990). *Use of Vegetation in Civil Engineering*. Londres: Butterworth.

Cueva Alanguía, P. E. (2018). *Propuesta de estructura de disipación de energía para el control de la pérdida del suelo por erosión hídrica en cárcava en la microcuenca Sonocco, Juli, Puno* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano].

Decreto Supremo 017 de 2009 [Ministerio de Agricultura y Riego]. Aprueban reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor. Lima: Minagri.

Dercon, G., Deckers, J., Poesen, J., Sánchez, H., Vanegas, R. y Ramírez, M. (julio, 2003). Spatial variability in soil properties on slow-forming terraces in the Andes region of Ecuador. *Soil & Tillage Research*, 72(1), 31-41. doi: 10.1016/S0167-1987(03)00049-7.

Dirección Zonal Agrorural Ayacycho. (2014). Cartillas para la conservación del suelo. Zanjas de infiltración. Programa Presupuestal 089 Reducción de la Degradación de los Suelos Agrarios. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI).

FAO y Ministerio de Agricultura y Ganadería (1988). *Control de Cárcavas*. Proyecto GCP/COS/009/ITA/MAG/FAO.

Flores Villanelo, J. P. (2015). *Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en cuencas sub-húmedas de Chile central* [Tesis de doctorado, Universidad de Córdoba]. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/c8364501-3cb4-444f-8560-30702ed8db4c/content>

Foster, M. E, Chen, D., y Kieser, M. S. (2020). *Qochas. Evaluación de los beneficios potenciales en la cantidad de agua. Documento metodológico*. Lima: Forest Trends, Kieser & Associates, Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica, CONDESAN, SPDA, EcoDecisión e Imperial College London

Foster, M. y Chen, D. (2020). *Zanjas de infiltración. Cuantificación de beneficios potenciales y reducción de sedimentos. Documento metodológico*. Lima: Forest Trends, Kieser & Associates, Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica, CONDESAN, SPDA, EcoDecisión e Imperial College London.

Gil Ruiz, J. y Orozco Collazos J. A. (2016). *Diseño de la rehabilitación del dique del río Cauca entre el km 18 + 925 a km 19 + 025 empleando cuatro materiales disponibles en la ciudad de Cali* [Proyecto de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. <https://docplayer.es/63282134-Disenio-de-la-rehabilitacion-del-dique-del-rio-cauca-entre-el-km-a-km-empleando-cuatro-materiales-disponibles-en-la-ciudad-de-cali.html>

Gómez Gutiérrez, A., Schnabel, S. y Lavado Contador, F. (2011). Procesos, factores y consecuencias de la erosión por cárcavas; trabajos desarrollados en la Península Ibérica. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 55(55), 59-80.

Gómez, C., Prado, G. y Carrasco, H. (2007). *Tecnologías respondiendo a los desastres*. Lima: Soluciones Prácticas ITDG.

Gómez, J. A., Castillo, C., Mora, J., Lora, A., Taguas, E. V., Ayuso, J. L., Guerrero Casado, J. y Tortosa, F. S. (2019). *Criterios técnicos para el diseño y evaluación de cárcavas, revegetación para diversificación del paisaje, muros de contención, mejora ambiental de fuentes y abrevaderos y construcción de charcas artificiales*. Sevilla: Junta de Andalucía, Secretaría General Técnica Servicio de Publicaciones y Divulgación.

Gonzales Alfaro, C. A. (2015). *Factores socioeconómicos y adopción de nuevas tecnologías para el manejo y conservación del suelo en la microcuenca San Luis-Áncash* [Tesis de magister, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/930/T007257.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gray, D. H. y Leiser, A. T. (1989). *Biotechnical slope protection and erosion control*. Florida: Krieger Publishing Company.

GTZ, Proyecto Gestión de Riesgo y Seguridad Alimentaria. (2006). *Cartilla de capacitación: 2. Para prevenir y mitigar los riesgos de erosión de suelos. Terrazas de formación lenta con muros de piedra*. Lima: GTZ, Cooperación Técnica Alemana y Proyecto Gestión de Riesgo y Seguridad Alimentaria. PGRSAP.

Hassanli, A. M. y Beecham, S. (2009). Criteria for optimizing check dam location and maintenance requirements. En C. Conesa García y M. A. Lenzi (Eds.), *Check Dams, Morphological Adjustments. And erosion control in torrential streams* (11-31). Nueva York: Nova Science Publishers, Inc.

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2017). *Obras de conservación de suelos y agua en laderas*. Proyecto Red SICTA del IICA/Cooperación Suiza en América Central.

International Institute for Land Reclamation and Improvement. (1978). *Principios y aplicaciones del drenaje (Tomo IV)*. Wageningen: International Institute For Land Reclamation And Improvement.

Kendall, A. y Rodríguez, A. (2009). *Desarrollo y perspectivas de los sistemas de andenería de los Andes centrales del Perú*. Cusco: Institut français d'études andines, Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de Las Casas. doi: 10.4000/books.ifea.6110

Krochin, S. (1978). *Diseño hidráulico*. Moscú: Ed. MIR.

Llerena, C. A., Inbar, M. y Benavides, M. A. (Eds.). (2004). *Conservación y Abandono de Andenes*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina y Universidad de Haifa.

Locatelli, B., Homberger, J. K., Ochoa-Tocachi, B. F., Bonnesoeur, V., Román, F., Drenkhan, F., y Buytaert, W. (2020). *Impactos de las zanjas de infiltración en el agua y los suelos: ¿Qué sabemos?* Resumen de políticas, Proyecto "Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica". Lima: Forest Trends.

Martínez Marín, E., Batanero Akerman, P., Martínez González, I., Martínez Olmos, E. y González Ordoñez, E. (2007). *Diseño de pequeñas presas*. España: Bellisco Ediciones.

Michigan Department of Natural Resources y Michigan Department of Environment, Great Lakes and Energy. (2018). *Michigan Forestry Best Management Practices for Soil and Water Quality*. Lansing: Michigan Department of Natural Resources.

Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social. (2015). *Manual Técnico. Siembra y cosecha de agua*. Lima: Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social - FONCODES.

Molina, A., Vanacker, V., Rosas Barturen, M., Bonnesoeur, V., Román, F., Ochoa-Tocachi, B. F. y Buytaert, W. (2021). *Infraestructura natural para la gestión de riesgos de erosión e inundaciones en los Andes: ¿Qué sabemos?* Resumen de políticas, Proyecto "Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica". Lima: Forest Trends.

Natural Resources Conservation Service (NRCS). (2012). *Rock Check Dam*. Denver: Natural Resources Conservation Service (NRCS).

Natural Resources Conservation Service. (2003). *Infiltration Ditch Interim Standard*. Washington, D. C.: Caribbean Area, NRCS.

New Jersey Department of Environmental Protection. (2016). *New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual*. New Jersey: Division of Watershed Management, NJDEP.

New Jersey Department of Environmental Protection. (2021). *New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual*. New Jersey: Division of Watershed Management, NJDEP.

Olivera Vilca, S. y Palomares de los Santos, B. (2010). *Sistematización de experiencias de manejo de recursos naturales para la reducción de riesgos y desastres en el sector agropecuario: terrazas de formación lenta y zanjas de infiltración en las comunidades de Cuyuni, Julllicunca y Ccarhuayo, en Cusco*. Roma: Departamento de Gestión de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Oropeza, J. (s. f.). *Control de cárcavas y represas de control de azolve*. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

Paredes, J. M., Ocampo, S. M., Foix, N., Olazábal, S. X., Fernández, M. A., Montes, A., Castro, I., Maza, W., Allard, J. O., Rodríguez, S., San Martín, C., Simeoni, A., Mendos, G., Quagliano, J. A., Turra, J. M., Maino, J., Sánchez, F. y Valle, M. N. (2017). *Sistemas fluviales efímeros e inundaciones repentinas de la ciudad de Comodoro Rivadavia: causas, procesos y mitigaciones. Informe Técnico FCNyCS*. Chubut: Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Naturales y Ciencias de la Salud, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

Pizarro Tapia, R., Flores Villanelo, J. P., Sangüesa Pool, C., Martínez Araya, E. y Gutiérrez, L. L. (2008). *Diseño hidrológico de zanjas de infiltración en el secano costero e interior de las regiones semiáridas de Chile*. *Bosque*, 29(2), 136-145.

Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural – Agro Rural (Agro rural). (2021). *Andenes para la vida. Inventario y caracterización de en andenes en los Andes tropicales del Perú*. Lima: Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural.

Programa de Desarrollo Rural Sostenible de Cajamarca. (2005). *Tecnologías de manejo y conservación de recursos naturales para reducir la vulnerabilidad frente a fenómenos naturales y socio naturales*. Cajamarca: Programa desarrollo rural sostenible.

Resolución Directorial 20 de 2011 [Ministerio de Transportes y Comunicaciones]. (2011). *Aprueban Manual de hidrología, hidráulica y drenaje*. 12 de septiembre de 2011.

Rivas, F. y Hernández, E. (enero-diciembre, 2012). Funcionalidad y estabilidad de los diques de control de erosión torrencial construidos entre 1992 y 2004 en la cuenca del río Yacambú, estado de Lara, Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*, 27(51-52), 65-106.

Rivera Ochoa, R. P. (2012). *Implementación de las medidas de mitigación, en el manejo integral subcuenca Malla* [Trabajo dirigido título, Universidad Mayor de San Andrés]. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/5729/TD-2078.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Romero Díaz, A., Díaz Pereira, E. y De Vente, J. (2019). Ecosystem Services Provision by Gully Control. A Review. *Geographical Research Letters*, 45(1), 333-366. <https://doi.org/10.18172/cig.3552>

Rwanda Environment Management Authority. (2010). *Practical Tools on Soils and Water Conservation Measures*. Kigali: Rwanda Environment Management Authority.

Sabino Rojas, E, Felipe Obando, O. G. y Lavado Casimiro, W. S. (2017). *Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú. Nota Técnica 002-SENAMHI-DHI-2017*. Lima: SENAMHI.

Salzgitter Consult GMBH. (1984). "Planificación de Canales, Zona Piloto Ferreñafe" (Tomo II/ I)- Proyecto Tinajones, Chiclayo.

Strunk, H. (2003). Soil degradation and overland flow as causes of gully erosion on mountain pastures and in forests. *Catena*, 50(2-4), 185-198. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(02\)00140-6](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(02)00140-6).

Terán Adriazola, R. (1998). *Diseño y construcción de defensas ribereñas*. Lima: Escuela Superior de Administración de Aguas "Charles Sutton".

Unidad ejecutora Fondo Sierra Azul. (2019) *Proyectos de Inversión de Optimización de Siembra y Cosecha de Agua*. Ministerio de Agricultura y Riego.

Vásquez Villanueva, A., Mejía Marcacuzco, A., Manco, J. F., Terán Adriazola, R., Vásquez Romero, I., Díaz Rimarachin, J., Vásquez Romero, C., Castro Abanto, A., Tapia Muñoz, M. y Alcántara Ramos, J. (2016). *Manejo y gestión de cuencas hidrográficas*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina

Villón Béjar, M. (1981). *Hidráulica de canales*, Departamento de Ingeniería Agrícola – Instituto Tecnológico de Costa Rica. Lima: Editorial Hozlo. Virginia Department of Transportation. (2013). *BMP Design Manual of Practice*.

Willems, B., Leyva-Molina, W. M., Taboada-Hermeza, R., Bonnesoeur, V., Román, F., Ochoa-Tocachi, B. F., Buytaert, W. y Walsh, D. (2021). *Impactos de andenes y terrazas en el agua y los suelos: ¿qué sabemos?* Resumen de políticas, Proyecto "Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica". Lima: Forest Trends.

Anexos

Anexo I
Planilla de metrados para diques de retención

Ítem	Partida	Unidad	Dimensiones (m)					Parcial	Total
			n.º de veces	Cantidad	Largo	Ancho	Altura		
01.00.00	Obras preliminares								
01.01.00	Movilización y desmovilización	Global	n.º de veces	Cantidad	Largo	Ancho	Altura		
01.06.00	Sensibilización a la población en cárcavas	Eventual	n.º de veces						
02.00.00									
02.01.00	Campamento provisional de obra y almacenes	m ²	n.º de veces						
02.02.00	Cartel de obra de 4,80 x 3,60 m (gigantografía)	Unidad	n.º de veces						
03.00.00									
03.01.00									
03.01.01	Peinado	m ²	Área						
	Tipo I								
	Tipo II								
	Tipo III								
03.01.02	Excavación manual en material suelto	m ²	Área						
	Tipo I								
	Tipo II								
	Tipo III								

Ítem	Partida	Unidad	Dimensiones (m)					Parcial	Total
03.01.03	Nivelación, perfilado y compactación manual	m ²	Área						
	Tipo I								
	Tipo II								
	Tipo III								
03.01.04	Colocación de piedra canteada	m ³	Perímetro						
	Tipo I								
	Cimentación								
	Muros								
	Disipador								
	Tipo II								
	Cimentación								
	Muros								
	Disipador								
	Tipo III								
05.00.00	Diques de sacos de arena								
05.01.00	Construcción del dique								
05.01.01	Peinado	m ²	Área						
	Tipo I								
	Tipo II								
	Tipo III								
05.01.02	Excavación manual en material suelto	m ²	Área						
	Tipo I								

Ítem	Partida	Unidad	Dimensiones (m)				Parcial	Total		
	Tipo II									
	Tipo III									
05.01.03	Nivelación, perfilado y compactación manual	m ²	Área							
	Tipo I									
	Tipo II									
	Tipo III									
05.01.04	Colocación de sacos de arena de poliestireno	Unidad	Perímetro							
	Tipo I									
	Cimentación									
	Muros									
	Disipador									
	Tipo II									
	Cimentación									
	Muros									
	Disipador									
	Tipo III									
	Cimentación									
	Muros									
	Disipador									
	Subtotal									
	Volumen por saco									

Anexo 2
Presupuesto de diques de retención

Ítem	Descripción	Unidad	Metrado	Precio (soles)	Parcial (soles)
01.00	Obras preliminares				
01.01	Movilización y desmovilización para cárcavas	m ³			
02.00	Obras provisionales				
02.01	Campamento provisional de obra y almacenes	m ²			
02.02	Cartel de obra de 4,80 x 3,60 m (gigantografía)	Unidad			
03.00	Diques de piedra canteada				
03.01	Construcción del dique				
03.01.01	Peinado de cárcavas	m ²			
03.01.02	Excavación manual en material suelto	m ³			
03.01.03	Nivelación y compactación manual del terreno	m ²			
03.01.04	Colocación de piedra canteada	m ³			
04.00	Diques de sacos de arena				
04.01.00	Construcción del dique				
04.01.01	Peinado de cárcavas	m ²			
04.01.02	Excavación manual en material suelto	m ³			
04.01.03	Nivelación y compactación manual del terreno	m ²			
04.01.04	Colocación de sacos de arena de poliestireno	Unidad			
Costo directo					
Gastos generales					
Utilidad (10 %)					
Subtotal					
IGV (18 %)					
Total					

Anexo 3

Planilla de metrados para terrazas de formación lenta

Ítem	Partida	Unidad	Dimensiones (m)					Parcial	Total
01.00.00	Obras preliminares								
01.01.00	Movilización y desmovilización	Global	Número de veces	Cantidad	Largo	Ancho	Altura		
02.00.00	Obras provisionales								
02.01.00	Campamento provisional de obra y almacenes	m ²	Número de veces	Cantidad	Largo	Ancho	Altura		
02.02.00	Cartel de obra de 4,80 x 3,60 m (gigantografía)	Unidad	n.º de veces						
03.00.00	Terrazas de formación lenta								
03.01.00	Formación de terrazas								
03.01.01	Excavación manual para formación de terrazas en material suelto	m ³	Área	Área corte	Largo	Cantidad			
03.01.02	Relleno compactado con material propio	m ³	Área	Área de relleno	Largo	Cantidad	Altura		
03.01.03	Pircado con piedra, diámetro máximo 12" para formación de terrazas	m ³	Área	Cantidad	Largo	Ancho	Altura		
03.01.04	Eliminación manual de desmonte a una distancia promedio de 0,50 km	m ³	Volumen	Factor	Largo	Ancho	Altura		
	Excavación								
	Relleno								

Ítem	Partida	Unidad	Dimensiones (m)					Parcial	Total
03.02	Revegetación por esquejes								
03.02.01	Selección y corte de esquejes para revegetación	ha	Número de veces	Área	Largo	Ancho	Altura		
03.02.02	Siembra al voleo con chillhua Área para revegetar	ha	Número de veces	Área	Largo	Ancho	Altura		
03.02.03	Riego por gravedad con cisterna Área para revegetar	ha	Nro. veces	Área	Largo	Ancho	Altura		
03.03	Revegetación por esquejes								
03.03.01	Apertura de hoyos de 0,30 x 0,30 x 0,30 m para esquejes	Unidad	Área						
03.03.02	Selección y corte de esquejes para revegetación	Unidad	Cantidad						
03.03.03	Transporte de esquejes	Unidad	Cantidad						
03.03.04	Tratamiento con hormona enraizadora	Unidad	Cantidad						
03.03.05	Riego manual en cama de almácigo/ repique	m ²	Cantidad						
03.03.06	Aplicación y siembra de esquejes	Unidad	Cantidad						
03.03.07	Riego manual con balde	Unidad	Cantidad	6875.00					

Anexo 4
Presupuesto de terrazas de formación lenta

Ítem	Descripción	Unidad	Metrado	Precio (soles)	Parcial (soles)
01.00	Obras preliminares				
01.01	Movilización y desmovilización para terrazas	Global			
01.05	Limpieza manual del terreno	ha			
02.00	Obras provisionales				
02.01	Campamento provisional de obra y almacenes	m ²			
02.02	Cartel de obra 4,80 x 3,60 m (gigantografía)	Unidad			
03.00	Terrazas de formación lenta				
03.01	Formación de las terrazas				
03.01.01	Excavación en material suelto con equipo mediano	m ³			
03.01.02	Relleno compactado con material propio	m ³			
03.01.03	Pircado con piedra, diámetro promedio de 12" para terrazas	m ³			
03.01.04	Eliminación manual de desmonte a una distancia promedio de 0,5 km	m ³			
03.02	Revegetación por siembra al voleo				
03.02.01	Volteo y gradeo manual del terreno	ha			
03.02.02	Siembra al voleo	ha			
03.02.03	Riego por inundación con cisterna	ha			
03.03	Revegetación por esquejes				
03.03.01	Apertura de hoyos de 0,30 x 0,30 x 0,30 m para esquejes	Unidad			
03.03.02	Selección y corte de esquejes para revegetación	Unidad			
03.03.03	Transporte de esquejes hasta 15 km	Unidad			
03.03.04	Aplicación y siembra de esquejes	Unidad			
03.03.05	Riego periódico con mochila	Unidad			
Costos directos					

Ítem	Descripción	Unidad	Metrado	Precio (soles)	Parcial (soles)
Gastos generales					
Utilidad (10 %)					
Subtotal					
IGV (18 %)					
TOTAL					

Anexo 5
Planilla de metrados para zanja de infiltración

Ítem	Partida	Unidad	Dimensiones (m)						Parcial	Total
01.00.00	Obras preliminares									
01.01.00	Movilización y desmovilización	Global	Número de veces	Cantidad	Largo		Ancho	Altura		
02.00.00	Obras provisionales									
02.01.00	Campamento provisional de obra y almacenes	m ²								
02.02.00	Cartel de obra 4,80 x 3,60 m con gigantografía	Unidad								
03.00.00	Zanjas de infiltración									
03.01.00	Formación de las zanjas									
03.01.01	Apertura manual de la zanja de 0,4 x 0,30 m en material suelto	km								
03.01.02	Perfilado manual de taludes	m ²								
03.01.03	Formación del camellón	m ³								
03.01.04	Eliminación manual de desmonte a una distancia promedio de 0,50 km	m ³								
	Apertura de zanjas									
	Formación del camellón									

Anexo 6
Presupuesto de zanjas de infiltración

Ítem	Descripción	Unidad	Metrado	Precio (soles)	Parcial (soles)
01.00	Obras preliminares				
01.01	Movilización y desmovilización para zanjas de infiltración	Global			
02.00	Obras provisionales				
02.01	Campamento provisional de obra y almacenes	m ²			
02.02	Cartel de obra 4,80 x 3,60 m con gigantografía	Unidad			
03.00	Zanjas de infiltración				
03.01	Formación de las zanjas				
03.01.01	Excavación manual en material suelto	m ³			
03.01.02	Perfilado manual de taludes	m ²			
03.01.03	Formación del camellón	m ³			
03.01.04	Eliminación manual de desmonte a una distancia promedio 0,5 km	m ³			
Costos directos					
Gastos generales					
Utilidad (10 %)					
Subtotal					
IGV (18 %)					
TOTAL					





Foto: Forest Trends

www.infraestructuranatural.pe

El proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica promueve la conservación, restauración y recuperación de los ecosistemas a nivel nacional, formando alianzas con organizaciones públicas y privadas para reducir los riesgos hídricos como sequías, inundaciones y contaminación del agua.

El proyecto es promovido y financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y el Gobierno de Canadá y liderado por Forest Trends, junto a sus socios CONDESAN, la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA), e investigadores del Imperial College London.



<https://www.forest-trends.org/publications/serie-guias-IN-para-GRD>

