



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

TESINA PRESENTADA PARA OBTENER EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIADO EN GEOLOGÍA

**ANÁLISIS DEL RIESGO HÍDRICO DE LAS INSTACIONES
HIDROCARBURÍFERAS UBICADAS EN EL ÁREA DE LA BATERIA
8 DEL YACIMIENTO 25 DE MAYO-MEDANITO SE, COLONIA 25
DE MAYO, LA PAMPA**

WIGGENHAUSER, Mauricio Matías

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

2019

PREFACIO

Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Licenciado en Geología, de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica.

Se llevó a cabo en el Pabellón de Geología perteneciente al Departamento de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de La Pampa, durante el período comprendido entre el 7 de septiembre de 2018 y el 20 de octubre de 2019 bajo la dirección de Fantini, Miguel Ángel y la codirección de Fábregas, Gustavo.

(Firma del/la Tesinista)

(Fecha)

.....

Agradecimientos

A la Carrera Licenciatura en Geología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales por haberme dado la oportunidad de ingresar al sistema de Educación Superior para cumplir este gran sueño y brindarme mediante sus profesores los conocimientos necesarios para mi formación académica y profesional.

A la Subsecretaría de Ecología y de mi director, MSc. Miguel Fantini, me brindaron todas las facilidades logísticas, de información y el financiamiento para la realización de mi tesis.

A mis profesores que me brindaron conocimientos y experiencias para poder fortalecerme tanto de manera personal como profesional.

Al tribunal conformado que me supieron guiar durante el proceso de elaboración de la Tesis.

De manera especial a mis Directores y Codirector de tesis, MSc. Miguel Fantini y Lic. Gustavo Fabregas que me brindaron sus conocimientos y consejos.

A la Ing. Maite Betelu por su colaboración.

A mi Familia que me acompañaron durante estos años en la formación académica.

(Firma del/la Tesinista)

(Fecha)

.....

RESUMEN

El proyecto de tesina se desarrolla en el Área petrolera “25 de Mayo-Medanito SE”, con coordenadas geográficas 38°03'7.95"S 67°50'7.91"O, operada por la UTE PETROQUÍMICA COMODORO RIVADAVIA S.A-PAMPETROL SAPEM, en el Departamento de Puelén, La Pampa. Se estudió un área que se circunscribe a las inmediaciones de la Batería Colectora N° 8 e incluye además tres pozos en producción.

Dadas las características del terreno, el cual posee topografía con predominio de pendientes y cañadones tendientes a una progresiva erosión en la que se ubican las instalaciones petroleras y por su proximidad al río Colorado, existen potenciales riesgos ambientales que no han sido evaluados y que es necesario caracterizar.

Se identificaron las instalaciones operativas de alto riesgo potencial de contaminación del río Colorado; se evaluaron, en sitios críticos, los procesos erosivos contemplando la formación de cárcavas originadas por las intervenciones petroleras y la estabilidad de taludes. El objetivo fue proponer distintas medidas estructurales que permitan controlar estos fenómenos y mantener seguras las instalaciones relevadas.

Las medidas para el control de la erosión sugeridas se centraron en el lateral Este de la Batería 8. Se propone la construcción de vertederos de gaviones y mampostería, canales, terrazas, estructuras de drenaje y técnicas de bioingeniería, entre otras.

Palabras Clave: Erosión, riesgo, medidas estructurales, suelos, cárcavas y gaviones.

ABSTRACT

The thesis project is developed in the oil area “25 de Mayo-Medanito SE”; operated by the UTE PETROQUÍMICA COMODORO RIVADAVIA S. A-PAMPETROL SAPEM, in the Department of Puelén, La Pampa. The study area is circumscribed to the surroundings of the Collecting Battery N° 8 and also includes three oil wells in production.

Given the characteristics of the terrain, which owns topography with predominance of slopes and canyons tending to progressive erosion in which the oil facilities are located and its proximity to the Colorado River, there are potential environmental risks that have not been evaluated and that it is necessary to be characterized.

The operating facilities with a high potential risk of contaminating of the Colorado River were identify. Erosive processes were evaluated in critical sites, contemplating the

formation of gullies originated due to oil interventions and the stability of slopes, in order to propose different structural measures to control these phenomena and keep facilities safe.

The suggested measures to control erosion are focused on the east side of Battery 8. The construction of gabion and masonry dumps, canals, terraces, drainage structures, bioengineering techniques, among others.

Keywords. Erosion, risk, structural measures, soils, gullies and gabions.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN..... | 12 |
| 1.1. Antecedentes..... | 12 |
| 1.2. Formulación del Problema..... | 12 |
| 1.3. Justificación de la Tesina..... | 13 |
| 1.4. Objetivos..... | 13 |
| CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS..... | 14 |
| 2.1. Efectos ambientales en el proceso de explotación del petróleo..... | 14 |
| 2.2. Dotación de infraestructura necesaria para la extracción de hidrocarburos | 14 |
| 2.3. Impactos ambientales causados por la actividad hidrocarburífera | 15 |
| 2.4. Definición de pasivo ambiental | 16 |
| 2.5. Conceptos básicos de riesgo | 17 |
| 2.5.1. Cadena de actuaciones frente al riesgo | 17 |
| 2.5.2. Medidas estructurales y no estructurales | 18 |
| 2.5.3. Los daños derivados de accidentes | 18 |
| CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL AMBIENTE | 19 |
| 3.1. Localización del área de estudio..... | 19 |
| 3.2. Geomorfología..... | 21 |
| 3.3. Clima | 21 |
| 3.4. Marco Tectónico, Estructura, Estratigrafía y Litología | 22 |
| 3.5. Hidrología..... | 23 |
| 3.5.1. Agua superficial | 23 |
| 3.5.2. Agua subterránea | 24 |
| 3.6. Suelos..... | 24 |
| 3.7. Flora y Fauna | 26 |
| CAPÍTULO 4: MATERIALES Y MÉTODOS..... | 28 |
| 4.1. Materiales | 28 |
| 4.2. Método..... | 28 |
| 4.2.1. Tipo y nivel de investigación..... | 28 |
| 4.2.2. Universo y muestra | 28 |
| 4.2.3. Análisis de antecedentes | 28 |
| 4.2.4. Trabajo de campo..... | 30 |
| 4.2.5. Tareas de laboratorio..... | 30 |
| 4.2.6. Tareas de gabinete..... | 30 |
| 4.2.7. Procedimiento..... | 31 |
| CAPÍTULO 5: MEDIDAS ESTRUCTURALES | |
| 5.1. Medidas Estructurales para disipar energía cinética del flujo de agua | 32 |
| 5.1.1. Disipadores de rápidos escalonados | 32 |
| 5.1.2. Canal de Pantallas Deflectoras (CPD)..... | 33 |
| 5.1.3. Colchonetas de gavión con recubrimiento de PVC..... | 34 |
| 5.1.4. Protección de la entrega de canales..... | 34 |
| 5.2. Medidas para el control de la Erosión | 35 |
| 5.2.1. Técnicas de conducción controlada de escurrimientos..... | 35 |
| 5.2.1.1. Canales de guarda o interceptores | 36 |
| 5.2.1.2. Canales de desagüe..... | 37 |
| 5.2.2. Técnicas de control de cabeceras de cárcava..... | 37 |
| 5.2.2.1. Elementos de diseño de las estructuras de control de cárcavas..... | 38 |
| 5.2.2.2. Vertedero y estructura fija..... | 39 |

| | |
|---|------------|
| 5.2.2.2.1. Vertedero de gaviones..... | 39 |
| 5.2.2.2.2. Presas de mampostería..... | 41 |
| 5.2.2.3. Diques filtrantes de piedra acomodada | 42 |
| 5.2.2.4. Presa de geocostales | 43 |
| 5.2.2.5. Obras auxiliares | 44 |
| 5.2.2.5.1. Albardones de embocadura | 45 |
| 5.2.2.5.2. Albardón con desagüe lateral protegido | 45 |
| 5.3. Técnicas de bioingeniería | 46 |
| 5.3.1. Gavión de roca vegetado..... | 46 |
| 5.3.2. Pared de piedra vegetada..... | 47 |
| 5.3.3. Capa de rocas y estacas vivas o rip rap vegetado..... | 48 |
| 5.4. Técnicas de manejo del relieve..... | 48 |
| 5.5. Técnicas Vegetativas | 49 |
| 5.5.1. Siembra Manual | 49 |
| 5.5.2. Hidrosiembra | 50 |
| 5.6. Mantas para el control de Erosión | 50 |
| CAPITULO 6: PROPUESTAS DE DEFENSAS ALUVIONALES EN ÁREAS | |
| CRÍTICAS..... | 51 |
| 6.1. Introducción..... | 51 |
| 6.2. Identificación de sitios críticos según grado de prioridad..... | 53 |
| 6.2.1. Sitios con prioridad 1 | 53 |
| 6.2.1.1. Pozo LP-1020 | 53 |
| 6.2.1.2. Oleoducto de alta presión que conecta Satélite 1 con Batería 8 | 54 |
| 6.2.1.2.1. Cárcava N° 1 | 56 |
| 6.2.1.2.1.1. Cabecera de cárcava | 57 |
| 6.2.1.2.1.2. Talud próximo al plumín de venteo de la Batería N° 8. | 59 |
| 6.2.1.2.1.3. Descalce en las bases de hormigón de los soportes de la línea de | |
| inyección LP- 408..... | 61 |
| 6.2.1.2.1.4. Puente ducto del gasoducto | 64 |
| 6.2.1.2.2. Cárcava N° 2 | 66 |
| 6.2.1.2.3. Cárcava N°3 | 68 |
| 6.2.2. Sitios con prioridad 2 | 71 |
| 6.2.2.1. Pozo LP-1052 | 71 |
| 6.2.3. Sitios con prioridad 3 | 74 |
| 6.2.3.1 Locación del pozo LP-1015..... | 74 |
| DISCUSION..... | 79 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 82 |
| BIBLIOGRAFÍA | 84 |
| GLOSARIO..... | 888 |
| ANEXO DE FIGURAS..... | 90 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 3.1: Localización del área de estudio en la Provincia de La Pampa..... | 20 |
| Figura 3.2: Estratigrafía de la cuenca Neuquina..... | 22 |
| Figura 3.3: Cuenca del Río Colorado..... | 24 |
| Figura 3.4: Ensayo granulométrico..... | 28 |
| Figura 3.5: Vegetación autóctona del lugar de estudio..... | 31 |
| Figura 4.1: Área de Estudio, curvas de nivel y detalle de líneas de conducción..... | 29 |
| Figura 5.1: Resalto hidráulico..... | 32 |
| Figura 5.2: Disipadores rápidos escalonados..... | 33 |
| Figura 5.3: Canal de pantallas deflectoras..... | 33 |
| Figura 5.4: Colchonetas de gavión con recubrimiento de PVC..... | 34 |
| Figura 5.5: Protección de entrega de un canal en piedra pegada con mortero..... | 34 |
| Figura 5.6: Protección y disipación de energía en entrega de canal en sacos de suelo cemento..... | 35 |
| Figura 5.7: Sección transversal de un canal parabólico..... | 35 |
| Figura 5.8: Tipos de revestimiento..... | 36 |
| Figura 5.9: Canal de bordos..... | 37 |
| Figura 5.10: Empotramiento de la obra..... | 38 |
| Figura 5.11: Elementos de diseño de las estructuras..... | 38 |
| Figura 5.12: Detalle de un gavión con sus respectivas dimensiones..... | 39 |
| Figura 5.13: Sujeción de tensores..... | 40 |
| Figura 5.14: Vertedor de gavión..... | 41 |
| Figura 5.15: Partes de una presa de mampostería..... | 42 |
| Figura 5.16: Partes que constituyen a una presa de piedra acomodada..... | 43 |
| Figura 5.17: Dimensiones de geocostal..... | 43 |
| Figura 5.18: Barrera de geocostales..... | 44 |
| Figura 5.19: Albardones de embocadura y canales derivadores..... | 45 |
| Figura 5.20: Albardón con canal de desagüe..... | 45 |
| Figura 5.21: Albardón funcionando como cortacorriente..... | 46 |
| Figura 5.22: Gavión de roca vegetado..... | 47 |
| Figura 5.23: Pared de piedra vegetada..... | 47 |
| Figura 5.24: Rip rap vegetado..... | 48 |
| Figura 5.25: Esquema de terrazas de desagüe y de absorción..... | 49 |
| Figura 6.1: Descalce de la base de hormigón que soporta línea de inyección..... | 51 |
| Figura 6.2: Arrastre de rocas de las defensas de basalto..... | 52 |
| Figura 6.3: Diseño de drenaje del área de estudio..... | 52 |
| Figura 6.4: Imagen del pozo LP-1020 con áreas saneada en rojo..... | 53 |

| | |
|---|----|
| Figura 6.5: a) vista del rio Colorado al Oeste de la locación del pozo LP-1020., b) piletas en el borde Oeste, c) y d) líneas de escurrimiento..... | 54 |
| Figura 6.6: Imagen de las trazas de las cárcavas con sus respectivas cabecera en las inmediaciones de los oleoductos..... | 55 |
| Figura 6.7: Cárcavas transversales a la traza del oleoducto..... | 56 |
| Figura 6.8: Sitios críticos en la traza de la cárcava N° 1, visualizándose además la topografía con la curvas de nivel. A) Cabecera de cárcava. B) Talud próximo al plumín de venteo de la Batería N° 8. C) Descalce en las bases de hormigón de los soportes de la línea de inyección LP- 408. D) Puente ducto del gasoducto | 56 |
| Figura 6.9: Defensa de basaltos. a) Vista panorámica, b) vista en detalle..... | 57 |
| Figura 6.10: Medición de la pendiente en la cárcava N° 1..... | 57 |
| Figura 6.11: a) y b) Roturas del actual enrocado en sus laterales, c y d) erosión retrocedente activa y arrastre del material del enrocado..... | 58 |
| Figura 6.12: a) Vista general del carcavamiento al Este de la Batería, b) Cárcava lateral en el plumín de venteo, c) vista general de la cárcava en la zona del plumín y d) cárcava que afecta la base del plumín de venteo..... | 59 |
| Figura 6.13: Grado de pendiente de la corona de talud..... | 60 |
| Figura 6.14: Riesgo en los cimientos de los soportes del plumín..... | 60 |
| Figura 6.15: Recorrido de la línea de inyección LP-408..... | 61 |
| Figura 6.16: Bases de hormigón descalzadas de la línea de inyección..... | 62 |
| Figura 6.17: Línea de conducción del inyector destapada..... | 62 |
| Figura 6.18: Mecanismo de erosión local..... | 63 |
| Figura 6.19: a y b) Fotos con detalle del descalce de los cimientos de la puente ducto en ambos laterales c) y d) Imagen panorámica de ambos descalces..... | 64 |
| Figura 6.20: Cárcavas y destape de gasoducto..... | 65 |
| Figura 6.21: Diseño del estribo para la puente ducto..... | 65 |
| Figura 6.22: Ubicación de la cárcava N° 2 y su perfil topográfico..... | 66 |
| Figura 6.23: a y b) Defensa de basalto en cárcava N° 2 con presencia de desmoramiento..... | 67 |
| Figura 6.24: Medidas estructurales aplicables en cárcava N° 2..... | 68 |
| Figura 6.25: Ubicación de la cárcava N° 3 y su perfil topográfico..... | 68 |
| Figura 6.26: Costra de hidrocarburos en el piso de la cárcava..... | 69 |
| Figura 6.27: Desmoronamiento de la defensa de basalto y erosión hídrica activa..... | 69 |
| Figura 6.28: Diseño de valla dinamica..... | 70 |
| Figura 6.29: Medidas estructurales aplicables en cárcava N° 3..... | 71 |
| Figura 6.30: Pozo LP-1052..... | 71 |
| Figura 6.31: a) Locación pozo, b) corte de la canaleta perimetral de la locación, c y d) principio de formación de cárcavas en el borde de la locación..... | 72 |
| Figura 6.32: Pendiente aguas arriba de la locación..... | 72 |
| Figura 6.33: Diagrama de la conducción de la escorrentía a través de zanjas de guarda canal de desagüe..... | 73 |

| | |
|---|----|
| Figura 6.34: Ubicación del pozo LP-1015, con su respectiva área saneada..... | 74 |
| Figura 6.35: Área saneada al sur de la locación, mostrando la decapitación del suelo..... | 74 |
| Figura 6.36: Cabecera de cárcava al Sudoeste de la locación del pozo LP-1015..... | 75 |
| Figura 6.37: Pendiente aguas abajo de la locación..... | 75 |
| Figura 6.38: a) Ruptura de berma en el camino en el lateral Norte. b) Surcos en el lado Sur del camino a nivel de la cabecera de cárcava N° 3 en continuación con el drenaje de la imagen a)..... | 76 |
| Figura 6.39: Medidas estructurales aplicables en cárcava al Sudoeste del Pozo LP-1015..... | 76 |
| Figura 7.1. Esquema de componentes de una cárcava con erosión retrocedente | 80 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 3.1: Estado de conservación de las especies en el área de estudio..... | 27 |
| Tabla 4.1: Profundidad y área de drenaje de las cárcavas..... | 31 |
| Tabla 4.2: Estabilidad de Taludes..... | 31 |
| Tabla 5.1: Velocidad máxima de escorrentía en canal según su grado de cobertura vegetal..... | 37 |
| Tabla 6.1: Síntesis de los problemas identificados en sitios según prioridad y medidas estructurales propuestas..... | 77 |

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

En la provincia de La Pampa, la actividad hidrocarburífera se inicia en el año 1923 cuando el geólogo Ricardo Wichmann realizó estudios de búsqueda de indicios de manifestaciones de presencia de petróleo. A partir de 1960, el Departamento Geofísico de YPF inició la exploración con la perforación de cuatro pozos de los cuales tres fueron productivos. El 30 de abril de 1968 la Provincia pasa a integrar el grupo de provincias productoras de petróleo, a partir del hallazgo de hidrocarburo en Colonia Chica. Las primeras actividades de explotación se efectuaron en el yacimiento Jagüel de los Machos por YPF y en el yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE, por intermedio de la Cía. Contratista Pérez Companc.

A principios de la década del 90' se explotaban más de doscientos pozos, la producción se transportaba al complejo "Medanito", en Río Negro, y de allí a Plaza Huincul, en Neuquén, para su procesamiento. En el año 1993 se produce la privatización de YPF, lo que provocó un profundo ajuste económico, se pierde el importante papel socio-económico que tenía la empresa nacional, causando conflictos en la sociedad por la pérdida de puestos de trabajo.

El Gobierno Provincial creó un cuerpo de inspectores dependiente de la Dirección de Hidrocarburos y Biocombustibles de la Subsecretaría de Hidrocarburos y Minería, instalado en la localidad de 25 de Mayo, que recorre las distintas instalaciones para reportar fallas operativas, incidentes ambientales, controlar los medidores en Baterías y Plantas de Tratamiento, etc.

La conformación de la empresa PAMPETROL. S.A.P.E.M¹ en el año 2006, posibilitó que se le otorgaran en concesión varias áreas; más los yacimientos en explotación y sumadas a las áreas ya concesionadas, ha dado una nueva dimensión e importancia a la actividad petrolera en la Provincia de La Pampa. Por lo expresado, la explotación petrolera constituyó y constituye hoy en día uno de los recursos económicos más importantes que fomentó el desarrollo provincial y de la localidad de Colonia 25 de Mayo.

Sin embargo, más allá de los beneficios socio-económicos, la actividad petrolera, origina una multitud de impactos en los suelos, en los procesos geomorfológicos y en el paisaje, que se manifiestan en un ecosistema sensible, como es el desierto semiárido de la Patagonia. Entre los principales problemas ambientales se encuentran la degradación de tierras fuertemente asociado a la pérdida de la condición natural de los ecosistemas, la disminución de la cobertura vegetal, el aumento del suelo expuesto a la erosión hídrica (laminar y encauzada) y eólica y la salinización.

1.2. Formulación del Problema

Las instalaciones petroleras ubicadas en proximidades de la Batería 8, por encontrarse en un área de alta sensibilidad ambiental, incrementan el riesgo de contaminación de los recursos naturales, particularmente el agua del río Colorado.

¹ PAMPETROL es una Sociedad Anónima con participación Estatal mayoritaria, constituida en la Provincia de La Pampa, por Ley Provincial N° 2.225, en el marco de las disposiciones del artículo 308 y concordantes de la Ley de Sociedades Comerciales N° 19.550.

A su vez, estas instalaciones son vulnerables a los procesos de erosión hídrica agravados por las tareas de saneamiento de suelos oleocontaminados y por el incremento de las lluvias torrenciales, que pueden causar la rotura de líneas de conducción de petróleo con pérdidas de hidrocarburos que pueden encauzarse en líneas de escurrimiento y alcanzar el río Colorado.

1.3. Justificación de la Tesina

Según Levorsen (1977) se tiende a asimilar los términos hidrocarburos y petróleo. Pese a la estrecha relación en su naturaleza, hay diferencias en su significado. El petróleo es esencialmente una mezcla compleja de hidrocarburos de naturaleza química diferente que se distinguen por poseer temperaturas de ebullición distintas (Montoya Choque et al, 2002, p. 9). Los hidrocarburos están compuestos solamente de hidrogeno y carbono, mientras que el petróleo contiene muchas impurezas. Este fluido se lo encuentra en el interior de la tierra a diferentes profundidades, se formó a partir de la descomposición de organismos de origen marino y en menor proporción de plantas que habitaron en los periodos Triásico, Jurásico y Cretácico de la era Mesozoica, desde los 252 a 66 millones de años, distribuido irregularmente en el planeta.

Posee un doble carácter, es un recurso natural, agotable, no renovable y ello implica su preservación y uso racional; pero también al ser parte de diversas actividades productivas que integran la industria petrolera, es un elemento contaminante de otros recursos naturales y del ambiente general. Su presencia en el ambiente puede deberse a causas antrópicas (accidentes, fugas y derrames industriales, o como subproductos de uso comercial o privado) o naturales. La problemática de la contaminación por hidrocarburos se presenta cuando sus cantidades en los suelos, aguas superficiales y/o subterráneas supera la capacidad que tienen los microorganismos presentes en el medio de degradar a los hidrocarburos y transformarlos en sustancias inocuas. Las fracciones no degradadas se fijarán a las partículas del suelo o sedimentos permaneciendo por mucho tiempo dando origen a un suelo contaminado por hidrocarburos.

Con el presente trabajo de tesina se espera contribuir al conocimiento de la situación de riesgo ambiental de las instalaciones hidrocarburíferas en el área de la Batería 8 del Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE, La Pampa, Argentina. La investigación se concentrara en la identificación de las instalaciones con mayor criticidad, por estar expuestos a marcados procesos de erosión hídrica que incrementan la formación de cárcavas en áreas con importantes taludes, y así adoptar una serie de medidas estructurales para controlar estos procesos.

1.4. Objetivos

1. Identificar las instalaciones operativas de alto riesgo potencial de contaminación del río Colorado.
2. Evaluar los procesos erosivos en el área de estudio.
3. Proponer estructuras típicas de control de erosión y de amortiguamiento del flujo superficial.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Efectos ambientales en el proceso de explotación del petróleo

La explotación del petróleo tiene efectos ambientales específicos que dependen de la ubicación del yacimiento; a nivel internacional se distinguen tres fases:

- **La Exploración:** incluye la prospección y el reconocimiento científico de yacimientos, utilizando métodos geofísicos y sondeos de prospección con análisis de probetas y detritos. El impacto ambiental provocado en esta etapa es moderado, aunque las perforaciones realizadas pueden llegar a provocar trastornos y riesgos considerables. Esta etapa no requiere infraestructura.
- **La Extracción:** requiere la perforación de pozos de desarrollo, ya que son esenciales en el proceso de producción y constituyen la base de explotación a largo plazo. El impacto ambiental de esta actividad es moderado ya que se requiere extraer vegetación y suelos donde se realizarán los pozos a los que se asocian equipos de bombeo, líneas de conducción de petróleo y gas y/o tanques de almacenamiento. Por lo que se debe prestar particular atención a los derrames por rotura de estas instalaciones, aunque en las operaciones de extracciones modernas los incidentes ambientales se minimizan gracias al diseño eficiente y a los sistemas de vigilancia automáticos, que permiten mantener un nivel bajo de emisiones, tanto en condiciones normales como de avería.

Además, se requieren otras instalaciones exteriores como satélites, colectores, baterías, plantas de tratamiento de crudo, gas y agua de coproducción, que son necesarias para el procesamiento preliminar del hidrocarburo extraído y la dotación de infraestructura como vías de acceso, tendido eléctrico, etc.

- **Transporte y almacenamiento:** luego de la extracción, los productos brutos son transportados (a través de oleoductos y gasoductos, camiones y vagones cisternas, o por vía fluvial o marítima) y almacenados, antes de su refinación para obtener productos derivados comercializables. El impacto ambiental asociado a esta etapa es alto, ya que un derrame de hidrocarburos puede causar daños al ambiente difíciles de remediar.

2.2. Dotación de infraestructura necesaria para la extracción de hidrocarburos

Las instalaciones presentes en un yacimiento hidrocarburífero en general, son las siguientes:

- **Locaciones:** Los principales cuidados se centran en la selección de la ubicación de las locaciones, análisis de las condiciones topográficas, de escurrimientos superficiales e hidrológicos. Con ello se procura la disminución de los volúmenes de suelo a remover y la preservación de las vías de escurrimiento de agua superficial y subsuperficial. (IAPG, 2009)

Según el IAPG (2009)

Previo a la construcción de la locación, se debe preservar la capa superficial, la cual podrá ser utilizada para el achique de la locación, tapado de pileta, recuperación de taludes, etc. y respetar los drenajes naturales del terreno, evitando taparlos con el movimiento de suelo; en el caso que esto sea insalvable se realizará en el lugar un canal de drenaje adecuado.

Los esquemas de drenaje se diseñarán considerando las condiciones geotécnicas para fundaciones, la red hidrográfica existente y las condiciones de escurrimiento que se puedan medir o determinar en el área, tanto en forma superficial como subsuperficial.

En zonas aledañas a cursos inactivos se debe evaluar la necesidad de proteger los taludes para de evitar la erosión de los mismos por el escurrimiento.

- **Líneas de conducción:** El petróleo, junto con el gas y el agua asociados, son conducidos desde los pozos hasta baterías o estaciones colectoras a través de cañerías de acero o PVC reforzado con fibra de vidrio (RFV) enterradas, con un diámetro entre 2 y 4 pulgadas.
- **Satélites:** En una instalación a la que se conectan diversas líneas de conducción provenientes de distintos pozos en el área. Del mismo surge una única línea de conducción que se vincula a una Batería.
- **Baterías:** El petróleo, junto con el gas y el agua asociados, son conducidos a las baterías desde los pozos o satélites. En la batería ingresan a un colector las líneas de conducción de pozos y satélites, de inmediato a separadores de gas, donde el petróleo y el agua se acumulan en tanques de producción general (160 m³) y de control (40 m³), el gas es transportado por un gasoducto y para el petróleo y agua se utilizan bombas para enviarlos hacia la planta de tratamiento.
- **Plantas de tratamiento:** Si el yacimiento es amplio, muchas veces es necesario tratar los fluidos antes de ser enviados por oleoductos y gasoductos. Este proceso se realiza porque por los cambios físico-químicos que soportarán durante su transporte hacia la refinería (caídas de presiones, temperaturas, etc.) conllevan a reacciones físico-químicas indeseadas, pudiendo generar obturación de tuberías, corrosiones, etc.

Una vez que el petróleo es procesado, se lo almacena en una playa de tanques hasta su transporte por un oleoducto con destino final una destilería. Los tanques están diseñados para soportar presiones internas del orden de 0,175 a 0,350 Kg/cm² y se ubican en el interior de una pileta de hormigón que permite contener eventuales derrames causado por rotura de los mismos.

2.3. Impactos ambientales causados por la actividad hidrocarburífera

Como se menciona en Bifaretti y Sánchez (2008), los accidentes más frecuentes que se producen durante la explotación hidrocarburífera son los derrames de tanques, rupturas de tuberías y extracciones de pozos, que representan más del 10%, que son más notorios por la gran cantidad de hidrocarburos liberados en un sitio, en un corto lapso de tiempo, y el restante 90% a descargas menores de las actividades industriales. Según Bifaretti y Sánchez (2008) estos accidentes provocan diversos disturbios sobre los suelos, agua y vegetación:

- **Efectos sobre el suelo:** Las zonas ocupadas por instalaciones pueden afectar al suelo, al ser degradado por el desmalezado y compactado por el uso de maquinaria pesada. Por su parte, los derrames y los desechos alteran el sustrato fértil original en el que crecen las especies vegetales, dejando suelos inutilizables durante años, afectando su productividad.
- **Efectos sobre el agua:** La erosión de los suelos de las áreas alteradas, la descarga de los lodos de perforación y aguas producidas, desechos del mantenimiento de los

equipos y desperdicios sanitarios y domésticos también provocan la degradación de las aguas superficiales.

Durante las tareas de perforación se corre el riesgo de contaminar el agua subterránea, para evitar este daño hay que aplicar prácticas correctas de perforación, el entubado apropiado, y el sellamiento de los acuíferos durante la perforación, terminación o abandono del pozo.

La actividad demanda un importante volumen de agua superficial o freática, que puede afectar la calidad del recurso, por lo que es conveniente adoptar diversas medidas, como: obtener agua de los acuíferos no utilizados y emplear agua no potable para la perforación y para riego.

- **Efectos sobre el aire:** conjuntamente con el petróleo se encuentra gas natural. Su captación está determinada por la relación gas/petróleo. Si este valor es alto el gas es captado y si es bajo, el gas es venteado y/o quemado por medio de antorchas, lo que contamina extensas zonas según la dirección de los vientos.
- **Efectos sobre la flora y la fauna:** El principal impacto ambiental causado por la actividad es la degradación y pérdida de la vegetación por la descarga de las aguas de producción, el petróleo y los lodos de perforación. Los arbustos y matorrales son los más afectados por contaminación de hidrocarburos y como consecuencia pueden provocar un envenenamiento a la fauna por ingerir esta vegetación contaminada (o por contacto directo con el agua).
- **Efectos socio-económicos:** La actividad provoca conflictos permanentes sobre el uso de la tierra, particularmente con los pobladores locales, a lo que se suma una creciente demanda sobre los servicios y medios de las comunidades locales, conflictos sociales y con las culturas, tradiciones y estilos de vida de los nativos.

2.4. Definición de pasivo ambiental

Se puede definir al pasivo ambiental como “el conjunto de daños ambientales, en términos de contaminación del agua, suelo, aire, deterioro de los recursos y ecosistemas, producidos por una empresa en su funcionamiento normal o por accidentes imprevistos, a lo largo de su historia” (Falconí Benitez, 2004, p.32). Desde esta perspectiva, se lo asocia al deterioro de los ecosistemas o de sus componentes, a través del impacto generado por cuestiones naturales como antrópicas.

El nuevo concepto de pasivo ambiental impulsado por organizaciones ambientalistas y sociales vincula la perspectiva ambiental con la social, por ello los pasivos son impactos ambientales y sociales que permanecen en el tiempo, se transforman en negativos cuando no son remediados porque provocan una pérdida en la calidad del ambiente y en la vida de las poblaciones, transformándose en una “deuda ecológica”. Para aplicar el concepto de Pasivo Ambiental y proponer las medidas que posibiliten la reversión del daño se debe identificar el responsable del deterioro ambiental para que efectúe su remediación (Fantini, 2016).

Los criterios y las normas vigentes en el país o en las provincias establecen, en el caso particular de la actividad hidrocarburífera, valores límites en el contenido de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP). Para considerar como pasivo ambiental a un antiguo derrame de hidrocarburo no saneado en la provincia de La Pampa la normativa vigente es el Decreto 298/05, que establece los límites de TPH por debajo del 2% en peso sobre masa seca para considerar los suelos saneados libres de hidrocarburos.

2.5. Conceptos básicos de riesgo

Fantini (2016: 164-167) expone que los **desastres** se identifican como la destrucción total, parcial, transitoria o permanente de un ecosistema. Se presentan cuando actúa una fuerza destructiva (amenaza) y encuentra condiciones de debilidad para enfrentarla (vulnerabilidad). La estabilidad de los ecosistemas depende de su capacidad de homeostasis y resiliencia para resistir, adaptarse o evolucionar con los fenómenos naturales y para enfrentar la acción del hombre.

Para las Naciones Unidas desastre es todo

...evento concentrado en tiempo y espacio en el cual una comunidad sufre daños severos y tales pérdidas afectan a sus miembros y a sus pertenencias físicas de forma tal que se resiente la estructura social y las principales funciones de la sociedad.

En cambio, el **peligro** es una potencial destrucción. Los peligros antrópicos o sociales se originan por las acciones de los hombres.

La palabra **riesgo** implica la proximidad de un daño, desgracia o contratiempo que puede afectar un conjunto humano y su entorno (social, económico, natural), ante la presencia de una actividad peligrosa. El mismo tiene dos componentes: la amenaza potencial y la vulnerabilidad del sistema a ella.

La **amenaza** es la probabilidad de que un punto (x, y, z) se vea afectado por el peligro considerado a lo largo de un intervalo de tiempo. La amenaza depende del evento detonante, y de su grado de susceptibilidad, como de la energía potencial que la caracteriza.

Para que exista riesgo debe manifestarse un evento adverso (amenaza), que puede ser endógeno o exógeno, una incapacidad de respuesta frente a él, y una inhabilidad para adaptarse al nuevo escenario generado por la materialización del riesgo.

La “vulnerabilidad” expresa tanto la exposición al riesgo como la medida de la capacidad de cada unidad para enfrentarlo a través de una respuesta (Cepal, 2002, citado en Fantini, 2016: 168). Es la disposición interna que tiene un ecosistema a ser afectado por una amenaza).

2.5.1. Cadena de actuaciones frente al riesgo

Para adoptar decisiones correctas hay que anticiparse al riesgo del desastre. Es decir, acotar con la máxima antelación posible el lugar, el momento y las proporciones e intensidad de un fenómeno para poder adoptar las medidas que permitan reducir los posibles daños a su mínima expresión (Fantini, 2016: 177).

Fantini (2016: 177) concluye que las posibles actuaciones humanas frente a los riesgos naturales son: predicción, previsión, y prevención.

- 1- La **predicción**, desde la perspectiva del riesgo geológico, consiste en anunciar, antes de que suceda un fenómeno, la localización (el lugar o espacio en que se va a producir), el tiempo (el momento), el desarrollo y la intensidad con que va a actuar.
- 2- La **previsión** representa un grado de precisión mayor en la definición del riesgo. Permite definir con antelación, a nivel estadístico, la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno en sus distintos grados de intensidad. La previsión supera a la predicción al ser capaz de acotar la frecuencia en la que se pueden producir algunos sucesos potencialmente catastróficos. También permite evaluar los efectos sobre un

determinado riesgo y las consecuencias o implicaciones sociales del mismo ante cada intensidad. Para evaluar los distintos elementos de la previsión hay que considerar los factores que influyen en su peligrosidad (situación geográfica, características geológicas, etc.) y en la evaluación de los posibles daños (intensidad del fenómeno, duración, densidad de población, tipo de actividad, tipología de las construcciones, etc.).

- 3- La **prevención** es el conjunto de medidas basadas en la predicción y previsión que buscan disminuir al mínimo los daños económicos o sociales que puede producir un determinado riesgo natural. Las catástrofes sólo se producen en lugares en los que actúa un riesgo potencial en condiciones de falta de prevención suficientes.

2.5.2. *Medidas estructurales y no estructurales*

Para García Bonilla y Restrepo Albarello (2016: 48) las medidas estructurales son:

Las obras de protección y control para la prevención y reducción de desastres mediante la intervención directa de la amenaza, en pro de impedir la ocurrencia de un desastre o controlar los efectos del mismo en el caso de que éste se presente. Para esto se requiere la elaboración de estudios detallados acerca de las características de los fenómenos y análisis de la fuente generadora de eventos peligrosos, los cuales permiten la concepción de obras de protección y control que puedan prevenir o mitigar los mismos.

Las medidas estructurales de prevención y reducción de riesgos son obras destinadas a la reducción del riesgo o la disminución del mismo a niveles “aceptables”. Este tipo de medidas pueden ser clasificadas de acuerdo a su impacto, es decir si las mismas son de prevención, elusión de la amenaza, control o estabilización, y la decisión de emplear alguna de estas medidas depende no solo de factores técnicos sino sociales, económicos y políticos.

Las medidas no estructurales, o pasivas, no requieren de una actuación directa sobre el medio. Aunque aún son poco frecuentes, han venido jugando un papel fundamental en los procesos integrales de gestión del riesgo de desastres y son tantos o más eficaces que las medidas estructurales (García Bonilla y Restrepo Albarello, 2016: 80). Se articulan en torno a una planificación preestablecida de cada zona en función de los usos que en ella se dan y del equilibrio de éstos con los procesos naturales y los riesgos que de ellos derivan.

Su objetivación pasa por estudios de Ordenación Territorial, basados en una cartografía de riesgos. Los avances científico-tecnológicos permiten actualmente integrar este tipo de información en Sistemas de Información Geográfica que posibilitan el seguimiento de los procesos en tiempo real que ayude en la toma de decisiones. También pueden considerarse medidas no estructurales el establecimiento de canales y sistemas de información y formación frente al riesgo, los planes y protocolos de actuación frente a situaciones de emergencia, entre otras.

2.5.3. *Los daños derivados de accidentes*

El concepto de riesgo se puede definir como el “daño esperado”, ya que engloba tanto la probabilidad de ocurrencia de un evento como las consecuencias del mismo. Entonces, es posible disminuir el riesgo reduciendo los daños provocados por un accidente, o reduciendo la probabilidad de que éste ocurra. El primer término se conseguiría por

medio de medidas de prevención mientras que el segundo por medidas de previsión (Soriano García, 2008: 105-106).

Los daños ocupacionales se definen como la damnificación a los trabajadores del sitio en riesgo. Este tipo de daño se puede reducir enormemente con nuevos diseños de las instalaciones que alejan o sustituyen la mano de obra en campo por medio de sistemas de telecontrol para la operatividad de la planta o la lucha contra incendios.

Como se menciona en Soriano García (2008: 109-110), para minimizar los daños por accidentes es necesario aplicar medidas de seguridad encaminadas a la previsión de accidentes en instalaciones petroleras, como: a) el concepto de seguridad está presente en el propio diseño de las instalaciones y en la elección de los materiales a usar; b) se deben almacenar los distintos productos usados en un tanque adecuado; c) las distancias entre los depósitos están establecidas por ley con el objetivo de minimizar la posibilidad de que, si se produjera un incidente en uno de ellos, pudiera afectar al resto; d) los depósitos se ubican dentro de recintos estancos, o cubetos, capaces de retener el producto que, por rotura o avería de los tanques, pudiera derramarse; e) las instalaciones cuentan con sistemas de seguridad para evitar los riesgos de la electricidad estática o de los propios equipos eléctricos existentes en las mismas y f) las normas de seguridad existentes en las instalaciones establecen controles muy rigurosos para garantizar que cualquier tarea en ellas se realice en forma controlada para evitar incidentes.

Entre las medidas de seguridad encaminadas a la prevención en éste tipo de instalaciones de destacan: a) Las instalaciones cuentan con diferentes sistemas de control que permiten la detección temprana de cualquier incidente al efecto de poner en marcha las medidas de seguridad necesarias; b) los planes de emergencia para preservar la seguridad de las personas y del entorno en el que se encuentran y c) las instalaciones deberán contar con sistemas de protección contra incendios (SPCI).

CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL AMBIENTE

3.1. Localización del área de estudio

El área de estudio se ubica en el Departamento de Puelén (Provincia de La Pampa), en el yacimiento petrolífero “25 de Mayo - Medanito SE” operado por la UTE Petroquímica Comodoro Rivadavia S.A-Pampetrol SAPEM, localizado a aproximadamente 34 kilómetros al sureste de la localidad de Colonia 25 de Mayo. Abarca una superficie de 177 km² (Figura 3.1).

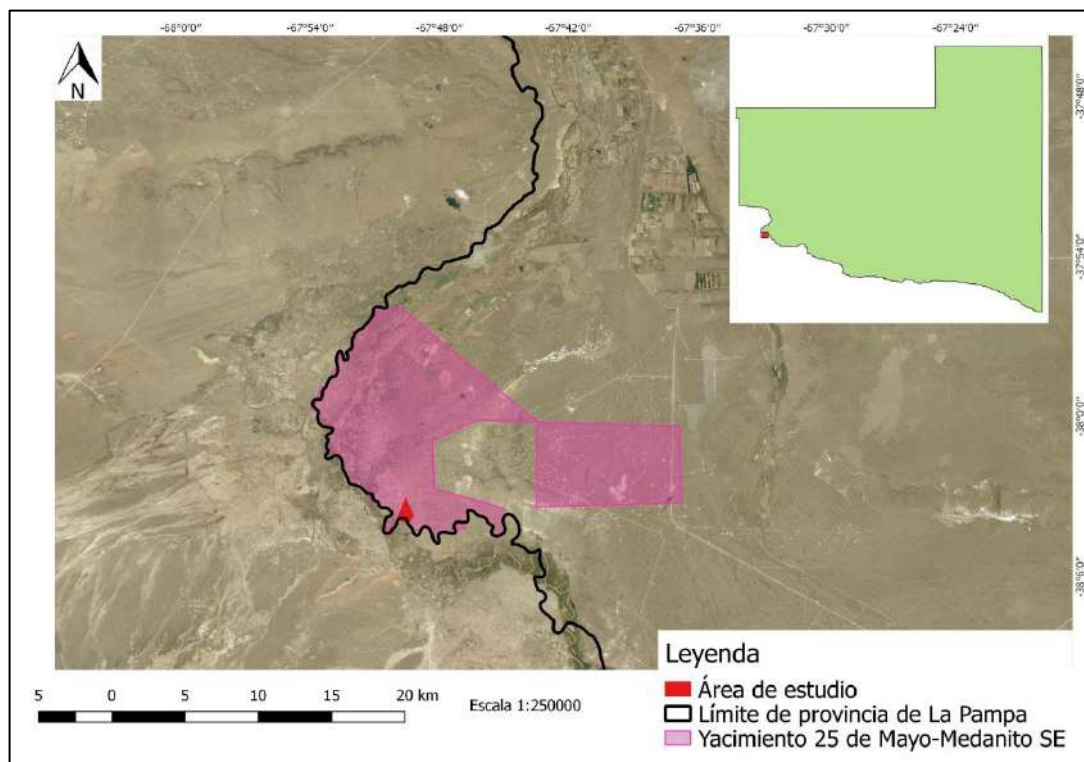


Figura 3.1. Localización del área de estudio en la Provincia de La Pampa.

Se accede al área de estudio a través de la ruta pavimentada que une la localidad de Colonia 25 de Mayo con Colonia Chica. Luego, se ingresa al yacimiento por medio de un camino de tierra consolidado. El área de investigación está comprendida entre las latitudes 38° 02' 38,74" - 38° 03' 35,40", y entre las longitudes 67° 49' 39,71" - 67° 50' 25,28".

El área de estudio incluye las instalaciones de la Batería y una serie de pozos asociados, en una de las áreas de mayor vulnerabilidad a la contaminación por hidrocarburos que presenta el yacimiento. El área es atravesada por numerosos cursos efímeros que conducen en forma esporádica y ocasional agua procedente de precipitaciones. Estos cursos configuran una red de drenaje conformada por cañadones, siendo estos las vías por donde transcurren fenómenos aluvionales.

La Batería recibe una producción bruta diaria de aproximadamente 240 m³ con un corte de agua del 95% (228 m³), siendo la producción neta de hidrocarburo de 13 m³ y la producción bruta de gas es de 1Nm³/día. Contiene tres tanques con capacidad de almacenamiento de 360 m³ de petróleo crudo, dos colectores, una bomba centrífuga de transferencia, dos separadores verticales bifásicos y un separador gas-líquido de instrumentos, red contra incendio, un separador de agua libre, cuatro calentadores, pileta

API, pileta de emergencia, fosa de quema, dos bombas quintuples, una bomba alternativa dúplex, una unidad de rechazo y un puente de medición.

3.2. Geomorfología

El área de estudio está comprendida dentro del territorio que Salazar Lea Plaza (1975) designó dominio geomorfológico de los mantos de rodados de vulcanitas. Posteriormente fue denominada Subregión de las terrazas y paleocauces con rodados de vulcanitas (Cano et al., 1980). Teniendo en cuenta la génesis de la unidad, Calmels (1996) la denominó Paleobanico del Río Colorado.

Su historia geomorfológica está ligada a la del Río Colorado, que dejó su sello en geoformas acumulativas como paleocauces y terrazas. Las acciones fluviales constructivas constituyen el principal proceso morfogenético, favorecidas por la brusca disminución del gradiente del paleo - río Colorado, durante un prolongado período de su historia geológica reciente, posiblemente en el Plioceno - Cuaternario, que permitió el depósito de los materiales que conformaron el extenso abanico aluvial de entonces. El agente fluvial ocupó extensas áreas donde acumuló rodados de vulcanitas que dieron origen a conglomerados que cubren a terrazas y mesetas, elaborando amplios y bien definidos cauces, ubicados casi paralelamente al norte de su curso actual. Más recientemente, en el área de Colonia 25 de Mayo produjo llanuras aluviales de considerable magnitud (Cano et al., 1980). Su continuo desplazamiento hacia el Sur (evidenciado por los paleocauces) originó un paisaje donde se intercalan terrazas, mesetas y paleocauces.

Según un estudio hidrológico realizado por Hidroar S.A (2006), la Batería 8 se encuentra en la Planicie aluvial actual y en niveles de terraza asociados, correspondiendo al valle actual. El conjunto conformado por la planicie aluvial y terrazas se extiende sobre el margen norte desde el curso hasta los 5 km, con una pendiente menor a un metro por kilómetro ($< 1 \cdot 10^{-3}$). Es ocupada episódicamente por agua durante crecidas del río y contiene geoformas menores, como meandros abandonados, barras de meandro y pequeñas terrazas o recorte de terrazas. Algunos de estos rasgos, aparecen como “islas” en épocas de estiaje; hallando pequeñas dunas, con escasa expresión topográfica.

3.3. Clima

El clima es uno de los factores más influyente en el modelado del paisaje. Tomando de referencia la Clasificación Climática de Köppen (1936), se caracteriza el área de estudio como BW w k (B: clima seco, la evaporación excede las precipitaciones; W: árido/desértico; w: precipitaciones estivales e inviernos secos, k: temperatura media anual inferior a 18°C). Según la clasificación de Thornthwaite, es Mesotermal con nulo exceso de agua y concentración térmica estival inferior al 48% ($E B^2 d a^{\wedge}$). El área constituye una zona desértica con un marcado déficit hídrico, lluvias estivales e inviernos secos.

De acuerdo con los datos proporcionados de la Estación Meteorológica Colonia 25 de Mayo, para el periodo 1971-1996, la **temperatura media anual** es de 15,4 °C. La temperatura media en verano alcanza los 24,2 °C, mientras que en invierno alcanzan los 6,7 °C. Las temperaturas máximas y mínimas medias son de 22,7 °C y 7 °C respectivamente.

La **precipitación media anual** registrada es de 262,1 mm. El período de mínimos aportes meteóricos es Julio-Septiembre con el 22.2 % del total anual y el más lluvioso Octubre a Marzo con el 52.4%. El balance hídrico presenta un pequeño déficit en el mes de

agosto y un gran déficit de octubre a marzo. El período de recarga de agua del suelo es en general el que va de mayo a julio, no existiendo ninguna estación que presente exceso de agua.

Los **vientos** predominantes durante el año son NE y SW. La velocidad promedio anual del viento para el periodo 1971-1996 fue de 6.8 km/h, siendo la primavera la estación en que sopla con mayor intensidad. Esto coincide con el final del período de menor precipitación, lo que contribuye a aumentar los riesgos de erosión eólica.

La **presión atmosférica media anual** es de 977 hPa (periodo 1971-1996), la mayor presión se registra en el mes de Julio, coincidente con el momento de mayor estabilidad de la atmósfera. El menor valor es en diciembre cuando ocurren tormentas violentas producto de la inestabilidad atmosférica debido a los centros anticiclónicos, uno en el Atlántico y otro en el Pacífico.

3.4. Marco Tectónico, Estructura, Estratigrafía y Litología

El área de estudio se ubica en la provincia geológica conocida como Cuenca Neuquina, formada por una columna sedimentaria de más de 6.000 metros de espesor, que incluye rocas marinas y continentales (Howell, Schwarz, Spalletti y Veiga, 2005, en Casadío y Montagna, 2015) (Figura 3.2).

En la estratigrafía de la cuenca neuquina se reconocen seis regiones morfoestructurales. El área de estudio de la presente tesis se ubica en la Plataforma Nororiental.

En el Jurásico se inicia una etapa de *syn-rift*, en el oeste de la República Argentina, donde los sedimentos manifiestan una marcada depresión a través de la cual se expanden en dirección oriental. (Muravchik, 2011, en Casadío y Montagna, 2015). A partir de ese momento, el relleno sedimentario presenta una notable ciclicidad definida por la presencia de sedimentos marinos y continentales en forma alternada, situación que perdura hasta el terciario. Durante el Jurásico Inferior, se reestableció en el margen occidental de Gondwana un sistema de subducción, desarrollando el primer arco magmático mesozoico y la formación de cuencas de intraarco y retroarco, caracterizadas por depósitos de ambientes mayormente marinos.

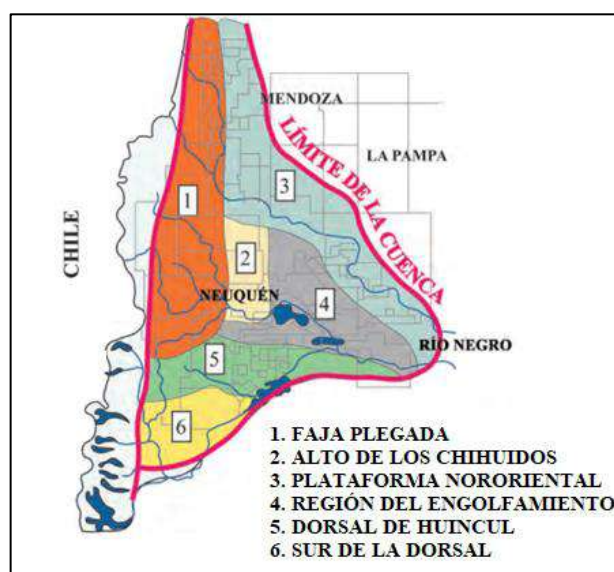


Figura 3.2. Estratigrafía de la cuenca Neuquina (Casadío et al, 2015)

Desde el Jurásico Medio hasta el Cretácico Inferior la cuenca Neuquina se comportó como una cuenca de retroarco y, hacia fines del Cretácico Inferior, en una cuenca de antepaís por el incipiente levantamiento de la Cordillera de los Andes y la formación de la faja plegada y corrida del Agrio. En el Cretácico Inferior se reconoce una gran área marina andina conectada al Pacífico a través del arco volcánico, representada de norte a sur por la cuenca de Chañarcillo (Chile) y la cuenca Neuquina. El levantamiento cordillerano produjo el retiro definitivo de los mares del Pacífico y permitió la primera transgresión marina procedente del Atlántico durante el Cretácico Superior. La reactivación de la faja plegada y corrida durante el Mioceno marcó la culminación de la estructuración de la cuenca (Ramos, 1999; Ramos y Folguera, 2005, en Casadío y Montagna, 2015).

La cuenca Neuquina es la más importante del país desde el punto de vista de la producción de hidrocarburos, produce el 42% de la producción de petróleo y el 55% de la producción de gas.

La columna estratigráfica típica la integran el grupo Neuquén (areniscas y conglomerados); la formación Rayoso (arenisca color castaño rojizo depositada en el Cretácico temprano en un medio predominantemente continental), el grupo Mendoza (Jurásico tardío y el Cretácico temprano) lo integran las formaciones Centenario (arenisca de color castaño rojizo con abundante matriz arcillosa y arcillita gris verdosa a castaño rojizo) y Quintuco (Loma Montosa) formada durante una transgresión marina que instala una amplia plataforma carbonática de baja pendiente (Rossello y Barrionuevo, 2006, en Casadío y Montagna, 2015); la formación Catriel (psamita de color gris verdoso, con pobre consolidación). Las facies fluviales de los niveles inferiores constituyen el principal carrier de los hidrocarburos del sistema Vaca Muerta desde el “engolfamiento Neuquino” (Mosquera et al., 2008, en Casadío y Montagna, 2015) donde se ubica la “cocina”, hasta la plataforma nororiental (Cruz et al., 2002, en Casadío y Montagna, 2015) y el principal reservorio de las acumulaciones de hidrocarburos en la zona y el grupo Precuyo formado por una roca volcánica color castaño oscuro.

En lo que corresponde a la geología superficial, los afloramientos más antiguos corresponden a la Formación Allen (Grupo Malargüe) del Cretácico Superior, explotados comercialmente para la producción de bentonita. Se hallan expuestas o cubiertas por una delgada capa de gravas o de arenas eólicas, que corresponden a un conjunto de materiales diversos conforman los depósitos recientes.

3.5. Hidrología

3.5.1. Agua superficial

El río Colorado es el único curso perenne en el área de estudio, tiene sus nacientes en la cordillera de los Andes entre los paralelos 34° 47'S y 36° 12'S, con una cuenca imbrífera que alcanza a 34040 km² hasta su desembocadura en el Océano Atlántico y longitud del colector principal de 1150 km, desde las nacientes del río Grande (Figura 3.3). Se trata de un río con régimen pluvio- nival, con el pico de crecidas que corresponde al deshielo localizado entre noviembre y enero y el pluvial situado en junio-julio.

El Comité Interjurisdiccional del Río Colorado (COIRCO) realiza periódicamente tomas de muestras de agua, en distintos puntos de medición, para determinar parámetros químicos con la finalidad de especificar la calidad del agua y poner en evidencia la posible contaminación del agua del río con hidrocarburos, metales y metaloides. Los análisis demostraron que en la actualidad no hay evidencias de contaminación con hidrocarburos.



Figura 3.3. Cuenca del Río Colorado (Subsecretaría de Recursos Hídricos, 2012)

3.5.2. Agua subterránea

El nivel freático está fuertemente influenciado por la geomorfología y las precipitaciones, oscilando generalmente entre los 10 y los 24 metros. La profundidad del agua disminuye hacia el sur, debido al carácter influente del Río Colorado (Umazano et al, 2004). En tanto, el acuífero confinado, representado por el Grupo Neuquén, se encuentra a una profundidad de 20 a 70 metros, con una tendencia a disminuir hacia el este (Deladino 2000).

En el acuífero freático se distinguen aguas de baja salinidad (TSD 572 mg/l a 1804 mg/l) generalmente sulfatadas-cloruradas sódicas y sódico-cálcicas, y salobres a salinas (TSD 3188 mg/l a 29369 mg/l) cloruradas-sulfatadas sódicas hasta clorurada sódica (la más salina). En cambio, el acuífero confinado contiene aguas salobres y de carácter iónico cloruradas-sulfatadas sódicas, destacándose el estadio evolutivo propio de una capa confinada. Los acuíferos del subálveolo se desarrollan en el valle fluvial del río Colorado que se extiende entre los niveles de terrazas más elevados y el lecho del valle activo del Río Colorado. Además del aporte del río, la recarga del acuífero freático ocurre por infiltración de las escasas precipitaciones, especialmente en los meses de invierno cuando la solicitud atmosférica es mínima.

3.6. Suelos

Los suelos presentan escasa evolución pedogenética, las principales diferencias existentes están dadas fundamentalmente por el material parental y la posición en el relieve. Las arenas muy gruesas que yacen sobre una costra calcárea localizada antes del metro, son el material parental que dio origen a los suelos actuales.

Se clasifican en el orden de los Entisoles áridos como los Ustifluventes típicos, aunque hay suelos pertenecientes al orden de los Aridisoles (Minería, 2009). Tienen régimen de temperatura térmica y de humedad árido.

Cano et al. (1980) los caracteriza como un sedimento arenoso eólico reciente que recubre a los rodados con un pobre desarrollo genético, los clasifica como Torripsamientos típicos, cuando las arenas tienen espesores superiores a los 50 cm y Calciortides típicos cuando los rodados y su matriz calcárea aparece antes del metro.

Los Entisoles presentan horizontes superficiales menos resistentes a la erosión y propensos a favorecer el escurrimiento superficial por la presencia de horizontes cementados o poco permeables (petrocálcicos y argílicos) por debajo de los epipedones, ya que pueden limitar la infiltración.

El perfil es del tipo AC-C, típico de suelos recientes, muy poco evolucionados, con materiales parentales escasamente alterados y con débil estructuración. Cubren ambientes medanosos en su mayoría estabilizados naturalmente. Tienen texturas arenosas, drenaje excesivo, permeabilidad muy rápida, escasa retención de humedad y no están estructurados, con excepción de la parte más superficial.

Sobre las márgenes del río, el plano aluvial (terreno plano y bajo sujeto a inundaciones periódicas) presenta suelos que se desarrollan sobre los sedimentos fluviales o fluvio lacustres depositados por las aguas (Cano et. al., 1980).

Las limitaciones más importantes son de naturaleza climática (aridez), el drenaje excesivo, presencia frecuente de horizontes petrocálcicos, síntomas de salinidad-sodicidad y la gran susceptibilidad a la erosión hídrica y eólica (suelos poco estructurados, relieves quebrados con altas pendientes y escasa cobertura vegetal de tipo arbustiva).

En la descripción del perfil geológico de la perforación del frentímetro P, localizado en las inmediaciones del pozo LP- 1013, se identifica en superficie un suelo limo arenoso, que cubre una capa de arena gruesa a muy gruesa. A partir de los 20 metros de profundidad, se encuentra arcilla rojiza del Mb. Anacleto de la Fm. Rio Colorado.

Se realizó un ensayo granulométrico de elaboración propia con muestras del área que caracterizan el suelo hasta una profundidad de 2 metros (figura 3.4). Los datos arrojaron un suelo de arena fina con gravillas aisladas y ocasionalmente algún rodado tamaño máximo de 2", uniforme y bien graduada, algo limosa, color castaño claro, poco compacta y desmoronable, de baja capacidad portante. Según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos la muestra se clasifica como SM – “Arenas limosas, mezclas de arena y limo”.



Figura 3.4. Ensayo granulométrico.

3.7. Flora y Fauna

A nivel regional de acuerdo a la clasificación de Cabrera (1976) el área de estudio pertenece a la Provincia del Monte, Dominio Chaqueño, Región Neotropical.

El Monte es una provincia fitogeográfica definida por una estepa arbustiva en donde es muy frecuente la presencia de especies de la familia Zigofilácea. El rasgo más distintivo es la constancia del régimen térmico y las precipitaciones promedio de 200 mm anuales. Estas condiciones de aridez se reflejan en la baja complejidad florística y en la sencilla estructura, con estratos herbáceo y arbustivo, y sin estrato arbóreo importante, excepto en galerías de ríos o valles (Buss, 2017).

Entre la vegetación arbustiva se destaca el predominio de especies de la familia *Zigofilácea*, entre ellas la jarilla hembra (*Larrea divaricata*) y *Monttea aphylla*; *Atriplex lampa*; *Lycium chilense*; *Bougain villeaspinosa*; *Acantholippia seriphioides*, etcétera.

Las condiciones de aridez se reflejan en la baja complejidad florística y en la sencilla estructura, con estratos herbáceo y arbustivo, y sin estrato arbóreo importante, excepto en galerías de ríos o valles.

Los arbustos no superan en general los 3 m de altura, se ramifican desde la base con un tronco muy breve, de madera dura, de entrenudos cortos. La vegetación presenta adaptaciones anatómicas y fisiológicas para asegurar la resistencia a las condiciones de sequía prolongada (figura 3.5).

Las actividades hidrocarburíferas causan un impacto directo sobre la flora, promoviendo la proliferación de ciertas especies de vegetación por sobre otras, transformándose de esta manera, en invasoras.

En el área de estudio se observan importantes evidencias de fragmentación del paisaje entre ellas las locaciones y sus caminos de acceso, las picadas y las instalaciones auxiliares como tanques, baterías, satélites, etc., siendo menor la incidencia de la actividad de la ganadería caprina, que realizan los superficiarios.

La fauna terrestre se ubica en el dominio Andino-Patagónico desde el punto de vista zoogeográfico, recibiendo aportes de la fauna de montaña y de la estepa patagónica, provenientes del Sur. En el área del yacimiento se localizan 43 especies de aves, 12 corresponden a los órdenes de no Passeriformes y 31 al orden Passeriformes. Dentro de este último orden las familias mejor representadas son los Furnáridos con 9 especies, seguido de los Emberizidios con 7 y los Tyranidos con 6 especies.



Figura 3.5. Vegetación autóctona del lugar de estudio. a) Jarilla (Genero *Larrea*), b) zampa (*atriplex lampa*) y c) Alpataco (*prosopis alpataco*).

Tabla 3.1

Estado de conservación de las especies en el área de estudio.

| ESPECIE | CITES | Disposición 4/06-3 |
|---------------------------------|--------------|---------------------------|
| <i>Asthenes patagonica</i> | --- | Vulnerable |
| <i>Athene cunicularia</i> | II | Indeterminada |
| <i>Buteo polyosoma</i> | II | Indeterminada |
| <i>Circus cinereus</i> | II | Indeterminada |
| <i>Falco sparverius</i> | II | Indeterminada |
| <i>Milvago chimango</i> | II | Indeterminada |
| <i>Phrygilus carbonarius</i> | --- | Vulnerable |
| <i>Pseudoseisura gutturalis</i> | --- | Vulnerable |
| <i>Teledromas fuscus</i> | --- | Vulnerable |
| <i>Chlelonoidis chilensis</i> | II | Vulnerable |
| <i>Micrurus pyrrhocryptus</i> | II | Indeterminada |
| <i>Philodryas trilineatus</i> | II | Indeterminada |
| <i>Lycalopex gymnocercus</i> | II | No amenazada |
| <i>Dolichotis patagonum</i> | --- | Vulnerable |

Nota. Fuente: Buss, C. (2017). *Detección temprana de contaminación por hidrocarburos en áreas de riesgo hídrico en 25 de Mayo, La Pampa.* Tesina de grado. Universidad Nacional de La Pampa

Hay especies que figuran en el Apéndice II de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES). La Subsecretaría de Asuntos Agrarios del Gobierno de La Pampa, dictó la Disposición 4/06 donde establece cinco categorías de la fauna silvestre (en peligro, vulnerables, raras, no amenazadas e indeterminada).

La actividad hidrocarburífera tiene un alto impacto y provoca cambios importantes en el paisaje y en el ecosistema. La construcción de caminos, locaciones, explanadas, tendido de ductos, provocan un aumento de los niveles de ruido, la fragmentación del hábitat, la pérdida de sitios de reproducción y alimentación; estas acciones impactan en forma directa sobre la fauna (Buss, 2017, p.19).

CAPÍTULO 4: MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Materiales

Durante la ejecución del trabajo se utilizaron:

- Tareas de campo: casco; lentes de seguridad; guantes; botas con punta de acero; bolsas plásticas; palas; GPS (Sistema de Posicionamiento Global); cámara fotográfica y cinta métrica.
- Tareas de laboratorio: serie de tamices IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación) N° 4, 10, 40, 200; recipientes de un litro de capacidad, estancos de material inoxidable; mortero de porcelana o madera con pilón revestido con goma; bandejas de material inoxidable; balanza con sensibilidad de 1 centigramo, estufa de secado de muestras, regulable, que asegure temperaturas de 105 – 110° C., etc.
- Tareas de gabinete: Utilización del *software Google Earth*, tanto para la ubicación de los lugares de estudio como para complementar la descripción topográfica realizada a partir de los recorridos con GPS. Además, se contó con imágenes satelitales del área de estudio, cuyos archivos digitales se encuentran disponibles en el sitio web del IGN (Instituto Geográfico Nacional).

4.2. Método

4.2.1. Tipo y nivel de investigación

El presente estudio es de tipo descriptivo, porque evalúa los aspectos, componentes y factibilidad para la situación de riesgo ambiental actual de las instalaciones en estado operativo presentes en las proximidades de la Batería N° 8 del Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE; es de tipo transversal porque se desarrolla entre los meses de julio de 2018 agosto de 2019 y de tipo prospectivo porque los resultados brindan una propuesta viable para disminuir el riesgo ambiental de las instalaciones de la Batería.

4.2.2. Universo y muestra

Se plantea como universo el Yacimiento 25 de Mayo-Medanito SE que abarca una superficie de 177 km² y se establece como muestra el área delimitada por la propia batería y las líneas de escurrimiento que la circundan, que abarcan un 0.56 % del área total (Figura 4.1).

4.2.3. Análisis de antecedentes

Para la realización del proyecto se recopiló información bibliográfica y técnica existente (édita e inédita) sobre la geología, geomorfología, hidrología y topografía del área de estudio para su posterior análisis.

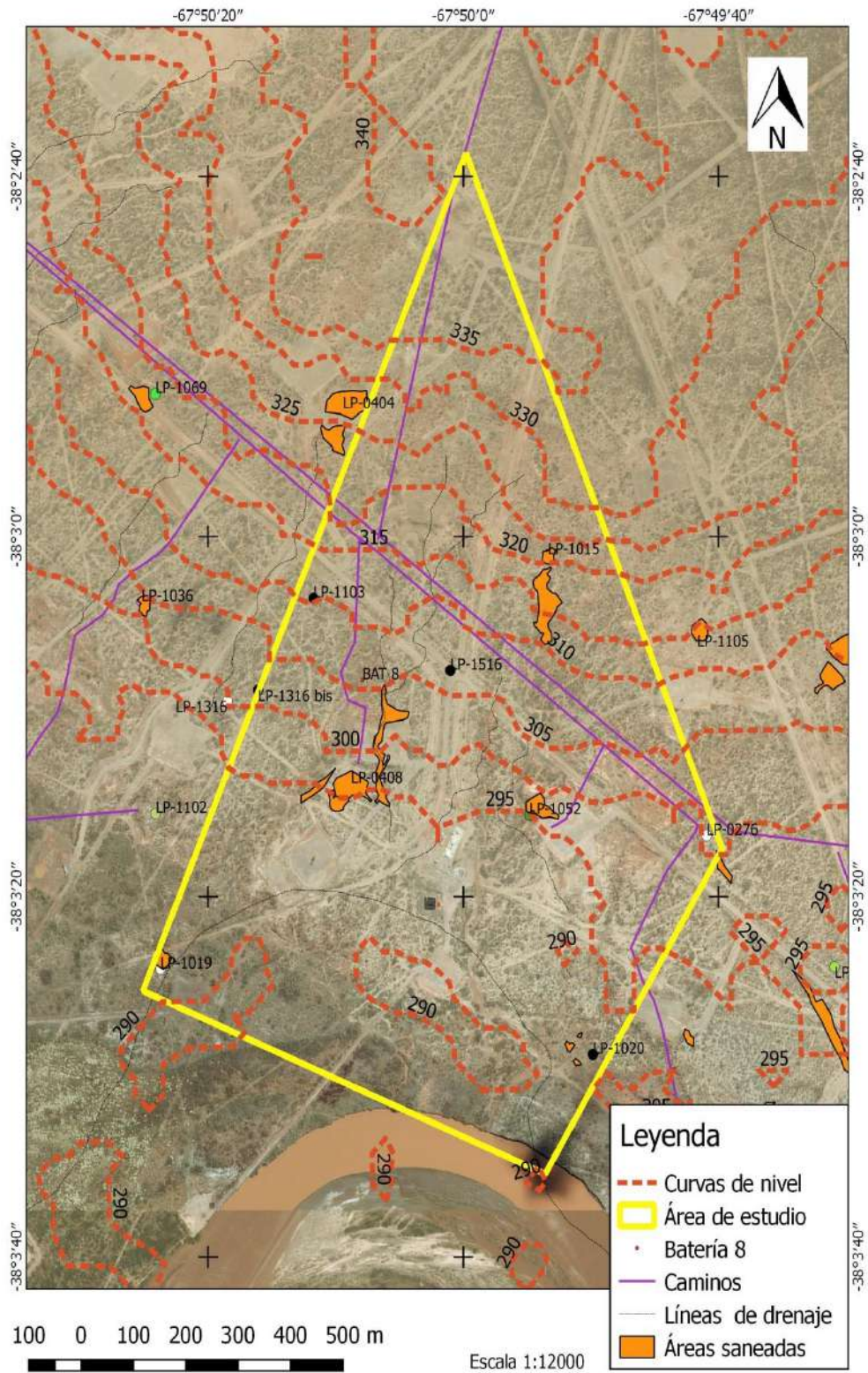


Figura 4.1: Área de Estudio, curvas de nivel y detalle de líneas de conducción.

4.2.4. Trabajo de campo

Se efectuó el recorrido de la batería y las locaciones, líneas de conducción, caminos, líneas de drenaje y área de influencia en dos etapas:

1. Reconocimiento general del área a los efectos de analizar el impacto de la erosión sobre la batería y pozos en producción. Se utilizó GPS marca *Garmín Etrex 20* para medir áreas afectadas y cámara de fotos. También se efectuó el registro de las actividades fotográficas y topográficas. Por último, se realizó la recolección de muestras de sedimentos representativas del suelo del área de estudio con el fin de determinar sus atributos geotécnicos y su clasificación en gabinete.
2. Reconocimiento en detalle de los procesos erosivos y/o fragmentación del paisaje. Se subdivide en dos el área de estudio, teniendo como locación de referencia la Batería 8:
 - a. aguas arriba de las instalaciones, haciendo particular hincapié en la erosión sobre las baterías y líneas de conducción de pozos productores y de inyección.
 - b. aguas debajo de las instalaciones, para identificar el riesgo que las mismas tienen en cuenta a un potencial incidente ambiental (derrame de crudo o agua de producción) que pueda alcanzar el río Colorado.

4.2.5. Tareas de laboratorio

- Análisis granulométrico de las muestras de sedimento con la determinación de porcentajes de gravilla, arena y el conjunto limo- arcilla. Previo al procedimiento del tamizado, se realizó una minuciosa homogeneización de la muestra. Luego se ejecutó el procedimiento de la norma de ensayo “Tamizado de suelos por vía húmeda” (VN - E1 – 65) de Vialidad Nacional. La cantidad de material preparado para el ensayo se vierte sobre un tamiz IRAM N° 200 y se lava cuidadosamente con un chorro de agua no muy fuerte hasta que se compruebe que el agua, que se escurre del tamiz sale limpia. El material que queda en el tamiz IRAM N° 200 se recoge y se seca en estufa a 105 – 110° C hasta peso constante. Una vez seco el material retenido, se coloca en el mortero y se desmenuza con la mano del mortero revestida en goma, con el objeto de deshacer los terrones que pudieran haberse formado al secar el material. El material así obtenido se pasa por los tamices IRAM N° 4, 10, 40, 200 y se pesan las fracciones retenidas.
- Clasificación del suelo según el SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

4.2.6. Tareas de gabinete

Se utilizaron imágenes de radar SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) para la realización de Modelos Digitales de Elevación a través del *software QGIS 2.18.0 “Las Palmas”*. Con este programa se generaron curvas de nivel y mapas de pendientes para comprender la topografía general del área de estudio. Además se confeccionaron perfiles topográficos con el *software Google Earth* con el fin de analizar en detalle taludes de los

sitios críticos. Por último, se empleó el *software AutoCAD* para producir los esquemas de las propuestas de defensas anti-aluvionales.

Con el procesamiento de datos de campo, sumado a las tareas de laboratorio y gabinete, se analizaron distintas medidas estructurales para estabilizar taludes y controlar los procesos de erosión hídrica en las cárcavas próximas a las instalaciones y para amortiguar o corte del flujo superficial, sugiriendo aquellas más adecuadas para los sitios críticos.

4.2.7. Procedimiento

Se utilizaron las metodologías propuestas por Martínez et al. (2009, en Cueva Alanguía, 2018) para evaluar el diseño de cárcavas, y la de Ruiz Rivadeneyra (2014), para el análisis de la estabilidad de taludes.

- **Diseño de cárcavas:** Se clasifica a las cárcavas en función de la profundidad y área de drenaje y se las agrupa en pequeñas, medianas y grandes (tabla 4.1).

Tabla 4.1

Profundidad y área de drenaje de las cárcavas (Mártinez et al., 2009).

| Clase | Profundidad (m) | Área de drenaje (ha) |
|----------|-----------------|----------------------|
| Pequeñas | < 1 | <2 |
| Medianas | 1 a 5 | 2 a 20 |
| Grandes | >5 | >20 |

- **Estabilidad de Taludes (Pendientes):** los taludes son áreas altamente vulnerables a la erosión hídrica y sobre todo a súbitos movimientos en masa (tabla 4.2).

Tabla 4.2.

Estabilidad de Taludes (Ruiz Rivadeneyra, 2014).

| Característica | Clase 1 | Clase 2 | Clase 3 | Clase 4 |
|--------------------------|--------------|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| Pendiente | Menos de 15° | Entre 15° y 30° | Entre 30° y 60° | Mayor a 60° |
| Erosionabilidad | Poca erosión | No desestabilizado, ni erosión severa | Desestabilizado erosión severa | Inestable, erosión severa |
| Limitaciones geotécnicas | Baja | Moderada | Alta | Extrema |

CAPITULO 5 – MEDIDAS ESTRUCTURALES

5.1. Medidas Estructurales para disipar energía cinética del flujo de agua

Las medidas estructurales para disminuir la energía cinética consisten de estructuras hidráulicas que producen esfuerzos de resistencia al movimiento de fluidos, evitando el riesgo de socavación aguas abajo.

La forma para disipar la energía cinética de una escorrentía es generar un resalto hidráulico, impacto o incremento de la rugosidad.

Villamarin Paredes (2013:12) indica que el “resalto hidráulico es el ascenso brusco del nivel del agua que se presenta en un canal abierto a consecuencia del retardo que sufre una corriente de agua que fluye a elevada velocidad”, en otras palabras, es el lugar donde se genera un cambio violento del régimen de flujo, de supercrítico a subcrítico (Figura 5.1).

La energía es disipada mediante procesos de difusión de la velocidad entre partículas de agua que entran con alta energía cinética dentro de una masa de agua estática. Debido a intensos procesos de fricción interna, por el roce entre partículas de agua, se forman vórtices. Para inducir una eficiente disipación de energía, por lo tanto, resulta muy importante lograr zonas de alta turbulencia. El lugar espacial en el que se presenta el resalto se denomina colchón hidráulico (Villamarin Paredes, 2013: 13-15).

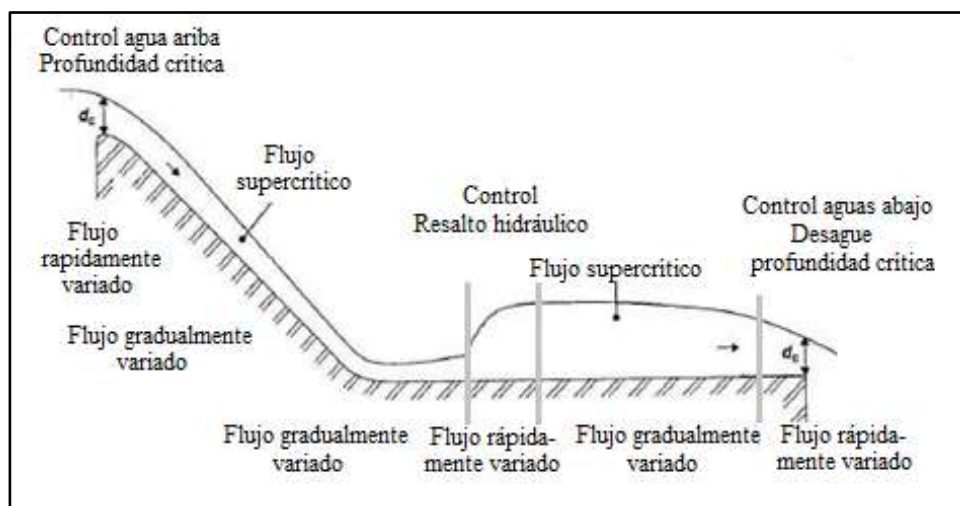


Figura 5.1. Resalto hidráulico (Villamarin Paredes, 2013).

A continuación, se describen algunos de los disipadores de energía. Cabe aclarar que en la bibliografía se encuentran un amplio espectro de disipadores, por lo que sólo se describirán aquellos que por características técnicas son propicios para ser utilizados en los sitios analizados.

5.1.1. Disipadores de rápidos escalonados

Son canales con gradas o escalones donde, a la vez que se conduce el agua, se va disipando la energía cinética del flujo por impacto con los escalones y amortiguándose por

el fluido re circulante atrapado entre los escalones, se van formando vórtices en las gradas, ya que éstas actúan como una macro rugosidad en el canal. De esta forma el agua llega al pie del canal con energía disipada, no siendo necesaria alguna estructura adicional (Villamarin Paredes, 2013) (Figura 5.2).

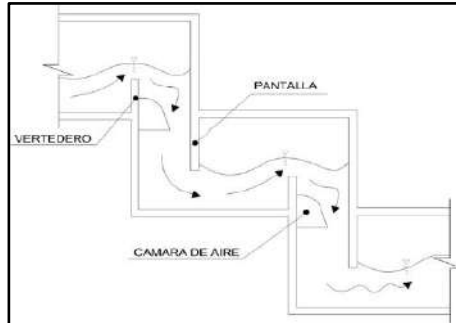


Figura 5.2. Disipadores rápidos escalonados (Villamarin Paredes, 2013).

Si se desea disipar mayor energía se pueden adicionar bloques de cemento o salientes en la grada para boquear el agua, o rápidas escalonadas con vertedero y pantalla que interceptan los chorros de agua. Estas estructuras se colocan al pie del canal de conducción del flujo de agua.

5.1.2. Canal de Pantallas Deflectoras (CPD)

Es un canal de sección rectangular y fondo liso que incluye pantallas deflectoras alternas colocadas a 45° con el eje del canal, las cuales cumplen el papel de elementos disipadores de energía. Desvían el flujo lateralmente disminuyendo la velocidad en el caso de que el caudal sea pequeño, es decir que no rebose la altura de las pantallas, y si el caudal es grande actúan como grandes rugosidades permitiendo la disipación de la energía en el fondo del canal (Villamarin Paredes, 2013).

A diferencia de los rápidos escalonados, las pantallas deflectoras son aplicables a lo largo del canal y en pendientes pronunciadas (entre el 10% y el 50%), sea cual fuere la longitud del canal y la diferencia de nivel entre sus extremos. Por su diseño no presenta zonas de estancamiento, por lo que previene la sedimentación de material en suspensión y la obstrucción con cuerpos flotantes. La sección debe diseñarse para el tramo de mayor pendiente que presente el perfil longitudinal del canal (Villamarin Paredes, 2013) (Figura 5.3).

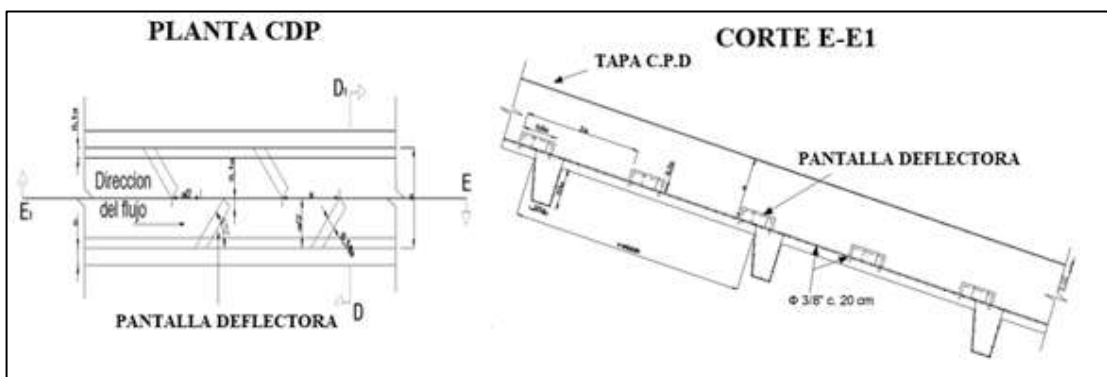


Figura 5.3. Canal de pantallas deflectoras (Villamarin Paredes, 2013).

5.1.3. Colchonetas de gavión con recubrimiento de PVC.

Las colchonetas se construyen en forma longitudinal y transversal internadamente a lo largo del canal, para aumentar la rugosidad del lecho y disminuir así, la velocidad de la corriente del agua, controlando la energía hidráulica (Figura 5.4).



Figura 5.4. Colchonetas de gavión con recubrimiento de PVC (Villamarin Paredes, 2013).

5.1.4. Protección de la entrega de canales

En toda entrega deben construirse estructuras de transición para absorber el impacto inicial del flujo y reducir la velocidad a un nivel que no erosione las áreas receptoras del flujo. Se pueden construir con piedras pegadas con mortero (Figura 5.5), o sacos rellenos de suelo- cemento (Figura 5.6).

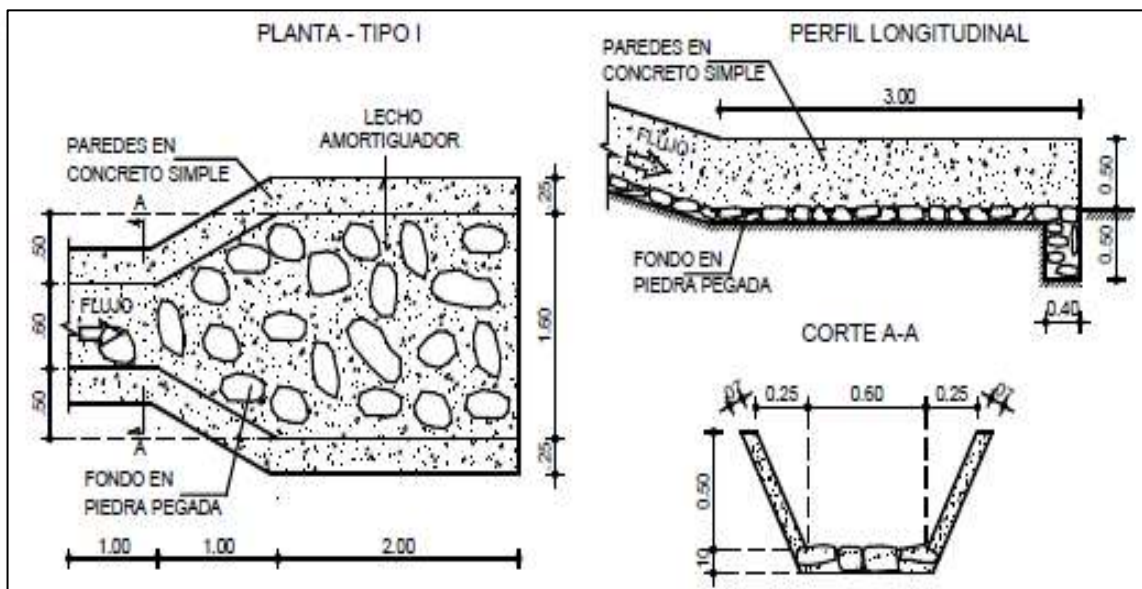


Figura 5.5. Protección de entrega de un canal en piedra pegada con mortero (Suárez Díaz, 2001).

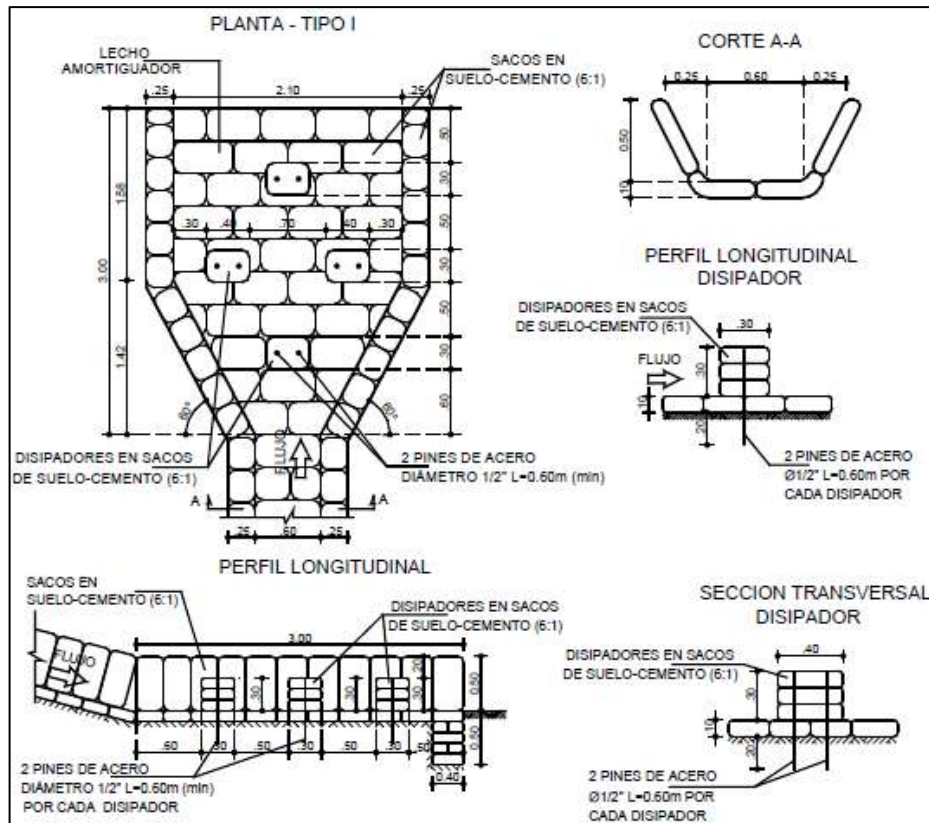


Figura 5.6. Protección y disipación de energía en entrega de canal en sacos de suelo cemento (Suárez Díaz, 2001).

5.2. Medidas para el control de la Erosión

5.2.1. Técnicas de conducción controlada de escurrimientos

Este tipo de técnicas se basan en la realización de canales que permiten captar el agua que escurre en demasía, y conducirla de forma ordenada a sitios seguros alejándola de los sitios con riesgo hídrico (Cisneros et al, 2012). Tienen como función el aislamiento hidrológico de cárcavas y caminos para amortiguar el escurrimiento superficial que puede afectar obras de protección con el fin de que no haya destape de conductos.

Los canales pueden ser trapeziales, triangulares o parabólicos. Para canales de tierra, la tendencia natural es hacia la forma parabólica por efecto de la vegetación, la erosión o la sedimentación en el canal. Cisneros et al. (2012) indica los principales parámetros de diseño a definir en un canal de conducción controlada de escurrimientos (figura 5.7):

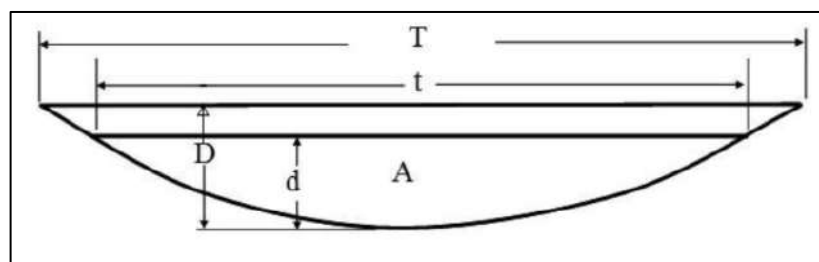


Figura 5.7. Sección transversal de un canal parabólico (Cisneros et al., 2012).

T = ancho máximo del canal considerando un margen de seguridad;
t = ancho máximo del canal considerando estrictamente el caudal de diseño;
D= profundidad máxima del canal considerando un margen de seguridad;
d = profundidad máxima del canal considerando estrictamente el caudal de diseño.
A= sección transversal de flujo de agua.

El caudal de diseño, será el máximo que ocurre con una determinada probabilidad (período de retorno o recurrencia) para la cuenca que aporta al colector. Este período de recurrencia elegido dependerá de la seguridad que se quiera dar a las obras o tierras protegidas y expresa la probabilidad de que el canal rebalse por lo menos una vez en el período de años considerado (5, 10, 20, etc.). El periodo recomendado para este tipo de obras simples es de 10 años, por lo tanto, su tamaño debe ser suficiente para conducir el caudal de agua de diseño de este periodo de retorno.

El diseño de canales debe tener en cuenta su localización, ubicándose de tal forma que intercepten la mayor cantidad de flujo, su inclinación debe permitir controlar las velocidades para que no provoque erosión en él y evitar la sedimentación de partículas, por lo que necesitan ser revestidos para evitar su erosión y conservar sus dimensiones iniciales.

Entre la variedad de materiales usados en el revestimiento, se recomienda usar (de acuerdo a las características topográficas, hidrológicas y geotécnicas en el área de estudio) piedras pegadas con mortero y sacos de suelo- cemento (Figura 5.8).

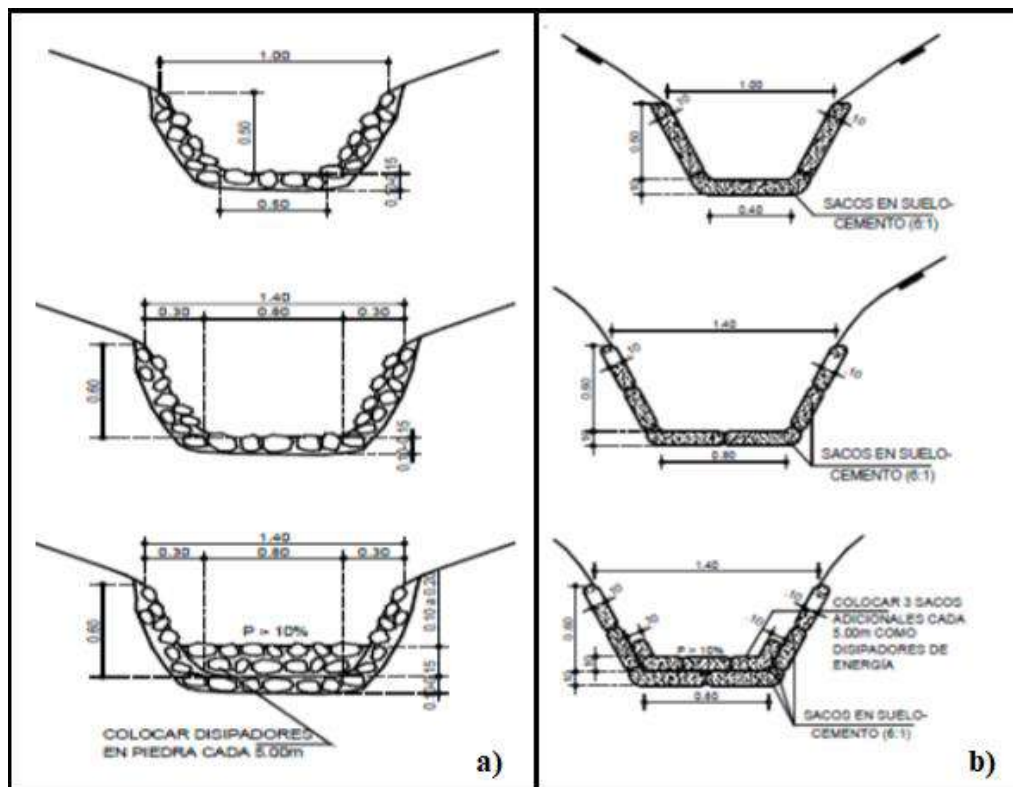


Figura 5.8. Tipos de revestimiento. a) Piedras pegadas con mortero y b) suelo cemento (Suárez Díaz, 2001).

5.2.1.1. Canales de guarda o interceptores

Los canales de guarda o interceptores son un tipo de estructura hidráulica que

interceptan el agua proveniente de zonas altas y la conducen de manera controlada, derivándola a zonas donde se elimina en forma no erosiva. Son estructuras de tierra estabilizadas mediante vegetación herbácea (canales empastados).

Las velocidades se seleccionan en base al tipo de suelo (erodabilidad) y a las condiciones de la vegetación del canal (tipo, cobertura, altura). Para canales de guarda la pendiente de diseño se recomienda que no supere el 0,6% (Cisneros et al., 2012).

En la siguiente tabla se indican los valores orientativos sobre las velocidades máximas permitidas en canales de tierra.

Tabla 5.1

Velocidad máxima de escorrentía en canal según su grado de cobertura vegetal (Cisneros et al., 2012).

| Suelo | Suelo desnudo | Cobertura normal | Cobertura muy buena |
|------------------------|---------------|------------------|---------------------|
| Arena limosa muy fina | 0,30 | 0,75 | 1,50 |
| Arena suelta fina | 0,50 | 0,90 | 1,50 |
| Arenoso | 0,75 | 1,50 | 2,00 |
| Franco–arcilloso firme | 1,00 | 1,70 | 2,30 |

5.2.1.2. Canales de desagüe

Son estructuras hidráulicas encargadas de conducir los excesos de escurrimiento en forma no erosiva. Su función es la de consolidar las vías naturales o artificiales de escurrimiento e impedir la erosión lineal (surcos o cárcavas), y a diferencia de los canales de guarda, la pendiente no es modificada, sino que se deja la inclinación natural del terreno para el drenaje (Cisneros et al. 2012).

Como alternativa para evitar un excesivo movimiento de suelo y no modificar más o destruir el paisaje natural, se construye un canal de bordos (Luque, 1997, en Cisneros et al., 2012) para el drenaje del agua que escurre en la locación (Figura 5.9). Este tipo de canal tiene una forma parabólica limitando el caudal drenado por bordos longitudinales. De este modo la sección de paso del agua ya previamente empastada, permite un funcionamiento relativamente seguro del desagüe y los bordos laterales evitan los posibles desbordes hacia las afueras del canal.



Figura 5.9. Canal de bordos (Cisneros et al., 2012).

5.2.2. Técnicas de control de cabeceras de cárcava

Son estructuras hidráulicas construidas sobre las cabeceras de cárcavas con el objetivo de detener el avance retrocedente y la profundización de los niveles de base de los cauces de desagüe afectados por este tipo de erosión.

Para que no haya derrumbes se aísla la corona de la cabecera, minimizando la infiltración de agua en el suelo en un área inmediatamente antes del corte de la cárcava, como veremos en las obras auxiliares (véase página 44), para que el bloque no aumente de peso y caiga. También para evitar el socavamiento del piso y la cara frontal a través de diferentes protecciones en estas partes de la cárcava.

5.2.2.1. Elementos de diseño de las estructuras de control de cárcavas

Todas las estructuras tienen los siguientes elementos para que la obra tenga un correcto funcionamiento y durabilidad (Figura 5.11):

1. *Empotramiento o anclado de la estructura*: El empotramiento consiste en excavar una zanja perpendicular al flujo de la cárcava y extenderla hasta los taludes de la misma, con la finalidad de asentar la obra más allá del nivel original de la cárcava y con esto evitar posibles franqueamientos. De esta forma se impide que sucedan vuelcos o se desarmen las presas (Figura 5.10).



Figura 5.10. Empotramiento de la obra (Cardoza Vázquez et al., 2007).

2. *Vertedor o aliviadero*: es la parte de la presa prevista para desalojar el agua de la cárcava, capaz de evacuar el caudal de agua rebosando por el centro del dique de retención sin que se alcancen sus laterales, evitando así la erosión de las paredes de la cárcava. Las dimensiones del vertedero deben ser suficientes para dejar pasar el caudal máximo de una avenida de un período de retorno de 25 años para estas estructuras, teniendo en cuenta que la altura del agua no sobrepase los muros laterales para evitar la socavación, y por lo tanto provocar fallas en la estructura. Los vertederos trapeciales son preferibles a los rectangulares para minimizar la posibilidad de obstrucción por materiales sólidos.

3. *Delantal*: El delantal es una plataforma de piedra que se coloca aguas abajo de la presa y que sirve para amortiguar la caída del agua e impedir que ésta socave la estructura, donde no puede controlarse la erosión en la transición entre el final de la obra y el lecho de las líneas de escurrimiento, dado que la velocidad del agua al finalizar el salto hidráulico es suficiente para una erosión retrogradante. Se recomienda una longitud de cuenco de mínimo 3 veces la altura del dique (Castillo Rodríguez, 2012).

4. *Altura efectiva del dique*: es medida desde el piso hasta la base del aliviadero.

Para el cálculo de las dimensiones de estos elementos estructurales, se requieren varios supuestos ingenieriles que escapan a los objetivos de esta tesis. Como alternativa, se mencionan parámetros dimensionales recomendados por manuales de obras hidráulicas basados en la altura del dique.



Figura 5.11. Elementos de diseño de las estructuras (Cardoza Vázquez et al., 2007).

5.2.2.2 Vertedero y estructura fija

Son estructuras que protegen las paredes laterales, frontal, piso y parte superior de la cabecera, mediante muros de mampostería o gaviones. Su utilidad principal está en cárcavas de tamaño medio a alto.

En la caída del agua se produce en el colchón hidráulico (también llamado batea difusora o dissipador de energía), pudiendo variar en cuanto al diseño de caída, el cual puede ser recto, inclinado, curvo o tipo escalera. El caudal de diseño elegido tendrá que tener un período de retorno de por lo menos 25 años (Cisneros et al, 2012).

5.2.2.2.1. Vertedero de gaviones.

Los gaviones consisten de una caja de forma prismática rectangular de malla de alambre y rellena de piedras. Se emplean para controlar la erosión retrocedente en cárcavas, y como presas filtrantes ya que disminuyen la velocidad del escurrimiento y su poder erosivo, además de la retención de azolves.

Son estructuras permanentes, flexibles y permeables; si existe una socavación, pueden sufrir deformaciones sin perder eficiencia, y debido a que los cajones de gaviones forman una sola estructura tienen mayor resistencia al volteo y al deslizamiento.

Un gavión queda definido por sus dimensiones (largo, ancho y alto), el tamaño de sus mallas y el grosor del alambre que lo constituye. El canasto es dividido en celdas a través de diafragmas, cuyo largo no deberá ser superior a una vez y media el ancho del gavión (Geoservice S.R.L., 2013) (Figura 5.12). El grosor del alambre que forma la malla está en función de su tamaño, de tal manera que a mayor grosor, mayor será el tamaño de la malla. Las mallas de alambre que forman el gavión presentan la forma de un hexágono entrelazado con triple torsión.

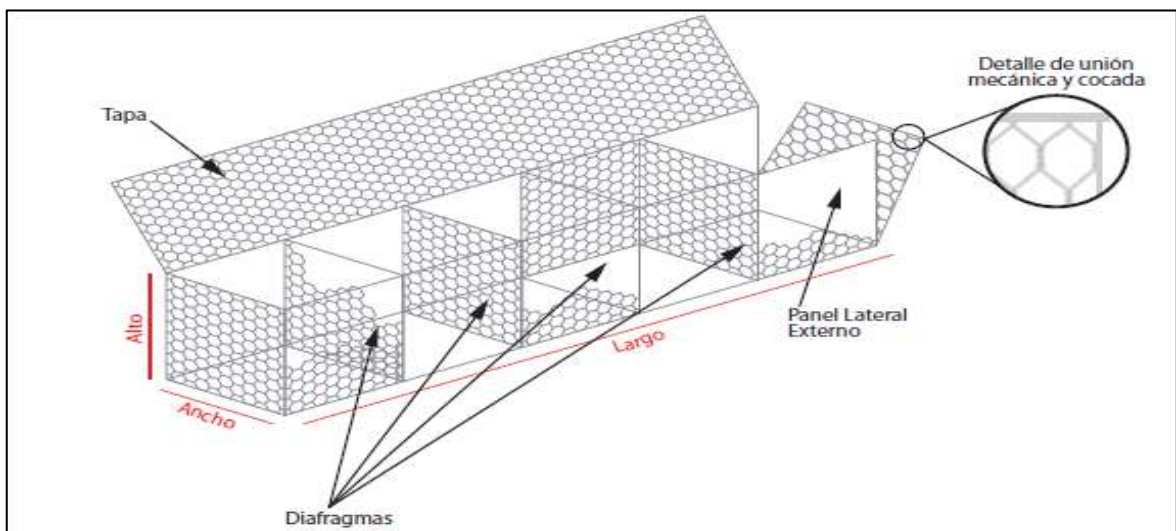


Figura 5.12. Detalle de un gavión con sus respectivas dimensiones (www.igc.com.pe).

Estas obras se recomiendan para cárcavas con un mínimo de 2 metros de ancho y una profundidad de 1.5 metros, es decir que son utilizadas para tamaños de cárcavas medianas y grandes (véase tabla 4.1). El vertedero está formada por una serie de gaviones dispuestos convenientemente y unidos unos a otros por medio de ligaduras de alambre (Cardoza Vázquez et al., 2007).

La distribución granulométrica del relleno debe evitar granulometrías uniformes, tanto de pequeño tamaño por su inestabilidad ante el impacto del agua, como las de gran tamaño, pues crearían huecos excesivos que podrían originar chorros de alto poder destructivo. Para resistir a los esfuerzos de corte del flujo de agua, los gaviones se rellenan con las siguientes recomendaciones (Heede, 1976, en Castillo Rodríguez, 2012):

- Tamaño de la piedra mayor a 10 cm en todos los casos.
- Preferiblemente granulometrías angulosas, evitando las redondeadas, para favorecer el encaje.
- Distribución granulométrica: 25 % entre 10-14 cm, 20 % entre 15-19 cm, 25 % entre 20-30 cm y 30 % entre 21 y 45 cm.

Para la construcción del muro del gavión se deberá abrir perpendicular a la dirección de la cárcava un plano de fundación. Cuando el vertedero es de dimensiones grandes (más de 3 metros de altura), el empotramiento se recomienda hasta un metro como mínimo y para los taludes debe ser de un metro o más (Cardoza Vázquez et al., 2007). Una vez armado el gavión, se traslada para ser colocado en la zanja abierta para el cimiento y se unen entre sí antes de ser llenados con piedra colocadas por capas para lograr el mejor arreglo posible.

Conforme se va rellinando cada gavión con la piedra, se deben colocar tensores del mismo alambre galvanizado, a un tercio o dos tercios de su altura, sujetándose de las partes laterales de los cajones del gavión, para dar mayor resistencia a la deformación y para que no se deformen por la fuerza de la escorrentía, evitando que la presa se debilite y derrumbe (Figura 5.13).

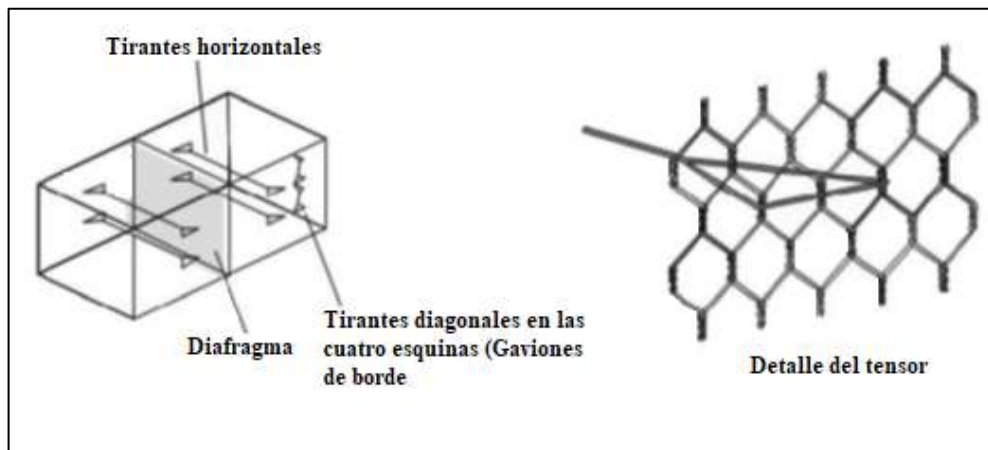


Figura 5.13. Sujeción de tensores (Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras en Colombia, 2014).

El delantal puede construirse de gaviones de menor altura; la dimensión depende de la cantidad de escurrimientos superficiales esperados.

El vertedor se forma durante la colocación de la última hilera de la base principal que cubre la cárcava. Dependiendo del tamaño de la presa será el alto del vertedor. Se recomienda de 0.50 metros para presas menores de 4 metros de alto y de un metro para presas mayores de 4 metros de alto; todos, por un tercio del largo de la presa. (Figura 5.14)

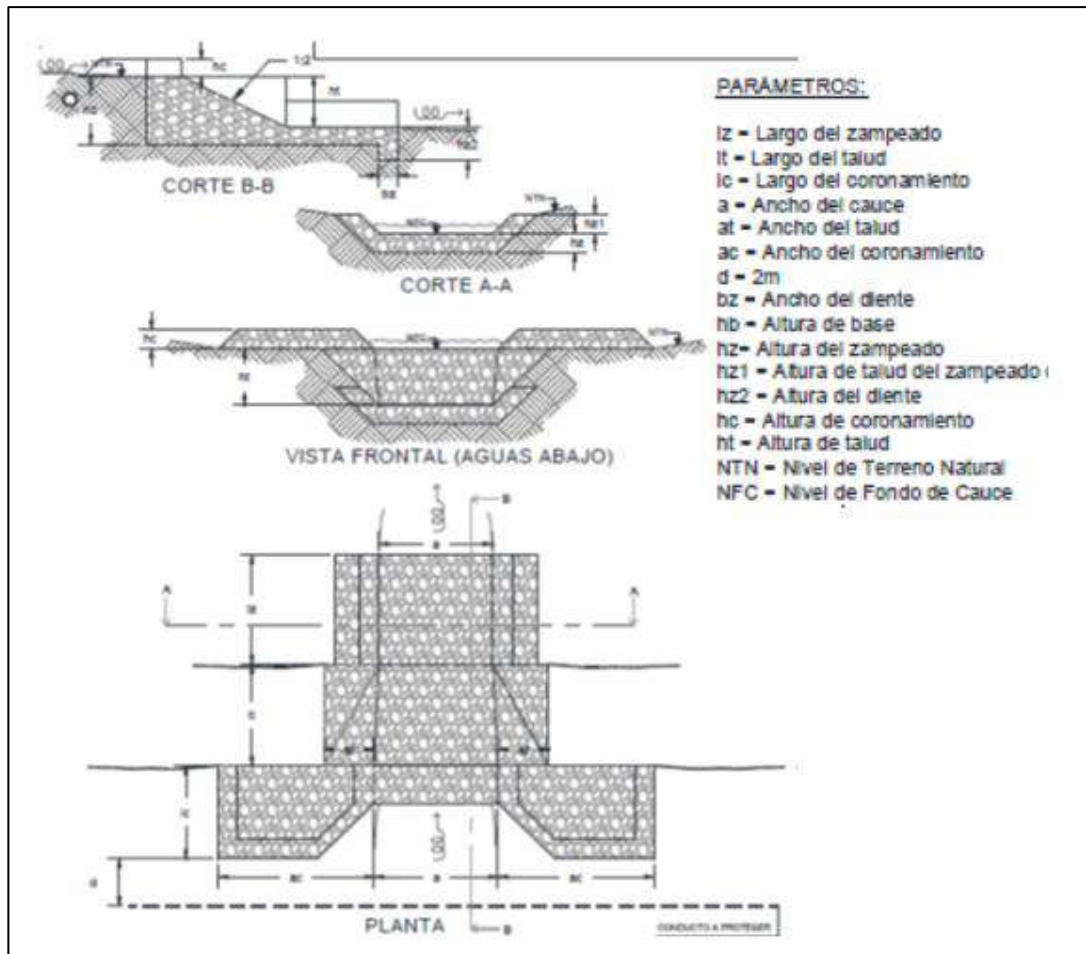


Figura 5.14. Vertedor de gavión (Geoservice, 2013).

5.2.2.2.2. Presas de mampostería

Los muros de mampostería son estructuras de piedra, arena y cemento que se construyen perpendiculares a las cárcavas. Son permanentes, rígidos y de alta durabilidad y eficiencia. “Su uso se recomienda en cárcavas de cualquier tamaño, pero con profundidades mayores a 2 metros” (López Martínez & Oropeza Mota, 2009, en Cueva Alanguía, 2018).

Según Cardoza Vázquez et al. (2007), los factores fundamentales para un buen funcionamiento de las estructuras son el empotramiento y el tamaño de la base.

La fundación del empotramiento es recomendable a 0.6 m en terrenos sueltos, a la vez se aconseja plantar dos bases de anclaje a los extremos de la base (dentellones o zapatas), colocadas al inicio y al final de la misma. La profundidad del primero puede variar desde 0.6 m hasta un metro dependiendo del tamaño de la presa; la del segundo es de la mitad del primero (Figura 5.15).

El tamaño de la base está relacionado con la estabilidad de la presa en el sentido de que tiene la función de evitar que el agua la socave o la derribe, por eso mismo es que son clasificadas como muros de gravedad porque es el peso de la estructura la resistencia a los esfuerzos de empuje a la que se va a someter la obra.

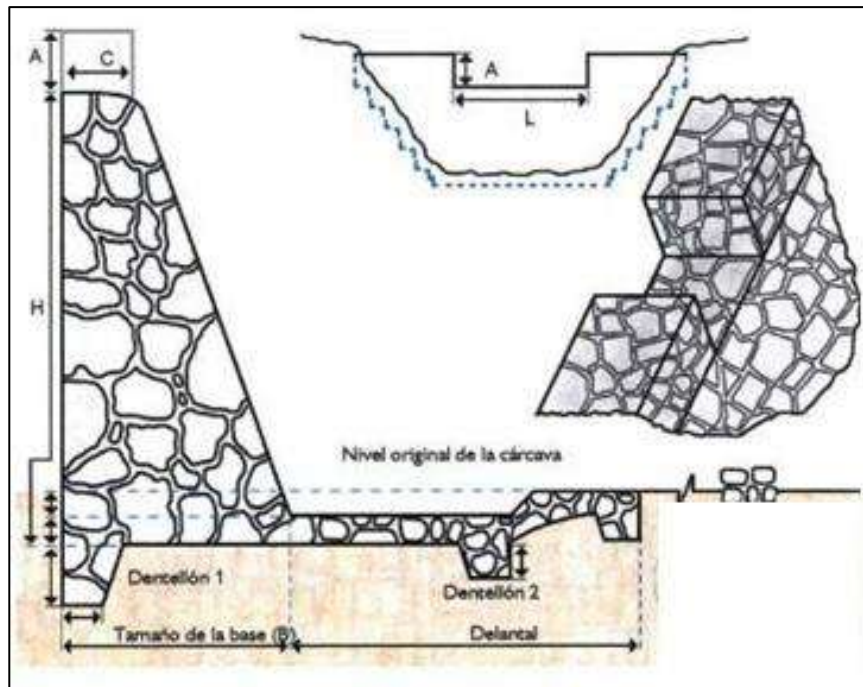


Figura 5.15. Partes de una presa de mampostería (Cardoza Vázquez et al., 2007).

5.2.2.3. Diques filtrantes de piedra acomodada.

Es una estructura construida con piedras acomodadas (Figura 5.16), que se coloca transversalmente a la dirección del flujo de la corriente para aminorar las velocidades de escorrentía y la consecuente sedimentación de azolves. Esto permite su utilización para la prevención del crecimiento de las cárcavas (lateral, en el lecho y en su cabecera). Su mayor ventaja es la facilidad en diseño, establecimiento y disponibilidad de materiales para su construcción, “así como su adaptabilidad para el tratamiento tanto de cárcavas de formación incipiente como de tamaño mediano” (Rubio Granados et al., 2010, en Cueva Alanguía, 2018).

Las desventajas de esta estructura son: a) La resistencia de los materiales, Rubio Granados et al., 2010 (citado en Cueva Alanguía, 2018) recomienda utilizarla en cuencas de tamaño mediano (el área de aportación de cada presa no debe ser mayor a 10 ha) y b) la altura máxima entre 1.2 metros y 2.5 metros de altura. Teniendo en cuenta estas limitantes, las dimensiones de las cárcavas donde se las pueden colocar no deben sobrepasar una profundidad mayor a los 2,5 m y su ancho no debe ser mayor a los 7 metros (Cardoza Vázquez et al., 2007).

Para su construcción, como se ha considerado en la edificación de las presas de gaviones, se requiere de la excavación de una zanja en el fondo y partes laterales de la cárcava para obtener el llamado empotramiento o cimentación. Dependiendo de las dimensiones de la presa se establece la profundidad de la zanja (se recomienda que sea de un tercio de la presa) y un ancho ligeramente mayor que el grosor de la misma. La zanja se rellena paulatinamente con piedras de tamaño mediano para formar la cimentación, y el empotramiento debe extenderse hasta los taludes de la cárcava para evitar que la estructura sea flanqueada por los escurrimientos (Cardoza Vázquez et al., 2007). Posteriormente, se colocan las piedras, recomendándose el uso de piedras planas o lajas para una mejor trabazón y firmeza de la estructura, sobre la cimentación hasta lograr la altura de diseño. Luego, se forma el talud con el fin de dar mayor resistencia a la estructura ante la fuerza de las corrientes que impactan en las paredes de la presa.

Para evitar la socavación del lecho de la cárcava y debilitamiento de la estructura, es recomendable el establecimiento de un delantal incrustado a una profundidad mínima de 20 cm y longitud mayor de 1.5 veces la altura efectiva de la presa (Rubio Granados et al., 2010, en Cueva Alanguía, 2018).

La parte central transversal de la estructura, deberá quedar más baja que los extremos, para brindarle la capacidad necesaria al vertedor y evitar que los escurrimientos erosionen sus flancos o vierten sobre la corona de la presa.

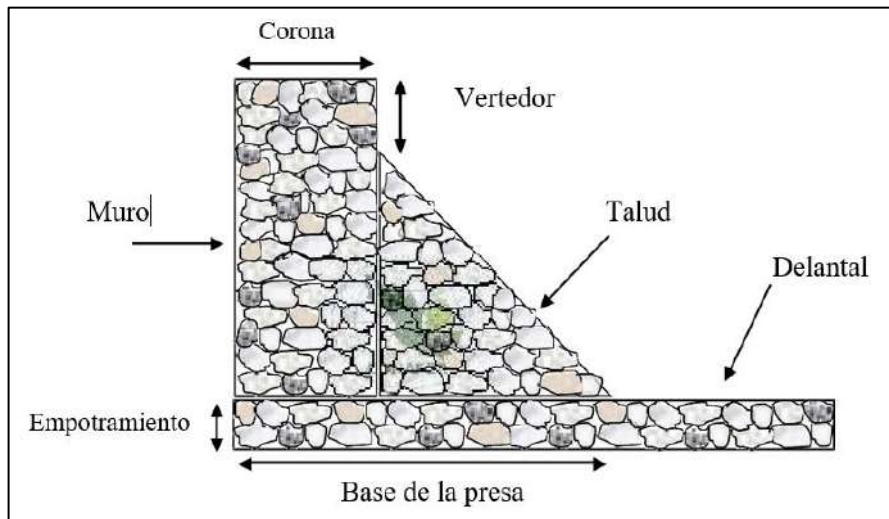


Figura 5.16. Partes que constituyen a una presa de piedra acomodada (Cardoza Vázquez et al., 2007).

5.2.2.4. Presa de geocostales

Es una estructura construida con geocostales (geotextiles rellenos con suelo) que se ordenan en forma de barrera o trinchera y se colocan en contra de la pendiente. Se utilizan para el control de la erosión hídrica y como presa filtrante para estabilizar en el corto plazo cárcavas menores de un metro de profundidad (Cardoza Vázquez et al., 2007).

Las medidas de cada geostal son de 50 centímetros de ancho x 75 centímetros de altura (Figura 5.17). Por ello, para formar un metro cúbico se requieren 20 geocostales.

Los geocostales están compuestos por fibras de polipropileno, resistentes a ácidos y álcalis presentes naturalmente en el suelo, a la acción de los rayos ultravioletas y a la intemperie. Son permeables por lo que permiten el crecimiento de vegetación inducida (siembra de pastos) o natural que posteriormente se integra al paisaje y le da mayor estabilidad a la estructura.

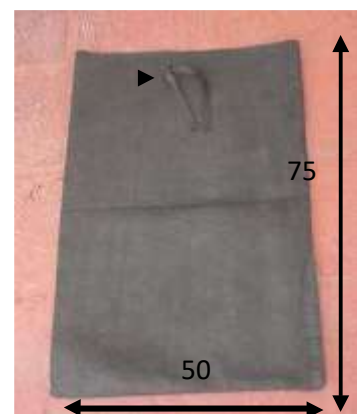


Figura 5.17. Dimensiones de geostal (Cardoza Vázquez et al., 2007).

Para la construcción de la presa se acomodan costales llenos de tierra (para formar una barrera transversal a la cárcava) intercalados, en el primer nivel dos costales paralelos; a continuación, dos costales de manera perpendicular y así sucesivamente hasta cubrir el ancho de la cárcava. El siguiente nivel se coloca encima y de manera opuesta a como se colocó en la parte inferior para

lograr mayor estabilidad en la estructura. Para lograr mayor eficiencia en la obra, es conveniente que la altura efectiva de las presas de geocostales no exceda de 1.5 metros (Cardoza Vázquez et al. 2007).

Para brindarle mayor resistencia a la estructura de costales, se pueden tomar dos medidas. La primera es excavar una zanja de 1.5 metros de ancho con una profundidad de un cuarto la altura de la presa, en forma transversal a la cárcava, para insertar en ella la primera hilera de costales base; y la segunda medida consiste en colocar en el sector aguas abajo de la cárcava, una hilera de estacas como respaldo a la barrera. La construcción del vertedor y delantal, se diseña con los mismos geocostales durante la formación de la barrera (Figura 5.18).



Figura 5.18. Barrera de geocostales con el refuerzo de estacas (Cardoza Vázquez et al., 2007).

La mayor ventaja en la utilización de barreras de geocostales, además de su sencillez, al construirse con unidades permite el diseño de presas con las dimensiones adecuadas a la cárcava a estabilizar y amoldadas a las irregularidades del terreno.

Para finalizar, Cardoza Vázquez et al. (2007) hace mención de la siembra o plantación de especies vegetales sobre los sedimentos acumulados aguas arriba, además de la vegetación natural que aparecerá sobre el material de la presa, que ayudarán a estabilizar la cárcava en menor tiempo.

5.2.2.5. Obras auxiliares

Cisneros et al. (2012) aconsejan construir obras complementarias permitiendo que el agua sólo ingrese por la estructura de protección principal. Su realización, evita que se produzca descalce o pasaje del agua por los costados de la protección, debido principalmente a un aumento del caudal que circula en los cañadones cuando ocurren las lluvias torrenciales. La escorrentía al verse limitada en la zona del cauce de la cárcava por la presencia de la protección, produce la erosión de la margen dejando sin contención el extremo de la misma. También sirven para evitar el crecimiento de cabeceras secundarias.

5.2.2.5.1 Albardones de embocadura

Consisten en estructuras de tierra que impiden la entrada de agua por los laterales de la cabecera. Se construyen a manera de embudo colector, perpendiculares o con un cierto ángulo respecto a la dirección de flujo (Figura 5.19).

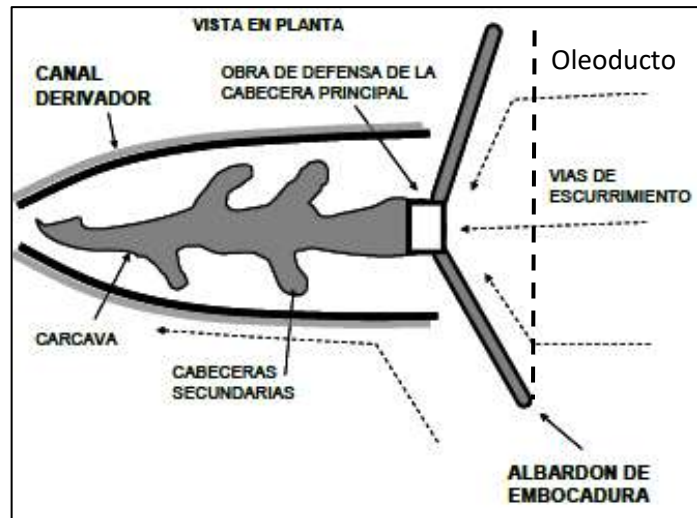


Figura 5.19. Albardones de embocadura y canales derivadores (Cisneros et al., 2012).

5.2.2.5.2. Albardón con desagüe lateral protegido

Son estructuras ubicadas en forma paralela a la cárcava que tienen por objeto impedir el ingreso a la misma del agua proveniente de áreas aledañas, evitando de ese modo la formación de nuevas cabezales secundarias, perpendiculares al cauce principal.

Está conformado, por un albardón derivador, que desvía las aguas antes de la cabecera y las conduce por un canal de desagüe protegido paralelo a la cárcava, el cual descarga en un sitio predeterminado (Figura 5.20). Las dimensiones del canal deberán calcularse para caudales máximos, con períodos de recurrencia intermedios entre los del canal y los de estructuras fijas (5 – 10 años).

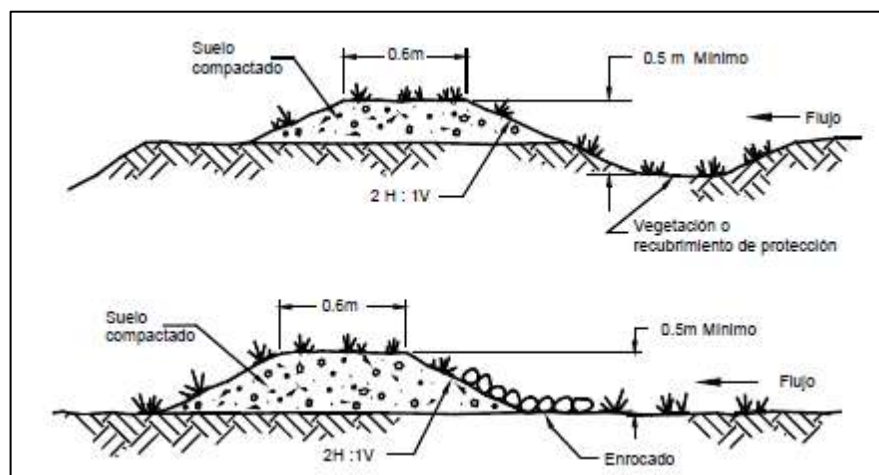


Figura 5.20. Albardón con canal de desagüe (Suárez Díaz, 2001).

Como alternativa, para no construir un canal derivador, se puede estimar la capacidad de desagüe del albardón, con una altura de albardón que permita evacuar el caudal máximo (Figura 5.21).

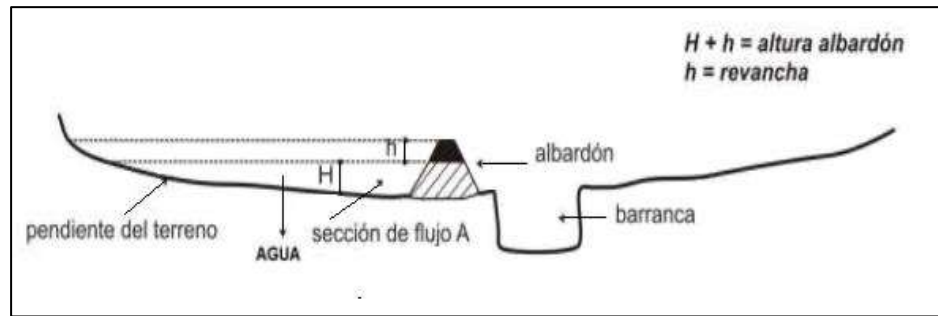


Figura 5.21. Albardón funcionando como cortacorriente (Cisneros et al., 2012).

5.3. Técnicas de bioingeniería.

Son técnicas en las cuales la vegetación se combina con estructuras inertes, como muros de piedra o gaviones, para lograr la estabilización de laderas (Morgan y Rickson, 1995, en Cisneros et al., 2012). La ventaja es que usan la vegetación con lo que se logra una alta integración al paisaje, eliminando el impacto visual de la erosión hídrica.

La vegetación permite la estabilización del suelo porque influye, a través de su efecto en el sellado superficial, en la relación infiltración/evapotranspiración/escorrimento del agua en el suelo. El encostramiento o sellado superficial ocurre bajo condiciones de intensa precipitación sobre un suelo con baja estabilidad de agregados. La superficie cubierta con vegetación viva o muerta provee la protección mecánica para disipar la energía cinética de la lluvia, y las raíces incrementan la estabilidad de los agregados superficiales. Como consecuencia de estos efectos se incrementan los porcentajes de agua infiltrada y disminuye la escorrentía superficial.

La vegetación también ejerce efectos estabilizadores en las propiedades mecánicas del suelo debido a que su sistema radicular son fibras de relativamente alta resistencia a la tensión y adhesión, por lo que las raíces generan un aumento en la resistencia al corte del suelo, lo cual lo hace más resistente al suelo a la ruptura.

5.3.1. Gavión de roca vegetado

Consiste de un pequeño muro que permite la disminución de la pendiente y contención de derrumbes. Entre un gavión y otro se coloca un entramado de ramas vivas de 3 a 5 cm de diámetro, de especies de fácil brotación y enraizamiento, atadas en forma entrelazada para mejorar su anclaje y estabilización de la estructura. Las ramas vivas se colocan en dirección perpendicular a la pendiente siguiendo las curvas de nivel, en pequeñas trincheras de 60 a 100 cm de ancho, con lo que se logra estabilizar la masa de suelo, y las porciones que sobresalen ayudan a controlar la erosión de la ladera y atrapar sedimentos.

Luego de colocadas las ramas la trinchera deberá rellenarse con tierra apisonada para eliminar los espacios de aire.

El gavión incluye los canastos de alambre y la piedra para relleno, su construcción debe realizarse de tal manera que las piedras más grandes se colocan en la periferia y las más pequeñas en el centro, mezcladas con tierra para mejorar el enraizamiento de las ramas vivas. Su instalación, comienza por la parte más baja de la pendiente, excavando el suelo hasta una fundación firme o hasta al metro. La excavación de la fundación deberá hacerse de modo que la parte interna quede más baja que la externa, a los fines de dotar de

mayor firmeza a la estructura y permitir un mejor enraizamiento de las estacas (Figura 5.22).

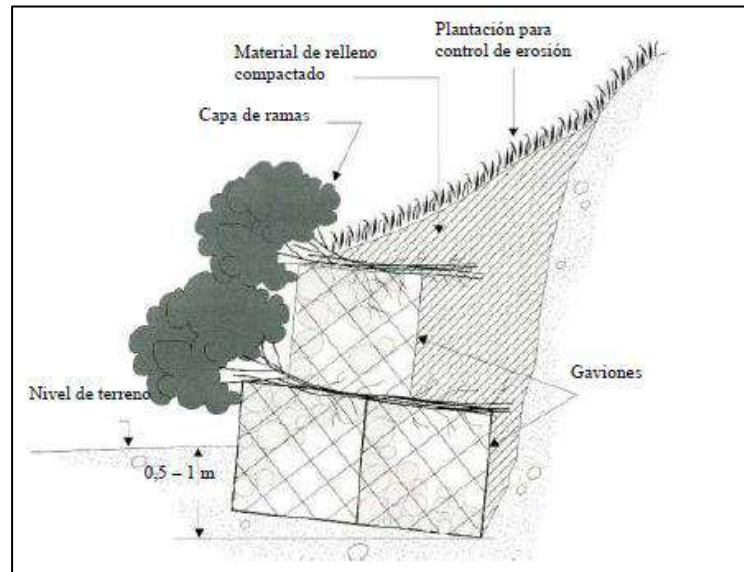


Figura 5.22. Gavión de roca vegetado (Cisneros et al., 2012).

5.3.2. Pared de piedra vegetada

Esta técnica es una combinación de rocas y ramas de arbustos usadas para estabilizar y proteger la base de pendientes inestables.

Se utilizan trozos de ramas vivas de un diámetro entre 2 y 4 cm con longitud suficiente como para sobresalir de las rocas, y quedar enterradas en la tierra de la ladera. Las rocas deberán tener un diámetro de entre 25 a 50 cm, las mayores irán ubicadas en la base o fundación de la pared (Figura 5.23).

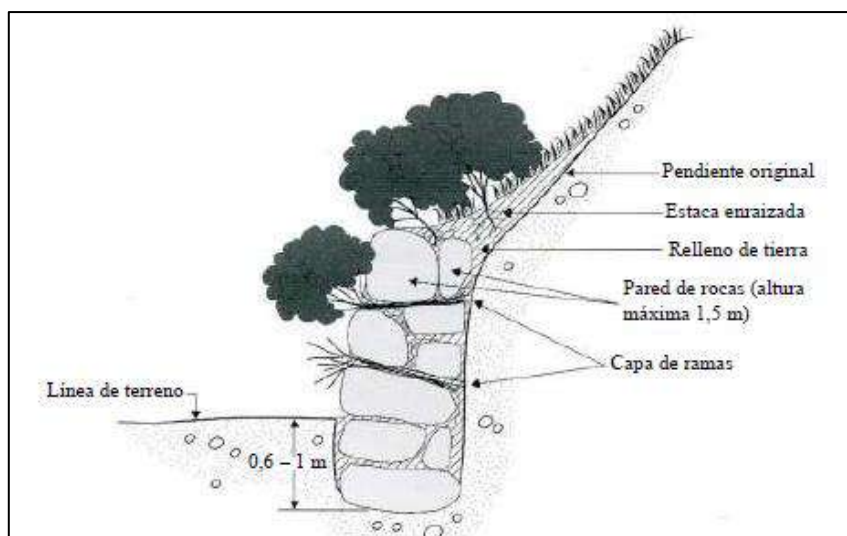


Figura 5.23. Pared de piedra vegetada (Cisneros et al., 2012).

5.3.3. Capa de rocas y estacas vivas o rip rap vegetado

Consiste en la colocación de estacas enraizables entre las juntas de un colchón de rocas colocadas sobre un talud. El sistema de raíces ayuda a reforzar el suelo e impide el lavado de material fino entre la roca.

Las estacas deben ser de material fresco y con la corteza sana, con un diámetro de 2 a 3 cm, con la suficiente longitud para atravesar la capa de rocas y penetrar en el suelo debajo de la capa de rocas. Las estacas pueden clavarse luego del relleno de rocas o simultáneamente con él (Figura 5.24).

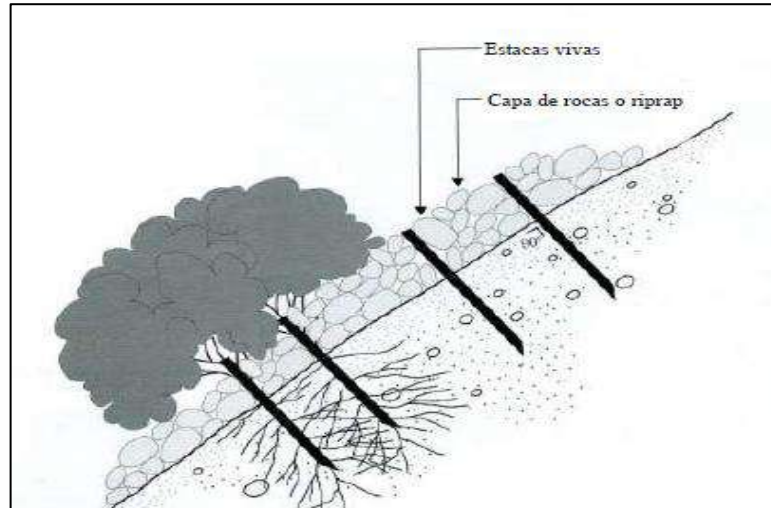


Figura 5.24. Rip rap vegetado (Cisneros et al., 2012).

5.4. Técnicas de manejo de relieve

Según Cisneros et al. (2012) las técnicas de manejo del relieve amortiguan la erosión hídrica, por un lado, generando microrelieves superficiales que permiten incrementar la tasa de infiltración del agua, y por otro conduce de forma ordenada los escurrimientos a lugares predeterminados, sin que causen erosión.

Las terrazas de desagüe y absorción son terraplenes conformadas por un canal con un bordo de hasta 30 cm. El objetivo común a ambos tipos de terrazas es cortar la longitud de la pendiente. El bordo interrumpe el flujo de la esorrentía, el que puede tomar dos caminos posibles, en función del tipo de terraza (Cisneros et al., 2012):

- a) En las terrazas de desagüe el escurrimiento circula lentamente por el canal del terraplén y descarga en un canal de desagüe planificado a tal fin (Figura 5.25, a).
- b) En las terrazas de absorción el escurrimiento se acumula en el canal, provocando allí su infiltración en el suelo (Figura 5.25.b).

Otra diferencia entre las dos técnicas es su construcción en relación a la topografía de la zona. Las *terrazas de desagüe* deben ser trazadas sobre una línea con mínima pendiente para que se produzca la descarga hacia un canal colector. Para esto la traza debe de romper las curvas de nivel para lograr una velocidad lo suficientemente baja como para que no se produzca erosión del canal, y lo suficientemente alta como para que no produzca sedimentación de partículas sobre el canal, recomendándose pendientes que no superen el 0,5 % de gradiente. En esta forma, además, se evita que el propio lecho del canal llegue a sufrir erosión (Cisneros et al. 2012) (Figura 5.25 c).

En tanto, las terrazas de absorción deben trazarse sobre una línea a nivel, es decir con una pendiente de 0 °, para que pueda acumular el escurrimiento de agua en el terreno. Su diseño debe tener en cuenta el volumen unitario escurrido por la pendiente de la cual se

captará el agua, ya que el volumen unitario que es capaz de retener la terraza de absorción debe ser igual a este (Cisneros et al. 2012) (Figura 5.25, d).

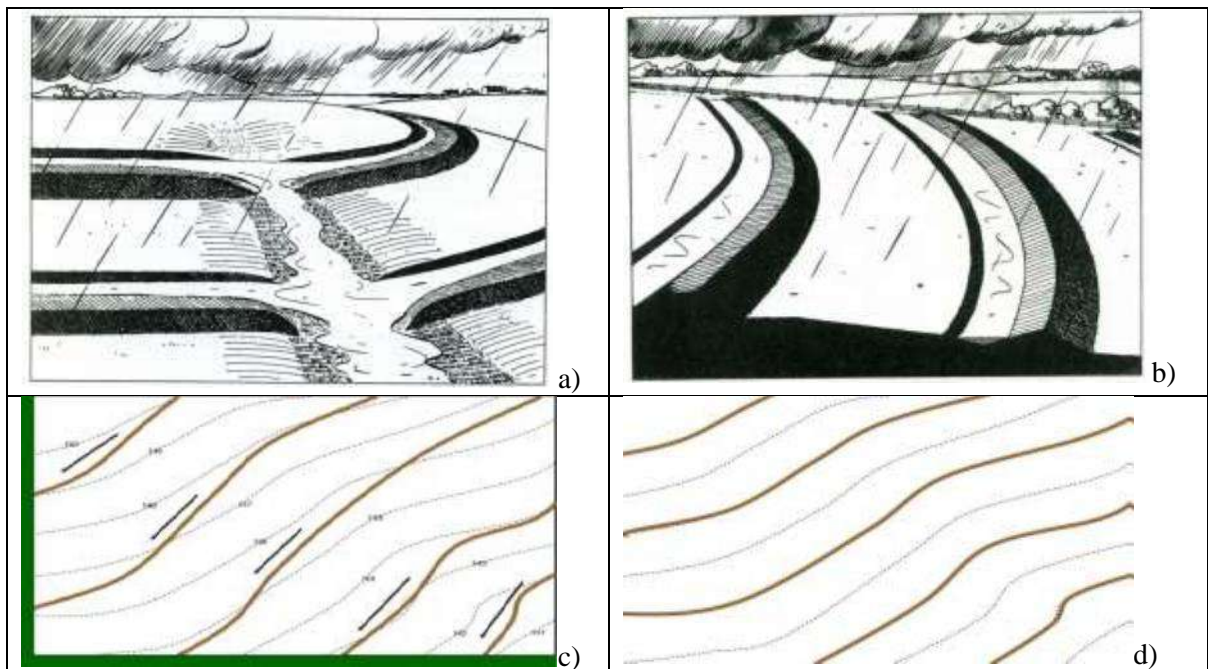


Figura 5.25. a) Esquema de terrazas de desagüe con canal de evacuación (Engineering Field Manual, SCS., 1984). b) Esquema de terrazas de absorción (Engineering Field Manual, SCS., 1984). c) Terrazas de desagüe.

En verde, canal de desagüe, las flechas indican la dirección del escurrimiento (Cisneros et al., 2012). d) Terrazas de absorción, nótese que la línea de la terraza coincide con la curva de nivel (Cisneros et al., 2012).

Para ambos tipos de terraza, el diseño transversal, es decir la configuración del conjunto canal-bordo, es de forma triangular.

5.5. Técnicas Vegetativas

5.5.1. Siembra Manual

Consiste en la siembra de cultivos de manera manual, no mecánica, que permite la mínima intervención en el sitio y a su vez se utiliza mano de obra local.

Pérez (2013) afirma que previo a la siembra se debe incrementar la rugosidad del terreno para favorecer la dinámica del agua, atenuar la erosión y recomponer el banco de semillas del suelo. A través de la descompactación del terreno, y de su laboreo de manera perpendicular al flujo erosivo, se crean condiciones que mejoran la dinámica del agua, favorecen la captación de recursos y mitigan los procesos erosivos. Estas prácticas además crean las condiciones favorables para restablecer la cobertura vegetal, principalmente a través de la revegetación con especies nativas. La plantación es el tipo de revegetación recomendado en sitios de baja disponibilidad de agua en el suelo y limitaciones físicas y químicas. Se utilizan principalmente especies arbustivas nativas. Los arbustos juegan un papel fundamental en la iniciación de procesos de restauración autogénica en áreas degradadas de regiones áridas, donde actúa concentrando los escasos recursos (suelo, nutrientes, agua y semillas) formando verdaderas islas fértiles.

5.5.2. Hidrosiembra

El proceso consiste en esparcir bajo presión una mezcla de agua, semillas, fertilizante, pegamento y abono de pulpa de madera (mulch), que queda adherida a la superficie.

5.6. Mantas para el control de Erosión

Son diseñadas para una serie específica de aplicaciones de control de erosión y revegetación, desde taludes severos que requieren protección contra la erosión hasta canales de alta velocidad.

Las mantas pueden ser usadas para revestimiento de taludes erosionados, de canales, control de erosión en quebradas y revegetación.

- a) **Biomantas o Mantas Biodegradables:** Son esterillas fabricadas de fibra vegetal y otros elementos orgánicos, capaces de formar una excelente protección contra la erosión en taludes suaves y base vegetal existente.
- b) **Geomantas o Geosintéticos:** Son productos fabricados con polipropileno, nylon, poliéster y polietileno. Los geosintéticos se fabrican en rollos, que se desenrollan para extenderlos en la superficie.
- c) **Geomallas o Geogrillas:** Son mallas plásticas con orificios de gran tamaño, los cuales se utilizan comúnmente como refuerzo de suelo y como separadores entre capas de materiales gruesos. Las aplicaciones más importantes de las geomallas son las siguientes:
 - Para constituir una plataforma de zonas de acceso.
 - Para la estabilidad de terraplenes construidos sobre suelos blandos.
 - Para la estabilidad de taludes altos y empinados.
 - Para el refuerzo de bases granulares de vías pavimentadas y no pavimentadas.
 - Para la construcción de muros de suelo reforzado.
- d) **Geoceldas:** Son estructuras en forma de panal que se abre como acordeón, creando una serie de celdas interconectadas. Una vez expandidos a su máxima extensión y rellenos con suelo (o grava), la estructura se vuelve inextensible y de comportamiento compacto.
- e) **Polímeros de retención de humedad:** se utilizan para el restablecimiento de la cobertura vegetal, sin mantenimiento de riego, en terrenos con pendientes inestables originadas durante la construcción de locaciones en sitios ondulados. Mediante una adecuada utilización de paños de contención (que logran disminuir la pendiente a nivel de microrelieve), polímeros de retención de humedad (que mantienen hidratada a la planta y al suelo durante el período posterior a la plantación, disminuyendo el riesgo de mortandad), y plantines de calidad, en plantaciones de alta densidad, se logra el establecimiento de la cobertura vegetal (Pérez, 2013).

CAPITULO 6 – DETERMINACIÓN DE ÁREAS CRÍTICAS Y PROPUESTAS DE DEFENSAS ANTI-ALUVIONALES

6.1. Introducción

El desarrollo de la actividad petrolera generó un fuerte impacto sobre los recursos naturales, produciendo daños sobre la topografía, el suelo y la vegetación, alterando la estructura y funciones del paisaje. Si a estas alteraciones le agregamos las condiciones climáticas limitantes de toda la región, la posibilidad de revegetación en forma natural es muy baja, errática e incierta.

En el área se encuentran una serie de cañadones que atraviesan la traza de un oleoducto y que pueden llegar a afectar la integridad estructural del mismo a través de eventuales procesos de erosión generalizada del lecho durante eventos hidrológicos severos.

En las cárcavas y cañadones se han construido una serie de defensas y protecciones para disminuir el impacto producido por la escorrentía generada por el agua de lluvia, principalmente obras pequeñas, construidas con materiales de enrocado de basalto existentes en la zona, y que han funcionado en forma satisfactoria hasta el momento, pero el aumento de los caudales que circulan por los cañadones en los últimos años han producido debilitamiento de estas obras. Esto sucede porque el mayor poder erosivo del flujo de agua, socavo los flancos y el empotramiento tanto de las defensas como las bases de hormigón de soportes de ductos (Figura 6.1).



Figura 6.1. En la imagen de la izquierda se observa el descalce de la base de hormigón que soporta línea de inyección, y en la derecha se demuestra el debilitamiento de las defensas de enrocado.

El incremento de la capacidad de erosión, aumenta el peso específico del fluido, lo cual implica un aumento del potencial de flotabilidad de las partículas de mayor tamaño, inclusive las que constituyen los enrocados de protección. En consecuencia, el material puede ser transportado, desestabilizando la protección con diseño de enrocado suelto (Figura 6.2).



Figura 6.2. Arrastre de rocas de las defensas de basalto.

Con respecto a la forma en planta, la morfología de los cursos fluviales efímeros es de tipo trenzado o “braided”, de acuerdo a la clasificación de Leopold et al. (1964), típicos de climas áridos, con descargas extremas y de rápida variación y vegetación escasa (Figura 6.3). En estos cauces se distinguen dos zonas bien diferenciadas unidas por una de transición: Cabecera o zona alta, con pendiente mayor al 10%, baja relación ancho/profundidad y con tendencia erosiva y la zona baja con pendiente menor al 10%, alta relación ancho/profundidad, con tendencia al aluvionamiento generalizado.



Figura 6.3. Diseño de drenaje del área de estudio (Elaboración a partir de Google Earth).

Además de las consecuencias anteriormente mencionadas, se registra otro efecto en las obras de protección que es el de la erosión retrocedente de las cabeceras de las cárcavas. Este fenómeno es inducido por la misma defensa, la cual genera durante el paso del agua un resalto hidráulico inmediatamente aguas abajo de la misma. Estos vórtices generan en el lugar un aumento localizado muy marcado de la erosión del lecho y produce un efecto regresivo, que desestabiliza y arrastra las partículas de la protección hacia aguas abajo, perdiendo la defensa altura y espesor. Este fenómeno se desarrolla desde la superficie de aguas abajo hacia aguas arriba y aumenta en profundidad hasta que alcanza la estabilidad del proceso erosivo.

Para disminuir estos fenómenos erosivos en las defensas, se recomienda la implementación de esquemas ingenieriles para el control de los procesos erosivos en cada sitio crítico, consistentes en medidas de protección contra los procesos de erosión general.

En función de todas las consideraciones anteriores, se ha sistematizado el relevamiento en tres categorías de acuerdo a su orden de prioridad:

1. **P1, Prioridad 1:** constituyen todas aquellas obras, que deben hacerse a la mayor brevedad posible. Es el caso por ejemplo de sitios donde la erosión ha descubierto ductos o es inminente que esto suceda. En el área de estudio, si bien el riesgo no es inminente la importancia de la estructura que se pretende proteger, así lo amerita.
2. **P2, Prioridad 2:** se trata de los casos relevados, que si bien no constituyen un riesgo aluvial, operativo o ambiental inminente, necesitan tratamiento especial a fin de que no se produzcan en un plazo relativamente corto.
3. **P3, Prioridad 3:** son situaciones en que si bien no constituyen un riesgo inmediato o próximo deben monitorearse o visitarse con cierta frecuencia a fin de detectar cambios que puedan hacer que entren en riesgo.

6.2. Identificación de sitios críticos según grado de prioridad

6.2.1. Sitios con prioridad 1

6.2.1.1. Pozo LP-1020

1) **Localización:** las coordenadas geográficas son: 38° 03' 28,47'' Latitud S y 67° 49' 49,68'' longitud O.

2) **Descripción:** el acceso al pozo LP-1020 se realiza desde Batería 8, recorriendo 1,2 km en dirección sudoeste, por camino de ripio dentro del yacimiento, se encuentra ubicado en el paleocauce del Rio Colorado y a 60 metros del mismo.

Actualmente el pozo se halla en producción (EE). Durante el año 2017 se sanearon piletas con lodos e hidrocarburos en el lateral Oeste de la locación, quedando dos depresiones no conectadas que permitirían almacenar el petróleo y agua de coproducción producto de un eventual derrame, que no pudo ser contenido por las canaletas y taludes perimetrales, que en el momento de la visita a la locación se encontraban en perfecto estado de conservación (Figura 6.4).



Figura 6.4. Imagen del pozo LP-1020 con áreas saneada en rojo (Elaboración a partir de Google Earth).

- 3) **Criticidad:** alta, en virtud de que las líneas de escurrimiento bordean la locación y se conectan con del rio Colorado, ello facilita que potenciales derrames de hidrocarburos puedan alcanzar el río.
- 4) **Problemática:** al Sudoeste de la explanada, se encuentra una línea de escurrimiento de márgenes tendidos, con una longitud de 55 m y un área medida de 305 m². La inclinación medida a través del uso de GPS y su aplicación en el programa Google Earth es menor a 1,5 %. El piso del canal está parcialmente vegetado por lo que no representa una gran actividad hídrica (Figura 6.5), pero dado a su extrema cercanía al rio es un espacio al cual debe prestarle suma atención por si ocurren potenciales derrames de hidrocarburos.



Figura 6.5. a) vista del rio Colorado al Oeste de la locación del pozo LP-1020., b) piletas en el borde Oeste, c) y d) líneas de escurrimiento.

- 5) **Propuesta:** como medida estructural a aplicar se recomienda realizar una barrera transversal al curso conformada por geocostales (véase apartado 5.2.2.4.). La revegetación con la plantación manual de arbustos autóctonos permitirá el restablecimiento de las condiciones naturales, aumentando la infiltración reduciendo así los fenómenos erosivos (véase apartado 5.5.).

6.2.1.2. Oleoductos de alta presión que conecta Satélite 1 con Batería 8

A lo largo del tendido de los oleoductos de 6" y 4" conformados de Epoxi Reforzado con Fibra de Vidrio (ERFV), de alta presión y soterrados a una profundidad de 0.80 metros, se identificaron tres áreas críticas (Figura 6.6). Estas áreas están vinculadas a cárcavas o cabeceras de cárcavas que se encuentran próximas a la pista de mantenimiento de los oleoductos. Los mismos no demuestran evidencias de destape total; su traza posee una pendiente menor al 15% y el suelo areno limoso que los cubre es altamente vulnerable a la erosión. En líneas generales el área de estudio se encuentra ubicada sobre la terraza del Rio Colorado.

Además, al estar trazado en el margen Sur del camino donde no hay vegetación lo deja con una alta exposición a los procesos erosivos aluvionales. Esta serie de cañadones que atraviesan la traza del oleoducto pueden llegar a afectar su integridad estructural a través de eventuales procesos de erosión generalizada del lecho durante eventos hidrológicos severos.

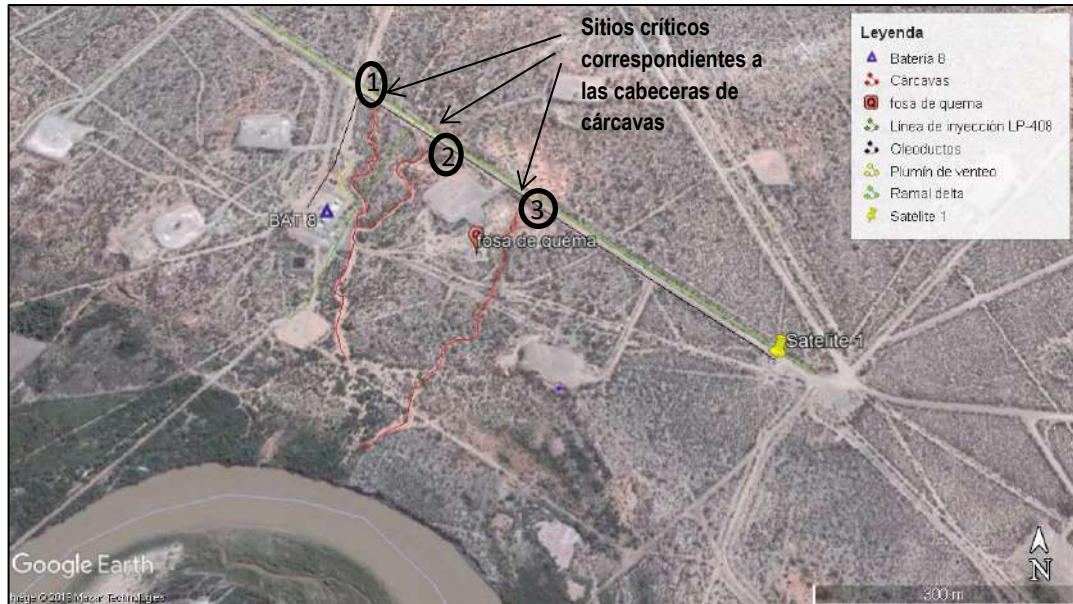


Figura 6.6. Imagen de las trazas de las cárcavas N° 1, 2 y 3 con sus respectivas cabeceras en las inmediaciones de los oleoductos (Elaboración a partir de Google Earth).

La mayor parte de los cursos de agua discurren en el sentido N-S sobre terrenos conformados por suelos friables altamente erosionables; en general son tributarios directos del Río Colorado, aunque muchos se dispersan en conos de deyección antes de llegar en forma franca sobre la margen Norte del río.

Los conductos de transporte de fluido se disponen enterrados a lo largo de una franja de terreno o “pista”. Como la profundidad de colocación de la tubería (tapada) es aproximadamente constante, el trazado altimétrico de la misma tiende a seguir la topografía del terreno natural.

El agua precipitada en la micro-cuenca superficial en la que se encuentra localizado el segmento de pista afectado, se concentra como consecuencia del micro-relieve local. La escorrentía superficial atraviesa la traza de la pista por las vaguadas topográficas, y como consecuencia de la velocidad y la tensión de cizallamiento del flujo se forman surcos y cárcavas de importantes dimensiones que llegan a afectar la estabilidad de la tubería (Figura 6.7). La totalidad de los cañadones son cauces de régimen hidrológico efímero, con cuencas en las que las precipitaciones anuales alcanzan valores de lluvia relativamente bajos, pero concentrados en un número pequeño de tormentas convectivas aisladas, lo cual genera eventos pluviosos caracterizados por lapsos de gran intensidad, con un potencial erosivo significativo.

El análisis se focaliza exclusivamente en el riesgo potencial inducido por el flujo concentrado de escorrentía conducida por los cañadones en la sección de cruce, en cuanto a la posibilidad de poner al descubierto al conducto una vez que los procesos erosivos alcanzan magnitudes del orden de la “tapada”.

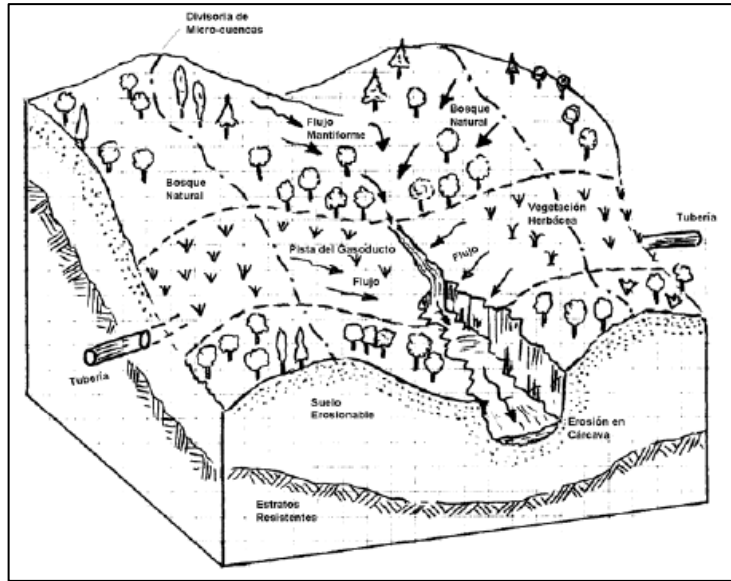


Figura 6.7. Cárcavas transversales a la traza del oleoducto (Farías, 2009).

6.2.1.2.1. Cárcava N° 1

En este sitio se pueden diferenciar cuatro lugares con criticidad independientes (figura 6.8):

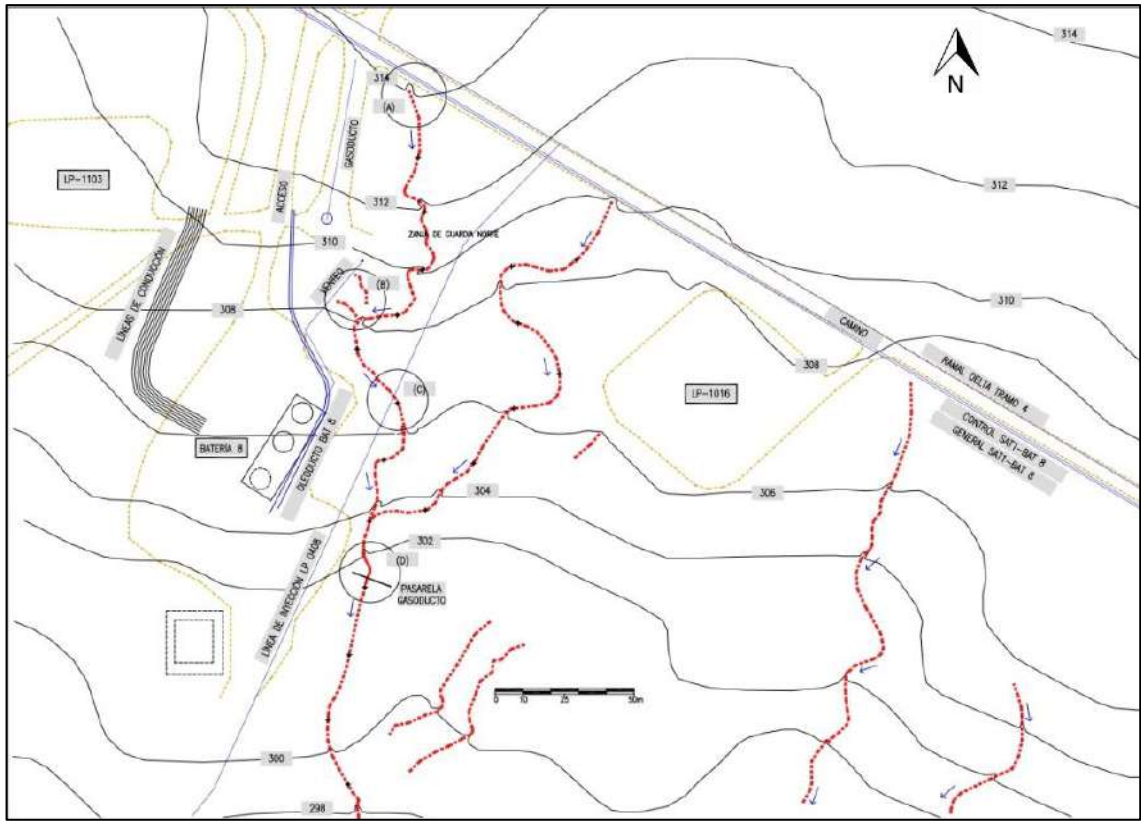


Figura 6.8. Sitios críticos en la traza de la cárcava N° 1, visualizándose además la topografía con las curvas de nivel. A) Cabecera de cárcava. B) Talud próximo al plumín de venteo de la Batería N° 8. C) Descalce en las bases de hormigón de los soportes de la línea de inyección LP- 408. D) Puente ducto del gasoducto.

6.2.1.2.1.1. Cabecera de cárcava

- a) **Localización:** el acceso al mismo se realiza desde Batería 8, recorriendo 72 metros por camino de ripio dentro del yacimiento. Las coordenadas geográficas son: 38° 03'01" latitud S y 67° 50' 05" longitud O.
- b) **Descripción:** el ancho de la defensa del enrocado es de 15 metros, pero se encuentran sobre su lateral Este, surcos y cárcavas secundarias que se comunican con la cárcava principal. La longitud medida de estos indicios de procesos erosivos es de 13 metros. En tanto, la profundidad de la cabecera de la cárcava es de 3 metros, clasificándola por sus dimensiones como una cárcava de tamaño mediano (Véase tabla 4.1) (Figura 6.9).

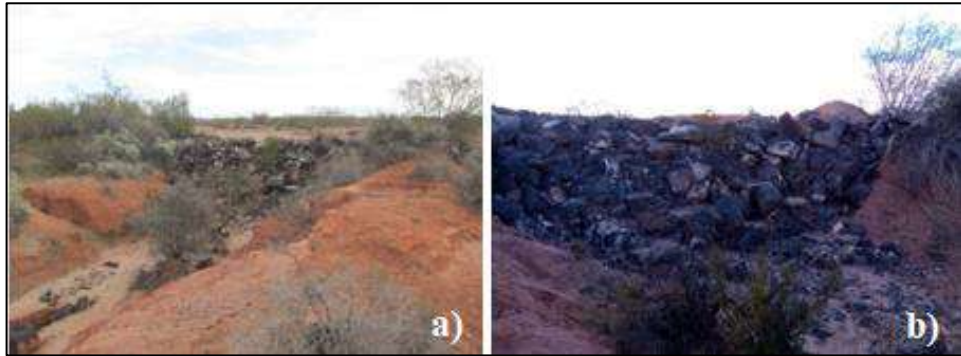


Figura 6.9. Defensa de basaltos. a) vista panorámica, b) vista en detalle.

A través del uso de GPS, se obtuvo la pendiente de la cárcava, dando como inclinación promedio 4,5% pero en algunos tramos alcanza un máximo del 6% (Figura 6.10).

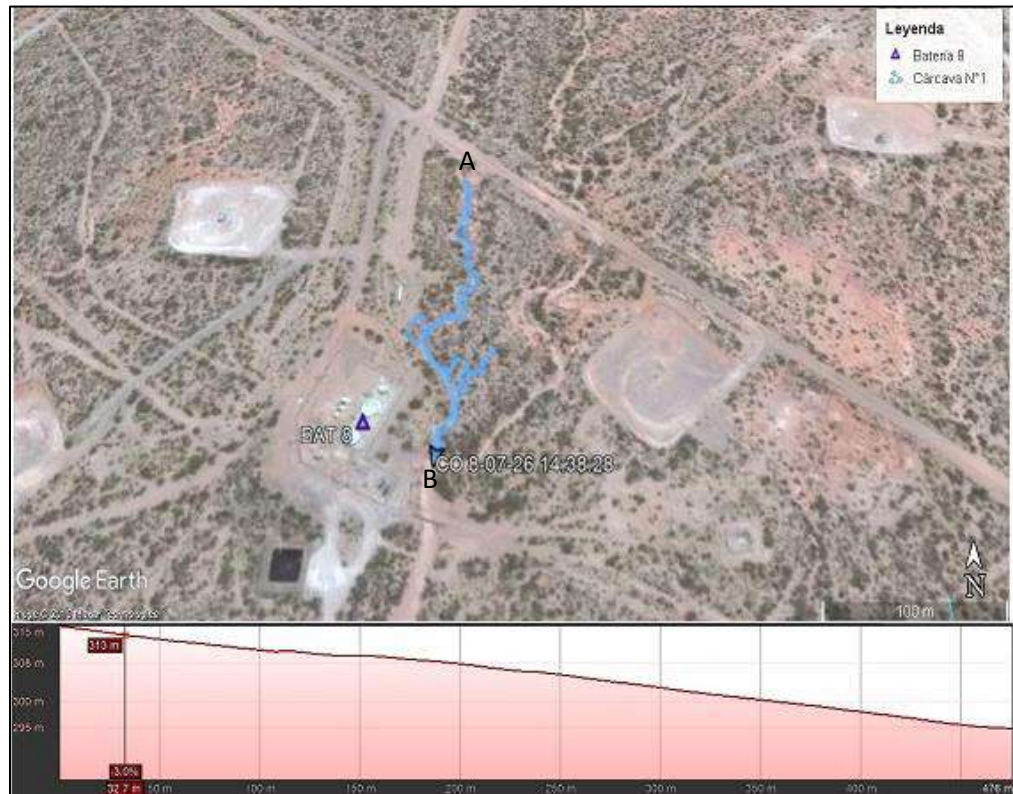


Figura 6.10. Perfil topográfico A-B en la cárcava N° 1 (Elaboración a partir de Google Earth).

- c) **Problemática:** la actual defensa tiene un incorrecto diseño, debido a que el caudal de escurrimiento vence los esfuerzos resistentes del enrocado, arrastrando el material y deteriorando de esta forma la obra. Además, se produce el pasaje del agua por el margen Este de la protección, por lo que se debe hacer un redimensionamiento de la longitud de la nueva protección a desarrollar (Figura 6.11).



Figura 6.11. a) y b) Roturas del actual enrocado en sus laterales, c y d) erosión retrocedente activa y arrastre del material del enrocado.

- d) **Criticidad:** alta, en virtud de que como se puede observar en las imágenes existen cárcavas marcadas, siendo que el escurrimiento ha colapsado el enrocado con basalto que protege la línea de conducción del oleoducto.
- e) **Propuesta:** se sugiere la realización de vertederos de gavión o muros de gravedad de mampostería (ver anexo de imágenes figura 1 y 2), poniendo énfasis en las fundaciones, teniendo en cuenta que en las recomendaciones de la construcción de estas obras se afirma que el empotramiento debe llegar al metro en el piso y en los taludes (véase apartado 5.2.2.2.). Por lo tanto, la granulometría de fundación sería arena limosa, la cual tiene una capacidad portante insuficiente para el sostén de estas estructuras. Si se quiere mejorar las condiciones geomecánicas del suelo a la profundidad de fundación se puede preparar una base de asiento con suelo cemento compactado en un espesor mínimo de 0.10 metros, será muy conveniente para estabilizar arenas que se encuentran a esa profundidad, mejorar la capacidad de carga y evitar el lavado de finos por ascenso y descenso del nivel freático o durante lluvias excepcionales. Según pruebas realizadas en laboratorio para obtener una capa compactada de 10 centímetros, es necesario distribuir una capa de 18 a 22 centímetros de suelo suelto. Para lograr el contenido de cemento determinado en laboratorio para una base de asiento de 10 cm serán necesarios unos 13.5 Kg de cemento por m^2 ó 0.27 bolsas por m^2 .

El largo de la obra tendrá que tener un mínimo de 30 metros, sumando los metros de longitud de la cabecera de la cárcava y el resguardo de los metros de empotramiento con la finalidad de asentar la obra más allá del nivel original de la cárcava y con esto evitar posibles franqueamientos.

En vez de una defensa materializada por enrocados, se eligen los gaviones porque al estar las rocas en un canasto actúan monolíticamente, siendo estructuras más dúctiles y de mayor tamaño, peso y resistencia mecánica por lo que se van deformando adaptándose a las nuevas condiciones del fondo y del margen, con lo que se elimina el fenómeno de erosión regresiva local de la protección, a diferencia del material de enrocado suelto que presenta la posibilidad de que el relleno flote independientemente y se desplace aguas abajo perdiendo parte del material que conforma la protección.

Se requieren obras auxiliares de albardones de embocadura en los extremos del vertedero, de este modo la escorrentía de aguas arriba ingresa solamente por la protección y así no se originan pasajes de agua por los costados (véase apartado 5.2.2.5.1.).

6.2.1.2.1.2. Talud próximo al plumín de venteo de la Batería N° 8.

- a) **Localización:** el acceso a la Batería 8 se realiza desde Batería 1, recorriendo 6,5 km por camino de ripio dentro del yacimiento. Sus coordenadas geográficas son: 38° 03'06" de latitud S y 67° 50' 07" longitud O.
- b) **Descripción:** el talud Oeste de la cárcava N° 1, en las inmediaciones del plumín de venteo, presenta un alto grado de procesos de erosión retrocedente evidenciada por las numerosas cabeceras secundarias (Figura 6.12). La altura que presenta es de 4 metros, y la longitud de la corona con síntomas de erosión es de 67 metros.



Figura 6.12. a) Vista general del carcavamiento al Este de la Batería, b) Cárcava lateral en el plumín de venteo, c) vista general de la cárcava en la zona del plumín y d) cárcava que afecta la base del plumín de venteo.

Se midió la inclinación de la corona del talud en dos tramos, dando como resultados 5,6 % y 3 % (fig. 6.13).

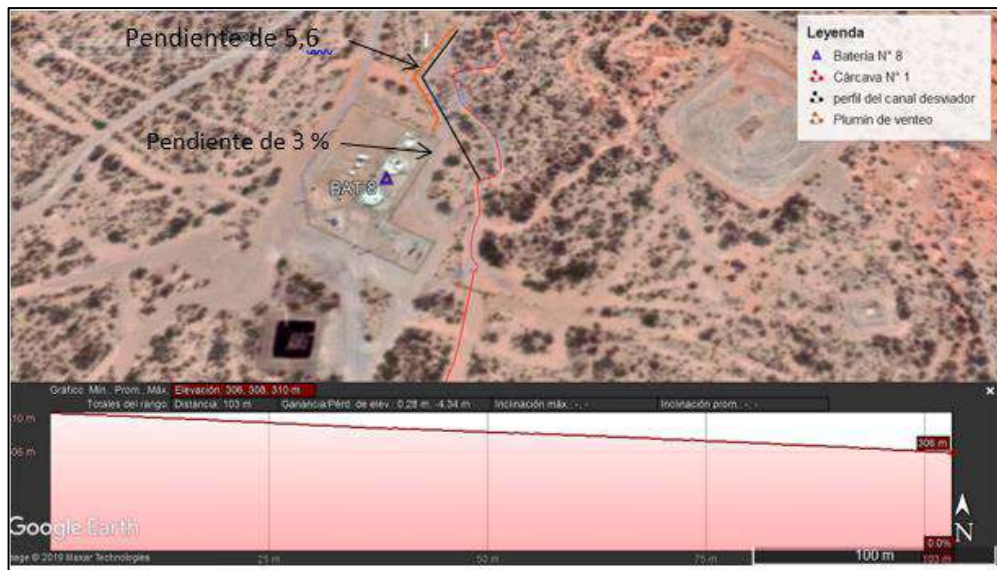


Figura 6.13. Grado de pendiente de la corona de talud (Elaboración a partir de Google Earth).

- c) **Problemática:** el progresivo crecimiento de las cabeceras secundarias, cuyo origen son por fenómenos de erosión retrocedente (Figura 6.14), ponen en riesgo los cimientos de los soportes del plumín de venteo y en consecuencia puede colapsar todo el sistema de venteo de gas residual.



Figura 6.14. Riesgo en los cimientos de los soportes del plumín.

- d) **Criticidad:** alta, en virtud de que como se puede observar en las imágenes existen cárcavas laterales que ponen en riesgo la integridad de los soportes de la pluma de venteo.
- e) **Propuesta:** la problemática se puede atacar desde dos perspectivas. La primera, es aumentando los esfuerzos resistentes para estabilizar el talud y detener la erosión retrocedente a través de técnicas de bioingeniería. La segunda, es disminuir los esfuerzos deformantes, realizando obras de técnicas de conducción controlada de escurrimientos o alternativas como lo serían los albardones con canal de desagüe. Igualmente, esto dependerá de un estudio hidrológico más exhaustivo para que estas obras no afecten la pista de mantenimiento del gasoducto soterrado que está en inmediaciones del plumín de venteo.

Las técnicas de bioingeniería que se pueden aplicar son *gavión de roca vegetado*, *pared de piedra vegetada* o *rip rap vegetado* (véase apartado 5.3.). Estas protecciones

evitan que aumenten las dimensiones de las cabeceras secundarias; y en consecuencia el potencial colapso de la estructura de venteo de la batería.

Con respecto a las obras de manejo de aguas de escorrentía, son diseñadas con secciones y pendientes suficientes que impidan la concentración de aguas que pudieren inducir la formación de cárcavas de erosión. El sistema de recolección de aguas superficiales, debe captar el agua de escorrentía antes de que penetre al área cercana a la corona del talud y llevar el fluido a un sitio seguro lejos del talud. Esto puede lograrse con la *construcción de canales interceptores* (véase apartado 5.2.1.1.) o *Albardón con desagüe lateral protegido* (véase apartado 5.2.2.5.2.), en la corona del talud a una distancia prudencial del borde del talud, para evitar que se conviertan en el comienzo y guía de nuevos surcos y cárcavas. Para las correctas dimensiones del canal, es muy importante que se realice un estudio muy completo de la información hidrológica existente para determinar lo más exactamente posible el aguacero máximo esperado. Igualmente, según medidas estándares de manuales de obras de drenaje superficial, se recomienda que sean de 0.50 metros de profundidad y entre 0.6 y 1 metro de ancho.

Además, se deben diseñar estructuras de disipación (véase apartado 5.1.), para evitar velocidades excesivas que produzcan abrasión de los materiales de revestimiento; y donde finaliza el canal, deben construirse estructuras de transición para absorber el impacto inicial del flujo y reducir la energía cinética para que no erosione las áreas receptoras del flujo (véase apartado 5.1.4.).

6.2.1.2.1.3. Descalce en las bases de hormigón de los soportes de la línea de inyección LP-408.

- a) **Localización:** el tramo del caño de la línea de conducción tiene un recorrido desde el camino en el punto $38^{\circ} 3'3.40''S$ - $67^{\circ}50'2.60''O$, hasta la locación LP-408 (Figura 6.15).



Figura 6.15. Recorrido de la línea de inyección LP-408 (Elaboración a partir de Google Earth).

- b) **Descripción:** la línea de conducción de agua dulce actualmente está inactiva, y tiene una longitud total de aproximadamente 480 metros desde su origen en el Ramal Delta que distribuye agua dulce proveniente de la Planta de Inyección de Agua Dulce (PIAD) hasta su finalización en el pozo LP-408. Los primeros 200 metros del conducto se encuentran por encima del suelo, sujetos por pilares de bases de hormigón. En este tramo, se visualiza líneas de escurrimiento que toman la traza del alineamiento de las bases de hormigón del conducto como vía preferencial de escurrimiento, originando así numerosos surcos y cárcavas menores que acompañan el recorrido de la línea (Figura 5.16).

Sobre el margen Este de la explanada de la Batería 8, el caño se encuentra enterrado, pero observándose tramos con destape, debido a que las líneas de escurrimiento pueden tomar la pista de mantenimiento (traza del ducto) como vía preferencial de escurrimiento (Figura 6.17).



Figura 6.16. Bases de hormigón descalzadas de la línea de inyección.



Figura 6.17. Línea de conducción del inyector destapada.

- c) **Criticidad:** baja, debido a que actualmente la línea de conducción está en desuso. Pero reviste de importancia recuperar la estabilidad de sus pilares de soporte para una futura inyección en el pozo LP-408.
- d) **Problema:** como se observa en las imágenes, los distintos grados de erosión producen un descalce de las bases de hormigón. Esto deja a los conductos en una situación crítica porque cuando el caño se encuentra expuesto y sin apoyo (*free span*), los

esfuerzos inducidos por la corriente (flexión por arrastre, vibración por vórtices y fatiga) pueden desencadenar rupturas en estos.

Las pilas obstaculizan el flujo de agua y provocan una contracción de la lámina de agua, y la correspondiente concentración de caudal, provocando así erosión local en las proximidades del pilar. Un factor decisivo en el proceso de erosión local, lo constituyen los movimientos hidráulicos secundarios con componente vertical, que tienen lugar a causa de la alteración en las presiones del régimen hidrostático, en las inmediaciones de los obstáculos. El fenómeno presenta especial intensidad en la zona frontal con puntos de parada, donde el movimiento descendente del agua desde la superficie hacia el fondo inicia un vórtice que circunvala la obra y que en el caso de las pilas tienen forma de herradura (Figura 6.18).

Al especial comportamiento hidráulico en estos puntos va asociado otro sedimentológico también singular, con depósitos aguas abajo y sobre todo socavaciones, cuyos máximos se localizan aguas arriba.

- e) **Propuesta:** para calcular la profundidad de la erosión local generada por los pilares, se utiliza el método de Laursen. Este método, señala que la erosión local depende del ancho del pilar, el cual es sensiblemente afectado por su geometría, siendo las formas hidrodinámicas elípticas y lenticulares las que reducen la erosión por su menor ancho con respecto a la dirección perpendicular a la corriente. Por eso, se deberán implementar estas formas geométricas en los pilares. Además su fundación tendrá que tener una profundidad mayor que la máxima erosión local.

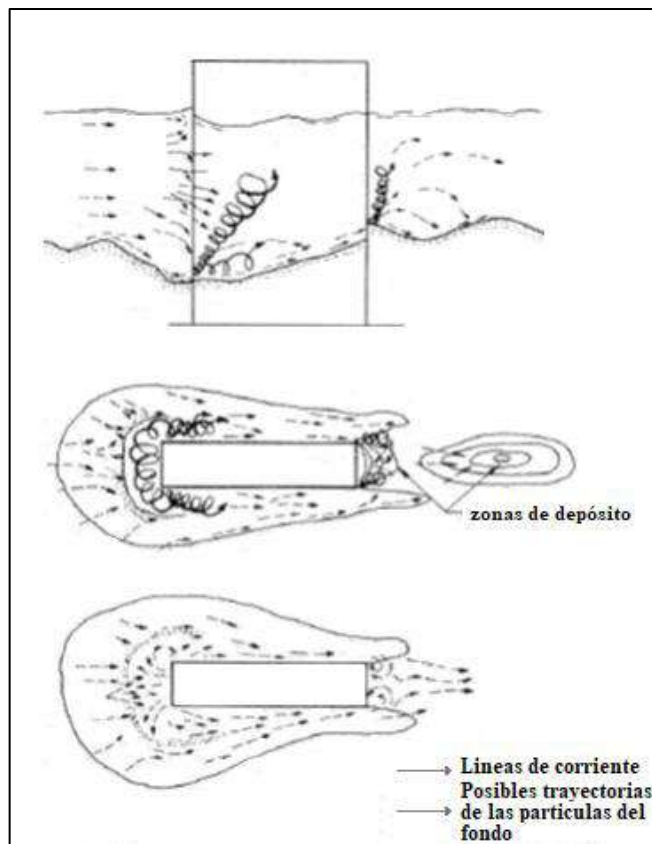


Figura 6.18: Mecanismo de erosión local.

También, para reforzar el sitio de cimentación, se dispondrá de un manto de escollera colocado alrededor del apoyo. La extensión del manto, debe ser al menos dos veces la anchura de la pila, medidas desde su contorno. Es preciso que conste al menos de dos

capas, y conformado por un material con una curva granulométrica bien graduada, para proporcionar peso y tamaños más pequeños para rellenar el volumen de poros dejado por las partículas más grandes.

También se debe colocar geotextil, para separar y filtrar la escollera de los materiales naturales de lecho y margen.

6.2.1.2.1.4. Puente ducto del gasoducto

- a) **Localización:** las coordenadas geográficas son: 38° 03' 09'' Latitud S y 67° 50' 06'' Longitud O.
- b) **Descripción:** el puente ducto funciona como soporte del gasoducto que pasa por encima de la cárcava N° 1. Está conformada por una viga metálica reticulada de 11 metros de luz, y apoyada sobre bases aisladas de hormigón armado que no permite que el ducto se flexione por su propio peso. La altura, entre el piso de la cárcava y la viga, es de 1,5 metros (Figura 6.19).

Se visualiza que líneas de escurrimiento en el extremo Oeste toman la pista de mantenimiento (traza del ducto) como vía preferencial de escurrimiento.



Figura 6.19: a y b) Fotos con detalle del descalce de los cimientos del puente ducto en ambos laterales c) y d) Imagen panorámica de ambos descalces.

- c) **Criticidad:** alta, en virtud de que como se puede observar en las imágenes la cárcava en el sitio presenta un ancho de 11 metros, las bases están descubiertas y por tareas de saneamiento del área se incrementaron los procesos erosivos.
- d) **Problemática:** las bases de hormigón de los estribos del puente ducto, son afectados por surcos en sus laterales debido a causas erosivos. Por este motivo, las fundaciones de las bases se encuentran destapadas y susceptibles a un potencial vuelco de las

mismas, lo cual podría acarrear el desplome de la estructura y en consecuencia rupturas del gasoducto.

En el extremo oeste del puente ducto, se localizan, a ambos lados del gasoducto, cárcavas de dimensiones menores que lograron el destape de este (Figura 6.20). El flujo de agua que origina estas líneas de escurrimiento proviene de la explanada de la batería N° 8.

A las tensiones de cizalla inducidas por el flujo de agua, se suman la presión ejercida por la acumulación de troncos y ramas sobre la cara aguas arriba de la cañería. Por todo esto, el gasoducto está altamente vulnerable a tener rupturas.



Figura 6.20. Cárcavas y destape de gasoducto.

- e) **Propuesta:** se sugiere la reconstrucción de los estribos del puente ducto, respetando la distancia mínima del estribo al borde del talud de la cárcava, para que este alejado de la potencial superficie de falla que el empuje activo del suelo pueda ejercer (figura 6.21). Para brindar mayor seguridad, se recomienda la colocación de Mantas para el control de Erosión (véase apartado 5.6.), ya que las mantas de geotextil confina los granos, inhibiendo sus deslizamientos y por ende aumenta su resistencia a los esfuerzo de cizalla. También, impide la propagación de las superficies de fallas, y a su vez hacen que la sobrecarga (presión vertical) disminuya por separar el suelo en capas, logrando de esta forma reducir el empuje activo del suelo.

La utilización de una barrera de geocostales (véase apartado 5.2.2.4.), al comienzo de los incipientes surcos, paralizara el continuo socavamiento.

Al igual que se comentó con la problemática de la línea de inyección LP-408, se recomienda el sostenimiento de la estructura con pilares de formas hidrodinámicas elípticas o lenticulares, y el refuerzo con mantos de escollera.

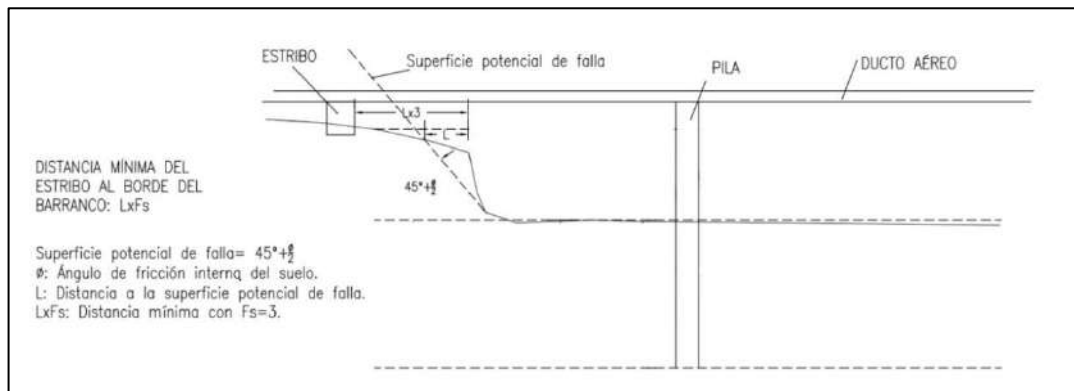


Figura 6.21. Diseño del estribo para el puente ducto.

Para la situación de la tubería descubierta, se deberá hacer trabajos de soterramiento con una tapada mínima de 0,80 metros. Como variante se puede sugerir la construcción de una coraza de hormigón armado, la cual sirve de protección mecánica alrededor de la tubería, con mantas colocadas aguas abajo, para controlar la turbulencia generada. La cubierta sigue un perfil hidráulico, por lo que no se crea un salto ya que la intrusión de la cresta de hormigón es mínima. Esta coraza brinda una solución para la protección robusta contra el flujo de detritos.

6.2.1.2.2 Cárcava N° 2

- a) **Localización:** las coordenadas geográficas son: 38° 3'3.88" Latitud S y 67°50'1.94"longitud O.

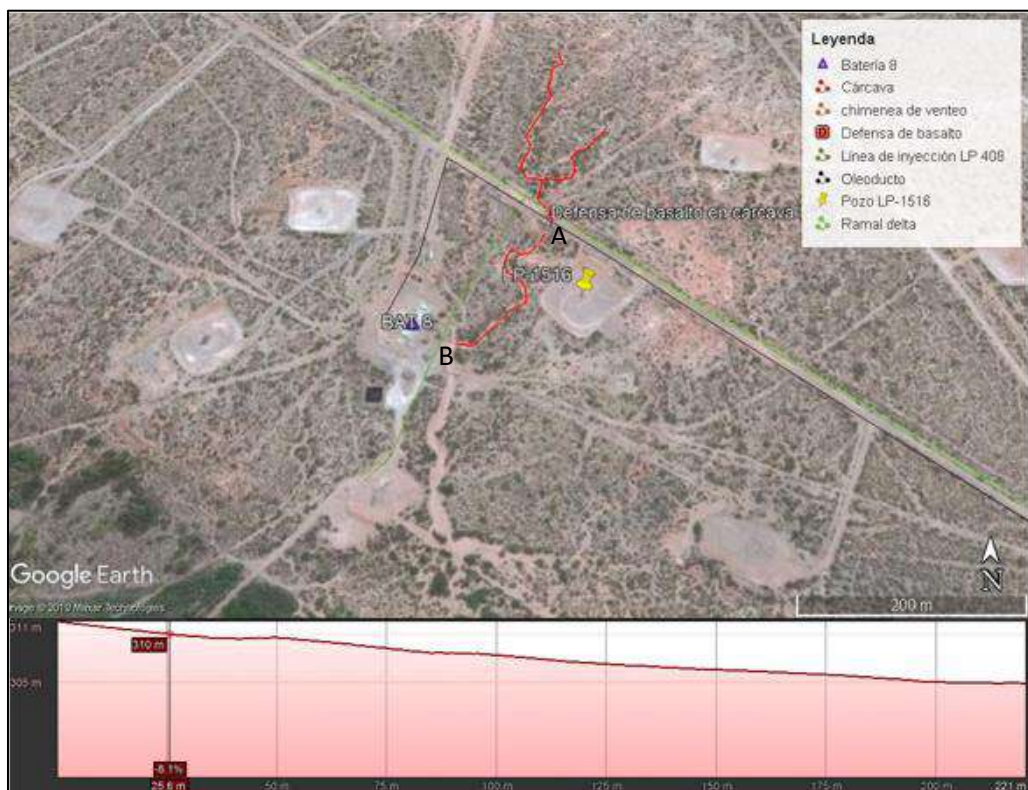


Figura 6.22: Ubicación de la cárcava N° 2 y su perfil topográfico A-B (Elaboración a partir de Google Earth).

- b) **Descripción:** el Ancho de la defensa del enrocado es de 14 metros y la profundidad de la cabecera de la cárcava es de 2 metros, clasificándola por sus dimensiones como una cárcava de tamaño mediano (véase tabla 4.1). La medición de la pendiente de la cárcava dio como resultado una inclinación máxima de 8,1 % (Figura 6.22).
- c) **Criticidad:** baja, en virtud de que como se puede observar en las imágenes no existen cárcavas marcadas, pero el escurrimiento ha colapsado el enrocado con basalto que protege la línea de conducción del oleoducto.
- d) **Problemática:** se observa desmoronamiento del enrocado (Figura 6.23), situación similar al caso de la cabecera de la cárcava N° 1. La actual defensa presenta déficit en su diseño, porque el caudal de escurrimiento vence los esfuerzos resistentes del enrocado, arrastrando el material y deteriorando de esta forma la obra. Esta defensa

recibe el caudal que proviene de cañadones que están aguas arriba como lo confirma la figura 6.22.

- e) **Propuesta:** se sugiere la realización de *vertederos de gavión o muros de gravedad de mampostería* (ver anexo de imágenes, figura 1 y 2), poniendo énfasis en sus fundaciones, teniendo en cuenta las recomendaciones de construcción de estas obras, las cuales señalan que el empotramiento debe llegar al metro en el piso y taludes. Por lo tanto, la granulometría de fundación sería arena limosa, presentándose el mismo inconveniente que en la cabecera de la cárcava N° 1. Aquí, también se propone mejorar su capacidad portante, a través de una base de asiento de suelo cemento como se describió en el apartado 6.2.1.2.1.1.

Atendiendo a estos datos, se puede concluir, que el largo de la obra tendrá que tener un mínimo de 16 metros, sumando los metros de longitud de la cabecera de la cárcava y el resguardo de los metros de empotramiento con la finalidad de asentar la obra más allá del nivel original de la cárcava y con esto evitar posibles franqueamientos.



Figura 6.23. a y b) Defensa de basalto en cárcava N° 2 con presencia de desmoronamiento.

Las ventajas de los vertederos materializados en gaviones o mampostería, en contraste con los enrocados, son los mismos que los justificados para la cárcava N° 1 (véase apartado 6.2.1.2.1.1).

Además, para aminorar el flujo de agua que llega al vertedero, con el propósito de disminuir el esfuerzo deformante, se aplicaran aguas arriba del camino, técnicas de manejo de relieve siendo de aptitud geotécnica preferencial la realización de terrazas de absorción (véase apartado 5.4.). Estas aumentarían la tasa de infiltración en el área de drenaje, disminuyendo en forma directa el caudal de escorrentía que puede agravar la situación del cárcavamiento. El aterrazamiento, además permite reducir la longitud de la pendiente, por ende se logra aminorar la velocidad del flujo cuando llega al vertedero (Figura 6.24).

El diseño de la terraza conlleva la construcción de un canal y bordo, con el objetivo de captar el mayor volumen de agua. Para efectivizar el incremento de percolación del agua, se pueden desarrollar en las planicies de las terrazas, las técnicas vegetativas mencionadas en el apartado 5.5.. De esta forma, se crea una capa vegetal en superficie, que permiten una mayor intercepción y retención hídrica superficial para aumentar la infiltración.

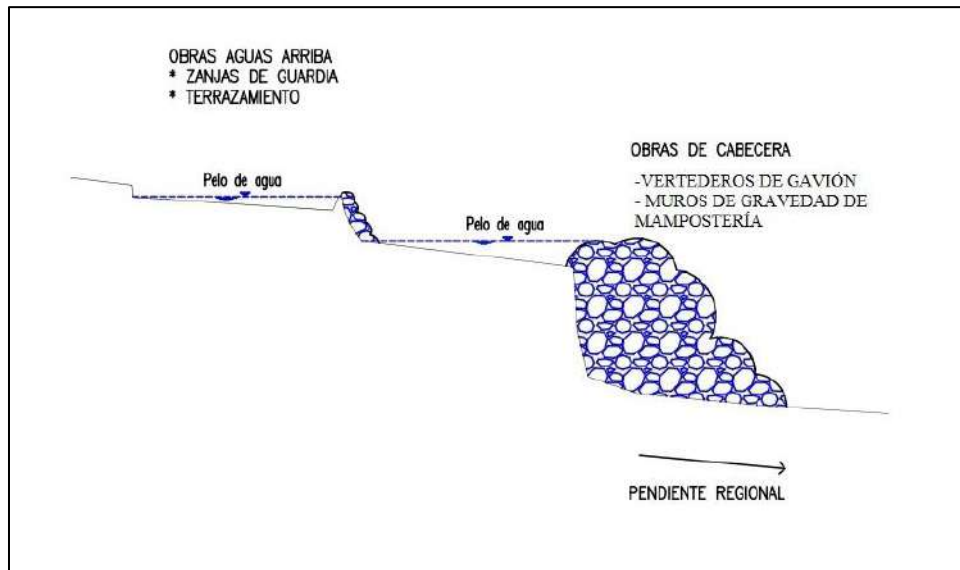


Figura 6.24. Medidas estructurales aplicables en cárcava N° 2.

Para finalizar, se requiere la realización de obras auxiliares de albardones de embocadura en los extremos del vertedero, de este modo la escorrentía de aguas arriba ingresa solamente por la protección, y así no se originan pasajes de agua por los costados (véase apartado 5.2.2.5.1.).

6.2.1.2.3 Cárcava N°3

- a) **Localización:** las coordenadas geográficas son 38° 3'7.23" Latitud S y 67°49'56.88" Longitud O.

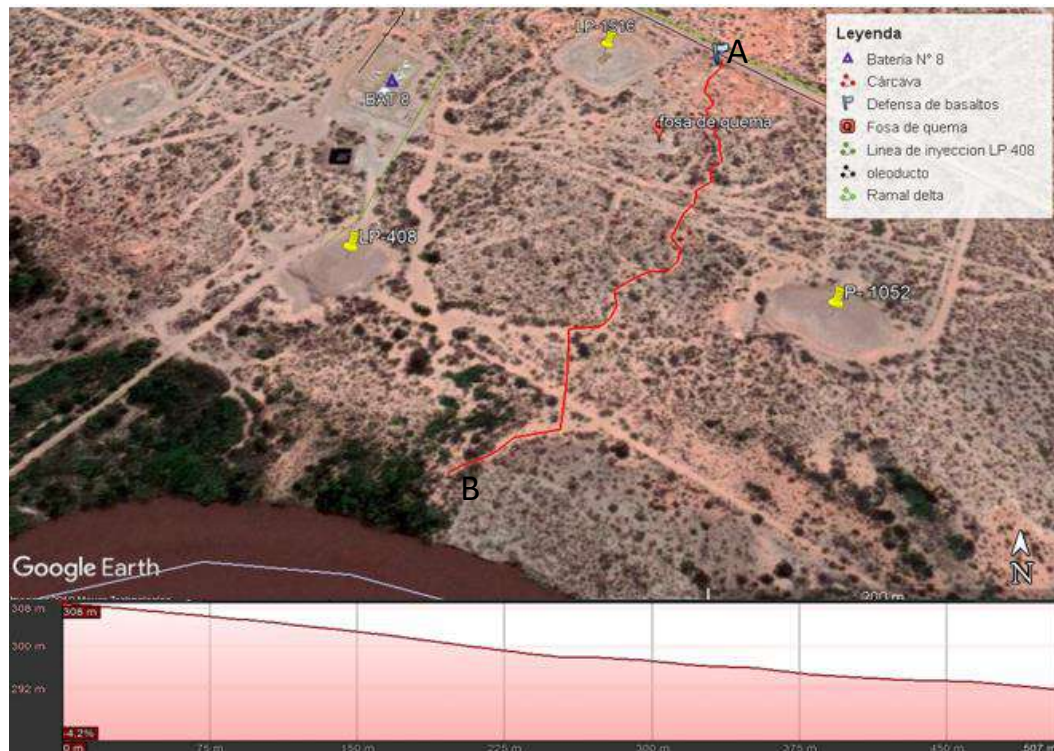


Figura 6.25: Ubicación de la cárcava N° 3 y su perfil topográfico A-B (Elaboración a partir de Google Earth).

- b) **Descripción:** el ancho de la defensa del enrocado es de 6 metros y la profundidad de la cabecera de la cárcava es de 2,5 metros, clasificándola por sus dimensiones como una cárcava de tamaño mediano (véase tabla 4.1.). La inclinación, en las inmediaciones del enrocado, es de 4 %.

La línea de drenaje tiene una longitud de 506 metros, iniciando en el camino en las proximidades del pozo LP- 1516 y finalizando en cercanías del río (Figura 6.25).

Se observaron pasivos ambientales en el piso de la cárcava, dando como evidencia que el cañadón funcionó como posible vía de los derrames de hidrocarburos (Figura 6.26).



Figura 6.26. Costra de hidrocarburos en el piso de la cárcava.

- c) **Criticidad:** alta, en virtud de que como se puede observar en las imágenes el escurrimiento llega a las proximidades del río, siendo la cárcava un camino que facilita la afectación de la sensibilidad ambiental del río colorado.
- d) **Problemática:** la situación es similar a los casos de las cabeceras anteriormente mencionadas, donde también las escorrentías de las tormentas ciclónicas de verano provocan el desmoronamiento del enrocado (Figura 6.27). La actual defensa presenta déficit en su diseño porque el caudal de escurrimiento vence los esfuerzos resistentes del enrocado, arrastrando el material y deteriorando de esta forma la obra.

En las imágenes, se puede observar que en el piso de la cárcava, se encuentran surcos que están generando un nivel de base más profundo, gestionado por una erosión hídrica activa.



Figura 6.27. Desmoronamiento de la defensa de basalto y erosión hídrica activa.

- e) **Propuesta:** como se expresó en las propuestas de las anteriores cabeceras se sugiere la realización de *vertederos de gavión o muros de gravedad de mampostería* (ver anexo de imágenes, figura 1 y 2), pero en este caso se diferencia en que también el *dique filtrante de piedra acomodada* (véase apartado 5.2.2.3.) es una buena opción, porque las dimensiones pequeñas de la cabecera hacen que sea propicia su utilización. Igualmente, como se ha dicho anteriormente, en cualquier obra se debe poner énfasis en las fundaciones, teniendo en cuenta que en las recomendaciones de la construcción de estas obras se afirma que el empotramiento debe llegar al metro en el piso y en los taludes. En la fabricación del dique filtrante de piedra, se puede utilizar el mismo enrocado utilizado en la defensa. Como alternativa también se puede reutilizar el enrocado para formar una valla dinámica, la cual sostiene el enrocado con una malla de cadena cimentada con una base de hormigón, y el tirante de un cable de acero con un anclaje de 3 metros. La separación horizontal y vertical de los anclajes, dependerá del empuje activo del suelo y de la capacidad de carga de estos anclajes (Figura 6.28).

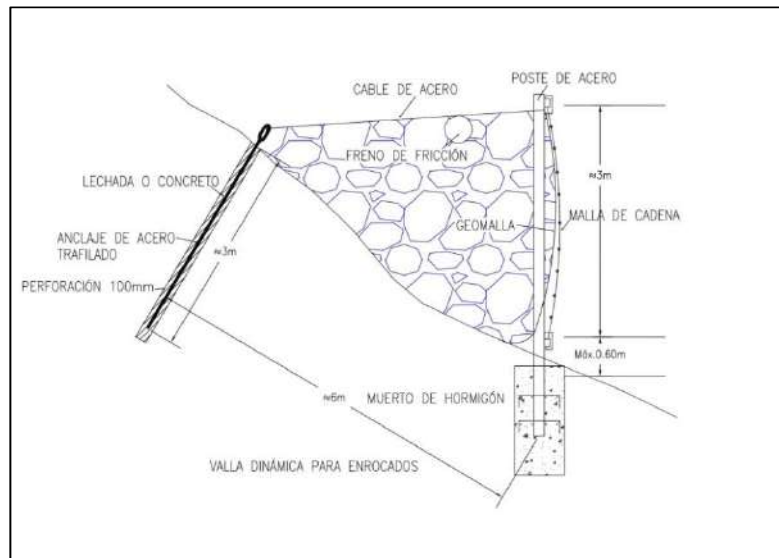


Figura 6.28. Diseño de valla dinamica.

Atendiendo a estos datos, se puede concluir que el largo de la obra tendrá que tener un mínimo de 8 metros, sumando los metros de longitud de la cabecera de la cárcava y el resguardo de los metros de empotramiento con la finalidad de asentar la obra más allá del nivel original de la cárcava, y con esto evitar posibles franqueamientos.

Debido a la gran longitud del cañadón, se aplicaran técnicas que permiten evitar la erosión del piso y laterales de la cárcava, y recuperar el nivel de base original del terreno, o al menos evitar que éste siga disminuyendo. Los fundamentos de las técnicas de recuperación de piso, se basan en la disminución de la velocidad de circulación del agua dentro de la cárcava, y como resultado se espera obtener la depositación del material que lleva el escurrimiento en suspensión. Dicho efecto, se logra interponiendo algún tipo de obstáculo a la circulación del flujo, a los fines de aumentar los coeficientes de rugosidad y por consiguiente reducir la velocidad de la corriente. Por lo tanto, se colocaran alguna variante de las estructuras para disipar energía descrita en el apartado 5.3. Se localizaran, en lugares donde la pendiente induce velocidades mayores a las máximas permisibles de escorrentía, que en nuestro caso es 0.50 m/s (véase Tabla 5.1.), ya que superando estas, se incrementa la erosión disminuyendo aún más el nivel de base. Se agregaran, aguas abajo, presas o barreras de gavión, geocostales o valla dinámica; con el fin de retener azolves y reconstruir el paisaje natural (Figura 6.29).

Una vez levanto el nivel, y logrado un parabolizado de la cárcava, se dispondrá de técnicas vegetativas (véase apartado 5.5.) para estabilizar el piso.

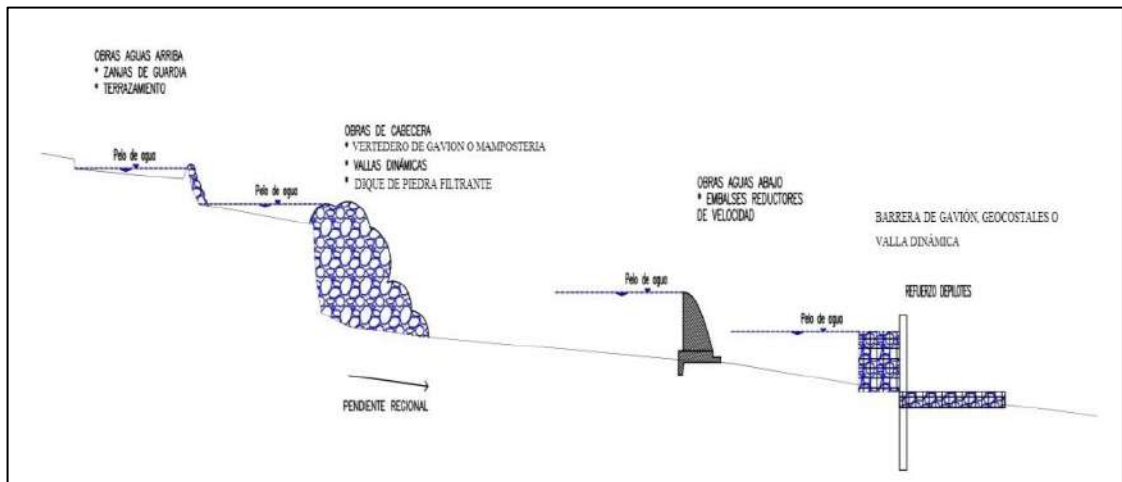


Figura 6.29. Medidas estructurales aplicables en cárcava N° 3.

Para finalizar, se requiere que se realicen obras auxiliares de albardones de embocadura en los extremos del vertedero, de este modo la escorrentía de aguas arriba ingresa solamente por la protección y así no se originan pasajes de agua por los costados (véase apartado 5.2.2.5.1.).

6.2.2. Sitios con prioridad 2

6.2.2.1. Pozo LP-1052

- Localización: las coordenadas geográficas del pozo son: 38° 3'15.20" Latitud S y 67°49'54.82" Longitud O.
- Descripción: el acceso al pozo LP-1052 se realiza desde Batería 8, recorriendo 716 m en dirección sudoeste, por camino de ripio dentro del yacimiento. La locación se encuentra ubicada sobre la terraza del Rio Colorado a 240 metros de este (Figura 6.30).



Figura 6.30. Pozo LP-1052 (Elaboración a partir de Google Earth).

Actualmente, el pozo es un pozo inyector de agua dulce que proviene del acueducto Ramal Delta, que como anteriormente se mencionó conduce agua desde la PIAD. Durante la visita, se inspeccionó el estado de las canaletas y taludes perimetrales, visualizándose que en su margen Sur hay una pequeña ruptura de la berma que se dirige a un incipiente desarrollo de cárcavamiento, lugar donde se canaliza el flujo (Figura 6.31).

El ancho medido de la cárcava es de 3 metros, resultando el área de la cabecera medida por GPS de 13.9 m² con una inclinación muy suave.

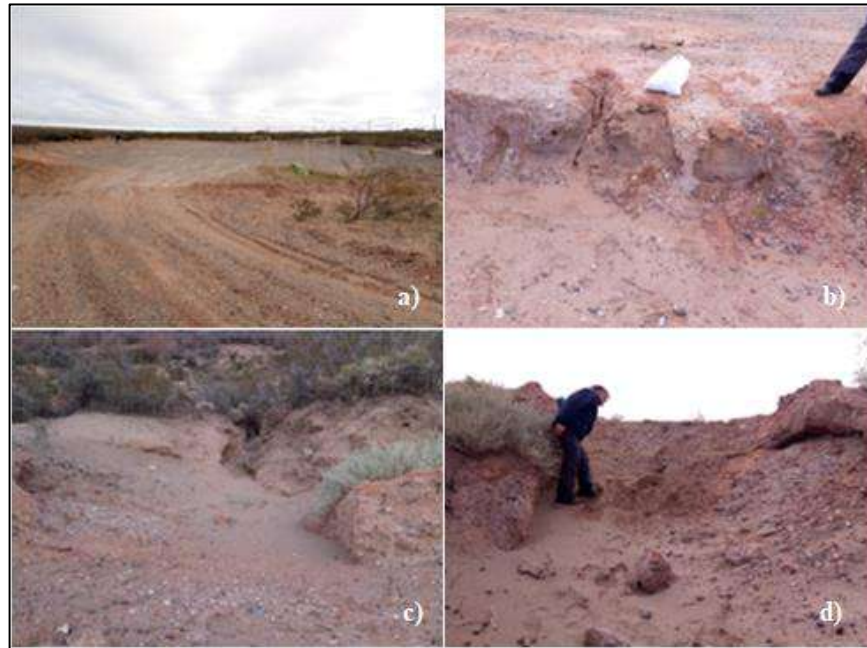


Figura 6.31: a) Locación pozo, b) corte de la canaleta perimetral de la locación, c y d) principio de formación de cárcavas en el borde de la locación.

Se midió la inclinación entre la locación y el camino con un rumbo de 192° con respecto al Norte, resultando ser de 4.9 % (Figura 6.32). Se eligió este rumbo porque es la dirección donde se observa a través de las curvas de nivel una divisora de aguas (figura 6.33).

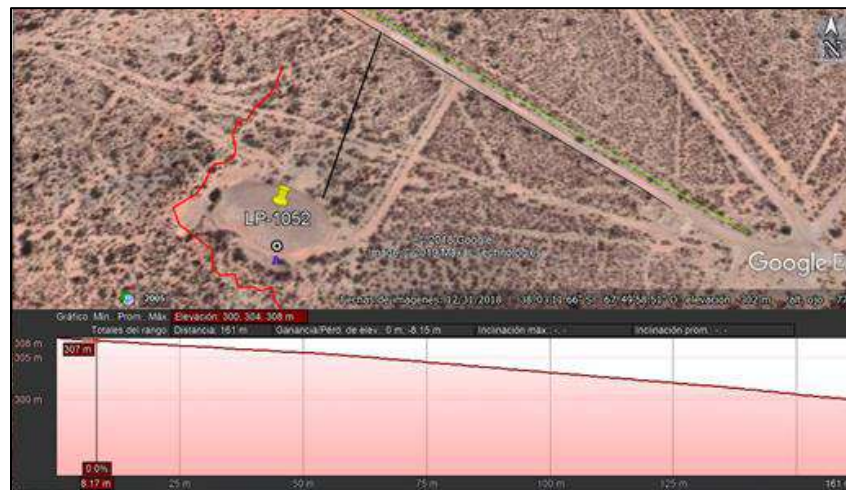


Figura 6.32. Pendiente aguas arriba de la locación (Elaboración a partir de Google Earth).

- a) **Criticidad:** intermedia, en virtud de que como se puede observar en las imágenes no hay líneas de escurrimiento marcadas, pero si indicios de erosión retrocedente.
- b) **Problemática:** los indicios de erosión retrocedente en el lado Sur de la explanada ponen en riesgo el estado de conservación de la locación, como así también la génesis una nueva línea de escurrimiento que puede modificar aún más el paisaje natural.
- c) **Propuesta:** se debe actuar con técnicas de conducción controlada de escurrimientos a través de la realización de *canales de desagüe* y *zanjas de guarda*, que permiten captar el agua que escurre en demasía, y conducirla de forma ordenada a sitios seguros alejándola de los sitios con riesgo hídrico. Por lo tanto, se aísla hidrológicamente el incipiente inicio de la cárcava.

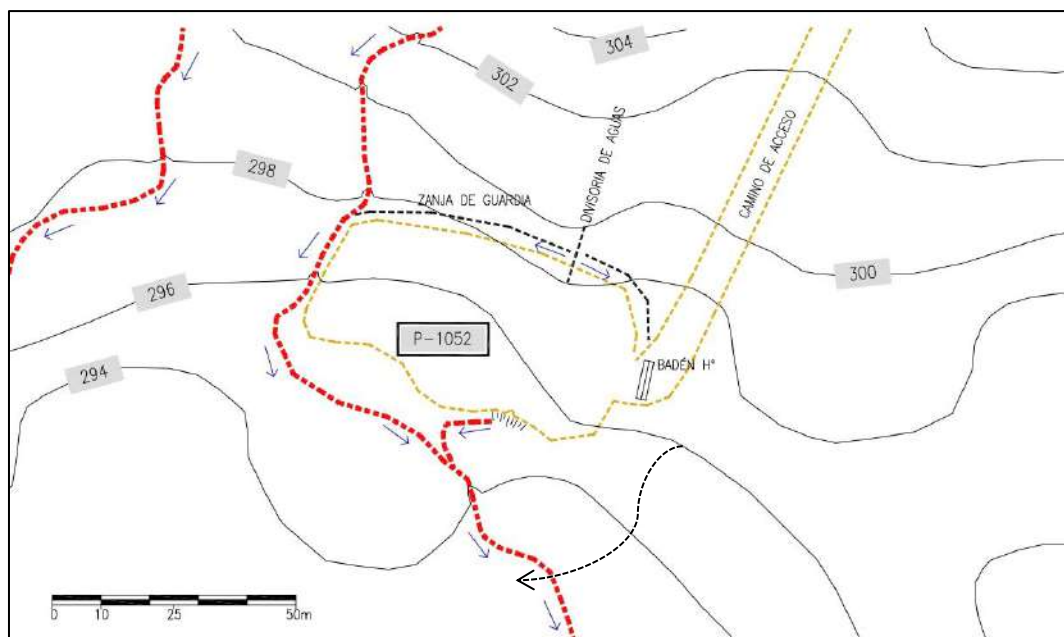


Figura 6.33. Diagrama de la conducción de la escorrentía a través de zanjas de guarda y canal de desagüe.

La concreción de una zanja de guarda (véase apartado 5.2.1.1.) en el margen norte de la locación (figura 6.33), desviara el flujo difuso que proviene de aguas arriba en 2 direcciones paralelos a la explanada, siendo la separación de los sentidos la divisoria de agua. Hacia el Oeste, el flujo va directamente hacia la cárcava que está en las inmediaciones de la locación (figura 6.30). Mientras, que el drenaje que va en el sentido Este y luego Sur, el agua pasa por un badén en el acceso antes de continuar por un canal de desagüe, que finaliza desagotando en la cárcava al Sur de la locación. La velocidad máxima de escorrentía en el canal, según su grado de cobertura vegetal y granulometría, es entre 0,30 – 0,50 m/s (véase tabla 5.1.). En tanto, la pendiente de diseño que se recomienda en la zanja de guarda no debe superar el 0,6%.

Para los canales de desagüe se pueden aplicar 2 opciones. La variante hidráulicamente óptima, es que los canales tengan un revestimiento para resguardar sus dimensiones, permitiendo así la conducción del caudal diseñado ante una tormenta con un periodo de retorno de 10 años. Como segunda opción, se puede diseñar un canal de bordos para evitar un excesivo movimiento de suelo, y así no modificar más el paisaje natural (véase apartado 5.2.1.2.).

Además, para parar la erosión retrocedente de la cárcava se realizara una presa de

geocostales de una altura de 1 metro, para retener los azolves y regenerar el nivel del suelo (véase apartado 5.2.2.4.).

6.2.3. Sitios con prioridad 3

6.2.3.1 Locación del pozo LP-1015

- a) **Localización:** las coordenadas geográficas del pozo son: 38° 3'0.88" Latitud S y 67°49'53.41" Longitud O.



Figura 6.34. Ubicación del pozo LP-1015, con su respectiva área saneada (Elaborado a partir de Google Earth).

- b) **Descripción:** el acceso al pozo LP-1015 se realiza desde Batería 8, recorriendo 1.43 Km en dirección Oeste, por camino de ripio dentro del yacimiento. La locación se encuentra ubicada sobre la terraza del Rio Colorado a 650 metros de este.

Durante el año 2017 se saneo suelo con pasivo ambiental de un posible derrame antiguo en el lateral Sur de la locación (Figura 6.34, en rojo). El retiro de las costras de hidrocarburos también provocó la remoción de vegetación, causando de este modo la disminución de estepa arbustiva, que es uno de los factores hidrológicos claves para disminuir el volumen de escorrentía. (Figura 6.35).



Figura 6.35. Área saneada al sur de la locación, mostrando la decapitación del suelo.

Esto agravó más la situación de la erosión hídrica en el sitio, ya que a 30 metros del vértice sudoeste de la locación, se localiza el comienzo de la cárcava ($38^{\circ} 3'2.48''S$, $67^{\circ}49'55.12''O$) (Figura 6.36). Esta tiene dirección al Sur, y es continuada por la Cárcava N° 3 (Figura 6.34). La dimensión de la cabecera del cañadón es de 2.40 metros de profundidad y 23 metros de ancho.



Figura 6.36. Cabecera de cárcava al Sudoeste de la locación del pozo LP-1015.

Se midió la inclinación entre la cabecera del cañadón y el camino, con un rumbo de 198° con respecto al Norte, resultando ser de 7 % (figura 6.37). Se eligió este rumbo porque es la dirección donde confluye la escorrentía siguiendo el camino de la cárcava.

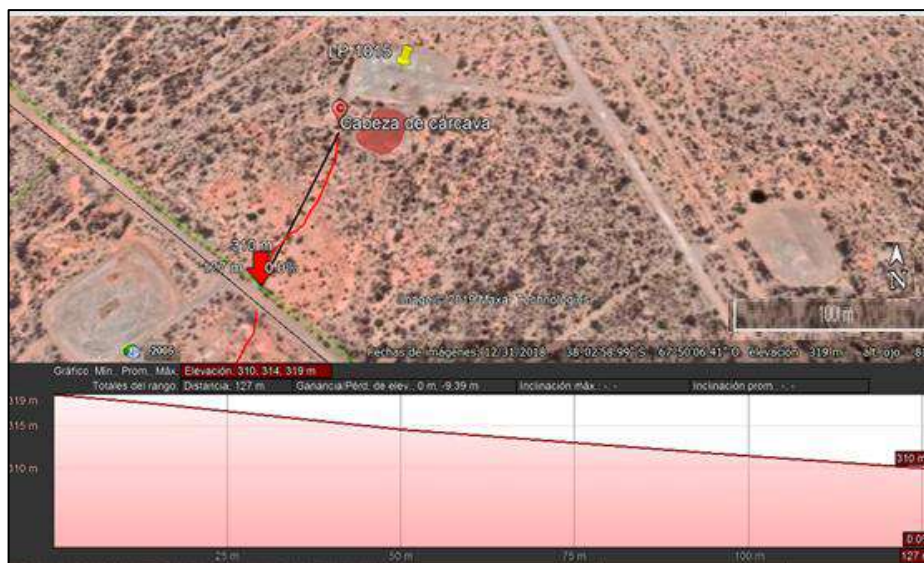


Figura 6.37. Pendiente aguas abajo de la locación. (Elaboración a partir de Google Earth)

- c) **Criticidad:** baja, aunque se debe detener a tiempo la erosión retrocedente de la cárcava en las proximidades de la locación, el sitio se encuentra alejado del curso del río.
- d) **Problemática:** el sitio presenta rasgos de erosión hídrica de forma severa, verificándolo con las dimensiones de la cabecera de cárcava y la continuidad del zanjón hasta las proximidades del camino. Este cañadón está vinculado con el problema ya descrito de la cárcava N° 3 (véase apartado 6.2.1.2.3.), apreciándose en las imágenes satelitales una continuidad entre los cañadones que es separada por el camino. Por lo tanto, además de detener la erosión retrocedente de la cárcava en sí, también hay que aminorar la carga hídrica aguas abajo para no generar mayores inconvenientes a nivel

cabecera de cárcava N°3. Esto es evidenciado en las fotografías donde se visualiza la ruptura de la berma en el lateral Norte del camino (Figura 6.38. a).

- e) **Propuesta:** para combatir con los problemas descritos, se recomienda actuaciones similares como los vistos en el talud próximo al plumín de venteo (véase apartado 6.2.1.2.1.2.), en donde se requieren técnicas para reforzar la estabilidad del talud y detener así la erosión retrocedente a través de estructuras de control de cárcavas. Se plantea la ejecución de vertedero de gaviones o mampostería y/o vallas dinámicas (Figura 6.39).

También se deben disminuir los esfuerzos deformantes, realizando obras de técnicas de manejo de relieve. Se aplicarán terrazas de absorción aguas abajo del comienzo de la cárcava ($38^{\circ} 3'2.48''S$, $67^{\circ}49'55.12''O$), para aumentar la tasa de infiltración y disminuir en forma directa el caudal de escorrentía que puede agravar la situación del carcavamiento. El aterrazamiento, además permite reducir la longitud de la pendiente, por ende, se logra aminorar la velocidad del flujo cuando llega a la locación.



Figura 6.38. a) Ruptura de berma en el camino en el lateral Norte. b) surcos en el lado Sur del camino a nivel de la cabecera de cárcava N° 3 en continuación con el drenaje de la imagen a).

El diseño de la terraza conlleva la construcción de un canal y bordo, con el objetivo de captar el mayor volumen de agua. Para efectivizar el incremento de percolación del agua, se pueden desarrollar en las planicies de las terrazas, las técnicas vegetativas mencionadas en el apartado 5.5. De esta forma, se crea una capa vegetal en superficie, que permiten una mayor intercepción y retención hídrica superficial para aumentar la infiltración.



Figura 6.39. Medidas estructurales aplicables en carcava al Sudoeste del Pozo LP- 1015.

Tabla 6.1

Síntesis de los problemas identificados en sitios según prioridad y medidas estructurales propuestas

| Sitio | | Prioridad | Problema | Medida estructural |
|-----------|------------------------------------|-----------|---|--|
| LP-1020 | | 1 | Línea de escurrimiento lateral oeste y proximidad al río. | Barrera transversal se geocostales. Revegetación. |
| Cárcava 1 | Cabecera de cárcava | 1 | Enrocado mal diseñado, arrastre de material y rotura lateral. | Vertedero de gavión o mampostería. |
| | Talud próximo al plumín de venteo | 1 | Procesos de erosión retrocedente con cárcavas secundarias. Cárcavas laterales (altura 4 metros) que pueden afectar las bases del plumín. | 1) Técnicas de bioingeniería: gavión de roca vegetado, pared de piedra vegetada o rip rap vegetado. 2) Conducción controlada de escurrimiento: zanjas de guarda o Albardón con desagüe lateral protegido. |
| | Línea de inyección del pozo LP-408 | 1 | Descalce de las bases de la línea de conducción por fenómenos de erosión local. Cañería sin apoyo sobre cárcavas mayores. | Construcción de pilares con formas lenticulares o elípticas. Manto de escollera. |
| | Puente ducto del gasoducto | 1 | Descalce de los estribos del puente ducto en sus laterales, presencia de marcados surcos de escurrimiento en los bordes. | Estribos con pilares lenticulares o elípticos. Geotextiles. Barrera de geocostales. Coraza de hormigón. |
| Cárcava 2 | | 1 | Colapso del enrocado de basalto y arrastre de material. | Aguas arriba: terrazas de absorción. Aguas abajo: vertederos de gavión o muros de gravedad de mampostería. |
| Cárcava 3 | | 1 | Enrocado mal diseñado, arrastre de material y erosión hídrica activa. | Aguas arriba: vertederos de gavión o muros de gravedad de mampostería, Dique filtrante de piedra acomodada y Valla dinámica. Aguas abajo: disipadores de energía, Barrera de gavión o geocostales. |

| | | | |
|--------------|---|---|--|
| Pozo LP-1052 | 2 | Riesgo de erosión lateral al sur de la locación, rotura de canaleta perimetral y principio de cárcavamiento | Zanjas de guarda y canal de desagüe. Barrera de geocostales. |
| Pozo LP-1015 | 3 | Erosión hídrica severa y presencia de cañadón y de cárcavas | Aguas arriba: vertedero de gaviones o mampostería y/o vallas dinámicas. Aguas abajo: terrazas de absorción. |

7. DISCUSION

El análisis topográfico, hidrológico y paisajístico; permitió inferir que el proceso de erosión hídrica en el área de estudio es el resultado de la interrelación de varios agentes erosivos dinámicos:

1. Precipitaciones: el área de estudio, al ser una zona árida, las mayores precipitaciones ocurren en el semestre estival (octubre – marzo). Las lluvias propias de este están caracterizadas como de gran intensidad, de tipo convectivas, torrenciales, intermitentes y de corta duración. Esto provoca, el impacto de gran cantidad de gotas de lluvia, causando el desprendimiento de partículas de suelo. Las precipitaciones que caen en las cuencas de recepción aluvionales, pueden dar lugar a escorrentías de notable magnitud que originan aluviones que fluyen por los zanjones y cauces, habitualmente secos y que a su vez desembocan en cauces mayores sobre la bajada hasta alcanzar la planicie aluvial.

2. Propiedades intrínsecas de los suelos: las propiedades del suelo que tienen efecto en la erosión hídrica son el tamaño de las partículas y grado de agregación. Según Cisneros et al. (2012) el tamaño de partículas de máxima susceptibilidad al desprendimiento es de alrededor de 200 micrones (arena muy fina y fina), es decir, en la cual la velocidad del agua necesaria es mínima. Partículas de mayor tamaño son más pesadas, y las de menor tamaño tienen mayores fuerzas de cohesión. En el caso de los suelos del área de estudio, las tasas de erosión son máximas ya que, por un lado, las partículas pueden ser fácilmente desprendidas por su tamaño y por su relativamente baja estabilidad (son fácilmente erodables), y por otro, son suelos que al sufrir encostramiento pueden generar grandes volúmenes de escorrentía.

3. Modificación de la topografía: el movimiento de suelo, producto del saneamiento de áreas contaminadas con pasivos ambientales o cualquier otro impacto antrópico vinculado con el desarrollo de la extracción de petróleo (camino, picadas para tendidos de ductos, líneas eléctricas y accesos a locaciones, instalaciones, locaciones y sus respectivos equipos de bombeo y líneas de conducción), causa la fragmentación del terreno y la formación de taludes inestables sin cobertura vegetal, que quedan expuestos a la erosión.

El inicio de las cárcavas ocurre generalmente en los lugares con cambios abruptos de pendiente, desde las de alto gradiente a las planas. En esos lugares, la energía del agua se disipa, absorbiéndola el material del suelo, que se desagrega, produciéndose un pequeño desnivel. Esa diferencia de nivel aumenta la energía de caída, por ello la desagregación es más intensa. El avance de la cabecera se produce en dirección inversa a la del flujo, es decir de forma retrocedente, y es un proceso de retroalimentación positiva porque a medida que avanza la cabecera, su altura es cada vez mayor y por lo tanto, lo es también la energía potencial.

Los cambios en el terreno por acción antrópica, también inciden en la hidrología superficial natural, ya que alteran la dinámica del drenaje del agua.

4. Desmonte y decapitación del suelo: Estas prácticas, realizadas para la construcción de picadas de líneas sísmicas durante la etapa de prospección, locaciones y caminos, requiere la eliminación de las primeras capas fértiles del perfil del suelo y la remoción de la vegetación. Esto agrava terriblemente la susceptibilidad ambiental a la erosión, debido a que la cobertura vegetal impide el impacto directo de las gotas de agua lluvia sobre la superficie del terreno, disipando la energía que llevan las mismas; y los sistemas radiculares, contribuyen a la resistencia mecánica del suelo.

Otras prácticas, como el relleno, es el aporte de material para brindar al terreno un mayor coeficiente de soporte para instalar maquinarias y equipos, o para reponer en

sitios que se ha extraído suelo empetrolado; y la compactación en los sitios donde se instalan las locaciones de explotación, impiden la infiltración del agua. De este modo, se incrementa el caudal de escurrimiento superficial.

Como resumen, el cumulo y la interacción de los siguientes factores integran un ambiente natural fácilmente vulnerable: sedimentos disgregables en superficie, una configuración del terreno accidentada y con una extensa superficie expuesta por escasa vegetación, pendientes significativas, una densa red de drenaje formada por zanjonés y cauces de arroyos secos subparalelos. Todo esto conlleva a un mayor volumen y concentración lineal del escurrimiento pluvial, sumado a que las irregularidades del terreno permiten la unión de varios surcos, formándose zanjas de gran tamaño, conocidas como cárcavas. Este tipo de erosión, tiene gran preponderancia por sus efectos nocivos en la desestabilización de instalaciones petroleras en el área de estudio.

Es un proceso que disecta al suelo profundamente, generando zanjonés en sitios donde hay concentración de volúmenes considerables de escorrentía. Al hacerse más profunda la socavación, el perfil va adquiriendo mayores pendientes aguas arriba, intensificándose las pérdidas de suelos por erosión retrocedente. (Figura 7.1)



Figura 7.1. Esquema de componentes de una cárcava con erosión retrocedente.

La inestabilidad que presentan las cárcavas, tanto en sus márgenes como en su lecho, ante la ocurrencia de cada lluvia torrencial, produce modificaciones en su geometría, en especial luego del paso de las tormentas de mayor magnitud. Concurren para conformar este factor, la topografía que tiene en el sector norte un porcentaje con pendiente moderada (entre 6 y 8°), pero en el caso particular de la Batería 8 la estabilidad de los taludes en las profundas cárcavas se caracteriza por presentar pendientes entre 27° a 33°, teniendo en cuenta que el ángulo del talud natural es igual al ángulo de rozamiento interno por el acodamiento de los granos según el criterio tomado por Terzaghi, Peck y Mesri (1996), siendo este el ángulo de rozamiento interno de un suelo arena algo limosa con baja o nula cohesión desestabilizado lo que los hace fácilmente erosionables (con erosión severa) y con limitaciones geotécnicas alta de los suelos (véase Tabla 4.2) que constituyen los terrenos naturales de la zona.

El control de erosión en áreas de producción petrolera, con procesos de evaluación de metodologías de control en el área de influencia de la Batería 8, constituye una

alternativa para aplicar en un futuro para controlar los procesos de erosión y favorecer la recuperación de la zona.

Entre las principales causas que incrementan los procesos de erosión de los taludes se destacan: a) Talud muy empinado por corte o relleno, b) exceso de presión de poros por niveles freáticos altos o interrupción de la trayectoria de drenaje; c) socavación debido a la erosión de agua superficial y pérdida de resistencia con el tiempo; d) la concentración de aguas de escorrentía que fluyen por un mismo sitio; e) trazos de caminos por sitios no recomendables geológicamente, f) presencia de aguas sub superficiales que saturan el terreno y propician movimientos de flujos; g) ausencia de cunetas en las carreteras o a la construcción de cunetas sin revestimiento; h) falta de mantenimiento de cunetas y cajas colectoras de aguas de escorrentía y i) el grado y longitud de la pendiente desde planas hasta muy escarpadas (mayores del 75%).

Para definir entre las posibles medidas técnicas de protección de las tuberías e instalaciones, con el fin de reducir al máximo la posibilidad de ocurrencia de roturas, se debe evaluar cada punto de conflicto en particular, teniendo una consideración criteriosa de las características de la línea de escurrimiento en el lugar (ancho, condiciones naturales, trazado en planta, altura de las márgenes, grado de vulnerabilidad, etc.). Estas recomendaciones tendrán como criterio la aptitud geotécnica del lugar para realizar las estructuras propicias. Cabe mencionar que las propuestas que se describirán son enmarcadas en la etapa de estudios de anteproyecto geotécnicos.

Debe tenerse presente que, debido al proceso dinámico propio del fenómeno aluvional, resulta imposible dar soluciones técnicas que tengan el total de garantía de efectividad y que sean capaces de asegurar que bajo ninguna circunstancia se puede producir un incidente. Obviamente que sí permiten lograr, estadísticamente, una notoria reducción de los casos de falla.

Como regla general para solucionar los efectos de descalce o pasaje del agua por un costado de la protección, dejando sin contención los extremos y el fondo de la misma, se debe hacer un redimensionamiento de la longitud del empotramiento en los márgenes y fijar una profundidad de fundación con una capacidad portante suficiente para que las obras actúen de forma eficiente. De este modo, se evitan que ocurran asentamientos diferenciales que puedan llegar a dañar o afectar la funcionalidad de la defensa.

Este trabajo tiene mucha importancia por cuanto se enfoca a una de las Baterías que más riesgo presenta en materia de afectación de los procesos erosivos sobre sus instalaciones claves (líneas de conducción y plumín de venteo). Además, se puede concluir que los recintos de tanques, que cumplen con lo requerido por la normativa vigente en nuestra provincia (Decreto 458, Capítulo III, artículo 36, inciso g, que expresa: *“El sistema de los tanques de medición y colección de las baterías estará ubicado dentro de un recinto protegido con bordes de contención de por lo menos 0,50 metros de altura. El recinto así formado deberá poder alojar un volumen del tanque mayor, más el cincuenta por ciento (50 %) del volumen del resto de los tanques. En el caso de un solo tanque se tomará un volumen del ciento diez por ciento (110 %) de la capacidad del tanque, y su piso y paredes interiores estarán debidamente impermeabilizados garantizando la no infiltración, dando cuenta de la metodología empleada a la Autoridad de Aplicación. Asimismo, los tanques de las baterías y de almacenamiento deben poseer conductos de rebase a pileta de emergencia u otro sistema alternativo diseñado para garantizar el seguro alojamiento de los fluidos eventualmente derramado*) no presentan un riesgo potencial de contaminación del río Colorado ante eventuales roturas de tanques.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La ejecución de las medidas estructurales dentro de un entorno vulnerable, pueden implicar un alto costo de inversión en el momento de la construcción, pero dicha construcción asegurará la mitigación de los efectos en un posible derrame de hidrocarburos y/o agua de producción, actuando en la prevención del riesgo mas no en la atención del desastre.
- Se deben tomar medidas para anticiparse a potenciales eventos de colapso de laderas y de erosión retrocedente de suelos que afecten a instalaciones críticas, por medio del uso de tecnologías de monitoreo y alerta temprana para proteger la infraestructura y el río Colorado.
- Se identificaron ocho áreas críticas, que fueron diferenciadas según tres niveles de prioridad, para cada una de ellas se establecieron diversas medidas de control estructural.
- Se propusieron trabajos de control de erosión para evitar el incremento de los procesos de cárcavamiento en las cabeceras de las cárcavas 1, 2 y 3, modificando los actuales enrocados por estructuras más estables como vertederos de gavión y/o mampostería, diques filtrantes de piedra acomodada, vallas dinámicas y presa de geocostales. Para cualquiera de estas estructuras de control en las cabeceras, es necesaria la realización de obras complementarias permitiendo que el agua sólo ingrese por la estructura de protección principal con el objetivo de que no se produzcan descalce o pasaje del agua por los costados de la protección.
- Se recomiendan medidas de control de erosión en el talud próximo al plumín de venteo que combinen técnicas de bioingeniería con la conducción controlada de escurrimientos aguas arriba.
- Un problema marcado es el descalce de las bases de hormigón de la línea del pozo inyector LP-408, ya que la misma atraviesa profundas cárcavas y líneas de drenaje, para lo que se sugieren para su soporte la construcción de pilares con formas hidrodinámicas y manto de escollera con el fin de mitigar la erosión local.
- La puente ducto del gasoducto que se ubica sobre el cañadón principal en el lateral Este de la batería presenta en las bases de los estribos indicios de descalce y surcos, para garantizar la integridad de la estructura es necesario reformular la distancia de los estribos con respecto a los márgenes y su refuerzo a través de la colocación de geotextiles.
- En los sitios de menor prioridad, que son los pozos LP-1052 y LP-1015, se observan roturas de las canaletas perimetrales de la locación y principios de erosión retrocedente con la formación de profundas líneas de escurrimiento que pueden afectar la locación, en ellas se sugiere la construcción de terrazas de absorción en combinación con técnicas de conducción controlada de escurrimientos.

Como complemento a la evaluación realizada en el presente estudio, se indican algunas recomendaciones que pueden seguirse para el manejo operativo del área. La finalidad de estas sugerencias es optimizar los recursos para lograr mayor eficiencia en el manejo hídrico de las zonas operativas:

- El área de estudio para controlar la erosión de los suelos es recomendable que se realicen monitoreos periódicos, especialmente posterior a tormentas intensas en la

zona de estudio para identificar inicios de fenómenos de erosión y sedimentación modifiquen la red de drenaje natural.

- Efectuar la menor perturbación posible en el ambiente para controlar el aumento excesivo de las superficies sin vegetación, la cual protege al suelo de los efectos erosivos de la escorrentía superficial. Controlar específicamente todos los movimientos de suelo, así sean acopios transitorios.
- Cuando exista la posibilidad, el tendido de ductos, caminos y en general toda obra lineal, es conveniente realizarla de forma paralela a las curvas de nivel. De esta forma, no se crean vías preferenciales de escurrimiento y se genera un aterrazamiento de las pendientes.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Ayala Carcedo, F. J. (1998). *Introducción a los riesgos geológicos*. En IGME (1988) *Riesgos geológicos. I*, 3-21. Madrid: Serie Geología Ambiental.
- Bifaretti, M y Sanchez, V. (2008). *Estudio del Impacto de la Actividad Petrolera Sobre el Medioambiental. Los Pasivos Ambientales*. En *III Jornadas Universitarias Internacionales de Contabilidad*. Montevideo: facultad de Ciencias Económicas y de Administración. Universidad de la República. Tomado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2860146>
- Buss, C (2017). *Detección temprana de contaminación por hidrocarburos en áreas de riesgo hídrico en 25 de Mayo, La Pampa*. Tesina de grado para obtener el grado académico de Ingeniero en Recursos Naturales y Medioambiente. Facultad de Ciencias Exactas y naturales, Universidad Nacional de la Pampa.
- Cabrera, Á. L. (1976). *Regiones fitogeográficas argentinas*. Enc. Arg. Agr. y Jard. Tomo II, Fasc. 2. Acmé. Buenos Aires.
- Cano, E; Casagrande, G; Conti, H.A.; Fernández, B; Heiva, R; Lea Plaza, J.C.; Maldonado Pinedo, D.; Martínez, H.M.; Montes, M.A y Peña Zuebiate, C.A. (1980). *Inventario integrado de los recursos naturales de La Pampa*. La Pampa: INTA. Gobierno de La Pampa – UNLPam.
- Casadío, S y Montagna, A.O (2015). *Geología de la Cuenca Neuquina y sus sistemas petroleros: una mirada integradora desde los afloramientos al subsuelo*. – 1° Ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundación YPF - Universidad Nacional de Río Negro. 8-21
- Castillo Rodríguez, C. (2012). *Metodología de medida de la erosión por cárcavas y modelado de su control mediante diques de retención*. . Tesina de grado para obtener el grado académico de Dr. Ingeniero de Montes. Universidad de Córdoba, Córdoba.
- Cisneros, J., Cholaky, C., Cantero Gutiérrez, A., González, J., Reynero, M., Diez, A., Bergesio, L., Cantero, J.J, Nuñez, C., Amuchástegui, A., Degioanni, A.. (2012). *Erosión hídrica: principios y técnicas de manejo*. Rio Cuarto, Córdoba: UniRío Editora.

- Cueva Alanguia, P.E. (2018). *Propuesta de estructura de disipación de energía para el control de la pérdida de suelo por erosión hídrica en cárcava en la microcuenca Sonocco Juli – Puno*. Tesina de grado para obtener el grado de Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional del Altiplano, Perú.
- Derpsch, R., Roth, C.H., Sidiras, N. y Köpke, U., (1991). *Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Sonderpublikation der GTZ, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, TZ-Verlagsgesellschaft mbH, Rossdorf, (245).272.*
- Deladino, L. (2000). *Caracterización geohidrológica de la provincia de La Pampa a través de transectas representativas*. Trabajo Final de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Exactas y Naturales, UNLPam, Santa Rosa. Inédito. 202 p
- Suárez Díaz, J. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Colombia: Universidad Industrial de Santander.
- Ellison, W. D. (1947). *Soil Erosion*. Soil Sci. Soc. Am Proc., Madison, 12: 479-84.
- Escobar Potes, C. E y Duque Escobar, G. (2016). *Geotecnia para el trópico andino*. Boletín Digital. Capítulo 5. Universidad de Manizales, Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/53560/>
- Falconi Benitez, F (2004). *Los pasivos de la industria petrolera*. En: Fontaine, G (coord.). *Petróleo y Desarrollo Sostenible en Ecuador. 2 las Apuestas*. (pp.27-35). Ecuador: Serie FLACSO.
- Fantini, M. A. (2016). *Geología Ambiental*. Trabajo presentado en clase de Geología Ambiental, agosto, Argentina.
- Farias, H.D. (2009). *Propuesta Metodológica para la evaluación del riesgo aluvional en cursos efímeros atravesados por conductos subterráneos*. Cuarto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos. Salta, Argentina.
- García Bonilla, N.A y Restrepo Albarello, A.C (2016). *La Integración de las medidas estructurales y no estructurales para la Gestión del Riesgo de Desastres por Deslizamiento en Colombia*. Colombia: Universidad Católica de Manizales.
- Geoservice S.R.L. (2013). *Estudio y proyecto de obras de defensas aluvionales*. S.l.

- Hidroar S.A., Servicios Hidrológicos y Ambientales. (2006). *Construcción de pozos freáticos y estudios de recursos hídricos subterráneos en el sector pampeano del área 25 de Mayo – Medanito SE*. s.l.
- Howell, J. A., Schwarz, E., Spalletti, L. A. y Veiga, G. D. (2005). *The Neuquén Basin: an overview*. En: Veiga, G. D., Spalletti, L. A., Howell, J. A. y Schwarz, E. (eds.). *The Neuquén Basin, Argentina: A Case Study in Sequence Stratigraphy and Basin Dynamics*. London: Geological Society Special Publications. 252: 83-107.
- Leopold, L. B., Wolman, M. G. & Miller, J. P. (1964). *Fluvial Processes in Geomorphology*. Dover Publications, Inc. New York, USA.
- Levorsen, A.I. (1977). *Geología del Petróleo*. Buenos Aires: EUDEBA.
- Meyer, L.D. (1976). *Soil erosion concepts and misconceptions*. In: Third Federal Inter-Agency Sedimentation Conference. Denver - Colorado: Sedimentation Committee Water Resources Council.
- Montoya Choque, J., Amusquivar Fernández, J, Flores Guzmán, A, Mollo Mollo, A y Sánchez Pereira, P., (2020). *Efectos ambientales y socioeconómicos por el Derrame de Petróleo en el río Desaguadero*. (1° ed.) La Paz: Fundación Programa Investigación Estratégica.
- Dirección Nacional de Vialidad. (s.f.). *Normas de ensayo*. Buenos Aires.
- Pereyra, F., Lapido, O.R., Tchilinguirian, P. (2011). *Geología Ambiental*. Relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. Neuquén.
- Pérez, D.R. (2010). *Rehabilitación en el desierto: ensayos con plantas nativas en Aguada Pichana, Neuquén, Patagonia*. Buenos Aires: Vázquez Mazzini Editores.
- Rossello E. y Barrionuevo M. (2005). El hemigraben invertido del yacimiento 25 de Mayo –Medanito SE: Evolución geodinámica de un Rift en borde de cuenca. En Actas del 6° Congreso de Hidrocarburos. Mar del Plata: En CD.
- Ruiz Rivadeneyra, R (2014). *Control de erosión en áreas de producción petrolera con procesos de evaluación de metodologías de control en el Lote 121 sector sur en la zona del río Napo Loreto – Perú*. Tesis para optar el título de Ingeniero en Ciencias Forestales. Iquitos: Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP).

- Suárez Díaz, J. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Bucaramanga, Colombia: División Editorial y de Publicaciones de la Universidad Industrial de Santander.
- Soriano García, D. (2008). *Análisis y Optimización, con ayuda de Software especializado, del Sistema de Protección Contra Incendio de un Parque de Almacenamiento de Combustible*. Proyecto fin de carrera de Ingeniería Industrial. Universidad de Sevilla, España. Recuperado el 4 de mayo de 2019, desde http://biling.us.es/proyectos/buscar/analisis+y+optimizacion%2C+con+ayuda+de+software+especializado%2C+del+sistema+de+proteccion+contra+incendio+de+un+parque+de+almacenamiento+de+combustible/en/todo/and//en/todo/limitado_a/odos/entre/1970/y/2019//1.
- Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G. (1996) *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 3rd Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Umazano A, E Adema y S Aimar. (2004). *Tajamares: una tecnología alternativa para la zona árida-semiárida de La Pampa*. EEA INTA Anguil, (76), 52.
- Vergani, G, Arregui, C y Carbone, O. (2011). *Sistemas petroleros y tipos de entrapamientos en la Cuenca Neuquina*. En relatorio del XVIII Congreso Geológico Argentino. (pp.641 a 656). Neuquén
- Villamarin Paredes, S.C. (2013). *Manual básico de diseño de estructuras de disipación de energía hidráulica*. Tesina de grado para obtener el grado de Ingeniero Civil. Ecuador.

10. GLOSARIO

Azolves: sedimentos y restos vegetales que se transportan en las escorrentías de agua.

Cárcavas: socavones producidos en suelos de lugares con pendiente a causa de las avenidas de agua de lluvia.

Ensayo granulométrico: es el cálculo del porcentaje relativo de abundancia de los distintos tamaños de granos que tiene una muestra de suelo o sedimento.

Erosión: es el desgaste o denudación de suelos y rocas que producen distintos procesos geológicos en la superficie de la Tierra.

Erosión hídrica: comprende la segregación, transporte y sedimentación de las partículas del suelo producida por las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial.

Erosionabilidad o erodabilidad: es una medida de la susceptibilidad al desprendimiento y transporte de las partículas que constituyen el suelo por los agentes de la erosión.

Estribo: se ubican en los extremos y empalman con los terraplenes de aproximación al puente.

Estudio de anteproyecto: es una propuesta de proyecto donde son trazadas o esbozadas las líneas fundamentales que se pretenden desarrollar posteriormente en el proyecto. Su finalidad es organizar ideas y empezar a delimitar los objetivos.

Freatímetro: son perforaciones hechas para el control de la altura y/o la toma de muestras para el análisis del agua subterránea.

Fundación: es la parte de la construcción que se apoya sobre el terreno, constituye así la base de la obra y por tanto debe satisfacer la función estática de soportar los pesos de la superestructura en las peores condiciones de carga y repartirlos sobre el terreno en la profundidad necesaria.

Hidrocarburos: grupo de compuestos orgánicos que contienen principalmente carbono e hidrógeno. Son los compuestos orgánicos más simples y pueden ser considerados como las sustancias principales de las que se derivan todos los demás compuestos orgánicos.

Petróleo, Gas Natural, condensados, líquidos del Gas Natural e hidratos de metano.

Locación petrolera: solar con capacidad geomecánica para la realización de todas las actividades de extracción de petróleo.

Mampostería: sistema de construcción que consiste en superponer bloques de rocas con una mezcla de cemento o cal, con arena y agua.

Mesotermal: Se caracteriza porque la temperatura media del mes más frío es menor de 18 °C y superior a -3 °C y la del mes más cálido es superior a 10 °C. Las precipitaciones exceden a la evaporación.

Mortero: es un compuesto de conglomerantes inorgánicos, agregados finos y agua, y posibles aditivos que sirven para aparejar elementos de construcción tales como ladrillos, piedras, bloques de hormigón, etc..

Sensibilidad ambiental: el potencial de afectación (transformación o cambio) que pueden sufrir los componentes ambientales como resultado de la alteración de los procesos físicos, bióticos y socioeconómicos debidos a las actividades de intervención antrópica del medio o debido a los procesos de desestabilización natural que experimenta el ambiente.

11. ANEXO DE FIGURAS

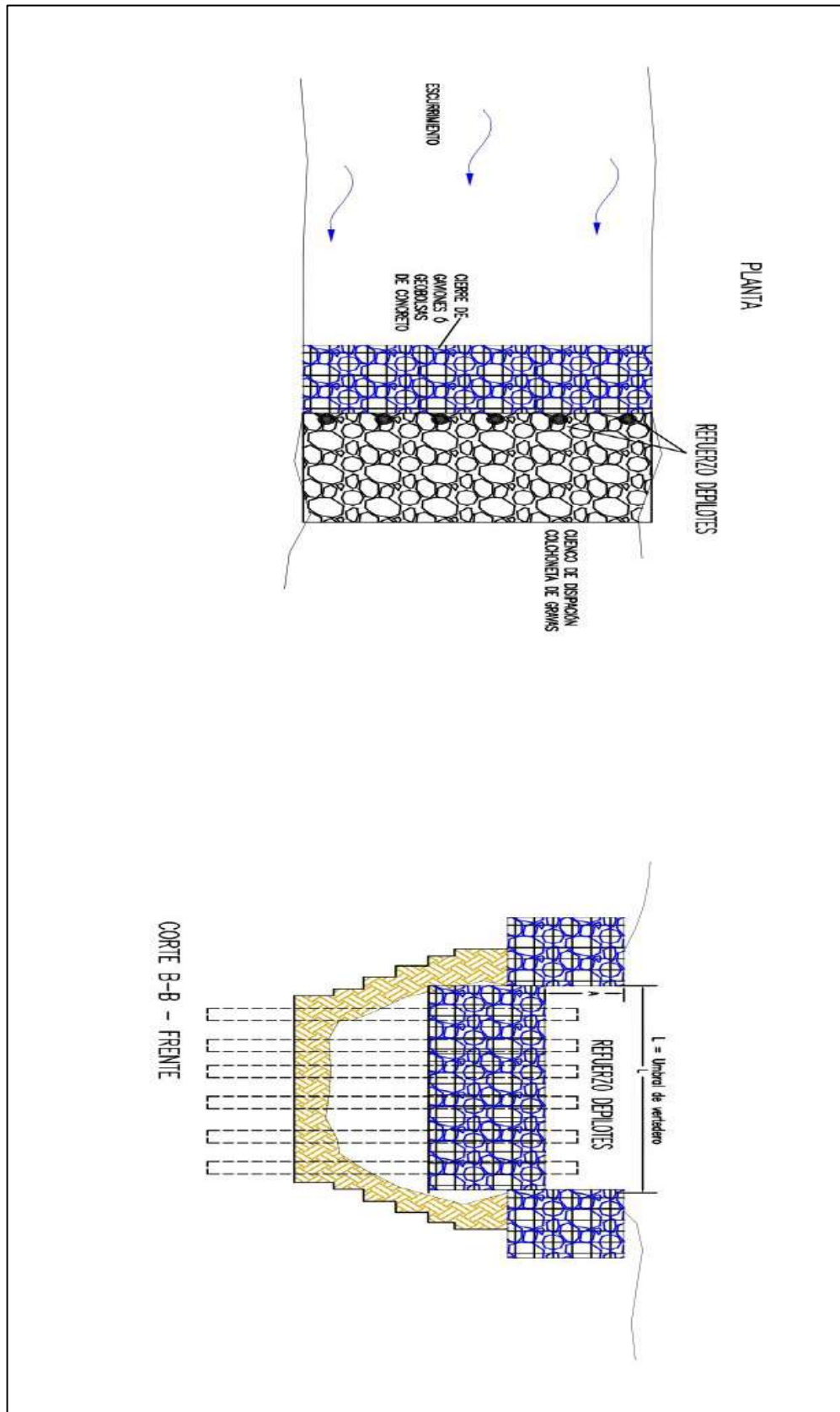


Figura 1. Vertedero de Gavión.

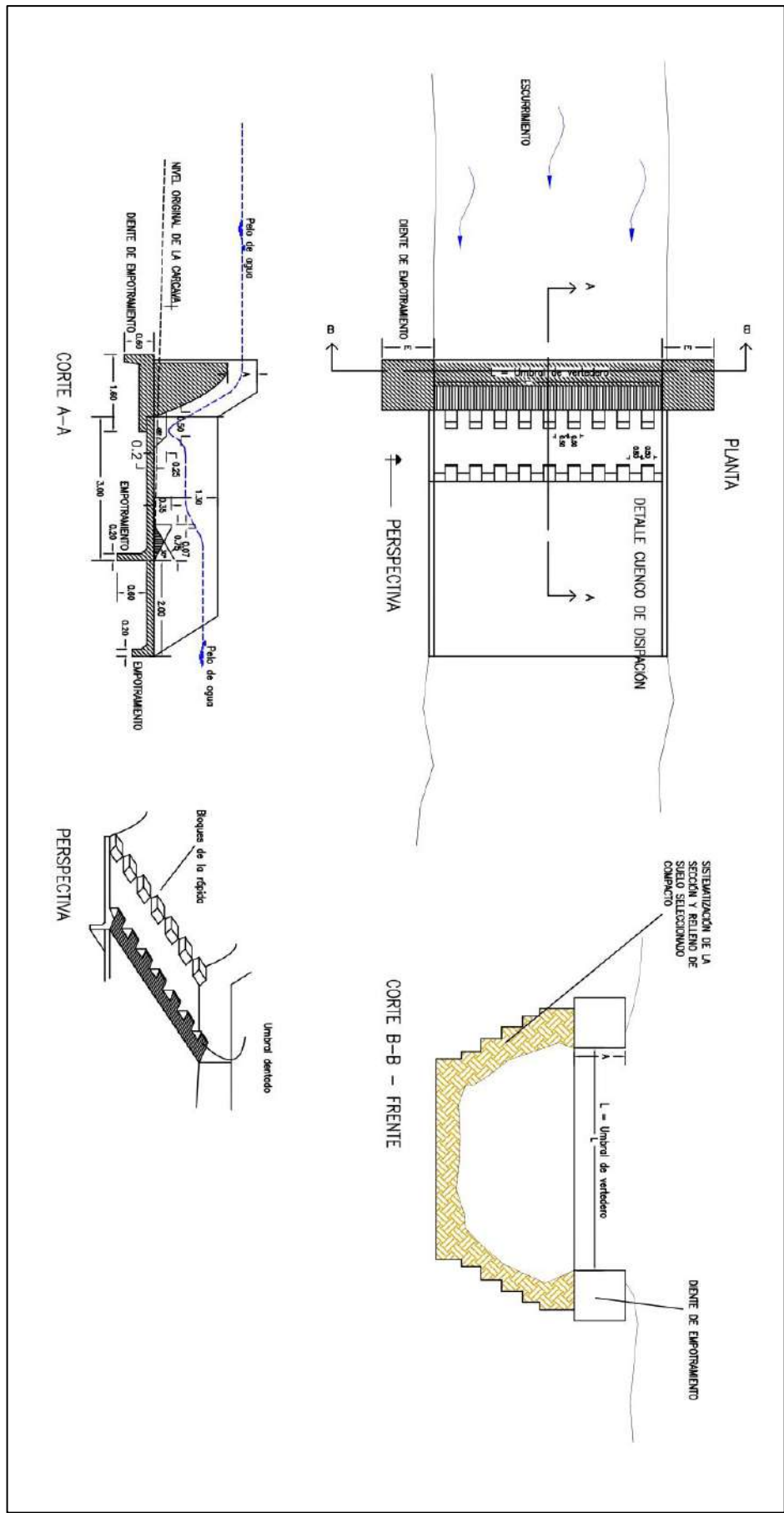


Figura 2. Vertedero de mampostería.