

U N I V E R S I D A D D E C O N C E P C I O N

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente



**LOS IMPACTOS AMBIENTALES EN EL MEDIO FÍSICO DE LA
CONSTRUCCIÓN DE UN GASODUCTO EN LA RESERVA NACIONAL ÑUBLE
VIII REGION DE CHILE.**



CLAUDIO ALBERTO SANHUEZA SANDOVAL

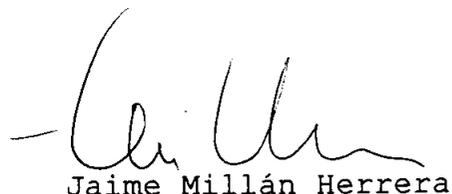
MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO DE
INGENIERO FORESTAL.

CONCEPCIÓN - CHILE

2001

LOS IMPACTOS AMBIENTALES EN EL MEDIO FÍSICO DE LA
CONSTRUCCIÓN DE UN GASODUCTO EN LA RESERVA NACIONAL ÑUBLE
VIII REGION DE CHILE.

Profesor Asesor



Jaime Millán Herrera

Profesor Titular;
Ingeniero Forestal; Dr.

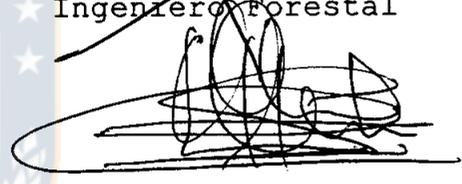
Profesor Asesor



Jaime García Sandoval

Profesor Asociado;
Ingeniero Forestal

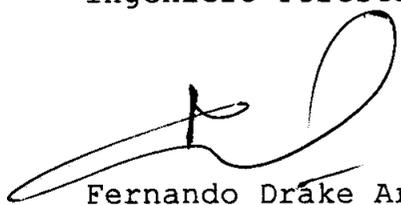
Director Departamento



Manuel Lineros Parra

Manejo de Bosques y Medioambiente Profesor Asistente;
Ingeniero Forestal; Mg.

Decano Facultad de Ciencias
Forestales



Fernando Drake Aranda.

Profesor Asociado;
Ingeniero Forestal

Calificación de la memoria de título:

Jaime Millán Herrera : Ochenta y cinco puntos.

Jaime García Sandoval: Ochenta y cinco puntos.

AGRADECIMIENTOS.

Gracias al creador por su dirección e innegable ayuda en la obtención de la profesión anhelada.

Agradezco en especial a mi madre por la entrega de su constante dedicación. A mi padre por todo el apoyo brindado, a mi esposa por su amor, comprensión y paciencia, a mis hijos Matías y Benjamín, por que fueron la energía necesaria en los momentos de flaqueza.

Reconocer y agradecer a mis profesores asesores Srs. Jaime Millán y Jaime García, por que representan la verdadera vocación y sentir de nuestra universidad en excelencia y el conocimiento.

Quisiera dar las gracias a Ramón Abarca y Carlos Prado, por su apoyo, confianza y amistad durante mi paso por el Proyecto Gasoducto del Pacífico.

También agradecer a mi amigo Aurelio de Diego, por el tiempo necesario para el término de esta memoria.

A mi querida Universidad, por permitir el desarrollo libre del espíritu.

Gracias a todos, quienes de una u otra manera permitieron que esto se lograra; profesores, secretarias, auxiliares, amigos en general.

INDICE DE MATERIAS.

CAPITULOS	PAGINA
I. INTRODUCCION.....	1
II. METODOLOGIA	3
2.1. Descripción geográfica del proyecto.....	3
2.2. Descripción técnica del proyecto.....	4
2.3. Descripción del ambiente físico de la Cordillera de los Andes en la VIII región, sector Reserva Nacional Ñuble	6
2.3.1. Clima y meteorología.....	6
2.3.2. Geología y geomorfología.....	10
2.3.3. Suelo.....	11
2.3.4. Red de drenaje.....	12
2.3.5. Vegetación y fauna.....	13
III. Los impactos del proyecto.....	16
3.1 Metodología de Evaluación de Impactos.....	16
3.2. Impactos en el Medio Físico.....	16
3.2.1. Impactos y medidas asociadas con el suelo.....	16
3.2.2. Impactos y medidas asociadas a masas de agua.....	36
3.2.3.1 Impactos y medidas asociadas a la vegetación.....	44
3.2.4. Impactos y medidas asociadas a la fauna.....	47

IV. Evaluación de efectos y resultados en
 Las acciones de prevención, mitigación
 Y de compensación para el Medio Físico.....51

4.1 Efectos y resultados de las medidas
 de prevención y de mitigación en el
 suelo.....51

4.2 Efectos y resultados de las medidas
 de prevención y de mitigación en
 cursos de agua.....59

4.3 Efectos y resultados de las medidas
 prevención, mitigación y de
 compensación en la vegetación.....63

4.4 Efectos y resultados de las
 medidas de prevención, mitigación
 y compensación en la fauna.....64

V CONCLUSIONES.....69

VI RESUMEN.....71

SUMMARY.....72

VII BIBLIOGRAFIA.....73

INDICE DE TABLAS.

TABLA N°		PAGINA
<u>En el Texto</u>		
1	Temperaturas y Precipitaciones Mensuales RNN..	8
2	Tipos de erosión.....	25
3	Factor de erodabilidad eólica del suelo.....	27
4	Espaciamiento de bermas.....	32
5	Evaluación de las distintas medidas aplicadas al Medio Físico en la construcción.....	66



INDICE DE FIGURAS.

FIGURA N°	PAGINA
<u>En el Texto</u>	
1	Trazado del Gasoducto VIII Región..... 4
2	Ubicación de ductos en zona de paralelismo..... 6
3	Secuencia Constructiva de un Gasoducto..... 7
4	Velocidad y Dirección del viento RNÑ..... 9
5	Esquema Hidrográfico de la Reserva Nacional Ñuble13..... 13
6	Sectorización de la vegetación en la línea de Base RNÑ..... 15
7	Diseño de pista..... 20
8	Efecto Barrera..... 38
9	Sector desvío Mal Paso..... 52
10	Vista cerro Huemul ambas pistas 55
11	Estabilización de taludes..... 56
12	Seleccionadora de material fino para cubrimiento de la tubería puesta en la zanja... 59
13	Berma de desviación..... 60
14	Sistema manejo de aguas lluvias..... 61
15	Bermas de desviación..... 62

I. INTRODUCCION.

La realización de grandes proyectos trae consigo una serie de Impactos positivos, neutrales y/o negativos. Estos Impactos quedan identificados en el Estudio de Impacto Ambiental (E.I.A) de cada proyecto. Junto a ellos, el estudio considera una serie de medidas mitigadoras, las cuales tienen por finalidad evitar o disminuir los efectos adversos del proyecto o actividad, cualquiera sea su fase de ejecución. También incluye medidas de restauración que tienen por finalidad reponer uno o más de los componentes o elementos del medio ambiente a una condición similar a la que tenían con anterioridad al daño causado, o en caso de no ser ello posible, restablecer sus propiedades básicas. Finalmente, considera medidas compensatorias que tienen por objeto producir o generar un efecto positivo alternativo y equivalente al efecto adverso identificado (REGLAMENTO S.E.I.A, 1997).

En la construcción de un proyecto, el cumplimiento adecuado de las medidas de mitigación estipuladas en el E.I.A y la aplicación de técnicas efectivas en las medidas de restauración son la base fundamental para la disminución de los efectos negativos.

Este estudio analiza la construcción del Gasoducto del Pacífico en la Reserva Nacional Ñuble, VIII Región, y muestra los distintos impactos producidos al medio físico, especialmente los relacionados con el movimiento de tierra, y la aplicación de medidas de prevención, mitigación y compensación para cada etapa de construcción y los efectos provocados en la minimización de los impactos

producidos en la instalación de tuberías subterráneas en la zona de la Reserva Nacional Ñuble. Para ello, analiza datos de terreno obtenidos durante la fase de construcción y luego de transcurrido un periodo invernal. También busca mostrar como las ciencias forestales y ambientales pueden contribuir en la disminución de los impactos en proyectos de esta naturaleza.



II. METODOLOGIA.

Durante los años 1998, 1999 y 2000 para la construcción del Proyecto Gasoducto del Pacifico en la zona de la Reserva Nacional Ñuble VIII Región de Chile, se aplicaron diversas medidas de mitigación, de prevención y de compensación para los impactos en el Medio Físico (suelo, agua, vegetación y fauna). Dichas medidas fueron observadas y evaluadas diariamente en terreno por el autor de esta Tesis, a través de una inspección y control ambiental en todas las fases de construcción del gasoducto y en la restauración de la servidumbre afectada.

A continuación se presenta la descripción de la zona de influencia y del proyecto estudiado.

2.1. Descripción geográfica del proyecto.

La Reserva Nacional Ñuble (RNÑ) pertenece al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado y está ubicada en la zona cordillerana de la Octava Región (Figura 1). El Gasoducto del Pacifico es una tubería que recorre cerca de 543 kilómetros y permite el transporte de gas natural con una línea principal entre la provincia de Neuquén y Talcahuano, y una serie de ramales tendientes a distribuir este recurso a toda la VIII región de Chile. El trazado (Gasoducto del Pacifico) nace en la localidad de Loma La Lata, Neuquén (Argentina) y atraviesa la Cordillera de Los Andes a través del Paso Butamallín (1915 metros sobre el nivel del mar), siguiendo la ruta del Oleoducto Trasandino (OT), construido en 1993-1994 a través de la Reserva Nacional Ñuble.

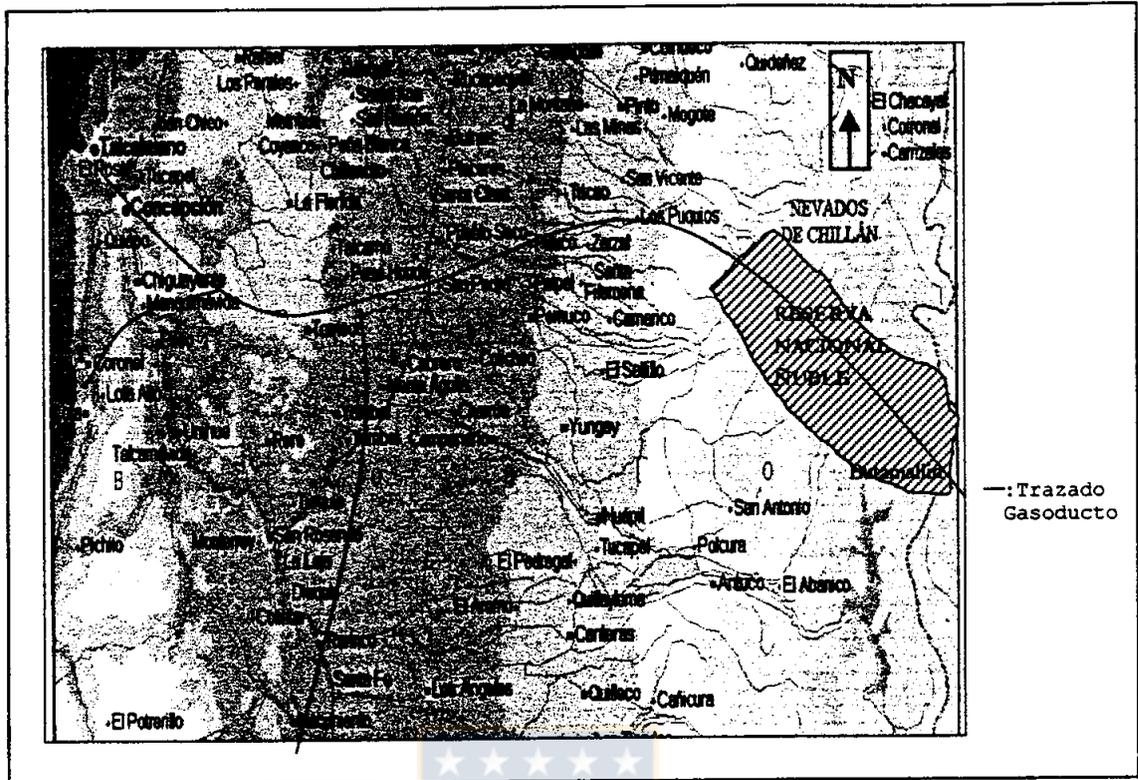


Figura 1. Trazado Gasoducto VIII Región.

Luego desciende por la exposición norte del valle del Estero Los Pacos, sigue por el valle del río Polcura; en la intersección del Río Polcura y Estero Los Peucos este sigue por la ribera Norte del Río Blanquillo hasta el comienzo del cajón de Los Capados, lugar en el cual toma la dirección norte hacia el río Diguillín, saliendo de la Reserva Forestal Ñuble. En total recorre 53 Kilómetros en el interior de esta área silvestre protegida.

2.2. Descripción técnica del proyecto.

Gasoducto del Pacifico S.A. (1998), señala que el objetivo de este proyecto se enmarca en la necesidad de contar con un combustible adecuado para la zona Central de Chile que permitiese disponer de una energía limpia, que no produjera gases sulfurosos (SO_2), generara entre 45% y 70 %

menos de CO₂ que otros combustibles y con bajos índices de óxido de nitrógeno (NO_x), además de un bajo costo. En la Reserva Ñuble el gasoducto emplea una tubería de 610 mm (24 pulgadas) y va enterrado a una profundidad promedio de 1.5 metros, con un mínimo de 80 cm, cumpliendo con toda la normativa pertinente a gasoductos, y las normas de construcción de Chile (Ley 254/95 transporte y distribución de Gas Natural). Se puso especial énfasis en la seguridad, por lo que se radiografió el 100 % de las uniones entre tubos. Este gasoducto en la zona de la Reserva pasa paralelo al Oleoducto Trasandino casi en un 70 % de su recorrido lo que causa un cambio importante en los controles de drenaje del proyecto anterior, y obligó a la búsqueda de una restauración adecuada para evitar impactos erosivos de importancia para ambos tubos. En la zona en que el gasoducto va paralelo a la pista del oleoducto, la servidumbre tuvo un ancho de 15 metros desde la tubería del oleoducto, disminuyendo así la nueva zona afectada solo a 7.5 metros (Figura 2), salvo en los puntos críticos donde por las condiciones físicas del terreno la distancia entre tubos fue reducida a una distancia mucho menor para que la tubería descansara en terreno firme. En las zonas en que éste se aparta del oleoducto se construyó una franja de 15 metros de ancho contemplando una restricción especial en la zona del cerro Huemul donde se construyó a 10 metros de ancho debido a que esta zona se encontraba abundancia de Ciprés de la Cordillera (*Austrocedrus chilensis*) y bosque nativo de mayor tamaño que el promedio de lo afectado por la pista en la Reserva hasta ese lugar.

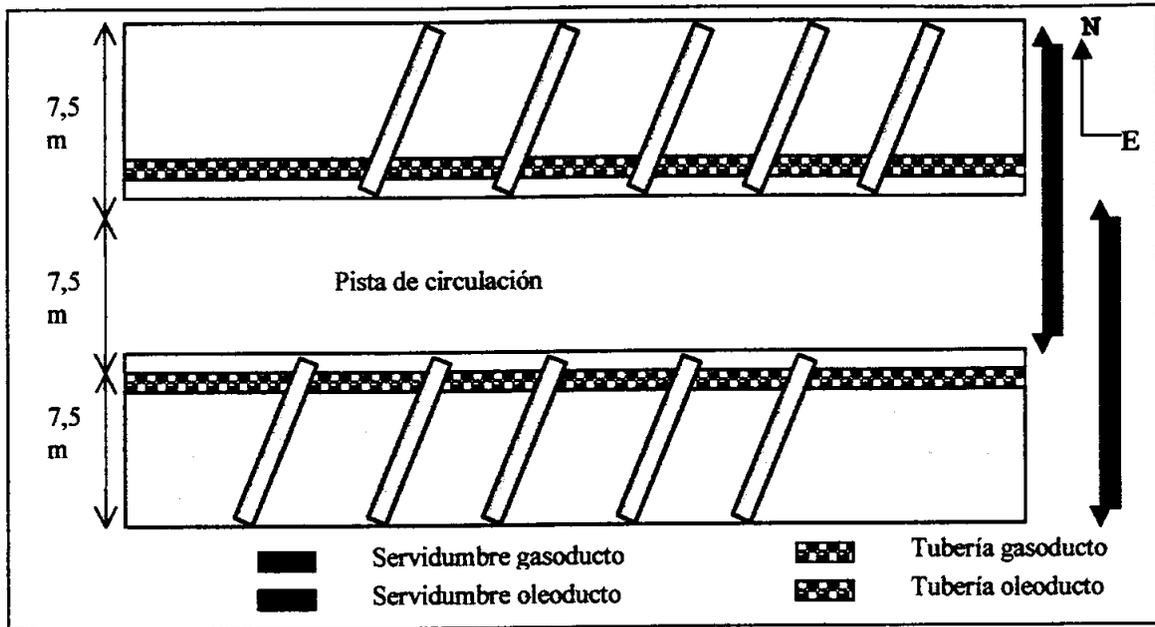


Figura 2. Ubicación de ductos en zona de paralelismo.

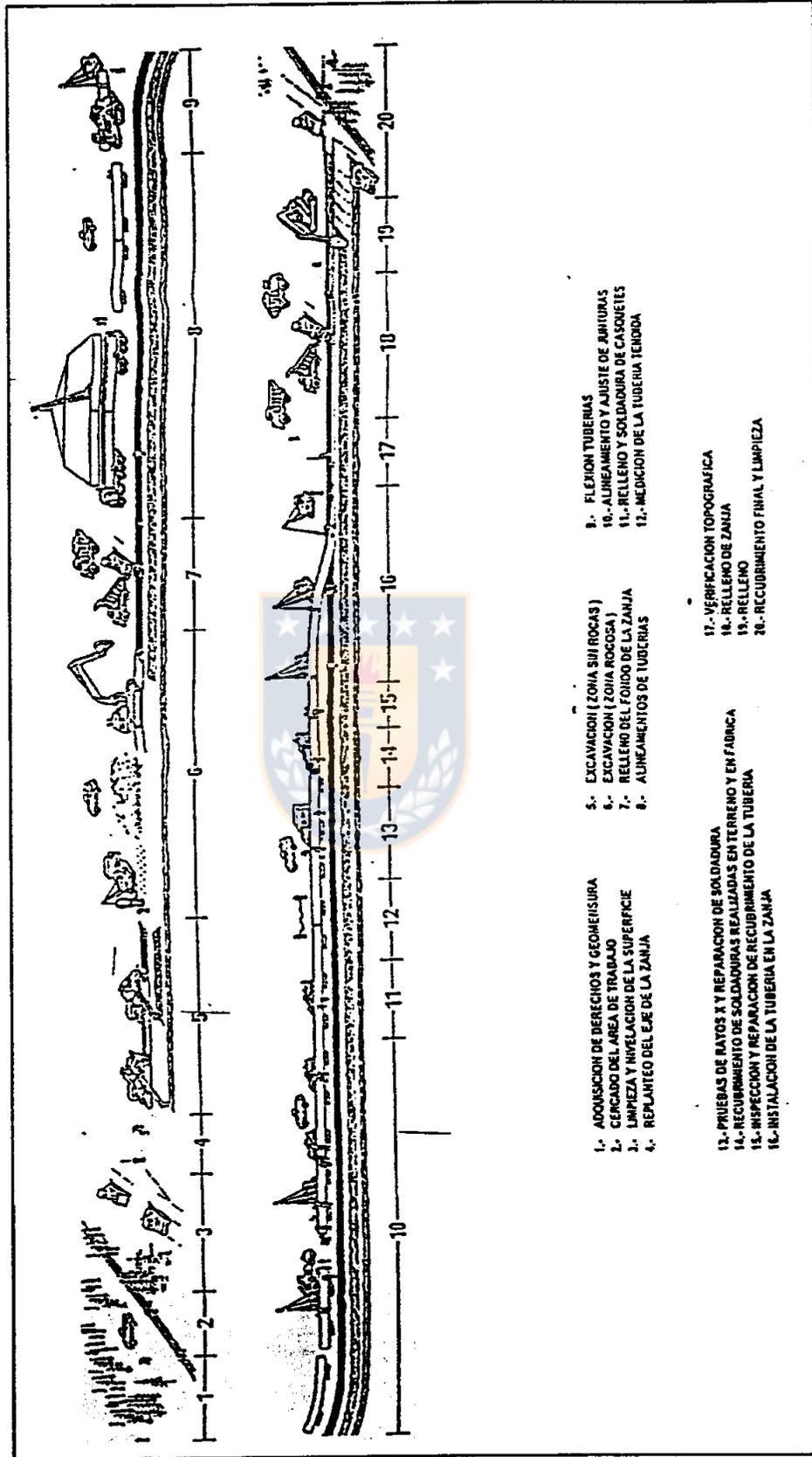
En la construcción se destacan varias fases siendo una de las más importantes para este estudio la de limpieza y nivelación de superficie (Figura N°3). La franja contempló dos zonas: una pista de circulación y una zona de excavación. La primera para permitir el transporte de las maquinarias y tuberías, la segunda para el asentamiento del gasoducto.

2.3. Descripción del ambiente físico de la Cordillera de Los Andes sector Reserva Ñuble VIII región.

A continuación se presenta la descripción de los factores físicos de la zona de influencia establecida en la línea de base del proyecto.

2.3.1. Clima y meteorología. CONAF (1995) describe al sector correspondiente a la Reserva Forestal Ñuble (RNÑ) como un Clima de Tundra por efecto de altura. Debido a las

Figura N°3 Secuencia Constructiva de un Gasoducto.



bajas temperaturas, la precipitación que se observa es principalmente de tipo nivoso y, en menor medida, pluvial, lo que condiciona fuertemente el desarrollo en altura de la vegetación arbórea. Respecto a la zona límite entre RÑÑ y la localidad de Pinto, se presenta un Clima Templado Frío con Lluvias Invernales. La temperatura media anual bordea los 10°C, mientras que la correspondiente a los meses de invierno alcanza en promedio los 4°C, lo que da a este clima su característica de frío. Las precipitaciones superan los 1000 mm concentrándose durante los meses de invierno.

La Estación Meteorológica Diguillín, ubicada en los 36°52'S y 71°38'W, la zona cordillerana de la Reserva Nacional Ñuble, registra una temperatura media anual de 11,9°C, reflejando un clima templado frío ya que las temperaturas mínimas anuales corresponde a los 6,4°C. Presenta una amplitud térmica acentuada de 12°C, situación que refleja una lejanía de la influencia marítima y una mayor sequedad del aire (Tabla N°1).

TABLA N°1. Temperaturas y Precipitaciones Mensuales RÑÑ.

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio T°	Total P.P (mm)
T.M (°C)	18,4	17,4	16,9	11,7	8,3	7,4	6,4	9,1	9,2	10,5	12,8	15	11,9	-
P.P. (mm)	14,2	18,3	61,4	232,6	516,7	626,7	239	240,9	130,5	134	72,4	77,5	-	2364,2

Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, 1980-1995.

Se observa en la tabla N°1 que la estación registra un monto de precipitación anual que alcanza a los 2.364,2 mm.

En cuanto a la distribución mensual, durante los 12 meses se registran precipitaciones, concentrándose el 70 % entre los meses de abril y agosto. Casi el 50% de la precipitación se concentra entre los meses de Mayo y Julio, debido a que la mayor parte de la precipitación de estos meses se concentra como nieve, y a partir del mes de Agosto la temperatura comienza a aumentar, influyendo en la infiltración al producir un aumento de caudales por deshielos (régimen torrencial).

La Figura N°4 muestra que en el caso de la RNÑ el régimen de vientos corresponde a los de valle montaña, típicos de esta zona. La dirección predominante corresponde a SSW, con una velocidad promedio de 2,3 m/s, con un aumento entre las 10:00 A.M. y 20:00 P.M., en donde la velocidad alcanza los 3,3 m/s.

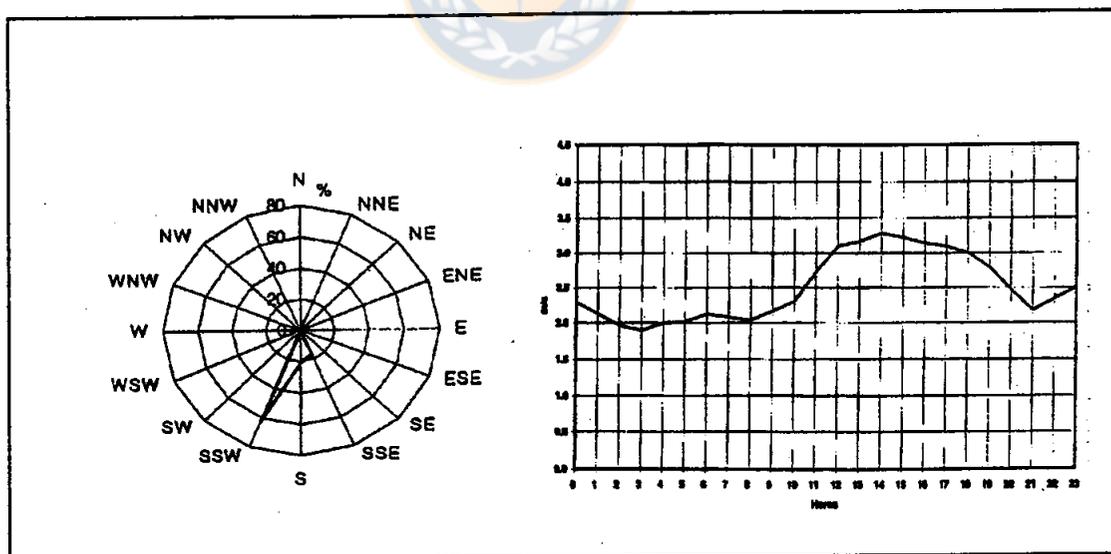


Figura N°4. Velocidad y Dirección del viento en RNÑ.

2.3.2. Geología y geomorfología. Según Börgel (1995), en la RNÑ se encuentran en forma dominante formaciones volcánicas, cuya mayor antigüedad data del Terciario Inferior y la más cercana del Holoceno, esto es, de los últimos 8000 a 10.000 años. Intercalándose en estas formaciones hay algunos "stocks" y estratos volcánicos que sobresalen en parte del anegamiento Volcánico. La zona ha estado afectada por procesos tectónicos compresivos, lo que ha dado como resultado pliegues de amplia curvatura. Sobre este diseño estructural han actuado los hielos, esculpiendo valles profundos y anchos, hoy día remodelados por la acción postglacial de los ríos y esteros que erosionan las blandas formaciones de sedimentos glacialacustres de la última glaciación.

La más reciente actividad geomorfológica local es la sepultación de sedimentos pre-glaciares por acumulaciones modernas de arenas, ripios y bloques que caen desde los torrentes locales hacia el fondo de los valles.

Por tratarse de una zona donde está operando un cambio tan importante como es el reemplazo de precipitación sólida acumulada como nieve o hielo, por escurrimiento en forma líquida (agua) producto de deshielos, hay desequilibrios naturales que afectan las formaciones volcánicas del lugar.

Esto significa que el balance erosión-acumulación no se establece de una manera regular en la región; en efecto, hay áreas donde la erosión es más activa que la sedimentación y viceversa.

Conforme a la escala estratigráfica, la primera en destacarse es la formación Curamallín, luego le siguen la Cola de Zorro, Trapa-Trapa, Volcanes, Flujos Lávicos y Materiales No consolidados.

2.3.3. Suelo. De la Maza et al. (1995), al describir los suelos en términos generales, señala que el área de estudio corresponde a una zona montañosa; por lo tanto, resulta frecuente que el trazado se desplace a través de laderas, algunas vegas y zonas con altas cantidades de rocas.

Las laderas, por sus características particulares de pendiente, material parental, cobertura vegetal, hidrografía, etc., presentan un escaso o nulo desarrollo de los horizontes edáficos. Un fenómeno particular del área de estudio y sus alrededores lo constituyen los depósitos de ceniza volcánica transportada por acción eólica durante el retiro de la última glaciación. Estos se ubican en todos los sectores depresionados de la morfología estructural y, dada su reciente sedimentación, presentan un escaso desarrollo del perfil edáfico. Dependiendo del lugar donde se localizan los depósitos, estos alcanzan profundidades que pueden variar en un rango que va desde los 50cm hasta más de 2 m. Cabe señalar que dentro de sus características físicas se deben destacar su alta capacidad de retención de agua y su alto índice de expansión de volumen.

El área de la Reserva Nacional Ñuble está ubicada en un sector destinado(según su Plan de Manejo), a la preservación de los recursos naturales.

El uso actual del suelo también responde a este objetivo, por lo que no se permiten actividades agrícolas, ganaderas, mineras, etc., a excepción del turismo y el paso del Oleoducto y Gasoducto, con sus respectivas actividades de mantención.

2.3.4. Red de drenaje. De La Maza et al.(1995), determinó que la Reserva Nacional Ñuble está conformada por la cuenca media y alta que alimenta al río Polcura y la zona septentrional de la cuenca de la Laguna el Laja (Figura N°5). El área de la RNN presenta una serie de sub-cuencas orientadas en dirección Norte-Sur, separadas por cordones cordilleranos, que alimentan sus esteros a través de quebradas normalmente de régimen estacional. La mayor parte de los esteros y ríos tributarios al río Polcura, río principal de la sub-cuenca, poseen caudal durante todo el año, comportándose como torrentes si las lluvias tiene una duración superior a tres días.

El río Polcura está formado por los ríos Quemazones y Calabocillo y por el estero Los Pacos, cuyos aportes conforman su nacimiento a la cota 1330 m.s.n.m. y en la ubicación N-301 y E-5891, coordenadas geográficas.

Desde su nacimiento, el desplazamiento hacia aguas abajo es en dirección E-W, con una leve inclinación SE-NW, recibiendo como tributarios principales, por la ribera Norte, al Estero Del Lobo, ríos del Águila y de Las Perdices, y por la ribera Sur al Estero Mal Paso.

Al llegar al sector del río Los Peucos, tributario del Polcura, la dirección de este río cambia notoriamente,

tomando un curso NE-SW. En este tramo recibe el aporte del río Blanquillo y del Estero Casa de Piedra. Desde este punto de confluencia, el río Polcura toma un rumbo netamente sur, saliendo del área de la RFÑ.

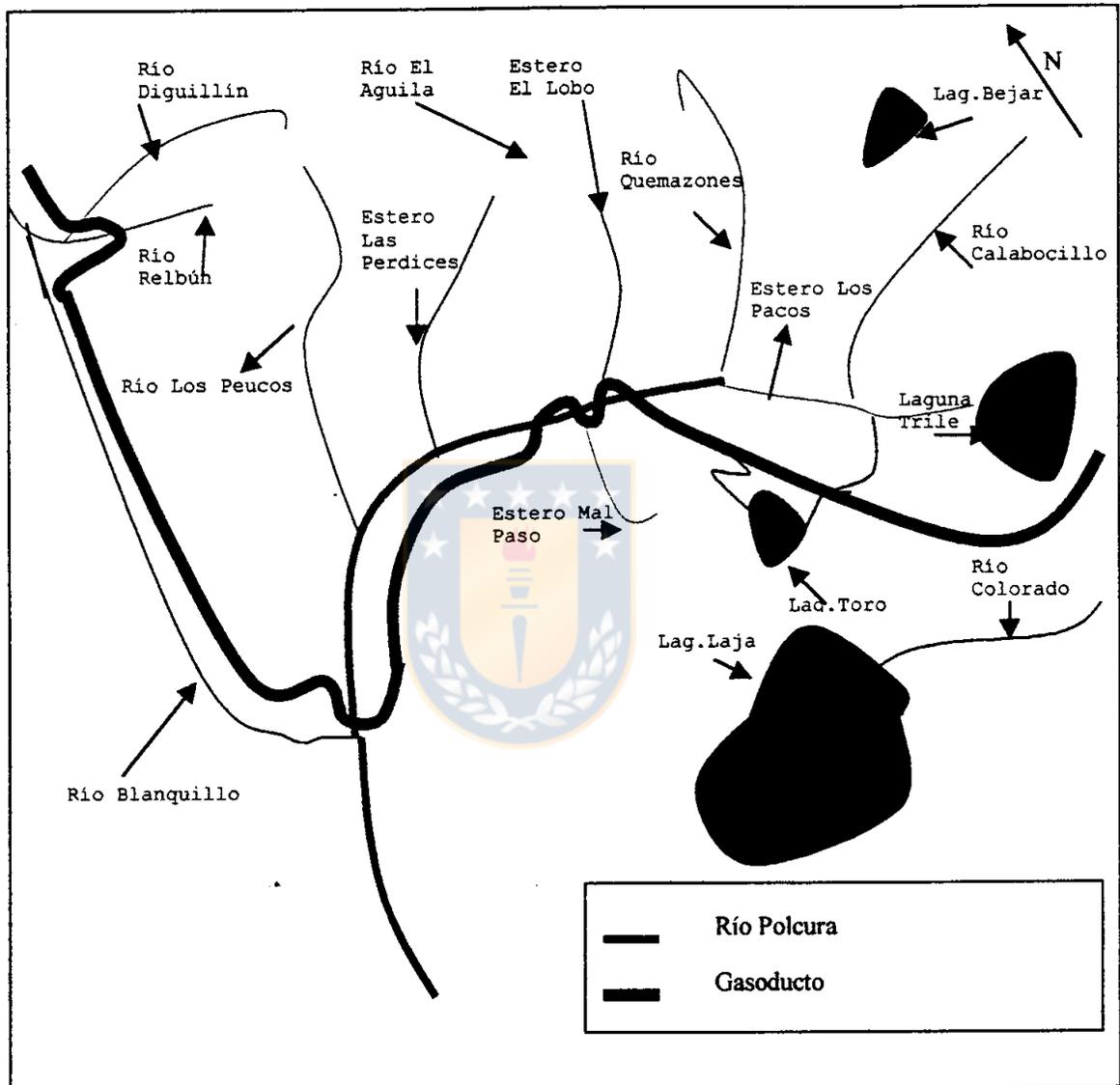


Figura N°5. Esquema Hidrográfico de la Reserva Nacional Ñuble.

2.3.5 Vegetación y fauna. La vegetación de la RNÑ corresponde, según Gajardo (1994), al Bosque Caducifolio andino del Bío-Bío; las especies arbóreas representativas

de esta formación son *Chusquea coleau*, *Nothofagus alpina*, *Nothofagus obliqua*, *Austrocedrus chilensis*. Además se encuentran especies arbustivas como *Gaultheria phyllyreaefolia*, *Baccharis obovata*, *Geranium berterianum*, que se distribuyen por laderas altas de la Cordillera de Los Andes donde existen condiciones ecológicas de mayor precipitación y temperaturas más bajas que las del llano central. El EIA (Dames & Moore (1997)) identificó para el trazado del gasoducto en la Reserva Nacional Ñuble las siguientes formaciones: Matorral caducifolio claro de ñirre; matorral caducifolio semidenso de ñirre con árboles de roble; renovales de roble con ciprés de la cordillera; en formaciones herbáceas se encuentra coironal claro de festuca, coironal claro de festuca con arbustos entremezclados, coironal ralo de festuca y quilantal semidenso de chusquea, (Figura N°6).

Para la fauna, de acuerdo al mismo estudio, se determinó la presencia de sapo papilas (*Bufo papilosus*) en pequeños cursos de agua que desaguan hacia el río Polcura por el sur, siendo probable además la presencia de sapo de cuatro ojos (*Pleurodema thaul*). Ocupando estratos bajo los matorrales se encontró lagartija lemniscat (*Liolaemus lemniscatus*), en tanto que en un área rocosa se detectó lagarto de Bürger (*Liolaemus buergeri*). Además, resulta probable la ocupación del área por parte de la culebra de cola corta (*Tachymenis chilensis*). Para los mamíferos observados se determinó la presencia de liebre (*Lepus capensis*). En forma abundante se observó ocupando áreas de matorral abierto, denso y bosque el ratón lanudo común (*Abrothrix olivaceus*). Otros mamíferos son el Tuco-tuco (*Ctenomys maulinus*) o tunduco (*Aconaemys fuscus*). Entre los

carnívoros se encuentran el zorro culpeo (**Pseudalopex culpaeus**), y el puma (**Felis concolor**). Además, se encuentran dos especies importantes respecto a su protección como lo son la vizcacha (**Lagidium viscacia**) y el huemul del sur (**Hippocamelus bisulcus**), encontrándose estas dos últimas en estado de conservación.

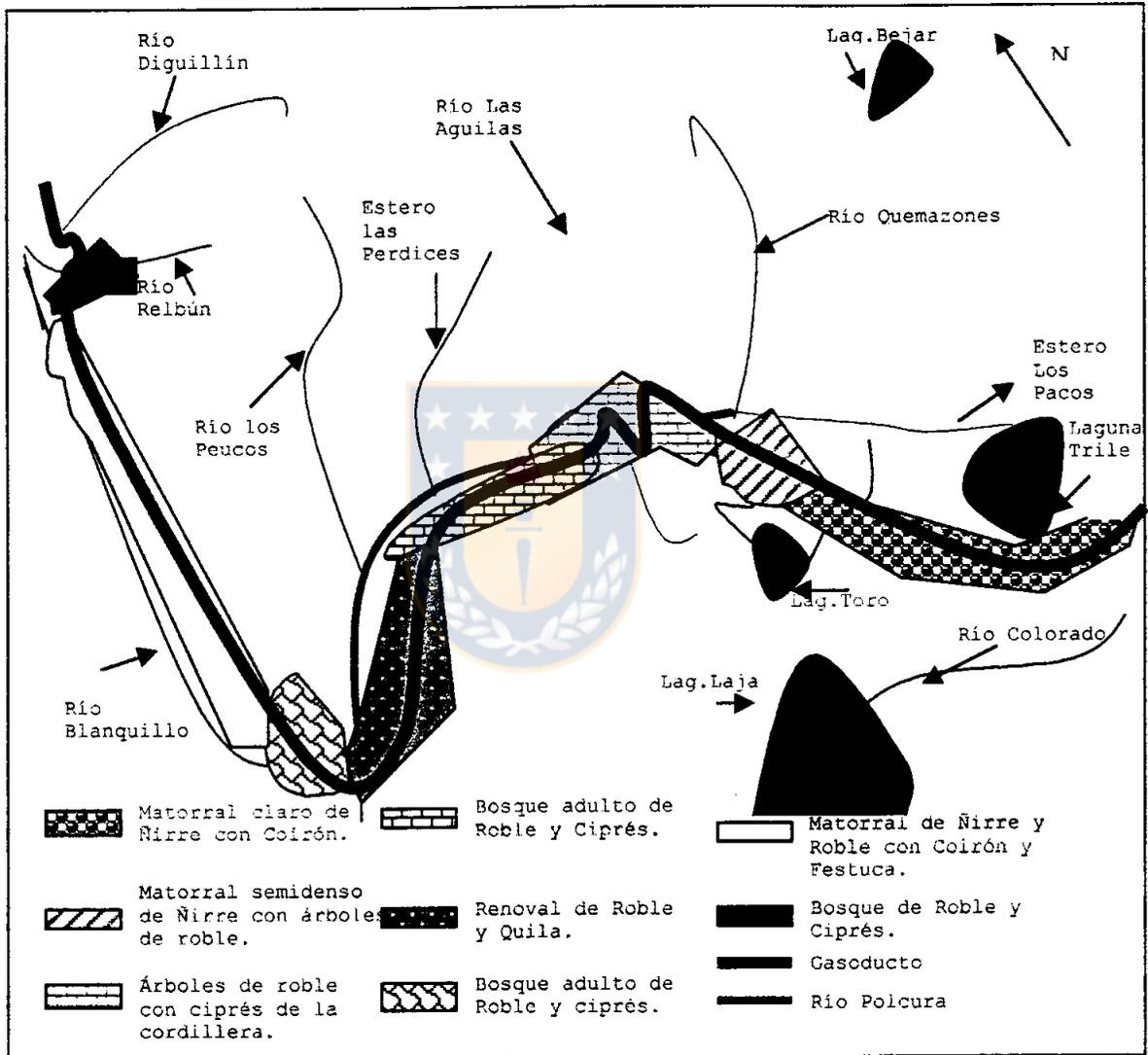


Figura N°6. Sectorización de la vegetación en línea de base RNN.

III Los impactos del proyecto.

3.1. Metodología de Evaluación de Impactos.

El Estudio de Impacto Ambiental del proyecto evaluó los impactos en los distintos medios que se iban a ver afectados, ya sea en forma positiva, no teniendo efecto (neutro) o en forma negativa. Estos impactos se evaluaron para la fase constructiva y la fase operacional. En primer lugar identificó las acciones del proyecto en la fase de construcción y operación. Para cada etapa, los impactos se identificaron mediante matrices que relacionaron las acciones del proyecto y los componentes o elementos del medioambiente afectado. Los criterios utilizados en esta matriz midieron la naturaleza, magnitud (Área e intensidad), importancia, certeza, tipo, reversibilidad, duración, tiempo que demorarían y el efecto de los impactos.

Luego de generada la matriz, se evaluaron los impactos, especialmente los del medio físico.

3.2 Impactos en el Medio Físico.

De acuerdo a la evaluación de impactos del E.I.A para el medio físico se consideraron importantes cuatro componentes afectadas: Suelo, Agua, Vegetación y Fauna, las que se describen a continuación.

3.2.1 Impactos y medidas asociadas con el suelo. Dentro de este componente se destacaron dos impactos negativos en el cual la construcción tendría un efecto relevante: los movimientos en masa y los procesos erosivos, los que se

describieron de acuerdo a lo que se consideró serían las acciones de prevención, mitigación y compensación en cada fase del proyecto.

En los **Movimientos en Masa**, la inestabilidad viene dada por movimientos de tierras, cambio en la estructura del lugar, movimientos de maquinarias y ubicación de la pista. Uno de los puntos más importantes a considerar serían los estudios previos en el número e importancia de los puntos de interés geológico afectados, así como el contraste de relieve y el grado de erosionabilidad e inestabilidad de los materiales M.O.P.T (1991). Para el análisis de la susceptibilidad a los deslizamientos en masa, se debió considerar si existían indicios de movimientos de masa en el área de trabajo. En el trabajo de campo se trató de detectar morfologías que denunciaran movimientos de este tipo, presencia de depósitos ondulados, taludes y conos de derrubios, inclinación de árboles, deslizamientos naturales, etc. Las características más destacadas que indicaron inestabilidad al observar las fotografías aéreas del lugar a intervenir, fueron las líneas aristadas y escarpes en la superficie del suelo, depresiones pobremente drenadas al pie de laderas o cuestas, aparición de tonos claros indicativos de fisuras y escarpes en las coronaciones de laderas y afloramientos rocosos, acumulación de derrubios en valles y cuencas de drenaje, tonalidades que reflejaron diferentes contenidos en la humedad del subsuelo, discontinuidades en la cubierta vegetal, presencia de bosquetes de árboles jóvenes, en zonas donde el arbolado estaba formado por ejemplares adultos.

La susceptibilidad al movimiento quedó determinada por factores que se consideraron claves en este proceso, como fueron: la pendiente, las condiciones geoedafológicas y las condiciones de drenaje.

La pendiente es siempre el factor más importante entre las condiciones que motivan los movimientos en masa. Por sí sólo no es criterio suficiente para determinar la inestabilidad del terreno, pero sí lo es para determinar su estabilidad. Cuanto mayor sea el ángulo de la pendiente, mayor magnitud alcanzará la fuerza de arrastre, y mayor será el riesgo de movimientos en masa. Para cada tipo de material existe una inclinación crítica, denominada ángulo de reposo por encima de la cual es casi seguro que se producirán movimientos en masa. Por el contrario, puede estimarse que la susceptibilidad es nula cuando las pendientes son inferiores al 15 % (MOPT, 1989).

Para evaluar las condiciones geoedafológicas se examinó si existía en el área del proyecto alguna zona en la que se presentaran suelos arcillosos, cohesivos y saturados de agua, suelos sueltos con estructura particular y bajo rozamiento entre partículas, suelos de coluvión, rocas sedimentarias alternadas en estratos paralelos a la pendiente de las laderas, rocas metamórficas de estructura muy esquistosa y con planos de exfoliación, paralelos a la pendiente en las laderas; rocas ígneas o metamórficas muy alteradas o descompuestas, materiales intercalados, o alternantes, de diferente resistencia o permeabilidad, grado de manto o buzamiento de los estratos geológicos (de moderado a grande), existencia de fallas o fracturas paralelas, o interceptando las pendientes.

Otro factor a considerar fue la condición de drenaje, pues el agua llena los espacios existentes entre las partículas del suelo y las fisuras de la roca ejerciendo una presión alrededor del material a modo de almohadilla que disminuye la fricción, facilitando, así, el deslizamiento de éste. La presencia de este factor pudo detectarse a través de la existencia de zonas, con una o varias de las siguientes características: fuerte escorrentía a lo largo de las laderas (laderas largas y tendidas), estancamiento del agua de escorrentía, afloramientos naturales de agua en los taludes, concentración de corrientes de agua subterránea en estructuras geológicas, tales como fallas o fracturas, debido a la secuencia estratigráfica de materiales geológicos de distinta permeabilidad.

De acuerdo a la bibliografía existente y a la experiencia previa en otros proyectos, el Estudio de Impacto Ambiental determinó las medidas de prevención y mitigación para disminuir o anular la ocurrencia de ellos.

Las siguientes son algunas de las medidas que se diseñaron para prevenir movimientos de masa:

- Se zonificó la Reserva según la susceptibilidad del terreno al movimiento en masa en zonas estables, zonas susceptibles al movimiento, zonas muy susceptibles al movimiento, zonas inestables, basado en la interpretación de fotos aéreas 1:20000.
- Se determinó, considerando que las diversas acciones de la fase constructiva generarían un aumento en la inestabilidad de las laderas, que la fase de movimiento

de tierra, definida como apertura de pista en la construcción, sería la que produciría los mayores impactos tendientes a favorecer la ocurrencia de deslizamiento de laderas, por lo que fue necesario estabilizar los terrenos del área de trabajo donde existan pendientes y la topografía no permitía la operación segura de los equipos y un trabajo eficiente, graduando las irregularidades topográficas y retirando del área de trabajo rocas, rodados y troncos (Figura 7).

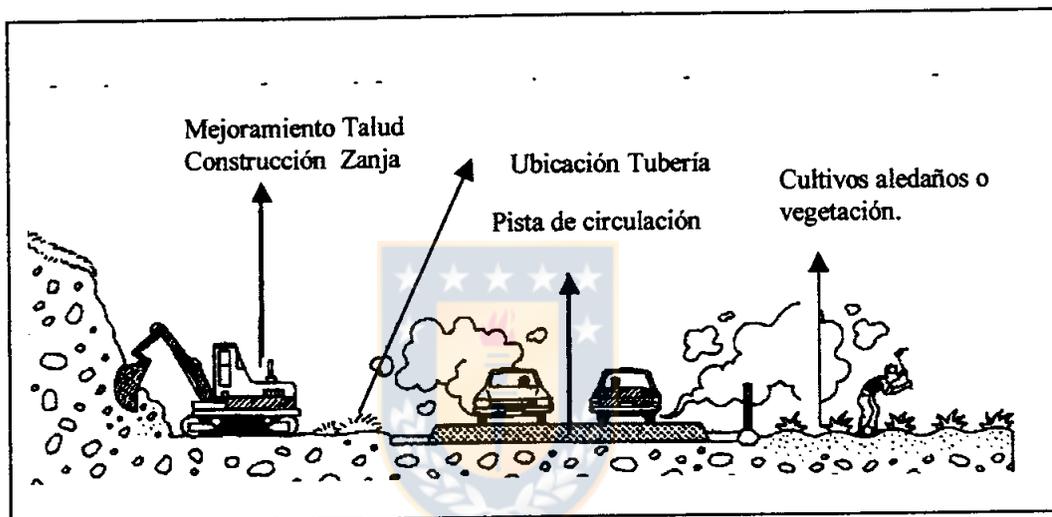


Figura 7. Diseño de pista.

- Se evitaron los riesgos de desprendimientos mediante un diseño adecuado de los taludes (pendientes tendidas, abancalamientos, etc.).
- De los estudios presentados y aprobados por las resoluciones de CONAMA (1997), se consideró que en la etapa de construcción en los sectores de laderas convexas (desvío Los Pacos) el proceso de construcción, con las correspondientes acciones de habilitación de caminos y movimientos de tierra, debía efectuarse

respetando la topografía existente. Esto implicó mantener la forma convexa de la ladera ya que es un factor de estabilidad importante en cuanto a la ocurrencia de fenómenos erosivos.

- Los materiales rocosos y de suelo de las laderas que fueron removidos del sector del desvío Las Águilas, para la habilitación de la franja no debían ser acumulados temporal o definitivamente en la franja o en el fondo del valle, sino que debían ser llevados a sectores planos (inmediaciones de la confluencia del río Polcura con el río Los Peucos), en la medida que fueron generados. Ello con el fin de evitar el taponamiento del curso del río Polcura y la disminución de su capacidad para diluir los sedimentos azufrados aportados por el estero Las Águilas, lo cual también aseguraba la protección de la terraza de la ribera sur poniente por donde se instaló el gasoducto.
- En el desvío del Valle Los Capados, específicamente en la sección que se desplaza por la posición de fondo de valle, la tubería debió ser enterrada como mínimo 50 cm más abajo del horizonte de alteración profunda, con el fin de evitar que ante la probabilidad de ocurrencia de algún fenómeno de arrastre de materiales, la tubería se viera amenazada o quedara al descubierto.
- Durante la etapa de operación, se debió construir empalizadas de contención en aquellos sectores del trazado que eran cruzados por quebradas intermitentes, con el fin de evitar la obstrucción de la franja con el

material detrítico que fuera transportado desde las cotas superiores. Posteriormente, y a través de los patrullajes preventivos, se identificaron aquellas empalizadas que requerían de una extracción de material acumulado y de trabajos de mantención.

Dentro de las **medidas de mitigación** se destacan las siguientes:

- Se debió construir puentes temporales y alcantarillas para cruce de riachuelos para aumentar la seguridad de los vehículos y reducir los efectos ambientales. La nivelación, excavación y relleno de materiales en la franja se realizó para disminuir al mínimo los efectos sobre la estabilidad de los drenajes naturales y las pendientes. De acuerdo a la experiencia, la fase de apertura de pista representaba un alto riesgo de deslizamientos. Esta se diseñó de acuerdo a la topografía siguiendo cotas, de manera de no exceder la pendiente máxima para la operación de maquinaria y para no poner en riesgo la seguridad de la tubería; para ello se tomó en cuenta la altura de los cortes y las características litológicas y estratigráficas, evitando recorrer el mínimo de lugares a media ladera, y zonas que pudieran sufrir deslizamiento en masa. Se dio preferencia a aquellos lugares en donde la faja fuera por la base o en la cima de los cerros, buscando la estabilidad a través de cortes y rellenos.
- Otras medidas adicionales fueron la instalación de redes y mallas en las orillas de cruces de ríos y la colocación de drenes en la pista. Estas medidas

representaron una prevención en el diseño y de mitigación en la ejecución ya que dependieron de todos los factores no previstos que se presentaran en la construcción.

- Como mitigación de los posibles deslizamientos en sectores donde el trazado se desplazaba a media ladera (desvío Las Águilas), fue importante no modificar la cobertura vegetal existente tanto en las cotas superiores como en las inferiores con lo que se permitió mantener la estabilidad del terreno; los trabajos se limitaron exclusivamente a la franja necesaria para el paso del gasoducto.
- En aquellos sectores en que el gasoducto se desplaza a media ladera, en la orilla norte del terraplén habilitado se debió implementar sistemas de fijación para mitigar el derrumbe o caída de materiales hacia las cotas inferiores o al curso del río Polcura. Los sistemas de fijación adecuados a instalar en una primera etapa fueron estacas dispuestas a lo largo del borde del terraplén, que estaban entrelazadas entre si por troncos o tablones. Esta medida tuvo como objetivo eliminar la caída del material que se encontraba suelto en este borde y estabilizar los suelos para las siguientes etapas de la construcción.
- También, luego de la construcción fue necesario revegetar el borde con especies nativas, adaptadas a las condiciones de pendiente y suelo existente en el área,

logrando de esta forma la estabilización definitiva del borde norte del terraplén.

Para los **Procesos erosivos**, Guevara (1997), identifica que el principal recurso natural no renovable es el suelo y una vez perdido es muy difícil de reemplazarlo en un futuro previsible. La formación del suelo a partir de la intemperización del material parental es un proceso muy lento, medible solamente en una escala geológica. Toma de cientos a miles de años desarrollar un perfil de suelo arable de 5 cm a través del mencionado proceso; en cambio, la pérdida de un cm de perfil puede ocurrir en pocas horas como consecuencia del efecto erosivo de una sola tormenta.

De acuerdo con la Sociedad Americana de Conservación de Suelos SCSA (1966) la erosión se define como la denudación de la superficie del suelo debido a la acción del agua, viento, hielo, nieve y otros agentes geológicos, incluyendo los procesos de deslizamiento masivo (Tabla 2).

La denudación del suelo por el agua incluye la remoción del material soluble e insoluble. El proceso físico de erosión incluye el desprendimiento y transporte de partículas insolubles, tales como arena, limo, arcilla y materia orgánica. El transporte puede ser lateral, sobre la superficie o vertical en el perfil del suelo a través de los espacios porosos vacíos y grietas. La remoción de material soluble bajo la forma de sustancias disueltas se denomina erosión química, la que puede ser causada por la escorrentía superficial o por el flujo subsuperficial, donde el agua se mueve de un estrato a otro dentro del perfil del suelo.

TABLA 2. Tipos de erosión.

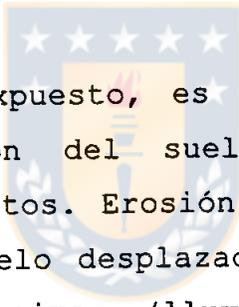
Agente erosivo	Tipo de agente	Tipo de erosión
Flujo gaseoso	Viento	Erosión eólica.
Flujo líquido	Lluvia Escorrentía Flujo en canales Flujo subsuperficial	Erosión Hídrica Erosión por salpicadura. Erosión laminar. Erosión por surcos. Erosión por Cárcavas. Erosión de bancos.
Flujo sólido	Nieve	Erosión por nieve.
Gravedad	Movimiento masivo	Deslizamientos. Caídas de material. Flujo de agregados secos. Arrastre.

Fuente: MOPT, 1991

En la TABLA N°2 se muestran los agentes erosivos más relevantes, resultando de especial cuidado en la zona de la Reserva Ñuble por los arrastres de material que producen los deshielos.

La erosión eólica es un proceso similar al de la erosión hídrica, sólo que el agente de desprendimiento y transporte de las partículas de suelo es el viento en vez del agua.

La masa de suelo removida de un lugar es frecuentemente depositada en otro cuando la energía del agente de transporte disminuye o desaparece. El término sedimento se refiere al material sólido desprendido de la masa del suelo por los agentes erosivos y transportado de su sitio de origen, en suspensión, por el agua, el aire, o arrastrado por gravedad. El término sedimentación se refiere a la deposición del sedimento cuando la energía del agente erosivo no es suficiente para seguir transportándolo.



De acuerdo con lo expuesto, es necesario diferenciar los conceptos de erosión del suelo, pérdida de suelo y producción de sedimentos. Erosión de suelo se refiere a la cantidad bruta de suelo desplazada dentro del mismo campo por los agentes erosivos (lluvia, escorrentía, viento, hielo y gravedad). Pérdida de suelo se refiere a la cantidad neta de suelo removida hacia afuera de un área o campo específico; es la diferencia entre el suelo desgarrado y la sedimentación. La producción de sedimentos viene a ser la pérdida de suelo entregada en un punto específico de la cuenca. La producción de sedimentos de un campo es la sumatoria de las pérdidas de suelo de los segmentos de pendiente de dicho campo, menos la deposición; la deposición puede ocurrir en depresiones, en el pie de las laderas, a lo largo de los bordes de los campos y en las terrazas.

El grado de protección que ofrece la vegetación puede valorarse en función de ciertos parámetros de su estructura, estratos que componen la cubierta vegetal, (más estratos, más protección), grados de cubierta por estratos y del conjunto (más cubierta, más protección), disposición de la vegetación, mayor irregularidad, y distribución aleatoria, más protección, los que permiten evaluar la erosión a través de un factor (Tabla N°3).

Tabla N°3. Factor de erodabilidad eólica del suelo.

Grupos de erodabilidad eólica. (Textura más otras características)	Agregados en suelos secos >0,84mm en %	Factor 1'Tm/ha/año (1)	Erodabilidad.
1. Arenas, muy finas, finas y medias; arenas de dunas.	1-7	765,7-395,2	ALTA
2. Arenosos francos; arenosos finos francos.	10	330,96	ALTA
3. Francos arenosos muy finos; francos arenosos finos; francos arenosos	25	212,4	MEDIANA
4. Arcillosos; arcillosos limosos; francos arcillosos no calcáneos; francos limosos arcillosos (con >35 % arcilla). Limosos francos calcáneos, francos limosos; francos arcillosos no calcáneos y francos limosos arcillosos (con < 35 % de arcilla)	25	212,4	MEDIANA
	25	212,4	MEDIANA

5. Francos no calcáreos y francos limosos con < 20 % arcilla francos arcillosos arenosos; arcillosos arenosos.	40	138,3	BAJA
6. Francos no calcáreos y francos limosos con > 20 % de arcilla; francos arcillosos no calcáreos con < 35 % de arcilla.	45	118,6	BAJA
7. Limosos, francos arcilloso limosos no calcáreos con < 35 % de arcilla	50	93,8	BAJA
8. Suelos muy húmedo o rocosos, normalmente no erosionables.	-	-	BAJA

(1) 1' = Índice de erodabilidad del suelo de la Ecuación de Pérdidas de Suelo por Erosión Eólica (Skidmore y Woodruff, 1968).

Las principales alteraciones sobre los suelos pueden resumirse en tres aspectos: aumento de la erosión, pérdida de volúmenes de la capa edáfica superficial y compactación de suelos.

De acuerdo a lo definido como medidas frente al impacto, tanto en diseño como en la ejecución del proyecto, se han considerado medidas de **prevención** y de **mitigación**.

Como **medidas de prevención** se consideraron los siguientes:

- Se extrajo la menor cantidad de vegetación, y se planificó una futura revegetación de los sectores afectados por la construcción, para evitar la erosión eólica y la hídrica.

- Debido al aumento en los arrastres de materiales sueltos con lluvia, la construcción en áreas propensas a erosión se realizó preferentemente durante la estación seca, con el fin de minimizar la compactación del suelo, la erosión y la pérdida de la capa superficial de suelo.
- Otra medida de prevención importante fue acopiar el suelo con valor agrológico. Esta operación afectó a un espesor variable dependiente del tipo de suelo. Como norma general se decidió que si el horizonte A tenía un espesor superior a 30 cm se retiró de forma selectiva; sólo cuando no alcanzaba este espesor pudo retirarse una capa del horizonte inferior del subsuelo hasta completarlo. Tanto la tierra vegetal como el subsuelo, fueron redistribuidos inmediatamente; cuando era necesario almacenarla se amontonaban no superando los 150 cm, en una superficie allanada que impidiera la disolución de sales por escorrentía.
- Mientras los suelos permanecían apilados, se sometían a un tratamiento de siembra y abonado, encaminado a evitar la degradación de la estructura original por compactación, compensar las pérdidas de materia orgánica y crear un tapiz vegetal que aportara condiciones que permitieran la subsistencia de la microfauna y microflora originales, así como de invertebrados.
- Previo a la implantación de una cubierta vegetal en suelos desnudos, se remodelaron los volúmenes para llevarlos a formas técnicamente estables, ya que de nada servía comenzar las tareas de regeneración natural,

si no existía un equilibrio mecánico inicial. En muchas ocasiones fue necesario que estos suelos estuvieran entremezclados con la vegetación destruida, puesto que aumentaba el contenido en materia orgánica y el banco de semillas.

- Los límites de construcción del área de servidumbre (límite del trabajo) estaban delimitados claramente para confinar la alteración y pérdida del suelo al área de servidumbre.
- En las áreas con pedregosidad excesiva, sólo se eliminaron los clastos que pudieran tener un efecto negativo en la tubería, ya que su inclusión en los horizontes a reponer aseguraba la existencia de intersticios para que se produjeran los procesos de aireación, infiltración e incorporación de materia orgánica.
- Se evitó la compactación de los suelos. Los movimientos de la maquinaria pesada en las zonas de acumulación de materiales y otros sectores etc., producen una compactación de suelos. Por ello, los cuidados en la fase de obras debieron extremarse, reduciéndose estas superficies al mínimo y seleccionando las áreas con menor valor edafológico, evitando una mayor pérdida en la calidad del suelo.
- Para prevenir erosiones masivas en la construcción de la pista, los taludes eran de poca pendiente y estaban en un ángulo de reposo estable, de tal forma de disminuir el arrastre de material.

Las **medidas de mitigación** fueron las siguientes:

- Se minimizó la cantidad y duración de la exposición del suelo.
- Durante la construcción se protegieron las áreas críticas, tales como suelos con pendiente (desvíos Las Aguilas; desvío Los Capados), reduciendo la velocidad del agua y redireccionando la escorrentía mediante bermas, cunetas y badenes.
- Constantemente se inspeccionó el área de servidumbre y se mantuvieron las estructuras de control de la erosión y de la sedimentación, según fuera necesario, hasta que se logró la estabilización final. En la etapa de construcción se mantuvieron los patrones naturales de disposición de los horizontes de suelo mediante el almacenamiento de la capa superficial y del subsuelo en forma separada.
- Se rellenó con subsuelo las áreas donde se segregó la capa superficial y el subsuelo.
- Los árboles, arbustos y matorrales fuera de la línea de zanjado fueron cortados a nivel del suelo, dejando los tocones y sistemas radiculares intactos para estabilizar el suelo. Sólo fueron removidos los tocones ubicados directamente encima de la zanja.
- Los árboles removidos en el área de servidumbre que no se designaron para otros usos, fueron esparcidos a lo

largo del borde del área de servidumbre para controlar la erosión.

- Durante la construcción, se fabricaron terrazas temporales o desviaciones de agua provisionarias para controlar la erosión en el área de servidumbre en terrenos con pendiente. Las desviaciones de agua se instalaron diagonalmente a través del área de servidumbre para reducir y acortar la longitud y concentración de la escorrentía.
- Los lineamientos para el espaciamiento de las desviaciones fueron los que se indican a continuación (Tabla N°4).

Tabla N°4. Espaciamiento de Bermas.

Pendiente %	Peligro de Erosión	Espaciamiento de las desviaciones.
5-15	Bajo/Alto	80 metros / 55 Metros.
16-30	Bajo/Alto	45 metros/ 30 metros.
>30	Bajo/Alto	25 metros/ 12 metros.

- Las desviaciones/terrazas se mantuvieron y repararon durante la construcción. Estas desviaron la escorrentía superficial hacia áreas con abundante vegetación. Si no existía un área con abundante vegetación, se instalaban barreras para controlar la erosión y para filtrar la

escorrentía superficial en el desagüe de la desviación de agua. Las estructuras de las barreras para el control de la erosión consistieron en cercos de geotextil, pilas de matorral o ripio rocoso.

- Las barreras temporales para el control de la erosión se ubicaron en la salida de las desviaciones de agua cuando la vegetación no era la adecuada y se mantuvieron durante la construcción y hasta que la revegetación se encontrara establecida.
- Se inspeccionaron las áreas de actividad con suelos expuestos al menos una vez a la semana y dentro de las 24 horas siguientes a una precipitación significativa, durante todo el tiempo que duró la fase de construcción del Proyecto.
- En los sectores de quebradas o fondos de valles se dividió la escorrentía en varias ramas o cursos que permitían la desconcentración de las aguas, y así disminuir la capacidad de arrastre de sedimentos de los caudales. En los casos donde las quebradas eran muy angostas y no permitían ramificar el curso, la tubería debió enterrarse a mayor profundidad (2 m aproximadamente).
- Las rocas expuestas durante la construcción del área de servidumbre en la Reserva Forestal Ñuble, se usaron para estabilizar los cortes en las laderas de los cerros. El exceso de rocas que eran enterradas en ella, se dispersaron sobre la superficie del área de servidumbre

de forma concordante con las condiciones de los alrededores, o se transportaron fuera del lugar.

- En aquellos sectores de intersección entre los terraplenes a media ladera y las quebradas intermitentes, además de los desagües que van por debajo de terraplén y que dan continuidad al curso, se debieron colocar empalizadas o cercos destinados a retener el material transportado desde las cotas superiores, los cuales por un lado podían tapan el desagüe y por otro aumentar el potencial erosivo del curso de agua. Estas obras requerían de una revisión y mantención periódica destinada a comprobar el estado de fijación y el retiro de los materiales acumulados.
- La nivelación final se terminó a la brevedad posible después de que se rellenó la zanja. En los casos en que no se pudo realizar la restauración final, se emplearon medidas temporales de control de la erosión y de la sedimentación (confección de bermas provisionarias, cunetas, disipadores de fuerza, enrocado en bordes de ríos y coronamiento sobre el tubo, solo en aquellos lugares más susceptibles a erosión o deslizamiento para terminar con la restauración una vez pasado el invierno).
- El acolchado con el material vegetal removido para la habilitación de la franja de servidumbre, fue usado para controlar la erosión en pendientes fuertes. Esto ayudó a la restauración de pendientes mediante la disminución del impacto de las gotas de agua de lluvia sobre la superficie del suelo, ya que aminora la velocidad de la

escorrentía, manteniendo a las semillas y nutrientes durante la revegetación, reduciendo la pérdida de humedad del suelo y moderando su temperatura.

- Si el mal tiempo limitaba las labores de revegetación, el área de servidumbre podía ser acolchada para minimizar la erosión hasta que se presentaran las condiciones favorables para la revegetación.
- El material de los horizontes edáficos que no pudo ser utilizado en la sepultación de la tubería debido al espacio que ésta ocupa, que por cierto representa una cantidad menor, debió ser esparcido en forma homogénea en los alrededores, de tal forma que no representaran acumulaciones de una magnitud difícil de ser integrada al horizonte superficial.
- En los lugares con suelos compactados por la obra, al finalizar la fase de obras se procedió a realizar un laboreo de estas superficies para su recuperación. La compactación del subsuelo fue corregida usando rastra, escarificador u otro equipo descompactador. Las actividades de descompactación se realizaron solamente durante los períodos de baja humedad relativa del suelo para garantizar la mitigación deseada y evitar la compactación subsuperficial adicional.
- Durante la etapa de operación, en aquellos sectores más susceptibles a ser erosionados, se debía mantener una cubierta vegetal que permitiera la protección del suelo durante los procesos de reparación necesarios, para lo que se implementaron las medidas de mitigación

propuestas en la etapa de construcción, aplicándolas en el área donde se efectuaron los trabajos.

3.2.2. Impactos y medidas asociadas a masas de agua. De acuerdo al M.O.P.T (1990) las acciones de este tipo de proyectos ocasionan impactos en la hidrología superficial y subterránea como los siguientes: desviación temporal o permanente de caudales; impermeabilización de superficies; erosión hídrica debido al movimiento de tierras; arrastre de las partículas y contaminantes provenientes de las emisiones atmosféricas; vertidos accidentales, etc. Todas ellas pueden producir cambios en la calidad de aguas, en los caudales o en los flujos de circulación.

Los efectos sobre la hidrología superficial y subterránea no se circunscriben a la zona concreta donde se producen, sino que pueden transmitirse a áreas muy alejadas y extensiones bastante grandes, por lo que el ámbito a considerar deberá ser, en ocasiones, mucho más extenso que el entorno inmediato a la pista. Además, estos efectos suelen tener incidencia sobre otros subsistemas como el medio social y fauna acuática, debiéndose contemplar todos ellos a la hora de considerar el impacto global.

El efecto barrera en los flujos de aguas es uno de los impactos potenciales más importantes que se pueden producir. Se puede generar un aumento de los riesgos de inundación, que alcanzan especial relevancia en la zona mediterránea, donde el riesgo de avenidas es mayor. El efecto de corte no se reduce a las aguas superficiales, si no que también pueden afectar a los acuíferos superficiales por las excavaciones debidas a la construcción de zanjas,

cunetas, etc. Esto produce un descenso de los niveles piezométricos y afecta a la vegetación freatófila de zonas circundantes.

Un segundo aspecto que puede verse afectado son los procesos de recarga de los acuíferos. En la Figura N°8 se ha representado de una manera simplificada este proceso. Como se aprecia, las aguas de escorrentía que no se infiltran suelen ser conducidas a un cauce fluvial, con lo que la tasa de infiltración se reduce considerablemente; otro tanto ocurre si estas aguas son reconducidas a zonas impermeables, donde la tasa de infiltración es nula. En resumen, los procesos de recarga de los acuíferos pueden reducirse, dependiendo de los materiales subyacentes y de las características de los flujos de las escorrentías de la pista.

La desviación temporal o permanente de caudales es otra de las acciones del proyecto que puede tener incidencia. Estas desviaciones producen un cambio en los sistemas de escorrentía y en la organización de las aguas superficiales que repercute a muy distintos niveles, como pueden ser los procesos locales de erosión-sedimentación, la vegetación, etc. La prevención se puede realizar a un nivel cuantitativo siempre que se posean buenos datos de entrada (caudales de los cursos, datos de pluviometría de la cuenca con un período de años fiable, etc.). Más difíciles de prever son las modificaciones subsiguientes, especialmente cuando los cambios de caudal son de poca magnitud, por lo que en muchas ocasiones sólo podrán ser cualitativas.

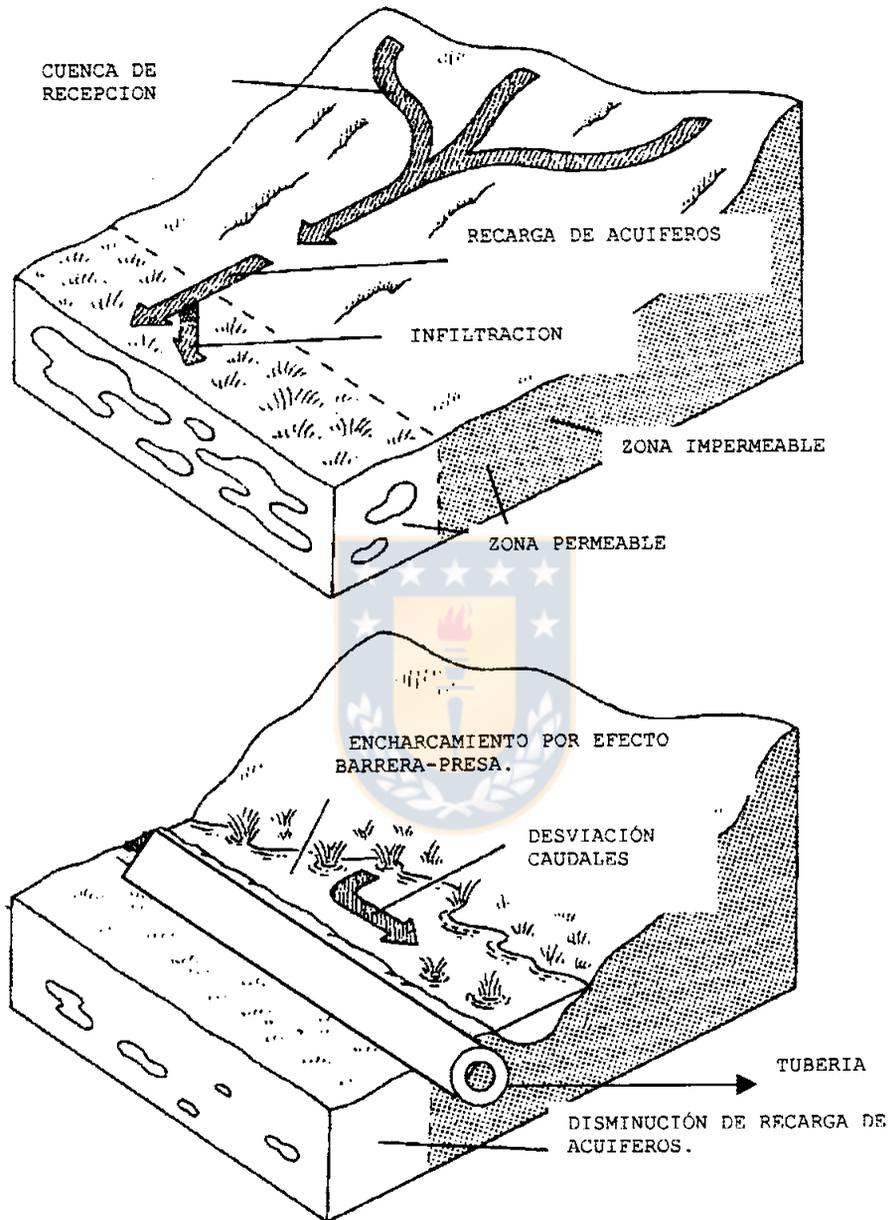


Figura N°8. Efecto Barrera.

La calidad de aguas se puede ver afectada tanto en la fase de obras como de operación. En la primera, los principales parámetros que pueden modificarse son los sólidos disueltos en suspensión y los nutrientes (debido a los movimientos de tierras) y las grasas e hidrocarburos (por vertidos accidentales en las zonas de almacenamiento y la maquinaria pesada). Durante la construcción, los principales contaminantes son los derivados de la deposición de las emisiones atmosféricas, principalmente partículas y plomo; también en esta fase pueden ocasionarse vertidos ocasionales en los accidentes y derrames de aceites y grasas.

El arrastre de todas estas sustancias por las aguas de escorrentía van a parar a los distintos cursos fluviales pudiendo ocasionar cambios en la calidad de aguas.

Las medidas para disminuir los impactos fueron las de **prevención** y las de **mitigación**.

Como **medidas de prevención** se aplicaron las siguientes:

- Cuando existían interrupciones en el flujo de aguas subterráneas, al existir una napa freática debajo de la obra, la única medida posible es preventiva. En este caso era aconsejable que el elemento de cota más baja de la obra estuviera al menos 1,5 metros, por encima del nivel freático. Un problema similar se presentaba al actuar en áreas de recarga de acuíferos por reducción de la tasa de infiltración, siendo la medida preventiva evitar las actuaciones en estas zonas.

Las desviaciones de caudales superficiales en lo posible se evitaron, reconduciendo las aguas de escorrentía a cursos fluviales ya existentes, puesto que esto evitaba erosiones hídricas no deseadas y permitía mantener los caudales de los cauces preexistentes.

En los lugares donde el gasoducto cruza cursos de agua, se debieron poner en práctica las siguientes **medidas de mitigación:**

- Se realizaron con cuidado los trabajos durante las obras de apertura de pista y de tapada, puesto que los movimientos de tierra podían afectar muchas veces por descuido la calidad de los cursos fluviales.
- Se obligó a la maquinaria a realizar cambios de aceite solo en zonas de talleres, debiendo además portar polvo o paños absorbente en cada máquina, para enfrentar posibles derrames en terreno que pudiesen contaminar los cauces.
- En la fase de construcción en muchos casos resultó conveniente establecer pequeñas balsas de decantación por tramos y disipadores de energía para frenar, airear y dispersar el flujo, con el fin de que al verter las aguas provenientes de pequeñas pruebas hidráulicas, éstas presentaran menor concentración de contaminantes al devolverse a su cauce.
- Se instalaron puentes temporales en los lugares de cruces de ríos y se prepararon vados adecuados, para

minimizar los impactos provocados al mover equipo, trabajadores y materiales.

- Se usó el método "empujar/jalar" para el cruce de humedales, para minimizar los impactos sobre los recursos acuáticos. Este consistió en la soldadura de la tubería fuera del área del humedal tomando la columna completa una vez soldada, ubicando las maquinas fuera del humedal sobre una capa con geotextil o sobre la pista de circulación según correspondía, levantando y jalando para enterrar la tubería bajando los brazos de los tiende-tubos y retroexcavadoras, sin apoyar las maquinas en el humedal.
- Los métodos de construcción específicos para cruzar ríos en la Reserva Nacional Ñuble, se basaron en los estudios técnicos detallados de las características del cruce y de los recursos ambientales existentes. Cuando se cruzaron cuerpos de agua o humedales menores de 5 metros de ancho, no se interrumpió el flujo normal de agua, las capas superficiales de suelo y subsuelo no se colocaron dentro del curso de agua durante el excavado de zanjas, y el cruce se realizó en el menor tiempo posible. La ubicación de los cruces del gasoducto consideró las características de las riberas y de las pendientes adyacentes para minimizar los potenciales derrumbes del terreno.
- En los lugares donde el gasoducto propuesto se apartó del corredor del oleoducto existente, para salir de la Reserva se diseñaron estructuras para el control de la erosión, la sedimentación y para dirigir el drenaje de

la escorrentía superficial hacia el estero Los Capados, en lugar de drenarla directamente dentro del Río Diguillín.

- Las labores de construcción, se ejecutaron preferentemente durante la estación seca.
- El lecho del curso de agua y las riberas, se restauraron inmediatamente después que la tubería fue instalada y se rellenó la zanja. Durante la restauración del área de servidumbre, se debió remover los canalones, las bolsas de arena y otros materiales usados durante el proceso de cruce. Se usaron cubiertas de malla u otro material entretejido para controlar la erosión a objeto de estabilizar las riberas. Se dispuso de gaviones compuestos por piedras pequeñas o adoquines, para estabilizar las riberas alteradas de arroyos y ríos y para controlar la erosión lateral.
- La construcción de estructuras de cruces en los cuerpos de agua, se debió realizar durante el proceso de tala de árboles y nivelado. Las medidas de protección incluyeron: el uso de esteras de madera dispuestas en forma adyacente y a través de los lechos, si es que las riberas no eran lo suficientemente altas; el uso de canalones cubiertos con grava limpia; la desviación del arroyo por medio de canalones, o el uso de puentes portátiles. El tamaño y número de los canalones debía ser suficiente para contener las máximas tasas de flujo previstos.

- En aquellos lugares en que era probable que transcurriría más de una semana entre el despeje y la instalación de la tubería, se dejó al menos 3 metros de la cubierta de suelo existente a cada lado de la masa de agua para minimizar la erosión. Los árboles mayores de 10 centímetros de diámetro medidos a la altura del pecho(dap), fueron removidos de la franja vegetativa cuando se inicio la tala, de forma de minimizar la necesidad que el equipo mayor de despeje regresara al lugar antes del excavado de la zanja y de la instalación de la tubería. Se debió instalar barreras para el control de la erosión en la parte superior de la ribera, si no se dejaba una franja vegetal. La instalación de la tubería y el relleno de la zanja, en el cruce de un curso de agua pequeño, se debió completar dentro de 48 horas continuas, a menos que se usara un canalón para permitir un flujo continuo a través del trazado de la zanja, o en el caso que se requería una tronadura.
- Todas las áreas de construcción provisionales se ubicaron al menos a 10 metros de distancia de las riberas.
- En los sectores de excavación de la zanja que presentaban pendientes hacia los cursos de agua, se dispusieron barreras de contención que retuvieran los suelos excavados de la zanja, de modo de impedir su rodado hacia dichos cursos.
- La ubicación de las áreas de almacenaje para los productos de mantenimiento de los equipos (combustible,

aceite y fluidos lubricantes), se seleccionaron de tal forma que se minimizaran los impactos potenciales al suelo, en caso que ocurriera un derrame accidental. Las áreas de almacenamiento se ubicaron en terrenos altos, alejadas de las áreas en que existían napas freáticas altas. Además dichas zonas se recubrieron con cemento y se capacitó al personal sobre operación y mantenimiento del equipo de construcción para prevenir derrames accidentales.

3.2.3 Impactos y medidas asociadas a la vegetación. De acuerdo al EIA (1995), los impactos sobre la vegetación pueden ser directos, o indirectos a través de otros componentes del ecosistema, como atmósfera, aguas y suelos. Los primeros tienen lugar preferentemente en la fase de obras mientras que los segundos suelen producirse en la operación. La construcción de una pista implica la desaparición de las comunidades vegetales en el sector a ocupar, especialmente en la franja caminera donde ésta no podrá volver completa a revegetar en forma natural.

Los cambios microclimáticos y mesoclimáticos pueden tener efectos a medio plazo sobre la vegetación, afectando en este último caso áreas extensas. Las modificaciones mesoclimáticas tienen importantes repercusiones cuando se comunican valles con niveles de inmisión muy distintos. El impacto es más intenso en el caso de que la vegetación del área no contaminada posea un alto valor naturalístico y esté afectada como consecuencia de la comunicación introducida. La intercepción de los cursos fluviales y acuíferos superficiales puede también acarrear consecuencias en la vegetación freatófila, produciendo una

pérdida de humedad en el sustrato y afectando especialmente las praderas de juncales y formaciones análogas. Finalmente, otros impactos secundarios pueden entenderse como un incremento del nivel de riesgo. Entre ellos destacan los incendios y los efectos del pisoteo. Ambos se producen por el aumento de frecuentación. Los ecosistemas mediterráneos como el de la Reserva Nacional Ñuble son especialmente sensibles por su escasa cobertura vegetal y el prolongado periodo de sequía estival. La previsión de estos últimos impactos es relativamente difícil, puesto que son puntuales y erráticos en el tiempo. Sin embargo, conociendo las características y la fragilidad de los ecosistemas se puede llegar a estimaciones cualitativas de riesgos que permitan tenerlos en cuenta en el impacto global del proyecto y en la comparación de alternativas.

Basado en lo anterior se tomaron una serie de **medidas de mitigación**, las que se mencionan a continuación:

- Se mantuvo a los equipos y los trabajadores dentro de la franja de trabajo y además se evitó al máximo el uso de fuego y generación de chispas que pudiesen provocar un incendio.
- Se consideró la reducción del impacto sobre la vegetación existente limitándose el uso y tránsito de personal y maquinarias a la franja de servidumbre. Una vez terminada la construcción fue importante descompactar el suelo y permitir el desarrollo de un repoblamiento natural, o la realización posterior de siembras y/o plantaciones.

- Se minimizó la superficie alterada. La creación de desmontes y terraplenes en los trabajos de explanación, así como la creación de diversos caminos de acceso a los diferentes tajos o puntos de trabajo, fueron analizados de forma puntual, restringiendo en lo posible la superficie de alteración. Cuando la protección no fue del todo posible y fue inevitable la pérdida de vegetación se intentó la recuperación de la cubierta vegetal autóctona, creando las condiciones óptimas en cuanto a pendientes, suelo, etc., que posibilitaran a corto plazo la implantación de especies herbáceas a mediano y largo plazo y la colonización de la vegetación autóctona inicial.
- Se procedió a ayudar a los procesos naturales mediante plantaciones y siembras, en aquellos casos en que las condiciones ambientales dificultaron la colonización vegetal, o bien porque interesaba que la velocidad de recuperación fuese más alta. El tipo de cubierta vegetal a implantar estuvo determinado en función de las siguientes variables: vegetación autóctona existente; pendiente de los terrenos; clima; condiciones edáficas; entorno paisajístico; uso social del lugar. Es interesante resaltar que para que una plantación tenga éxito es necesario que se cumplan una serie de requisitos básicos, entre los que se pueden citar: un adecuado diseño de desmontes y terraplenes, con pendientes tendidas y abancalamientos, una preparación previa del terreno (mediante mulches, extendido de tierra vegetal, abonados, etc.); un mantenimiento posterior de las plantaciones realizadas (al menos 2 ó 3 años). En la selección de especies se evitó especies no

autóctonas, puesto que se podían producir invasiones no deseadas de especies exóticas.

- Se disminuyó el riesgo de incendios, en zonas proclives a los incendios, y se realizó un estudio detallado para disminuir este riesgo, disminuyendo el uso del fuego y mojando la vegetación aledaña a los lugares de trabajo con generación de chispas (áreas con trabajos de soldadura), en periodos de altas temperaturas.

Como **medidas de compensación** se entienden aquellas tendientes a reponer aquellas áreas de un proyecto en las cuales son menores o insuficientes las medidas de mitigación y prevención, por lo que requieren una compensación igual o mayor de la condición natural en que estas se encuentran.

Dentro de estas medidas se llevó a cabo la siguiente en el proyecto:

- Para el caso de impacto generado sobre la vegetación y la fauna dentro del nicho ecológico y biotopo presente en la zona de la Reserva se compensó con 2000 hectáreas de terrenos aledaños a la Reserva, que contienen las especies en Estado de Conservación afectadas por el proyecto. Se entregó el fundo "El Trumao" a la administración de la Corporación Nacional Forestal.

3.2.4 Impactos y medidas asociadas a la Fauna. Los impactos sobre la fauna terrestre son difíciles de corregir, siendo necesario para establecer las medidas correctoras, un profundo conocimiento sobre los hábitos y el comportamiento de las diferentes poblaciones implicadas (MOPT, 1989).

Como **medidas de mitigación** se consideraron las siguientes:

- Se evitó mediante el diseño del trazado zonas especialmente sensibles ya que la destrucción directa del hábitat de las especies carece de medida correctora.
- El efecto barrera y los riesgos de atropellamiento se evitaron, en parte, mediante pasos. Estos pasos debieron diseñarse con cuidado puesto que en zonas donde existía furtivismo la medida podía llegar a ser contraproducente.
- Las afecciones sobre zonas sensibles (por ejemplo: áreas de reproducción) fueron también difíciles de corregir, debiendo tomar medidas específicas para cada caso concreto.
- Se protegió la fauna acuática mediante el mantenimiento de caudales y de la calidad de las aguas. Otras medidas que se contemplaron se referían al mantenimiento de la diversidad de condiciones ambientales de los cauces, tanto a nivel microtopográfico como de vegetación, y evitar los cortes e intervenciones en cauces con especies nativas.
- Se estableció que la vegetación talada en la franja fuese dispuesta en los bordes de ésta para dar protección a la fauna silvestre.

- Se prohibió hacer fuego a lo largo de la franja de construcción en áreas de riesgo por fuego (por ejemplo, vegetación de matorrales). Para este efecto, se instruyó a los trabajadores.
- Se evitó en lo posible aquellos hábitats en que habitaban especies silvestres protegidas. Para tal efecto, mediante la inspección ambiental se controlaron las labores de despeje, nivelación, construcción y las de restauración en las áreas de especies silvestres sensibles, minimizando el daño en estas.
- En aquellas áreas en que existían especies sensibles como el Huemul, se instauraron calendarios de construcción, para evitar la ejecución de obras en la estación reproductiva. Los campamentos de construcción se ubicaron lejos de hábitats terrestres poco alterados, de humedales y de las masas de agua, de tal manera de minimizar el ruido y otras alteraciones humanas sobre las especies silvestres. Las cuadrillas de trabajo fueron instruidas específicamente sobre la prohibición de pescar, cazar y coleccionar durante la construcción del proyecto. Se prohibió al personal de construcción llevar animales domésticos, tales como perros y gatos, a los lugares de trabajo.
- Los tocones correspondientes a relleno con material en la zanja, de un ancho de 2 a 3 metros y que se dejaban una vez excavada, para evitar tener un canalón continuo que dividiera posibles hábitats en dos, se mantuvieron durante toda la fase previa al tapado, para permitir el

cruce periódico de la zanja por la fauna silvestre. La zanja además se debió dejar abierta el menor tiempo entre la excavación y el tapado. En los extremos abiertos se formaron taludes durante la construcción para proporcionar una vía de salida a las especies silvestres que pudiesen ingresar a la zanja.

- Si los estudios técnicos de la ingeniería de detalle arrojaban que se necesitaban escolleras en un curso de agua en particular, se diseñaron de forma de minimizar la interferencia con el desplazamiento de los peces o de otros organismos acuáticos.
- La tubería de entrada que se utilizó para extraer agua para la prueba hidrostática, fue provista de una malla para evitar atrapar los peces.
- Se mantuvo las velocidades de flujo apropiadas dentro de los arroyos para proteger la vida acuática.

IV. Evaluación de efectos y resultados en las acciones de prevención, mitigación y de compensación para el medio físico.

El autor de esta memoria, mientras duró la construcción en la Reserva Nacional Ñuble, evaluó los resultados de las medidas aplicadas en terreno para cada uno de los componentes del medio físico. A continuación los resume en una tabla de impactos (Tabla N°5).

4.1 Efectos y resultados de las medidas de prevención y de mitigación en el suelo.

Los deslizamientos en masa y la erosión se identificaron como los dos elementos sensibles relacionados con el suelo en los cuales fue importante prevenir y mitigar los impactos de la construcción.

Para los deslizamientos en masa se consideró la experiencia surgida en el Oleoducto Transandino el cual también atraviesa la Reserva Ñuble. La construcción del Gasoducto del Pacífico se basó en las medidas de mitigación relacionadas con deslizamientos en masa estudiadas antes de comenzar con la obra, para lo cual realizó estudios geotécnicos con la intención de lograr una modificación del trazado en dos sitios importantes como el desvío El Águila y el desvío El Huemul. En estos lugares se proyectó un nuevo trazado debido a que estas áreas podían resultar inestables. Una de las zonas más claves fue la zona del estero Mal Paso (Figura N°9). Geotécnica, 1998, junto a personal ambiental del gasoducto determinó que el sector inicial de Las Águilas era crítico. En este sector la plataforma del oleoducto Transandino está emplazada en el

pié de la ladera izquierda o sur del valle del río Polcura, a unos 20 m por sobre el lecho de dicho río. Al comienzo, o sea en el sector de aguas arriba, dicha plataforma está excavada en suelos del tipo de arenas limoarcillosas con bloques aislados.

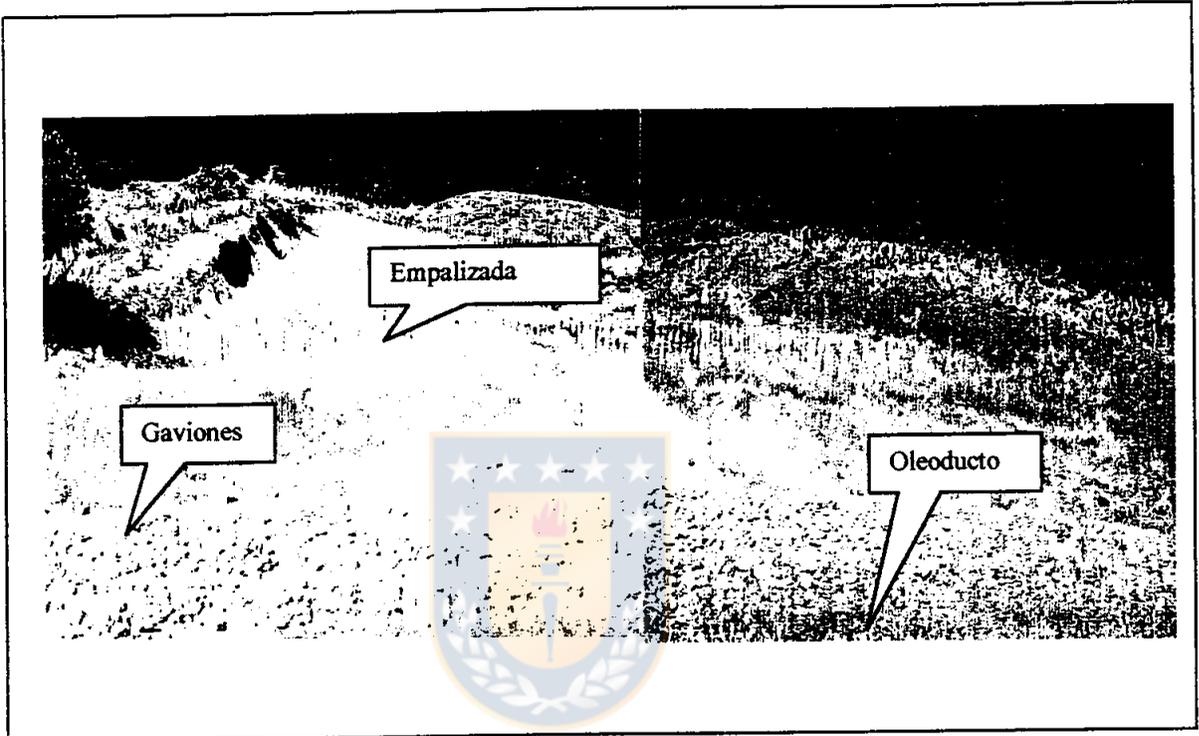
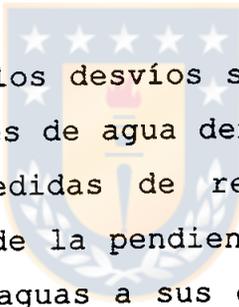


Figura N°9. Sector Desvío Mal Paso

En este sector se aprecia la ocurrencia del deslizamiento que se generó a raíz de las intensas lluvias del otoño de 1996. Dicho deslizamiento destruyó completamente la plataforma de emplazamiento del oleoducto en un tramo de unos 80 m de largo, dejando al descubierto parte de la tubería del Oleoducto Transandino, la cual estaba emplazada en el costado interno de dicha plataforma y el material deslizado fue a parar en el pié de falda y en el mismo río Polcura. Posteriormente, este sector fue reparado y se colocaron gaviones de refuerzo en todo el costado interno

de la plataforma, incluyendo el sector ubicado inmediatamente a continuación hacia aguas abajo. Además se estacó con gruesos troncos la zona deslizada hasta una profundidad menor o igual a 1 m, de forma de evitar futuros deslizamientos. En este sector prácticamente no hay espacio para excavar una nueva plataforma para instalación de la tubería del Gasoducto del Pacífico sin comprometer la estabilidad de la actual plataforma del Oleoducto Transandino. El material del talud que llega hasta el río está constituido por el volteo del suelo deslizado, el cual tiene un talud de reposo natural de aproximadamente 34° y se encuentra algo compacto debido a la sequedad de su matriz limoarcillosa.



Una vez autorizados los desvíos se construyó la pista y se colocaron desviaciones de agua denominadas bermas, tal como lo señalarán las medidas de restauración propuestas en aquellos lugares donde la pendiente superaba un 5% de tal forma de llevar las aguas a sus cursos naturales, evitando que la tubería se destapara y que esta agua pudiese erosionar la pista. Se colocaron además jalones que permitieran medir posibles deslizamientos en el punto más susceptible del desvío. No se registraron al cabo de un periodo invernal deslizamientos ni movimientos considerables de material, y se mantuvo estable la ladera y la pista en su totalidad.

Otro sector importante estudiado por Geotécnica (1998), fue el de la cuesta El Huemul (Figura N°10). Esta se localiza en la primera quebrada de la ladera derecha o norte del valle del río Polcura aguas abajo de su confluencia con el río de los Peucos. En este sector la plataforma del

Oleoducto Transandino está emplazada a media falda de la ladera derecha u oeste de la quebrada lateral allí existente. Este tramo tiene una extensión de aproximadamente 1 km. Allí la plataforma está excavada tanto en rocas volcánicas y volcánico elásticas de moderada a fuerte meteorización y fuertemente fracturadas, así como en depósitos de escombros de falda gruesos, del tipo de gravas limosas con grandes bloques. El talud externo, hasta el fondo de la quebrada, tiene unos 35° de inclinación.

Aquí y prácticamente desde el inicio de la construcción, se originaron problemas de erosión hídrica con el consecuente socavamiento y desestabilización del borde externo de esta plataforma y destrucción de la huella vehicular, a raíz de las intensas lluvias que suelen acaecer en el lugar. Esta situación ha forzado la continua mantención y reparación de este sector lo cual ha implicado los siguientes trabajos:

- Protección adicional del sector donde va enterrada la tubería, incluyendo la construcción de pequeños montículos de tierra diagonales al trazado y, con drenaje hacia afuera de la plataforma.
- Reperfilamiento e intento de implantación de vegetación en el talud interno del corte, excavando para emplazar la plataforma. Reparación o reposición de la huella vehicular allí existente, fuertemente erosionada con ocasión de cada período de lluvias intensas. Colocación de gaviones para estabilizar varios sectores del borde externo de la plataforma los cuales habían sido socavados por las aguas lluvias.

- Construcción de una canaleta de drenaje central de profundidad 0,6 m, ubicada entre el sector de emplazamiento de la tubería (costado interno) y la pista de rodaje vehicular (costado externo), revestida parcialmente con hormigón pobre.



Figura N°10. Vista Cerro el Huemul ambas pistas

Al cabo de un periodo invernal no se registraron deslizamientos ni erosiones considerables y se procedió a la revegetación y reforestación del lugar.

Una de las medidas más importantes desarrolladas durante la construcción fue la estabilización de taludes a ángulos de reposo estable ya que estos representaban riesgos de deslizamiento, por lo que se les estabilizó con material a 2/3 de la altura, como se ve en la Figura N°11.

Una vez hecha la restauración de la pista se estabilizaron todos los taludes disminuyendo así el arrastre de material por el agua.

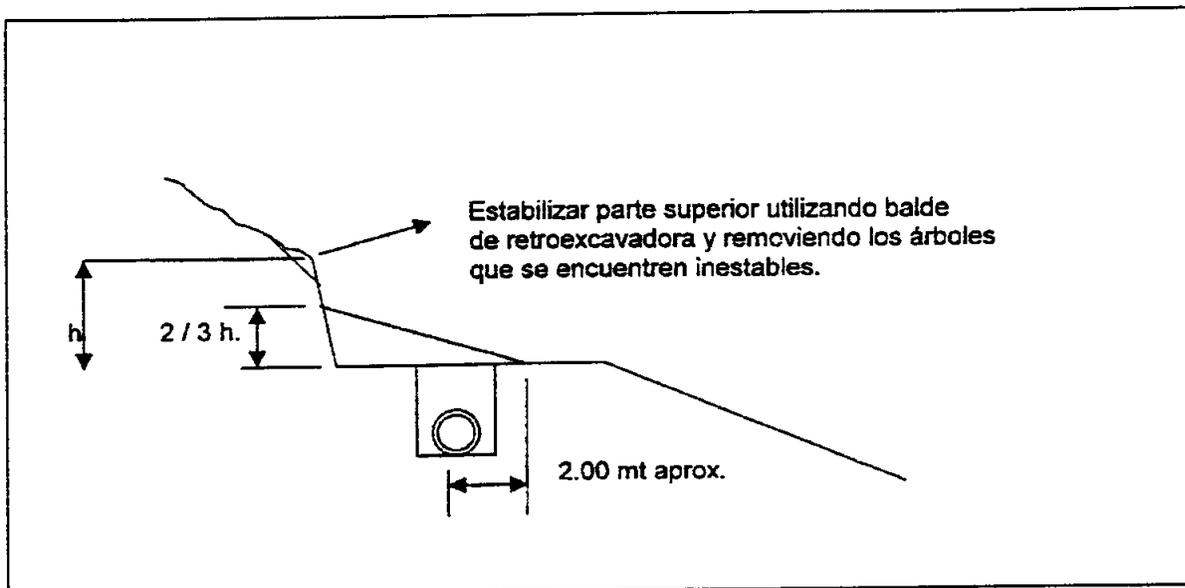


Figura N°11. Estabilización de taludes.

De acuerdo a las medidas de mitigación y de prevención sugeridas estas se aplicaron en terreno, dando el resultado esperado.

Se destacan en estas las siguientes **medidas de mitigación** para el deslizamiento en masa:

- Se mantuvo la forma convexa de las laderas en especial en el desvío los Pacos, generando una estabilidad en la pista, no registrándose ningún deslizamiento durante la construcción, ni al cabo de un periodo invernal.
- En el desvío El Aguila no se sacaron las rocas generadas a otros lugares como establecía la medida, debido a que no se autorizaron sitios de depósito (botaderos), por lo que se tuvo que trabajar en condiciones reducidas colocando las rocas aprisionadas en el talud de relleno.

No se generaron derrames de magnitud que llegasen al río, pero si se provocó un daño mayor del esperado a los árboles del sector. Esta zona se mantuvo constantemente inspeccionada para controlar y minimizar las obras para la construcción en este sector.

- En el desvío Los Capados la tubería se enterró a 1m de profundidad y se construyó bermas de desviación, no generándose deslizamientos en masa.
- Se buscó a través del diseño el no ir a media ladera a lo largo de la Reserva Ñuble, no registrándose deslizamientos masivos.

En relación al efecto de las **medidas de mitigación** para controlar la erosión se destaca lo siguiente:

- Como control de erosión producto del viento se mantuvo regada la pista en aquellos días de vientos fuertes de tal forma de evitar que se llevase material suelto de un lugar a otro.
- Una vez bajada la tubería a la zanja se pasó la oruga de una retroexcavadora de tal forma de compactar el material suelto que está sobre el gasoducto, además de evitar el arrastre de material fino y se colocó un coronamiento sobre el tubo de forma de evitar los desniveles que se podrían producir al asentarse definitivamente la tubería. Esto mantuvo firme el terreno una vez que la tubería se asentó, no produciendo en la zona de la Reserva Ñuble destapes de la tubería,

tema muy sensible ya que además de la erosión produce un desgaste en la tubería. Este punto es muy crítico especialmente en suelos arcillosos donde esto tiende a ser frecuente.

- Uno de los impactos importantes fue la utilización de material fino para tapar la tubería, material que no podía ser obtenido de yacimientos o de sitios de empréstitos, lo que obligaba a seleccionar el material existente en la misma pista la que, por ser rocosa, se tapó con el poco suelo existente y provocó que quedaran rocas de gran tamaño sobre la pista misma (Figura N°12).
- En los lugares donde el suelo, producto del tránsito de vehículos, se compactó demasiado, se procedió a descompactar con riper, permitiendo así una mejor regeneración de la vegetación en el lugar. Al cabo de un periodo invernal sin intervención de maquinarias y vehículos en el sector, se observó una favorable regeneración natural y por experiencia del Oleoducto Trasandino se destaca ésta práctica como el mejor método de revegetación.
- En aquellos sectores donde se cruzó humedales se colocó geotextil y sobre él la carpeta de rodado, construyendo la zanja por el costado. En los lugares en los cuales se sacó la capa vegetal antes de hacer la pista, al volver a colocarla una vez terminado el tapado la vegetación permaneció casi intacta en los humedales, y en aquellos

donde esto no se hizo, al cabo de un periodo la regeneración natural fue muy baja.

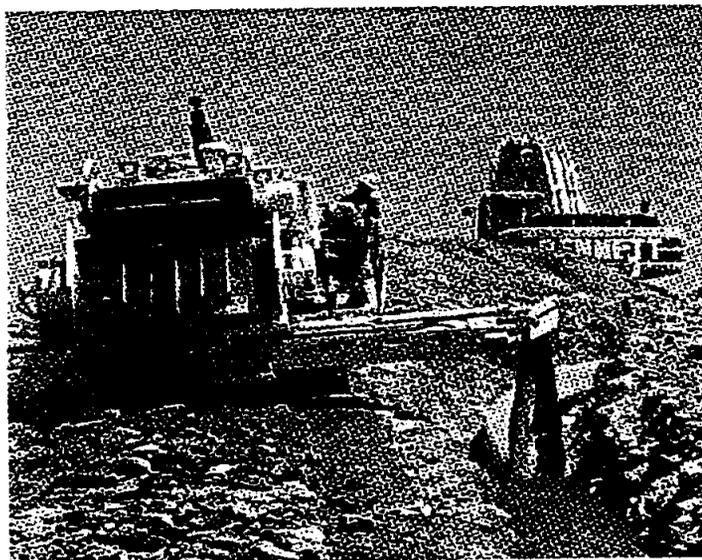


Figura N°12. Seleccionadora de material fino para cubrimiento de la tubería puesta en la zanja.

4.2 Efectos y resultados de las medidas de prevención y mitigación en cursos de agua.

De acuerdo a lo revisado en la literatura y lo señalado en el Estudio de Impacto Ambiental y en las distintas resoluciones de CONAMA se procedió a aplicar las medidas de mitigación propuestas para la construcción del gasoducto. A través de la inspección ambiental en terreno se fue evaluando la aplicación de cada una de estas.

En primer lugar, se definió la ubicación de las bermas para desviar las aguas lluvias o aquellas que vinieran de los deshielos al cabo del invierno (Figura N°14). Con este objetivo, se midió la pendiente a través de un clinómetro y se fueron colocando estas estructuras a distintas distancias, de acuerdo a lo señalado en la Tabla N°4.

Para su diseño y ubicación se evaluó la pendiente, dirección de las aguas, el tamaño del cauce, la formación del terreno presente en el trazado y las obras anteriormente desarrolladas por parte del oleoducto. Estas bermas descritas por planos y diseñadas de acuerdo al nivel de precipitación existente en el lugar y al tipo de material con que estas se construirían, tienen las siguientes dimensiones: base: un metro de ancho, alto: un metro y terminando con un ancho de un metro en la base y cincuenta centímetros la parte superior.

Como se observa en la Figura N°13, la berma debe llevar una pequeña inclinación no superior a 5° que permita que el agua se movilice y no se estanque en su borde o que la velocidad del agua disipe su energía a toda la berma y comience a destruirla en un punto.

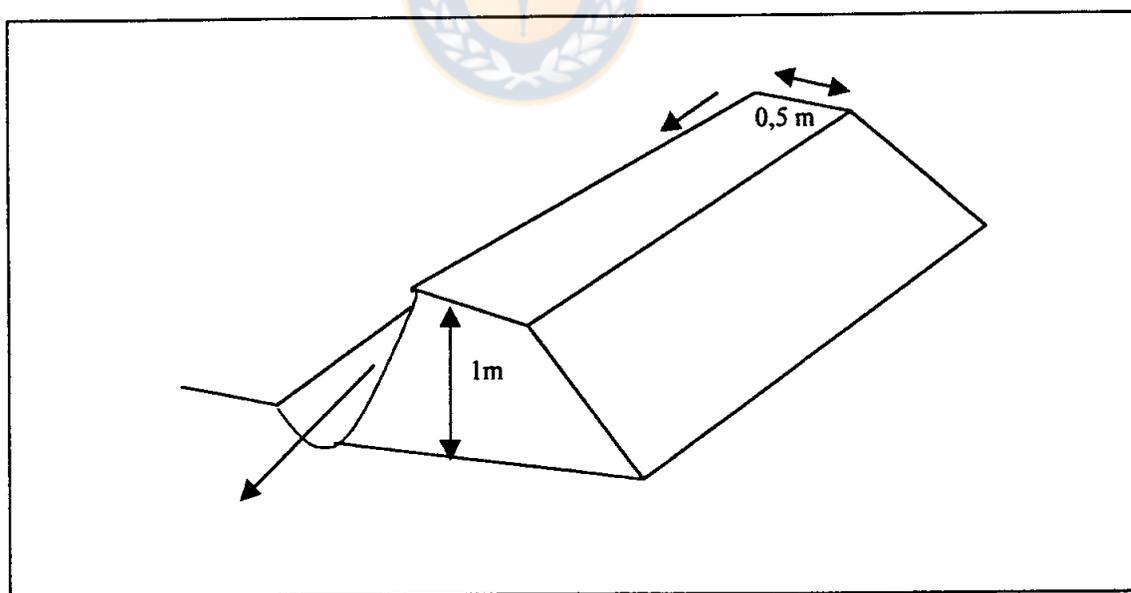


Figura N°13. Berma de desviación.

Como la tubería comparte la pista de circulación y va paralela al oleoducto en casi toda su extensión (Figura 14), la estructura que dio mejor resultado para evacuar las aguas es aquella que contempla una cuneta que sale desde las bermas apostadas sobre el oleoducto; esta cuneta baja por el borde izquierdo del camino cruza dos o tres bermas más abajo por intermedio de un badén y luego esta agua se conduce por otra cuneta al lado derecho que sale por una berma sobre el gasoducto donde es dirigida a su cauce normal. Esto básicamente para aguas lluvias y para aguas de deshielos ya que en aquellas aguas permanentes o estacionales de cauces mayores se dimensionaron alcantarillas y badenes con enrocado, dejando a cada lado de estos últimos un lomo que evitara la salida del agua al camino.

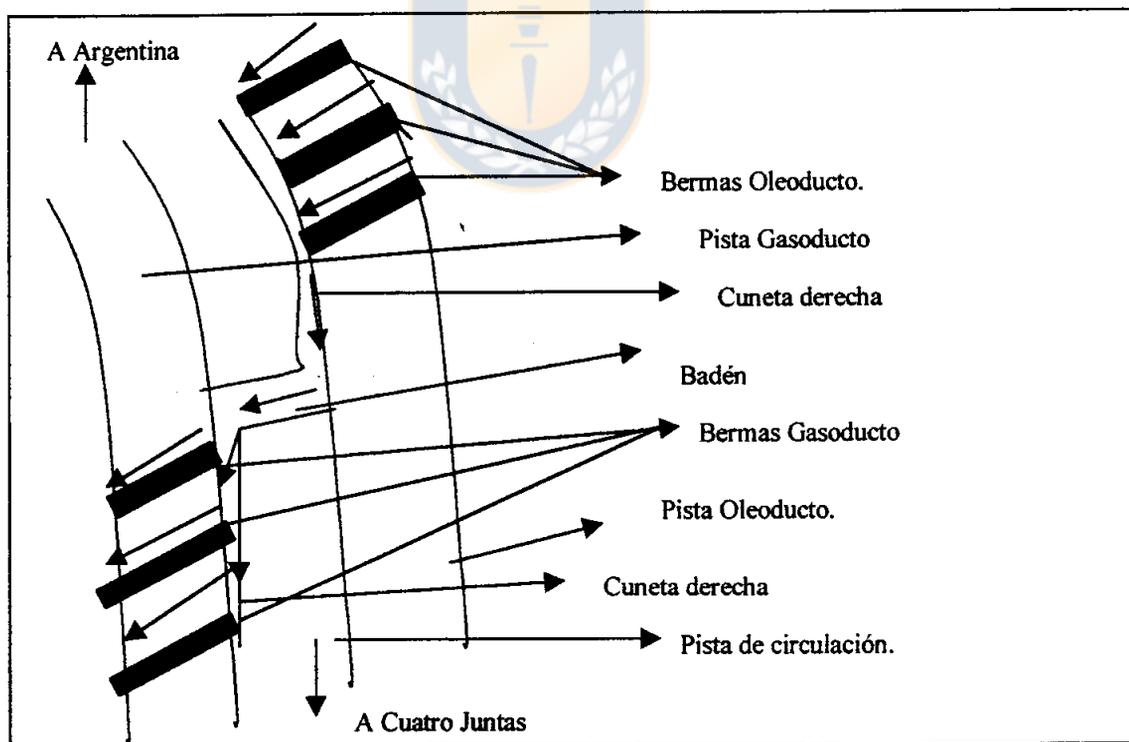


Figura N°14. Sistema manejo de aguas lluvias.

El diseño de estas estructuras fue fundamental para la conservación del estado transitable del camino y para evitar el destape y la consecuente erosión de las pistas.

Se comprobó que tras un periodo invernal, estas bermas funcionaban mejor con una pequeña inclinación y cuando abarcan toda la pista y no solo la sección que está sobre la tubería. Cuando el gasoducto se apartaba del oleoducto y no quedaba pista de circulación no había problemas con el manejo de las aguas y la pista se comportó de manera muy estable (FiguraN°15).

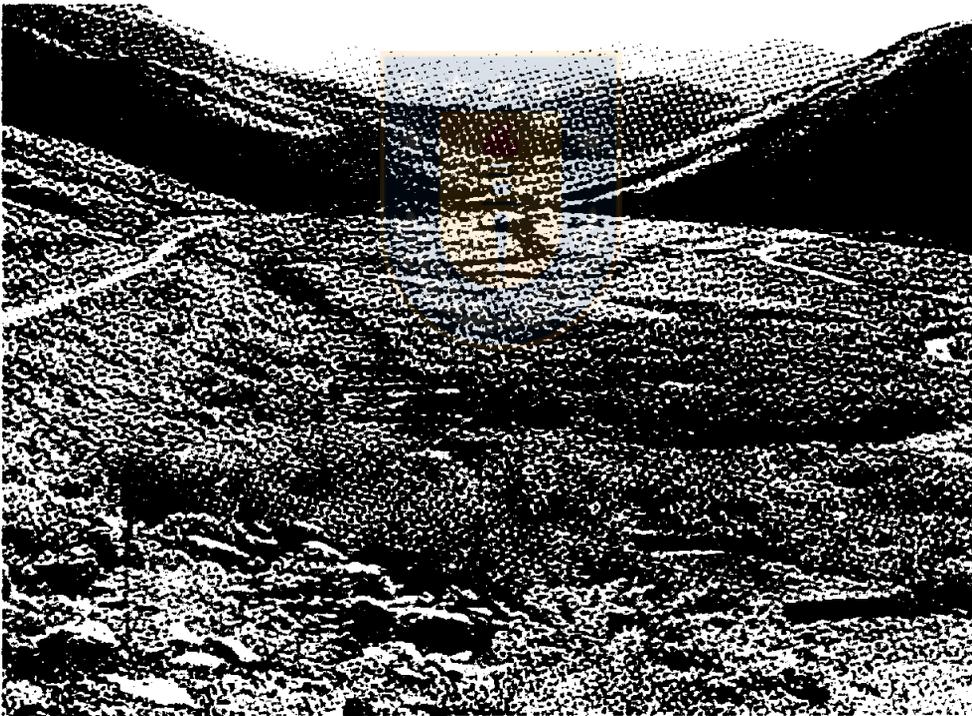


Figura N°15. Bermas de desviación.

En el control de las aguas subsuperficiales se evitó el destape de la tubería así también como el arrastre del material fino con el uso de tapones de zanja, estructuras de poliuretano con las que se rellena la zanja en un

espesor de 50 cm, el que se endurece formando un sello alrededor de la tubería evitando así el arrastre del material de tapada producto de las aguas subsuperficiales. Estos tapones también pueden ser hechos de sacos apilados formando una pirámide que rodea a la tubería. Para la ubicación de estos se usó el mismo principio de la ubicación de las bermas, siguiendo la pendiente, y cuidando los cruces de agua ya que los tapones siempre deben ir bajo estos. En la Reserva Ñuble se instalaron más de 200 tapones debido a la presencia de gran cantidad de aguas subterráneas y a la pendiente cordillerana.

4.3 Efectos y resultados de las medidas de prevención, mitigación y compensación en la vegetación.

En varios puntos críticos, como en desvío de El Huemul, se ajustó el ancho de pista evitando la corta de algunos ejemplares de tamaños considerables de especies en Estado de Conservación, especialmente de Ciprés de la Cordillera.

La obra se remitió al ancho de pista diseñado evitando salir de ésta, para lo cual se marcó con banderolas todo el ancho a lo largo de la pista, previo a la construcción.

En los humedales se apartó la capa vegetal durante la apertura de pista restituyéndose una vez enterrada la tubería, lo que dió excelentes resultados en la recuperación de la capa vegetal.

El tránsito de personas y vehículos se mantuvo restringido a la pista evitando así impactar otros lugares no previstos.

Una vez recompuesta la pista y tras descompactarla se mejoró la regeneración natural con siembra directa, y se reforestó los lugares más críticos en especial con Ñirre. Al cabo de un periodo invernal se comprobó una muy buena regeneración natural, lo que así también había ocurrido con el Oleoducto Trasandino.

4.4 Efectos y resultados de las medidas de prevención, mitigación y compensación en la fauna.

Se dispuso la vegetación talada a un costado de la pista para proteger la fauna silvestre, sirviendo en aquellos casos de cruce de la pista por parte de animales y reptiles ya que se podían guarecer rápidamente.

Se prohibió estrictamente el uso de fuego en la franja, y sólo se usó en los mecheros para revestimiento del tubo con las medidas de seguridad correspondientes. A pesar de estas medidas que resultaron exitosas, se debe considerar una mayor protección al momento de soldar la tubería ya que causó pequeños incendios de matorral, los cuales fueron controlados a tiempo.

Se capacitó al personal en el cuidado de la fauna local y se colocaron letreros en los lugares más sensibles, disminuyendo con esto la pesca y evitando la caza.

Se monitoreó constantemente las migraciones de roedores, aves y otros (huemules), no encontrándose cambios considerables; siempre se estuvo atento al comportamiento de las especies para que, en caso que se percibiera un impacto no previsto se adoptaran medidas adicionales. En aquellas zonas consideradas de reproducción de huemules,

para disminuir el impacto se fijaron horarios restringidos de trabajo. Solo se permitió 6 horas para traslado y trabajo en estas áreas, y se prohibió el trabajo nocturno.

Cada 300 metros aproximadamente se colocaron tocones de tierra en la zanja, para permitir el paso de animales. No se registró presencia de animales muertos en la zanja de la tubería.

Los taludes en los lugares con mayor posibilidad de paso de huemules se acondicionaron de tal forma de dar un aspecto natural una vez recompuesto el sitio.

Se monitoreó el efecto del proyecto en la fauna acuática, mediante capturas y marcaje para determinar las posibles migraciones, no encontrando impactos considerables.

A continuación se presenta en la Tabla N°5 un resumen de las medidas de mitigación, de prevención y de compensación frente a cada impacto en los componentes del medio físico evaluando los efectos finales de estas medidas. Por ejemplo, se puede observar que en la apertura de pista y zanjado(acción), para disminuir la intervención del suelo (medio físico), se estabilizaron los taludes en un ángulo de reposo de 2/3 de la altura y se contuvieron los derrames de material ladera abajo, provocando un trabajo seguro y la no ocurrencia de deslizamientos masivos(efecto).

Tabla N°5. Evaluación de las distintas medidas aplicadas al Medio Físico en la construcción.

MEDIO	ACCION	IMPACTO	MEDIDA	EFECTO
Suelo	Apertura de pista y zanjado.	Deslizamiento en masa.	Estabilizar taludes a ángulo de reposo estable 2/3 de la altura.	No ocurrencia de deslizamientos masivos. Trabajo seguro.
			Contener derrames de material ladera abajo.	No se afectó a cauces.
		Mezcla de horizontes.	No hubo.	Pérdida de material fino, aumento de rocas en la superficie.
		Erosión eólica.	Regado de caminos.	Disminución de material particulado.
			Restricción de velocidad.	
		Pérdida de capa vegetal.	Extracción en humedales y a orillas de ríos.	Recuperación rápida una vez restaurado.
		Compactación.	Colocación de geotextil en humedales.	Mantención de la estructura del humedal.
			Tránsito solo por pista de circulación.	Minimización de la superficie afectada.
			Descompactar una vez terminada la obra.	Mejora de la revegetación.
		Erosión Hídrica.	Colocación de alcantarillas, regueras y otros.	Mantención de cursos de aguas permanentes minimizando la erosión.
			Instalación de tapones de zanja.	Evitó lavado de material fino una vez tapado.
			Confección de Bermas o Espina de Pescado.	Control de aguas lluvias y deshielos.

MEDIO	ACCION	IMPACTO	MEDIDA	EFEECTO
Agua	Apertura de pista y zanjado.	Pérdida de calidad de agua por sedimentación.	Colocación de sacos en orillas de cruces de ríos.	Mantuvo estable las orillas disminuyendo el arrastre de material.
			Realizar cruces en no más de 48 horas.	Minimizó la cantidad de sedimentos.
			Mantener vegetación en orillas hasta realizar los cruces.	Mantuvo los bordes evitando el arrastre de material.
			Colocación de puentes provisorios.	Se evitó el levantamiento excesivo de sedimentos por cruce de lechos.
		Interrupción a cursos de agua subterránea.	En humedales realizar el zanjado y tapado una vez soldada la tubería.	Minimización del paso de agua por efecto de compactación.
		Erosión Hídrica.	Confección de Bermas o Espinas de Pescado, badenes y cunetas.	Control de aguas lluvias, deshielos y canalización a cursos mayores. Minimización de arrastre de material.
		Contaminación por hidrocarburos	Realizar mantenciones, lavados de maquinas y vehiculos en las intalaciones.	No se produjo derrames de combustibles ni aceites en cauces.
			Colocación de puentes provisorios.	
		Disminuir tasa de recarga de acuíferos.	Colocación de alcantarillas y drenes.	Mantuvo cursos de aguas permanentes.
		Efecto Barrera, corta de cauces naturales.		

MEDIO	ACCION	IMPACTO	MEDIDA	EFEECTO
Vegetación	Apertura de pista y zanjado.	Eliminación de vegetación.	Descompactar, Revegetar y reforestar.	Favoreció la revegetación natural.
		Disminución de ejemplares de especies protegidas.	Restricción de ancho de pista.	Evitó la corta innecesaria.
			Compensación con terrenos de la misma conformación vegetal	Aumentó la superficie y la biomasa de la Reserva Ñuble.
Fauna	Apertura de pista, zanjado, etc..	Caída de animales a la zanja.	Mantener cada 300 metros tapones de tierra que permitan las migraciones.	No se encontraron animales muertos en la zanja.
		Caza (muerte) y captura.	Colocar letreros prohibitivos y capacitar al personal en el cuidado de estos.	Se minimizó el impacto.
			Reducción de velocidad en vehículos, evitar tránsito nocturno.	Se minimizó la muerte de animales por atropellos.
			Migraciones por efecto de ruido.	Control de decibeles.
			Restricción horaria para los trabajos.	Se mitigó el impacto.
			Realizar monitoreos.	Se realizaron monitoreos a animales, aves y peces.
		Efecto negativo en hábitat.	Compensar con terrenos de hábitats similares.	Se compensó con 2000 hectáreas a la Reserva Ñuble.

V CONCLUSIONES.

La aplicación de medidas de prevención y mitigación redujeron los impactos en la construcción de un gasoducto en la Reserva Nacional Ñuble.

Se evitó los deslizamientos en masa como consecuencia de un buen diseño de ruta y la estabilización de taludes, la mejor medida para evitar estos en un ambiente cordillerano es un buen diseño de ruta, dicha medida se debe privilegiar frente a otras que prevengan o mitiguen este impacto, ya que aumenta la seguridad de la tubería y aminora el riesgo de deslizamiento durante la etapa de operación. Los dos desvíos respecto del oleoducto (Mal Paso y El Huemul), fueron claves ya que permitieron asentar la tubería del gasoducto en sectores estables a lo largo de toda la Reserva Nacional Ñuble. En relación con los taludes, es indispensable que tengan ángulos de reposo estable, ya que estos pueden ocasionar derrumbes considerables y afectar a una mayor superficie.

Al cabo de un invierno, las bermas se mantuvieron en buen estado y su utilidad se vio incrementada al ser complementadas con cunetas y badenes.

Uno de los impactos más negativos no previstos fue la utilización de material fino de la pista dando como resultado la pérdida de suelo en varios lugares por inversión de horizontes.

El apoyo en la regeneración natural fue el camino más efectivo en la recuperación de la vegetación.

La experiencia en este proyecto demuestra que en el diseño de una obra de ingeniería deben incorporarse los aspectos ambientales.



VI. RESUMEN.

El Gasoducto del Pacifico es una tubería que recorre cerca de 543 kilómetros y permite el transporte de gas natural entre la provincia de Neuquén (Argentina) y la VIII región de Chile. El trazado nace en la localidad de Loma La Lata y atraviesa la Cordillera de Los Andes a través del Paso Butamallín (1915 m. sobre el nivel del mar), siguiendo la ruta a través de la Reserva Nacional Ñuble, lugar en el cual se instaló alrededor de 50 kilómetros de tubería, recorriendo luego distintas localidades hasta llegar a Concepción.

De acuerdo a la identificación de los impactos considerados para la construcción del Proyecto Gasoducto Del Pacifico a través del diseño y del trabajo en terreno, se tomaron una serie de medidas de prevención, mitigación y compensación con el fin de minimizar los efectos producidos en los componentes suelo, agua, vegetación y fauna correspondientes al Medio Físico.

Estas medidas fueron implementadas, controlando diariamente sus aplicaciones, modificaciones y resultados en las distintas fases constructivas por medio de una inspección ambiental.

Una vez efectuada la etapa constructiva y al cabo de un invierno se evaluó la eficacia de las medidas determinando que la consecución y la aplicación de la mayoría de ellas cumplieron con los objetivos tendientes a controlar los efectos negativos en los terrenos de la Reserva Nacional Ñuble, atravesados por el gasoducto

VI SUMMARY.

The Gasoducto of the Pacifico is a pipe that travels near 543 kilometers and it allows the transport of natural gas among the county of Neuquén (Argentina) and the VIII region of Chile. The layout is born in the town of La Lata and crosses the Mountain Los Andes in the Paso Butamallín (1915 m. on the level of the sea), following the route through the National Reservation Ñuble, place in which settled around 50 km of pipe, traveling different towns then until arriving to Concepción.

According to the identification of the impacts considered for the construction of the Proyecto Gasoducto of the Pacifico through the design and of the work in land, they took a series of measures of prevention, mitigation and compensation with the purpose of minimizing the effects taken place in the components soil, water, vegetation and fauna corresponding to the Physical Environment.

These measures were implemented, controlling daily their applications, modifications and results in the different constructive phases by means of an environmental inspection.

Once made the constructive stage and after one winter the effectiveness of the measures was evaluated determining that the attainment and the application of most of them fulfilled the objective tendientes to control the negative effects in the lands of the National Reservation Ñuble, crossed by the gasoducto.

VII BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Börgel, A.R. 1995. Estudio de Geomorfología Reserva Nacional Ñuble. Addendum Estudio de Impacto ambiental Gasoducto Transandino. Santiago, Chile.
- 2.- CONAF, 1995. Plan de Manejo Forestal de la Reserva Nacional Ñuble. VIII región, Chile.
- 3.- CONAMA, 1997. Resolución 10/97 Estudio de Impacto Ambiental. Proyecto Gasoducto del Pacifico. Santiago, Chile.
- 4.- EIA, 1995. Estudio de Impacto ambiental. Gasoducto Transandino. CONAMA. Santiago, Chile.
- 5.- Dames and Moore 1997. Addendum Estudio de Impacto Ambiental Gasoducto Trasandino Reserva Nacional Ñuble. VIII Región, Chile.
- 6.- De la Maza, C.L., M. Rodriguez, S.Blanco, G.Julio, L.González y W. Vera 1995. Evaluación de Impacto Ambiental del Gasoducto Transandino en la Reserva Forestal Ñuble. Estudio de Impacto Ambiental Gasoducto Trasandino. CONAMA. Santiago, Chile.
- 7.- Gasoducto Del Pacifico, 1998. Plan de Manejo Ambiental Gasoducto del Pacifico Reserva Ñuble. VIII Región. CONAMA. Santiago, Chile.

- 8.- Gajardo, R. 1994. La vegetación natural de Chile, clasificación y distribución geográfica. Ed. Universitaria. Santiago, Chile.
- 9.- Geotecnica, 1998. Estudio Geológico Reserva Ñuble. VIII región. Documento Técnico. Santiago, Chile.
- 10.- Guevara, E. 1997. Manejo Integrado de Cuencas. FAO. Santiago, Chile.
- 11.- Hudson, N. 1982. Conservación del suelo. Editorial Reverté. España, Barcelona.
- 12.- MOPT, 1990. Guías metodológicas para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental. Vol.3. Repoblaciones Forestales. Centro de Publicaciones. España, Madrid.
- 13.- MOPT, 1991. Guías metodológicas para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental. Vol.1. Carreteras y Ferrocarriles. Centro de Publicaciones del MOPT. España, Madrid.
- 14.- MOPT, 1989. Guías metodológicas para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental. Vol.2. Grandes Presas. Centro de publicaciones del MOPT. España, Madrid.
- 15.-Reglamento S.E.I.A, 1997. Ley de bases del Medioambiente. D.L 19.300. CONAMA. Santiago, Chile.

- 16.- SCSA, 1966. Soil Conservation Service American.
Procedure for determining rates of land damages by
gully erosion. USDA Technical Release 32, U.S.A,
Washington DC.
- 17.- Skidmore, E.L. and N.P Wooddruff 1968. Wind Erosion
Forces in the United States and their use in
predicting Soil Loss. Agricultural Handbook 346.
Agricultural Research Service USA,
Dept. Agriculture. USA, Washington DC.



