Comisión Nacional de Riego

# ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD
# "CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE RIEGO EMBALSE LONGAVÍ, REGIÓN DEL MAULE"

## INFORME FINAL

## "Resumen Ejecutivo"

**SANTIAGO, MARZO DE 2015**

Comisión Nacional de Riego

# ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD "CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE RIEGO EMBALSE LONGAVÍ, REGIÓN DEL MAULE

## INFORME FINAL

## RESUMEN EJECUTIVO


**Estudio Elaborado por:**

**TECNICA Y PROYECTOS S.A. - AGENCIA EN CHILE**
**Dirección: Av. Don Carlos 2939 Oficina 904, LAS CONDES - SANTIAGO**
**Fono: +56 02 23352289**
**www.grupotypsa.cl**


**SANTIAGO, MARZO DE 2015**

# ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE RIEGO EMBALSE LONGAVÍ

## Resumen Ejecutivo

mayo/2015

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD CONSTRUCCIÓN SISTEMA DE RIEGO EMBALSE LONGAVÍ

Resumen Ejecutivo

mayo/2015

# ÍNDICE


1. INTRODUCCIÓN ..... 1
   1.1. ANTECEDENTES ..... 1
   1.2. OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO ..... 2
   1.3. DIAGNÓSTICO PRELIMINAR ..... 2
2. ESTUDIO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS ..... 2
   2.1. IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES EMPLAZAMIENTOS ..... 2
   2.2. SELECCIÓN DE SOLUCIONES A DESARROLLAR ..... 3
3. TRABAJOS DE TERRENO ..... 4
   3.1. CAMPAÑA GEOTÉCNICA ..... 4
   3.2. TRABAJOS TOPOGRÁFICOS ..... 4
   3.3. ENCUESTAS AGROPECUARIAS Y TRABAJOS AMBIENTALES DE TERRENO ..... 4
4. ESTUDIOS BÁSICOS ..... 5
   4.1. ESTUDIOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS ..... 5
      4.1.1. Caracterización de las zonas de los embalses seleccionados ..... 5
      4.1.2. Riesgos geológicos ..... 6
      4.1.3. Disponibilidad de materiales ..... 6
   4.2. ESTUDIO SÍSMICO ..... 7
   4.3. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS ..... 7
      4.3.1. Recursos hídricos ..... 7
      4.3.2. Cálculo de crecidas ..... 8
      4.3.3. Estudio sedimentológico ..... 9
   4.4. DERECHOS DE AGUAS ..... 9
   4.5. ESTUDIOS AGRONÓMICOS ..... 10
      4.5.1. Objetivos y alcances generales ..... 10
      4.5.2. Caracterización agroclimática y agrológica de los suelos ..... 11
      4.5.3. Calidad del agua de riego ..... 11
      4.5.4. Infraestructuras de riego ..... 11
      4.5.5. Situación actual agropecuaria ..... 12
      4.5.6. Situación sin proyecto ..... 13
      4.5.7. Situación con proyecto. Programa de transferencia tecnológica ..... 13
      4.5.8. Escenarios de riego ..... 14
      4.5.9. Demandas de agua ..... 16
      4.5.10. Beneficios agrícolas netos del proyecto ..... 16
5. MODELO DE REGULACIÓN ..... 19
6. DISEÑO DE LAS OBRAS ..... 20
   6.1. MURO DE PRESA ..... 20
   6.2. EVACUADOR DE CRECIDAS ..... 21

6.3. ALTURA DE PRESA ..... 22
6.4. OBRAS DE DESVÍO DEL RÍO. TOMA Y DESAGÜE DE FONDO ..... 22
6.5. OBRAS COMPLEMENTARIAS ..... 23
6.5.1. Variantes de interferencia y tendidos eléctricos ..... 23
6.5.2. Mejora de las infraestructuras de riego ..... 23
6.5.3. Sistema remoto de aforo de caudales ..... 23
6.6. POSIBLE CENTRAL HIDROELÉTRICA ..... 23
7. ESTUDIO DE TENENCIA DE LA TIERRA ..... 24
8. ANÁLISIS AMBIENTAL ..... 24
8.1. ESTRUCTURA DEL ESTUDIO ..... 24
8.2. ANÁLISIS AMBIENTAL PRELIMINAR DE LOS SITIOS DE EMPLAZAMIENTO ..... 24
8.3. DEFINICIÓN DE LAS PARTES, ACCIONES Y OBRAS FÍSICAS DEL PROYECTO ..... 26
8.3.1. Embalse Los Laureles ..... 26
8.3.2. Embalse El Mañío ..... 26
8.3.3. Embalse Cuesta Lara ..... 26
8.3.4. Disponibilidad de Materiales ..... 26
8.3.5. Caudales Ecológicos ..... 27
8.3.6. Propiedad, Estudio de Tenencia de Tierra ..... 27
8.3.7. Derechos de Agua en el Área del Proyecto ..... 27
8.3.8. Área Beneficiada ..... 27
8.4. CARACTERIZACIÓN DE LA LÍNEA BASE DEL ÁREA DE INFLUENCIA ..... 28
8.5. ZONAS DE RESTRICCIÓN AMBIENTAL ..... 28
8.6. ANÁLISIS DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL Y PLAN DE CUMPLIMIENTO ..... 29
8.6.1. Cumplimiento de la Legislación Ambiental Vigente ..... 29
8.6.2. Permisos Ambientales Sectoriales ..... 29
8.7. ANÁLISIS DE PERTINENCIA DE INGRESO AL SEIA ..... 29
8.8. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES ..... 30
8.9. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL ..... 31
8.10. PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL ..... 31
8.11. IDENTIFICACIÓN DE ESTUDIOS AMBIENTALES ..... 31
8.12. CONCLUSIONES ..... 32
8.13. APROXIMACIÓN DE LOS COSTOS AMBIENTALES ASOCIADOS AL PROYECTO ..... 34
9. ACTIVIDADES DE PARTICIPACIÓN CIUDADANA ..... 35
10. ASESORÍA LEGAL Y TÉCNICA SOBRE DERECHOS DE AGUA ..... 35
11. EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA ..... 35
11.1. COSTOS 36
11.1.1. Costos del proyecto ..... 36
11.1.2. Costo de operación y mantención ..... 37

11.1.3. Costo de la eventual Central Hidroeléctrica ..... 37
11.2. BENEFICIOS ..... 38
11.2.1. Beneficios directos del riego ..... 38
11.2.2. Beneficio asociado al valor incremental de la tierra ..... 41
11.2.3. Beneficio asociado a las transacciones de los derechos de aguas ..... 41
11.2.4. Beneficio asociado a la generación hidroeléctrica ..... 42
11.2.5. Beneficio asociado al control de crecidas ..... 42
11.2.6. Beneficio asociado al turismo ..... 43
11.2.7. Beneficios asociados al agua potable ..... 43
11.3. EVALUACIÓN ECONÓMICA ..... 44
11.3.1. Escenarios ..... 44
11.3.2. Resultados ..... 44
11.4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD ..... 47
11.5. ANÁLISIS DE RIESGO ..... 48
11.6. INDICADORES ADICIONALES Y OTRAS EXTERNALIDADES ..... 49
11.7. MOMENTO ÓPTIMO DE LA INVERSIÓN ..... 50
11.8. ANÁLISIS FINANCIERO ..... 50
**12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 51**
12.1. DESCRIPCIÓN DE LAS SOLUCIONES ..... 51
12.2. VALORACIÓN ECONÓMICA ..... 53
12.3. OTROS FACTORES ..... 54
12.4. RECOMENDACIÓN DEL PROYECTO ..... 54

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. ANTECEDENTES

La confluencia del río Matadero con el estero Villalobos, en la cordillera de Los Andes, da origen al río Longaví (estribaciones del Nevado Longaví), con una hoya hidrográfica de unos 680 km$^2$ y un régimen hídrico muy irregular, de origen pluvial y nival. Tras recorrer aproximadamente 100 km hasta su unión con el río Perquilauquén, se constituye el río Loncomilla, principal afluente del Río Maule, que da nombre a la VII Región.

El área del Sistema Longaví es un amplio valle aluvial de la Región del Maule, en la provincia de Linares, entre las comunas de Longaví, Retiro y Parral, unos 340 km al sur de Santiago, con suaves lomas y tierras de cultivo muy fértiles. Por el norte alcanza el valle del río Perquilauquén y la Comuna de San Javier, y por el sur el río Catillo. Por el oriente queda limitado por la vertiente del río Liguay y los esteros Agua Bueno y Peumo, del sistema Achibueno, y por el poniente llega hasta el estero Parral y el sistema Digua.

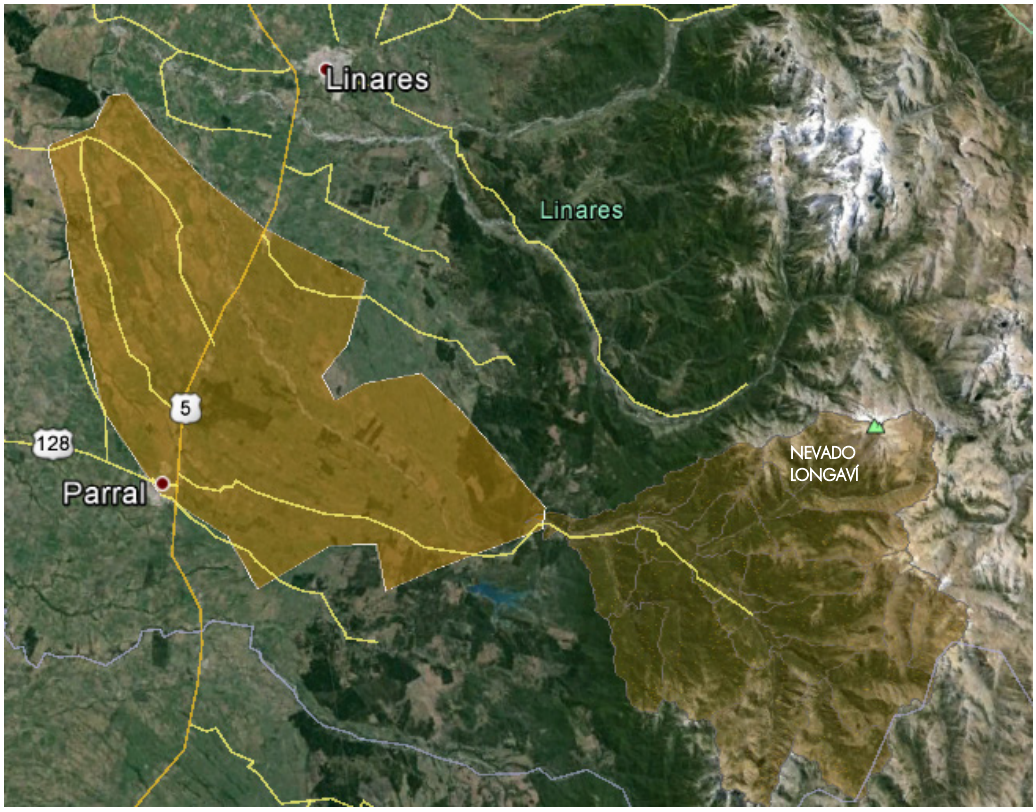



Figura 1-1. Situación geográfica

La zona de riego objeto del presente Estudio cubre un sector de 84.600 ha con potencial agronómico, siendo regables unas 60.000 ha, de acuerdo con sus características climáticas, geográficas y productivas. De esta extensión, actualmente se riegan cerca de 30.000 hectáreas. Poco más de la mitad de esta superficie se riega con ayuda del embalse Bullileo; el resto se riega con recursos derivados del río Longaví de forma muy deficitaria.

El presente Estudio de Prefactibilidad del Proyecto *"Construcción sistema de riego Embalse Longaví, Región del Maule"*, fue contratado por la Comisión Nacional de Riego (CNR) del Ministerio de Agricultura a la empresa consultora de ingeniería TYPSA-Agencia en Chile, con el fin de establecer la mejor solución de embalse que pueda regular las aguas del río Longaví, para incrementar la seguridad de riego y aumentar la superficie regada en la actualidad.

## 1.2. OBJETIVOS Y ALCANCES DEL ESTUDIO

El principal objetivo del Estudio es definir un embalse en el curso del río Longaví que permita regular los recursos hídricos para aumentar la superficie de riego actual hasta alcanzar unas 40.000 hectáreas, con seguridad de riego del 85%.

Los trabajos que integran el estudio consisten en realizar un análisis previo de alternativas entre las posibles ubicaciones del embalse para encontrar la mejor solución, y definir las infraestructuras necesarias a nivel de prefactibilidad. Estos trabajos incluyen estudios técnicos de diferentes disciplinas, así como campañas de terreno, para asegurar que la solución final del Estudio considera fielmente las condiciones reales existentes y las aspiraciones de los interesados.

Las actividades que componen el Estudio han consistido en el análisis de los antecedentes existentes, el examen de las características del entorno que condicionan la viabilidad y rentabilidad de la infraestructura, la cuantificación de las demandas y de los recursos hídricos disponibles, el desarrollo de los diseños, y por último la evaluación de la inversión y de los beneficios que justifican la solución finalmente propuesta.

## 1.3. DIAGNÓSTICO PRELIMINAR

Tras analizar los antecedentes disponibles y realizar las primeras visitas al terreno, se elaboró una primera caracterización de la zona desde el punto de vista fisiográfico, hidrológico, agronómico, geológico y ambiental, que permitió hacer el siguiente diagnóstico preliminar antes de plantear los posibles embalses:

- ✓ La naturaleza de los suelos de la zona regable admite una gran mejora de la explotación agrícola, si se dispone de la suficiente seguridad de riego.
- ✓ Existen recursos hídricos suficientes en el valle para aumentar la seguridad de riego hasta niveles normales (85%), incluso incrementando la zona regable, mediante un embalse de regulación. El ser una cuenca pluvio-nival, la mayor disponibilidad de recursos se concentra en los meses de invierno, durante los cuales la demanda hídrica es muy baja.
- ✓ La zona de posible emplazamiento de embalse se enmarca entre la zona de Las Guardias por el poniente, hasta los alrededores de la zona de La Balsa al oriente. Se trata de una zona muy limitada y reducida, en donde puede ser complicado reunir todas las condiciones técnicas necesarias para garantizar la viabilidad técnico-económica.
- ✓ Las organizaciones de regantes y los pobladores de la zona, en general, son favorables a la iniciativa de construir un embalse de regulación en la zona. Las infraestructuras de riego y las técnicas de riego necesitan ser mejoradas.

# 2. ESTUDIO COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS

## 2.1. IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES EMPLAZAMIENTOS

Después de estudiar los antecedentes, se realizó un detallado reconocimiento del río Longaví, aguas arriba de la zona de Las Guardias, hasta los esteros Matadero y Cieneguilla, cubriendo una longitud aproximada de 30 km entre las alternativas más extremas. En total, se identificaron inicialmente 11 posibles alternativas de embalse:

| | |
|---|---|
| P01 - CIENEGUILLA | Estero Cieneguilla |
| P02 - MATADERO 2 | Estero Matadero |
| P03 - MATADERO 1 | Estero Matadero |
| P04 - ZAPALLAR | Estero Cieneguilla |
| P05 - LA BALSA | Río Longaví |
| P06 - LOS CERRILLOS | Río Longaví |
| P07 - EL MAÑÍO | Río Longaví |
| P08 - CUESTA LARA | Río Longaví |
| P09 - EL CASTILLO | Río Longaví |
| P10 - LOS LAURELES | Río Longaví |
| P11 - LAS GUARDIAS | Río Longaví |

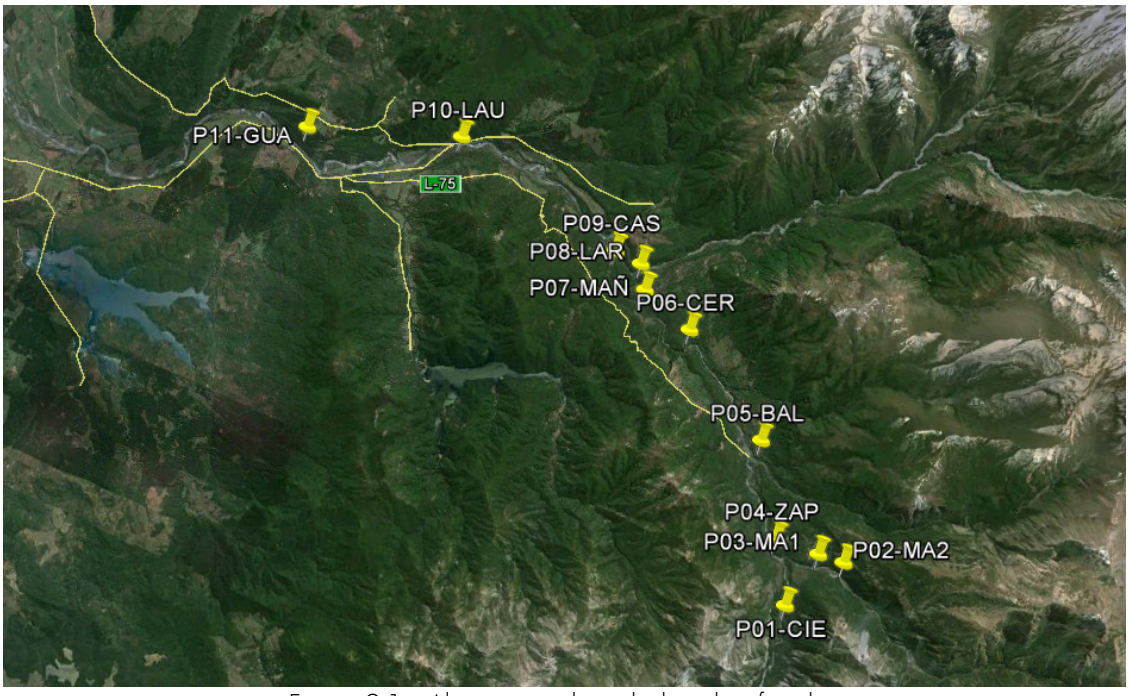



Figura 2-1. Alternativas de embalse identificadas

## 2.2. SELECCIÓN DE SOLUCIONES A DESARROLLAR

Una vez estimadas las magnitudes principales de cada alternativa sobre la cartografía general, se realizó un primer análisis a nivel comparativo de los aspectos fundamentales que pueden condicionar su viabilidad técnico-económica, descartando aquellas que no cumplieron los requerimientos mínimos (tamaño de embalse, recurso hídrico, características geológico-geotécnicas, vulnerabilidad ambiental del entorno, ubicación respecto a la zona de riego, etc.).

Por motivos geológicos, se descartaron las alternativas de Las Guardias y La Balsa. Ésta última presenta además un altísimo impacto ambiental y social, y un enorme tamaño del muro de presa. Por falta de recursos hídricos, se descartaron Cieneguilla y Matadero 1 y 2. La alternativa Los Cerrillos se descartó por falta de volumen de embalse mínimo.

En el caso del emplazamiento El Castillo, TYPSA considera que con los datos existentes (o incluso con los resultados de otras investigaciones que podrían desarrollarse) no es posible determinar su viabilidad. Los trabajos necesarios para establecer finalmente la naturaleza y dimensiones del paleovalle detectado sobrepasan muy ampliamente los recursos que pueden ponerse a disposición, tanto en esta fase de prefactibilidad como incluso en fase de factibilidad. Sólo estaría justificado avanzar el estudio de esta solución, con un elevadísimo coste, si no existiera ninguna otra posibilidad viable de embalse, lo cual no es el caso. Por tanto, esta alternativa fue descartada, por las grandes incertidumbres que genera.

La alternativa de El Zapallar podría ser viable, aunque tiene grandes incertidumbres. En cualquier caso, presenta excesivos volúmenes de tierra a remover antes de construir la presa, se encuentra muy alejada del sector de riego, y comparativamente con el resto no presenta ventajas; por ello, también se descartó su selección.

Como conclusión, tras el análisis comparativo efectuado, se propusieron como mejores soluciones a desarrollar, las siguientes soluciones:

- ✓ Los Laureles
- ✓ Cuesta Lara
- ✓ El Mañío

# 3. TRABAJOS DE TERRENO

## 3.1. CAMPAÑA GEOTÉCNICA

Se realizaron diversos reconocimientos geológicos de superficie, primero generales sobre todas las alternativas identificadas y después más detallados de los emplazamientos seleccionados (Los Laureles, Cuesta Lara y El Mañío), para obtener información sobre las condiciones litológicas, estructura del substrato rocoso, naturaleza y espesor de los recubrimientos en fondo de valle y laderas. Se cartografiaron los afloramientos rocosos existentes en ambas márgenes de cada valle, y en ellos se tomaron datos litológicos y de estructura del macizo rocoso en numerosas estaciones geomecánicas, identificando las eventuales fallas locales y la disposición de los sistemas de diaclasas dominantes en el entorno de los emplazamientos. También se realizó la cartografía geológica de los recubrimientos en zonas de vaguada y de los mantos de avalancha volcánica, los niveles de terrazas fluviales, y la delimitación de los rellenos aluviales del fondo del valle.

Paralelamente a los reconocimientos geológicos, se realizó una campaña de investigación geotécnica de terreno, integrada por un total de 10 sondajes en los sitios de presa con 365 m de perforación, 27 calicatas (incluyendo un yacimiento de finos) y 12 extendimientos de geofísica (sísmica de refracción y de reflexión), con 2.665 metros de longitud total. Todos los sondajes se perforaron a rotación, con recuperación continua de testigo y sistema de perforación *wire-line*. Sobre los testigos de los sondajes y de las muestras de las calicatas, se realizaron los ensayos *in situ* y de laboratorio pertinentes para definir sus características.

La gestión de permisos de particulares, la naturaleza de los terrenos (terrazas aluviales, avalancha volcánica) y sobre todo la creación de los accesos, dificultaron enormemente estos trabajos, muy por encima de cualquier previsión. Sin embargo, la campaña logró finalmente alcanzar todos sus objetivos.

## 3.2. TRABAJOS TOPOGRÁFICOS

Los trabajos topográficos desarrollados han consistido en la obtención de las cartografías de la zona de riego (unas 60.100 ha) y de los 3 embalses seleccionados a diversas escalas (4.500 ha aproximadamente), además de los trabajos previos en terreno para constituir la poligonal y red básica enlazada a la Red Geodésica Nacional, y la monumentación de PRs en los sitios de presa para sustentar los diferentes estudios y diseños a desarrollar.

1) Cartografía de 60.100 hectáreas de la zona de riego a escala 1:10.000 con equidistancias de 5 m, por restitución de un nuevo vuelo aerofotogramétrico a escala 1:30.000.
2) Cartografía de 4.400 hectáreas de las zonas inundables de los 3 embalses estudiados (Los Laureles, Cuesta Lara y El Mañío) y 60 hectáreas adicionales de la zona de yacimiento de finos en Las Guardias, a escala 1:5.000 y equidistancias de 5 m, por restitución de un nuevo vuelo aerofotogramétrico a escala 1:20.000.
3) Cartografía de 380 hectáreas de los sitios de presa de las tres soluciones a escala 1:2.000 con equidistancias de 2 m, por restitución aerofotogramétrica de un nuevo vuelo realizado a escala 1:8.000, habiendo descartado previamente el levantamiento taquimétrico tradicional por la gran dificultad de acceso que tiene el terreno.
4) Poligonales y nivelación, para materialización de una red básica
5) Materialización de 2 puntos de referencia en terreno (PRs) en cada presa.

## 3.3. ENCUESTAS AGROPECUARIAS Y TRABAJOS AMBIENTALES DE TERRENO

Se han realizado 2 campañas de toma de datos en terreno. La primera de 483 encuestas simples cuantitativas, repartidas proporcionalmente entre todos los sectores y estratos. Tras su análisis, se realizó la segunda campaña de encuestas de caso, de tipo cuantitativo y cualitativo, que permitió profundizar la información obtenida durante la primera campaña.

Para el diagnóstico ambiental de las presas seleccionadas y sus correspondientes áreas de inundación, se efectuaron reconocimientos de terreno por parte de expertos en medioambiente y arqueología, con el objetivo de caracterizar los aspectos ambientales y tomar las muestras para los análisis de calidad de aguas.

# 4. ESTUDIOS BÁSICOS

## 4.1. ESTUDIOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

### 4.1.1. Caracterización de las zonas de los embalses seleccionados

La presa de Los Laureles presenta una gran anchura de valle. Los afloramientos de roca lutítica y materiales andesíticos en la margen derecha y en la zona central del cauce, permitirían la cimentación de cualquier tipología de presa de gravedad, pero en el fondo de valle y margen izquierda existen recubrimientos de materiales no consolidados (terraza fluvial y avalancha volcánica) mayores de 40 m, que deberán ser retirados. En la parte alta del estribo izquierdo los recubrimientos coluviales alcanzan 7 m de espesor. En estas condiciones, la tipología de presa es claramente de materiales locales con núcleo impermeable o con pantalla de hormigón. Las condiciones de resistencia de los materiales de avalancha se estiman suficientes para el apoyo del núcleo impermeable o del plinto, si se excavan de 3 a 5 m. Respecto a la impermeabilidad, las condiciones parecen favorables. Hasta 20 m de profundidad la permeabilidad es alta a media y requiere inyecciones concentradas; pero a mayor profundidad los materiales son de baja permeabilidad, corregible con inyecciones normales. Todos los materiales cuaternarios sobre el macizo rocoso se consideran excavables con medios mecánicos convencionales.

En el emplazamiento de Cuesta Lara, el río discurre encañonado entre afloramientos de roca granítica sana. Las condiciones geológicas permiten el empotramiento rocoso en ambos estribos y hasta en el entorno del cauce. La margen derecha presenta afloramientos superficiales bastante continuos del substrato granítico, que se presenta escasamente meteorizado en superficie, aunque siempre intensamente fracturado. Cabe prever una alteración irregular, típica de los materiales graníticos, con tramos sanos y tramos intensamente alterados, que obligarán a una excavación de unos 12 a 15 m en toda la ladera para apoyar la presa en el substrato granítico sano. La margen izquierda en su zona media presenta un recubrimiento de avalancha volcánica y terraza fluvial sobre afloramientos rocosos, con espesor de unos 20 m, a lo largo de 140 m en sentido transversal al cauce, y que será necesario retirar. Por debajo de este depósito cuaternario, el macizo rocoso aparece sano y poco fracturado. Por encima aflora también el substrato granítico, que se encuentra muy fracturado y descomprimido. Las condiciones topográficas y geológicas del emplazamiento permiten una presa de gravedad de hormigón, de planta recta o curva. Desde el punto de vista de la impermeabilidad, el macizo rocoso presenta permeabilidad variable media a baja hasta los 30 m de profundidad, corregible con inyecciones entre 40 y 60 m por debajo de la cota del terreno natural antes de ser excavado. Todos los materiales cuaternarios (terrazas, avalancha volcánica, coluviones) desarrollados sobre el macizo rocoso serán excavables con medios mecánicos convencionales.

El emplazamiento de El Mañío presenta condiciones de empotramiento en roca granítica relativamente superficial en la margen izquierda y entorno del cauce, aunque con recubrimientos aterrazados fluviales y de avalancha volcánica a diferentes cotas, pero de espesores inferiores a 15 m. Por el contrario, la margen derecha presenta recubrimientos de avalancha importantes, sobre el substrato granítico aflorante en la zona del cauce, superiores a 70 m y probablemente de hasta 100 m de espesor, consolidados en profundidad. En estas condiciones, ante la imposibilidad de cimentar en roca en la margen derecha, la única tipología de presa posible es de materiales locales, con núcleo impermeable o pantalla de hormigón. Para el apoyo del núcleo o plinto de la pantalla impermeable, sólo se requiere la eliminación de la zona superior del terreno más alterada y descomprimida. En la margen derecha, será preciso retirar unos 3 m en los materiales de avalancha volcánica para empotrarse en materiales más compactos (velocidades por encima de 1000 m/s). En la margen izquierda, será necesario regularizar la cimentación del apoyo del elemento impermeabilizador (núcleo o plinto), excavando los recubrimientos y el propio substrato rocoso en un espesor uniforme de unos 15 m. Todos los materiales cuaternarios (terrazas, depósitos de avalancha volcánica y coluviones) desarrollados sobre el macizo rocoso serán excavables con medios mecánicos convencionales. La avalancha volcánica presenta baja permeabilidad en todo su espesor reconocido, fácilmente corregible mediante inyecciones ligeras, de entre 20 y 50 m de profundidad hacia la zona media de ladera. En la base de ladera, los materiales rocosos serán fácilmente inyectables hasta 30-45 m. Hacia la zona superior la profundidad de los taladros se podría reducir hasta los 20 m.

### 4.1.2. Riesgos geológicos

Los riesgos geológicos en las zonas inundables de las tres soluciones (Los Laureles, Cuesta Lara y El Mañío), son muy similares. Sobre el substrato rocoso se localizan potentes y extensos recubrimientos cuaternarios, principalmente depósitos de avalancha volcánica y terrazas fluviales de diferentes edades y alturas sobre el cauce. Los de mayor entidad son depósitos de avalancha volcánica, que se extienden principalmente por la margen izquierda, y que quedarían sumergidos; en la margen derecha, aunque también se localizan con gran espesor y extensión, permanecen generalmente por encima de la cota de máximo embalse.

Hay que señalar presencia de fuertes escarpes en materiales de avalancha volcánica de baja consolidación dentro de las zonas inundables, con alturas de escarpe de 50–70 m, y que por tanto serán sometidos a saturación en los procesos de llenado y vaciado del embalse. Aunque sus condiciones de estabilidad son aparentemente buenas debido a su alto grado de cementación, se observan algunas cicatrices de antiguos derrumbes localizados. Por la fuerte pendiente que presentan, no debe descartarse cierto riesgo de inestabilidad durante las oscilaciones del nivel de agua en el llenado y/o explotación del embalse, especialmente en un desembalse rápido. También se localizan algunos derrumbes de las terrazas fluviales más potentes, aunque siempre muy localizados. Por su elevada permeabilidad, naturaleza y composición granular de predominio grueso, estos materiales son menos sensibles al deslizamiento. Algunas acumulaciones de suelos coluviales, especialmente las de mayor entidad, podrían ser más sensibles a la inestabilidad en desembalse rápido, aunque su situación poco elevada, en pies de ladera de pendientes suaves, minimizan este riesgo. En fase de Factibilidad debería realizarse una evaluación más concreta de este riesgo, determinando espesores y grado de cementación de suelos dentro de la zona inundable del embalse, ya que se pueden requerir actuaciones de excavación o drenaje en algún tramo de ladera.

El peligro volcánico de los emplazamientos planteados en el valle del río Longaví viene dado por la presencia del volcán Nevado Longaví situado a unos 17 km de distancia aproximadamente hacia el noreste respecto de la confluencia del río Blanco con el río Longaví. Este volcán, cuya altura alcanza los 3.242 m s.n.m. no presenta registros de actividad eruptiva reciente, aunque muestra evidencias de actividad explosiva en un periodo de pocos miles de años. Los antecedentes estudiados indican que el río Blanco corresponde a un sector de flujos de detritos volcánicos distales de origen lahárico, de muy baja recurrencia. Las evidencias señalan que sólo una erupción compleja, capaz de formar lahares importantes, ha ocurrido en un lapso de miles de años.

### 4.1.3. Disponibilidad de materiales

Únicamente se han encontrado materiales aptos para núcleo impermeable en un yacimiento de la zona de Las Guardias, en el sector *Loma de Vásquez*, aunque habría que comprobar su homogeneidad y volumen finalmente explotable (se estima en torno a 1.800.000 $m^3$). Este volumen aparente sería suficiente para El Mañío; sin embargo en Los Laureles, por la gran anchura de valle, se requeriría un volumen claramente superior al explotable.

Existen numerosos yacimientos dentro de las zonas inundables, formados por gravas gruesas arenosas con bolones y con escasos finos, que pueden utilizarse para rellenos permeables o semipermeables, de gran resistencia al corte y de muy baja compresibilidad, ideales para la ejecución de una presa segura y económica del tipo CFGD, puesto que gran parte de los rellenos podrán ejecutarse directamente, sin necesidad de proceso. Los rellenos más exigentes podrán ejecutarse con estos mismos materiales, pero seleccionando su granulometría previamente.

Sobre materiales de los yacimientos Río Blanco-Oeste y Río Longaví–Sector Mañío, se realizaron ensayos de desgaste Los Ángeles, análisis químicos y de reactividad álcali-agregado, que demostraron buena aptitud para su uso como agregados de hormigón. Ambos yacimientos se sitúan muy próximos al emplazamiento de la presa de Cuesta Lara, que es la única para la que se propone tipología de hormigón. El segundo yacimiento presenta además la ventaja de quedar sumergido dentro de la zona inundable del embalse.

Los materiales para las tipologías de presa de enrocado (granodioritas y dioritas de buena calidad) han sido considerados en tres zonas de morro prominentes en ambas márgenes del valle, muy adecuadas para ubicar canteras en los materiales sanos del Batolito granítico Santa Gertrudis-Bullileo. Estas canteras estarían situadas desde la confluencia del río Blanco con el Longaví hasta el sector de los Cerrillos.

## 4.2. ESTUDIO SÍSMICO

Primero se realizó un marco general, incluyendo información histórica sobre la localización, magnitud y mecanismo focal de la sismicidad, para definir y caracterizar las fuentes sismogénicas presentes en la zona. A continuación, se definió una ley de atenuación, considerando la pérdida de energía de las ondas sísmicas al atravesar distintas estructuras geológicas. Después se estimó el peligro sísmico mediante el método probabilístico y se realizó un análisis determinístico considerando el escenario más desfavorable, de acuerdo a la información disponible, permitiendo determinar las aceleraciones máximas, horizontal y vertical, para el sismo de diseño (100 años).

El valor de aceleración máxima horizontal es de 0,42g similar al obtenido para terremotos interplaca e intraplaca en la ciudad de Linares, que representan la mayor amenaza en la zona. Aunque el análisis determinista ha arrojado mayores valores en suelos, la existencia de materiales rocosos en todos los emplazamientos considerados (más favorable desde el punto de vista sísmico) justifica el valor adoptado. La aceleración máxima vertical obtenida es 0,29g, dada la amenaza de la cercanía que representan numerosos focos corticales existentes en la zona.

## 4.3. ESTUDIOS HIDROLÓGICOS

### 4.3.1. Recursos hídricos

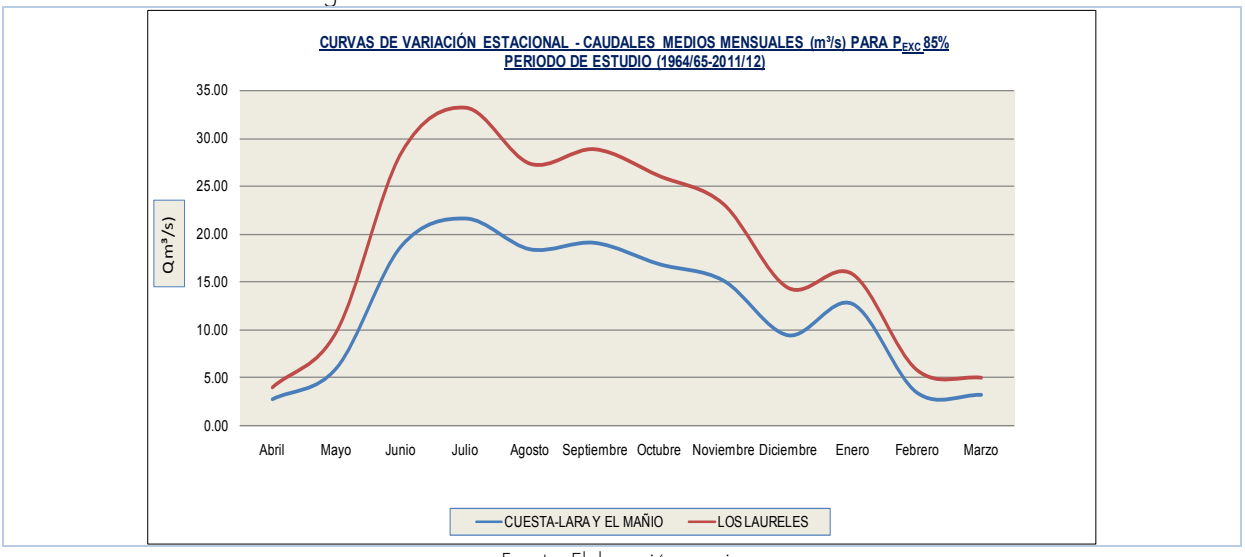
Los resultados obtenidos en la simulación hidrológica de la cuenca del río Longaví, muestran que el ajuste ha sido óptimo, con gran cantidad de parámetros involucrados. Entre abril y septiembre, coincidiendo con la estación húmeda, se producen los mayores caudales (los máximos en junio). El régimen de la cuenca es principalmente pluvial en cuanto a sus aportaciones, con los mayores caudales en época invernal. La componente nival se aprecia en época de deshielos (diciembre). Los recursos hídricos disponibles en Cuesta Lara y en El Mañío tienen un caudal medio anual de 25 m³/s con máximo de 126 m³/s y mínimo de 0,04 m³/s. En Los Laureles los valores aumentan hasta 38 m³/s de promedio, con máximo de 209 m³/s y mínimo de 1,2 m³/s por el importante aporte del río Blanco, aguas abajo de Cuesta Lara y El Mañío. Los datos más representativos son los caudales medios mensuales disponibles correspondientes a la probabilidad de excedencia del 85%, que se muestran seguidamente.

Tabla 4.3-1. Caudales mensuales (m³/s) correspondientes a una PEXC del 85%

| PUNTO DE ESTUDIO | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | ENE | FEB | MAR |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| LOS LAURELES | 4,02 | 9,88 | 28,42 | 33,12 | 27,29 | 28,80 | 26,03 | 23,09 | 14,39 | 15,81 | 5,83 | 5,03 |
| CUESTA-LARA Y MAÑIO | 2,74 | 6,05 | 18,79 | 21,68 | 18,46 | 19,13 | 16,91 | 15,17 | 9,45 | 12,74 | 3,44 | 3,21 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3-1. Curvas de variación estacional PEXC 85%

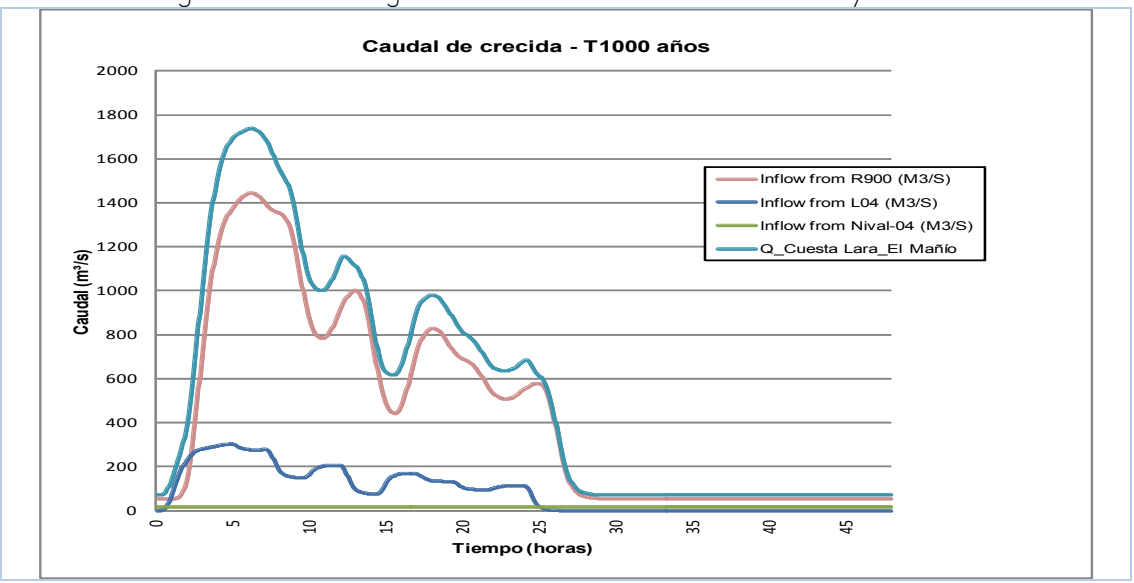



Fuente: Elaboración propia

### 4.3.2. Cálculo de crecidas

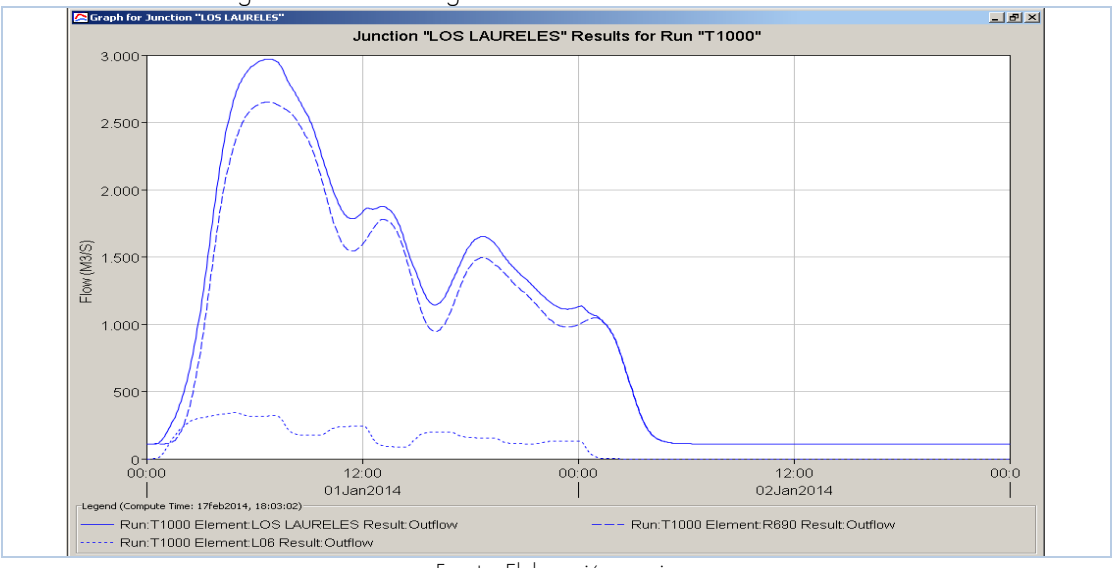
Para evaluar las crecidas máximas en los posibles embalses, los modelos hidrometeorológicos desarrollados con series meteorológicas y fluviométricas, han servido para obtener los hidrogramas de crecida correspondientes a los diversos periodos de retorno. Según el análisis realizado, el efecto del deshielo en invierno originado por la brusca subida de temperaturas genera puntas de caudal muy superiores a las pluviométricas. Existen dos fenómenos meteorológicos distintos (precipitación y temperatura) que solapan sus efectos con periodos de retorno difícilmente asociables. Un modelo hidrometeorológico alimentado con las precipitaciones, ignorando la componente debida al deshielo, no obtendría resultados válidos. Por ello, en el modelo se ha introducido la corrección del aporte nival. Así, para T=1.000 años, se obtiene un hidrograma de 2.970 $m^3/s$ de caudal máximo y 164 $hm^3$ de volumen en Los Laureles, y un hidrograma de 1.738 $m^3/s$ de caudal máximo y 77 $hm^3$ de volumen en Cuesta Lara y El Mañío. A continuación se muestran los hidrogramas resultantes para la crecida de diseño en las 3 soluciones de embalse.

Figura 4.3-2. Hidrograma de crecida T=1.000. Cuesta Lara y El Mañío




Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3-3. Hidrograma de crecida T=1000. Los Laureles




Fuente: Elaboración propia

### 4.3.3. Estudio sedimentológico

Analizando antecedentes bibliográficos de otros estudios realizados en cuencas hidrográficas semejantes a la zona del presente estudio, se calcularon las tasas medias esperadas de arrastre de sedimento en suspensión y de fondo, para obtener posteriormente el volumen de sedimento que quedará retenido en cada embalse durante su vida útil, prevista de 50 años, y que constituirá el llamado volumen muerto. En Los Laureles, el valor promedio anual del arrastre de sedimentos resulta de 89.533 t/año en suspensión y de 22.383 t/año de fondo. En Cuesta Lara y El Mañío, el arrastre de sedimentos en suspensión es de 55.950 t/año como promedio, y de fondo 13.987 t/año.

## 4.4. DERECHOS DE AGUAS

Los regantes están mayoritariamente organizados en dos secciones: desde el nacimiento del río Longaví en la Cordillera de los Andes, hasta la bocatoma del canal Primera Abajo, situada aproximadamente 4 km aguas arriba del cruce con la Ruta 5 Sur (*Junta de Vigilancia del Río Longaví y sus Afluentes*) y desde el cruce con la Ruta 5 hasta la confluencia de los ríos Longaví y Loncomilla (pequeñas comunidades de aguas y organizaciones de hecho).

La *Junta de Vigilancia del Río Longaví y sus Afluentes* administra el Embalse Bullileo y reparte el agua a 32 canales, asociados en 20 bocatomas, integrando 20.920 acciones de derecho de ejercicio permanente y continuo. Si se considera que una acción corresponde a 1,5 l/s, el caudal total acumulado de ejercicio permanente y continuo es de 31.380 l/s, además de un caudal de 38.620 l/s de ejercicio eventual y continuo (que incluye 25.000 l/s para el Embalse Digua). Las comunidades de aguas agrupan a unos 4.500 usuarios productores agrarios en total. Prácticamente el 100% de los títulos de los derechos de aprovechamiento están expresados en "acciones". Se ha hecho un muestreo aleatorio en los CBR de los títulos de derechos de aguas asociados a usuarios, en diferentes comunidades de regantes de la JVRL, y más del 90% de estas muestras han sido encontrados en los registros.

El Embalse Digua toma agua de los excedentes invernales del río Longaví a través del Canal Alimentador Digua (longitud de 6 km y capacidad de 22 $m^3/s$), que también atiende las derivaciones de los canales Remulcao y Longaví Alto, del Sistema Longaví. Los derechos de aprovechamiento de aguas que posee el Sistema Digua sobre el río Longaví acumulan 25.000 l/s de carácter consuntivo, eventual y continuo, según el CPA de la DGA. El ente encargado del Sistema Digua es el *Consejo de Administración del Embalse Digua*, organismo que funciona como empresa de servicios, sin fines de lucro. El Embalse Digua, que posee una capacidad útil de 220 $hm^3$ también recibe aportes naturales desde la cuenca del río Cato. El río Perquilauquén aporta recursos hídricos adicionales a este sistema en el llamado "Nudo hidráulico Remulcao".

La Segunda Sección del sistema de riego del río Longaví está constituida por 4 bocatomas con 4 canales matrices, derivados y subderivados. Únicamente 2 bocatomas y sus respectivos canales (San Francisco y Mantul) son operativos en la actualidad. El resto de posibles organizaciones de usuarios, que no disfrutan de riego por diferentes motivos, están tratando de regularizar su situación legal. Por ello, los derechos de los canales de la Segunda Sección se consideran de carácter eventual a los efectos del presente estudio, estimando que son suplidos por los caudales aflorados aguas abajo de la bocatoma del canal Primera Abajo.

Además de los derechos de riego constituidos indicados anteriormente, en la zona de estudio se localizan una serie de derechos eventuales y permanentes, consuntivos y no consuntivos, para otros usos que no forman parte del proyecto de embalse, pero que también se han considerado con objeto de analizar su repercusión en los recursos hídricos naturales. Según el Catastro Público de Aguas de la DGA, el señor Alfredo Rock Tarud posee derechos permanentes en el río Longaví por valor de 14.883 l/s y eventuales por valor de 44.500 l/s; sin embargo, el señor Tarud renunció a estos derechos. El resto de personas físicas o jurídicas con derechos no consuntivos en el río Longaví suman 9.667 l/s de derechos permanentes y 28.625 l/s eventuales (promedio anual).

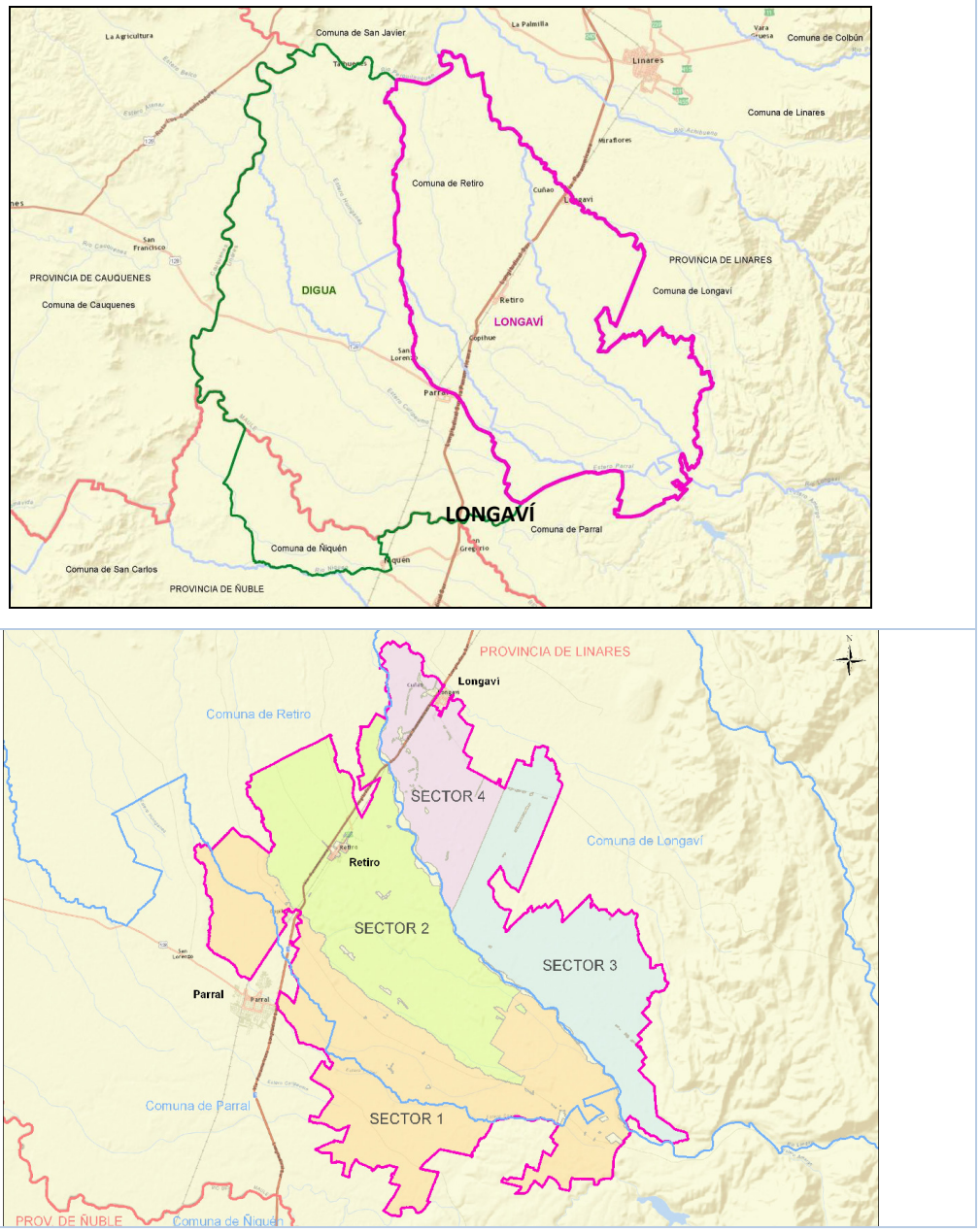
La Dirección de Obras Hidráulicas del MOP, tiene derechos de uso consuntivo, que acumulan 166 hm3/año, de ejercicio eventual y continuo. Estos derechos están aprobados por la Resolución DGA N° 853, del 30-09-2002, y el punto de captación se sitúa a 1.100 m aguas abajo de la confluencia del río Bullileo con el río Longaví, en las coordenadas 279.372 m Este, 5.988.128 m Norte (WGS84, Huso 19S). Estos derechos, podrían ser utilizados para el futuro embalse objeto del presente Estudio, solicitando el correspondiente cambio del punto de captación.

## 4.5. ESTUDIOS AGRONÓMICOS

### 4.5.1. Objetivos y alcances generales

El objetivo del estudio agroeconómico es evaluar los beneficios económicos del proyecto en diferentes escenarios: Situación Actual, Situación Sin Proyecto (actual optimizada) y Situación Con Proyecto. El área del Sistema Longaví cubre una superficie potencial de 84.600 ha. Tras analizar las características climáticas, geográficas y productivas de la zona regable, se determinó una envolvente de 60.215 ha, de las cuales 1.198 ha son las principales vías de comunicación y núcleos urbanos, quedando una área de riego de 59.017 ha, organizada en 4 sectores. Las figuras siguientes representan el perímetro del área inicial y finalmente considerada.

Figura 4.5-1. Perímetro de las áreas de riego y sectorización del Sistema Longaví




Fuente: Elaboración propia

### 4.5.2. Caracterización agroclimática y agrológica de los suelos

Para determinar el potencial productivo de los terrenos que se beneficiarían por el riego, se caracterizaron los suelos del área de estudio, con los siguientes resultados principales:

- Capacidad de uso: el 66% de los suelos tienen capacidad I a III (sin limitaciones a limitaciones moderadas), que restringen la elección de cultivos, pero buenos para determinadas especies. Los terrenos no arables representan el 15% de la zona estudiada.
- Categorías de riego: más del 55% de los suelos tiene categoría 1 y 2 (muy bien adaptados-moderadamente adaptados).
- Aptitud frutal: más del 47% de los suelos corresponde a clases A, B y C (sin limitaciones a moderadas).
- Aptitud agrícola: el 61% de los suelos corresponde a las clases 1, 2 y 3 (sin limitaciones o limitaciones moderadas).

Teniendo en cuenta los parámetros agroclimáticos de la zona y los requerimientos de los cultivos, se concluye que el área de estudio tiene condiciones favorables para el cultivo de la mayoría de las especies cultivables que se desarrollan en climas templados, bajo régimen hídrico de riego:

- Frutales de hoja caduca (manzano, cerezo, nogal, arándano, frambuesa, vid, kiwi y olivo, entre otros).
- Cultivos anuales y hortalizas (remolacha, maíz, espárragos, papa, porotos, melón, sandía, tomate, frutillas, alcachofa, cebolla, coliflor, arroz, avena, cebada y tabaco, entre otros).
- Amplia gama de especies de praderas y forrajeras.
- Las especies forestales con aprovechamiento maderable más adaptadas en la zona de estudio son: Álamo, pino y eucalipto.

Las áreas cubiertas por estos distritos son propicias para el cultivo en secano de trigo, avena, cebada, habas, garbanzos, arvejas, vicias y ballicas anuales, entre otras.

### 4.5.3. Calidad del agua de riego

La aptitud para riego se determinó mediante muestreos y análisis físico-químicos y bacteriológicos según la norma NCh-1333.

Según los antecedentes consultados (*"Programa de Transferencia de Tecnología y Habilidades para el Manejo y Desarrollo de Cuencas Hidrográficas. Cuenca de Longaví. Etapa 1"* realizado por la CNR en julio de 2005, y *"Programa Gestión de la Calidad del Agua por parte de Organizaciones de Regantes de las Regiones del Maule y Bío-Bío"* realizado por la Sociedad Río Longaví Ltda. en noviembre de 2009), el agua no presenta problemas de salinidad, pero se sobrepasan los niveles de contaminación microbiológica permitidos, a excepción de la zona alta y parte de la zona media de la cuenca, aunque se aprecia una tendencia a mejorar a partir del año 2005.

TYPSA realizó 2 campañas de muestreo de calidad del agua, en octubre de 2013 y enero de 2014. De los resultados del análisis del laboratorio se concluye que el agua del río Longaví es actualmente de buena calidad y apta para riego, pues todos los parámetros se encuentran dentro de los límites permitidos en la norma NCh1333.

### 4.5.4. Infraestructuras de riego

Todas las bocatomas son de tipo temporal, mediante captación gravitacional, con excepción de la instalada en el Canal Alimentador Digua. La alimentación suele estar compuesta por una o varias compuertas de admisión cerca del lecho del río, cuyas aguas se desvían mediante "tacos" (acopios de material dispuestos transversalmente al eje del río) o bien "ataguías" (barreras de grava, arena y bolones ejecutadas con maquinaria pesada). Estos elementos lógicamente resultan dañados con las crecidas del río. Varios canales de la primera sección se han visto obligados a unificar sus bocatomas originales, y 2 de las bocatomas de la segunda sección se encuentran fuera de actividad desde mucho tiempo atrás (15-20 años); sin embargo en la bocatoma del Canal Benavente se realizan trabajos de rehabilitación y acondicionamiento actualmente.

Todos los canales pertenecientes a la Primera Sección del río Longaví administrados por la JVRL, cuentan con secciones de control o aforo, generalmente a escasa distancia de la compuerta de admisión. Estos elementos están construidos en su mayoría con hormigón, sección rectangular, resalto hidráulico a su salida y regla o limnímetro. En los últimos canales de cada margen del río y en el Canal Alimentador Digua, disponen dispositivos que permiten registrar la altura de agua que ingresa en estos canales y facilitar el control hidráulico del sistema. No se han registrado secciones de control en la Segunda sección del Río Longaví. Es importante destacar, que el aprovechamiento de las aguas captadas por estas bocatomas, es exclusivo para riego.

La red de riego está conformada fundamentalmente por canales de tierra de diversos tamaños con capacidades en cabecera que fluctúan desde 365 hasta 4.120 l/s, con la excepción del canal Digua que puede llegar a transferir al menos 22.000 l/s. Los canales han sido dimensionados como mínimo el caudal equivalente a sus acciones, aunque algunos, tienen capacidad para transportar un mayor caudal que le correspondiente a sus derechos.

En líneas generales, los canales presentan un funcionamiento aceptable, aunque muchos presentan complicaciones por secciones irregulares, pérdidas por infiltración, crecimiento de vegetación, caídas de árboles y derrumbes de terrenos. Por ello, algunas organizaciones de usuarios con mayores medios económicos han realizado obras de mejora revistiendo algunos tramos.

Los canales derivados están sin revestir casi en su totalidad, con filtraciones y pérdidas significativas en algunos tramos, y sin instrumentos de control del caudal. Se observa una necesidad de mejora de la infraestructura de riego que permita aumentar la eficiencia y así aprovechar de mejor forma los recursos disponibles para riego, especialmente en los canales de la segunda sección que presentan características muy inferiores. La mayoría de las obras de derivación se realiza mediante marcos partidores tipo aguja fija, y en menor proporción con compuertas. Muchos de ellos, por antigüedad o defectos constructivos requieren ser reemplazados por obras nuevas.

El sistema de captación, conducción y distribución actual condiciona en mayor medida a los regantes localizados al final de los canales, recibiendo menor recurso del que les correspondería conforme a sus derechos, por el mayor recorrido para llegar a sus terrenos.

### 4.5.5. Situación actual agropecuaria

Para caracterizar la zona de riego se ha dividido el área en 4 sectores homogéneos, que junto con la clasificación de niveles tecnológicos de los agricultores y los estratos productivos (dados por los tamaños prediales), definen las unidades para la caracterización productiva y económica agropecuaria. Para conocer otros aspectos físicos, productivos, legales y económicos, asociados a los agricultores del área, se realizó una campaña de encuestas simples de tipo cuantitativa (482 encuestas a propietarios, con un total de 632 roles, que representaron una cobertura del 20%, y un 33,3% de la superficie total del área en estudio).

Del análisis de resultados, se realizaron 35 estudios de caso, para ahondar en los aspectos técnicos de los distintos rubros productivos del área, identificando todas las labores, insumos y productos que se obtienen en la agricultura y ganadería, y sus costos asociados, para evaluar después los beneficios del proyecto.

Tabla 4.5-1. Estructura de la propiedad

| Estructura agraria | | Propiedades | | Superficie | | Encuestas realizadas | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Estrato | Superficie (ha) | Nº | % | Ha | % | % cobertura | Nº |
| 1 | 0,00 a 2,00 | 401 | 17,0 | 394 | 0,7 | 16,2 | 65 |
| 2 | 2,01 a 5,00 | 202 | 8,6 | 673 | 1,2 | 21,8 | 44 |
| 3 | 5,01 a 15,00 | 452 | 19,2 | 4.918 | 8,7 | 19,9 | 90 |
| 4 | 15,01 a 25,00 | 767 | 32,6 | 14.784 | 26,3 | 19,7 | 151 |
| 5 | 25,01 a 50,00 | 328 | 13,9 | 10.790 | 19,2 | 20,1 | 66 |
| 6 | 50,01 a 100,00 | 123 | 5,2 | 8.429 | 15,0 | 29,3 | 36 |
| 7 | Más de 100,01 | 79 | 3,4 | 16.222 | 28,9 | 38,0 | 30 |
| | **TOTAL** | | **2.352** | **100,0** | **56.209** | **20,5** | **482** |

Fuente: Elaboración propia

El uso del suelo de la Situación Actual se obtiene de la expansión de los resultados de la encuesta simple. Sus resultados se presentan más adelante, en la misma tabla de la *Situación Con Proyecto,* con fines comparativos.

Una vez calculados los márgenes brutos (valores unitarios por hectárea) de cada rubro productivo, sistema de riego y nivel de agricultura, y también los gastos generales de cada sector de riego, estrato de tamaño, nivel de agricultura y tipo de cultivo, se restan ambos valores para obtener los márgenes netos o beneficios agrícolas en la Situación Actual, que serán la referencia de comparación para los beneficios agrícolas con embalse.

### 4.5.6. Situación sin proyecto

La situación sin proyecto corresponde a un escenario futuro sin embalse, pero incorporando ciertas mejoras en las infraestructuras de riego y en los procesos productivos, con el 5% del valor de las inversiones que se realizarían con el proyecto del embalse (Situación Futura con Proyecto SCP). Esto se realizaría en el marco de un programa de asistencia técnica y transferencia tecnológica, orientado principalmente a producir cambios de conducta por parte de los agricultores, con una mayor repercusión en los agricultores de nivel tecnológico y empresarial bajo y medio. El uso del suelo, en estructura productiva, es el mismo que en la Situación Actual, si bien se produce una moderada inversión en tecnificación de los rubros más productivos, como es el caso de los frutales.

### 4.5.7. Situación con proyecto. Programa de transferencia tecnológica

Las Situaciones Con Proyecto (SCP), corresponden al mejoramiento de las condiciones actuales, mediante la construcción del embalse y otras obras civiles complementarias, para aumentar la eficiencia de uso del agua y satisfacer la demanda de los futuros cultivos. Los principales cambios entre la situación actual y la situación con proyecto, han sido:

- Incorporación a riego del 55% de las superficies que son actualmente arables pero no cultivadas, y el 40% de las superficies sin uso pero potencialmente cultivables, así como más de 40% de la superficie de secano.
- Aumento significativo de la superficie con riego tecnificado, sobre todo de frutales (cerezo, manzano, uva vinícola, etc.) y también las superficies para cultivos industriales (remolacha, tomate industrial); más del 12% de disminución de la superficie de praderas y forrajeras.
- Incorporación de una superficie importante de riego tecnificado, de baja presión (goteo, micro-aspersión y cinta), y/o pivote.

Además, se plantea un programa de asistencia técnica y transferencia tecnológica, con el objetivo de que los usuarios de los sectores de influencia del proyecto adopten las mejores decisiones en torno a los cultivos a introducir en el nuevo sistema y a los métodos de riego por implementar.

En el presente proyecto se contempla un programa de aplicación tecnológica en sistemas de riego y cultivos, por un periodo de 5 a 7 años, dependiendo del estrato de tamaño predial. Este programa no considera la participación de propiedades calificadas con nivel técnico y empresarial alto, por cuanto éstas alcanzan mayores rendimientos y eficiencia en los procesos en forma autónoma. El programa se diseña para el 80% de los agricultores de niveles tecnológicos bajos y medios, con una estimación de 2.350 usuarios beneficiados. El costo previsto para este programa sería de $2.555 millones de pesos.

Debido al cambio de estructura productiva, al aumento de superficie regada y a las mejoras en el manejo y nivel tecnológico de los cultivos, los volúmenes de producción también aumentan. En la siguiente tabla se muestra el uso futuro del suelo en situación con proyecto (SCP) con 85% de seguridad del área máxima de riego, y los valores homólogos en la situación actual y sin proyecto.

Tabla 4.5-2. Uso del suelo en SA, SSP y SCP del área de estudio

| Rubro productivo | Situación Actual | | Situación Sin Proyecto | | Situación Con Proyecto | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sup. (ha) | % | Sup. (ha) | % | Sup. (ha) | % |
| Cereales-Leguminosas y Tubérculos | 14.097 | 32,1 | 14.097 | 32,1 | 13.682 | 29,4 |
| Frutales y vides | 6.278 | 14,3 | 6.278 | 14,3 | 11.378 | 24,5 |
| Hortícolas y Semilleros | 2.768 | 6,3 | 2.768 | 6,3 | 4.290 | 9,2 |
| Cultivos Industriales | 4.001 | 9,1 | 4.001 | 9,1 | 5.791 | 12,4 |
| Praderas y Forrajeras | 13.564 | 30,8 | 13.564 | 30,8 | 8.110 | 17,4 |
| Forestales | 3.267 | 7,4 | 3.267 | 7,4 | 3.267 | 7,1 |
| **Total arable cultivada** | **43.976** | **100** | **43.976** | **100** | **46.519** | **100** |
| | | | | | | |
| Arable cultivada con riego | 29.913 | 51 | 30.126 | 51 | 41.614 | 70,5 |
| Arable cultivada sin riego | 14.063 | 23,8 | 13.850 | 23,5 | 4.905 | 8,3 |
| Arable no cultivada | 2.363 | 4 | 2.363 | 4 | 1.063 | 1,8 |
| Sin uso, cultivable con riego | 3.403 | 5,8 | 3.403 | 5,8 | 2.160 | 3,7 |
| Sin uso, cultivable en secano | 491 | 0,8 | 491 | 0,8 | 491 | 0,8 |
| Forestal, bosque nativo, matorral | 4.823 | 8,2 | 4.823 | 8,2 | 4.823 | 8,2 |
| Improductivo e infraestructuras | 3.961 | 6,7 | 3.961 | 6,7 | 3.961 | 6,7 |
| TOTAL | 59.017 | 100 | 59.017 | 100 | 59.017 | 100 |

Fuente: Elaboración propia

### 4.5.8. Escenarios de riego

Se han propuesto diferentes escenarios o alternativas de proyecto que consideran 3 ubicaciones posibles de embalses y diferentes superficies de riego que proporcionarían el suministro con el 85% de seguridad en función de los volúmenes regulados, y cuyas demandas de agua para riego resultantes se incorporan a los modelos de regulación. Para cada escenario, se obtuvieron los beneficios y los costes agronómicos, así como el coste del embalse, con el fin de realizar posteriormente la evaluación económico-financiera, de forma que permita establecer el escenario de mayor rentabilidad. Los escenarios desarrollados son los siguientes:

- Escenario 1: Se considera la superficie regada en la actualidad (30.126 hectáreas netas), sin incorporar otras superficies (en secano o no cultivadas). Se trata por tanto de lograr satisfacer las demandas agronómicas actuales en el Sistema Longaví con un 85% de seguridad.
- Escenario 2: Se considera una superficie regada de 36.237 hectáreas netas, por incorporación al riego de ciertas áreas de cultivo actualmente en secano, o también de áreas no cultivadas pero con potencial, con diferentes proporciones en cada estrato de tamaño y sectores de riego (en función de su aptitud agrícola y categorías de riego existentes, entre otras).
- Escenario 3: Corresponde a la máxima superficie regable considerada, de 41.614 hectáreas netas, incorporando con criterios agronómicos una parte de la superficie que actualmente es secano, una parte de la superficie arable que no se cultiva, y una parte de la superficie sin uso.

No obstante, las soluciones de Cuesta Lara y El Mañío no presentan capacidad suficiente para poder incrementar la superficie actual de riego, y sólo podrían satisfacer el primer escenario. Por este motivo, se plantean para estas soluciones otros escenarios adicionales, que pudieran resultar menos ambiciosos, pero quizás rentables:

- Escenario 1-a: Corresponde al área de riego que pueda atenderse con una seguridad del 85%, con el máximo embalse en El Mañío sin inundar la zona de La Balsa, que corresponde a 44 $hm^3$ de capacidad. Este escenario se plantea también para Cuesta Lara, con la misma capacidad de 44 $hm^3$.
- Escenario 1-b: Corresponde al área de riego actual que pueda atenderse con una seguridad del 85%, con el máximo embalse que pueda construirse en el emplazamiento Cuesta Lara sin afectar la zona de La Balsa, y que corresponde a 67 $hm^3$ de capacidad.

Sistema Digua

Los caudales invernales derivados desde el río Longaví hacia el sistema Digua, en virtud de los derechos eventuales de aprovechamiento de aguas, podrían resultar afectados por el cambio del régimen hídrico del río que ocasionará el nuevo embalse de regulación; en ese caso, a los beneficios agronómicos del embalse en la zona regable del Longaví, habría que añadir (o restar) los beneficios (o perjuicios) agroeconómicos en la zona de riego del Sistema Digua provocados por el mismo embalse. Por tanto, surge también la necesidad de evaluar estos efectos agroeconómicamente.

Para ello, se ha realizado también una caracterización agronómica preliminar del Sistema Digua, en base a los antecedentes disponibles y la información proporcionada por el Consejo de Administración del Embalse Digua, pero sin haber realizado encuestas directas agronómicas. Se recomienda por ello, realizar una caracterización más detallada en las posteriores fases de desarrollo del Estudio del embalse, incluyendo encuestas agronómicas.

A partir de la superficie regada con los recursos del río Longaví (10.670 ha), se estimó la demanda agronómica actual, que resultó muy similar a la derivación histórica de los recursos del Longaví a través de su Canal Alimentador. En situación actual, la demanda del Sistema Digua se expresó en función de sus derechos eventuales (con la limitación de capacidad del Canal Alimentador Digua, de 21 $m^3/s$ en la actualidad). La distribución mensual de los caudales se obtuvo según los derechos existentes de todos los usuarios considerados, y en función de la disponibilidad de recursos hídricos para la serie histórica de datos. El resultado del cálculo con el modelo de simulación, es que el volumen anual que podría ser derivado al Sistema Digua en situación actual, conforme a los derechos existentes y los recursos disponibles, es de 329 $hm^3$/año como promedio. Sin embargo, en la práctica este volumen es inferior (casi 200 $hm^3$/año), porque el modelo no tiene en cuenta el límite que impone la capacidad máxima de almacenamiento del embalse Digua, y en época invernal, cuando el embalse Digua está lleno, en la práctica no se sigue derivando agua desde el río Longaví.

El estudio de regulación demostró después que la derivación histórica de recursos a través del Canal Alimentador Digua puede mantenerse, respetando lo establecido en la Resolución 1.120 de la DGA, en los tres escenarios planteados con el futuro embalse. Por tanto, la situación agraria futura será la misma con embalse y sin embalse, y los márgenes agrarios del Sistema Digua se mantendrán, sin existir ningún perjuicio ni beneficio.

Tabla 4.5-3. Recursos del río Longaví derivados al Sistema Digua ($hm^3$/mes)

| Escenarios | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S. REAL | 3,8 | 15,0 | 33,5 | 40,2 | 33,5 | 18,8 | 25,9 | 17,1 | 3,9 | 0,3 | 0,0 | 0,6 | **193** |
| S. ACTUAL | 12,6 | 43,3 | 51,8 | 53,5 | 54,5 | 53,7 | 43,0 | 14,5 | 1,2 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | **329** |
| Escenario 1 | 4,5 | 36,9 | 51,0 | 53,3 | 54,3 | 53,7 | 42,8 | 14,5 | 1,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | **312** |
| Escenario 2 | 2,7 | 30,4 | 48,8 | 53,3 | 53,8 | 53,6 | 42,6 | 14,4 | 1,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | **301** |
| Escenario 3 | 1,9 | 27,4 | 47,3 | 53,3 | 53,8 | 53,0 | 42,2 | 13,1 | 1,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | **293** |

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los datos de "Situación Real" fueron proporcionados por el Concejo de Administración Embalse Digua

Una vez hecha esta comprobación, se repitieron los cálculos de regulación para los mismos 3 escenarios, pero considerando que los actuales derechos de aprovechamiento de aguas del Sistema Digua, en lugar de ser de carácter eventual, fuesen permanentes; es decir, con la misma prioridad de riego que los usuarios del Sistema Longaví, y por tanto con la misma seguridad de riego (85%) en los caudales derivados. En estos escenarios, se pudo cuantificar un beneficio económico en el Sistema Digua, derivado de la mayor seguridad de riego respecto de la situación actual.

En la tabla siguiente se presenta un resumen comparativo de los usos del suelo para cada escenario considerado.

Tabla 4.5-4. Comparación de superficies de los escenarios

| Rubro productivo | Situación Actual | | Escenario 1 | | Escenario 2 | | Escenario 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sup. (ha) | % | Sup. (ha) | % | Sup. (ha) | % | Sup. (ha) | % |
| Cereales-Leguminosas y Tubérculos | 14.097 | 32,1 | 13.745 | 31,3 | 13.114 | 29,8 | 13.682 | 29,4 |
| Frutales y vides | 6.278 | 14,3 | 7.956 | 18,1 | 9.830 | 22,4 | 11.378 | 24,5 |
| Hortícolas y Semilleros | 2.768 | 6,3 | 3.271 | 7,4 | 3.854 | 8,8 | 4.290 | 9,2 |
| Cultivos Industriales | 4.001 | 9,1 | 4.207 | 9,6 | 4.998 | 11,4 | 5.791 | 12,4 |
| Praderas y Forrajeras | 13.564 | 30,8 | 11.530 | 26,2 | 8.915 | 20,3 | 8.110 | 17,4 |
| Forestales | 3.267 | 7,4 | 3.267 | 7,4 | 3.267 | 7,4 | 3.267 | 7,0 |
| **Total arable cultivada** | **43.976** | **100** | **43.976** | **100** | **43.976** | **100** | **46.519** | **100** |
| | | | | | | | | |
| Arable cultivada con riego | **29.913** | 51 | **30.126** | 51,0 | **36.237** | 61,4 | **41.614** | 70,5 |
| Arable cultivada sin riego | 14.063 | 23,8 | 13.850 | 23,5 | 7.739 | 13,1 | 4.905 | 8,3 |
| Arable no cultivada | 2.363 | 4 | 2.363 | 4,0 | 2.363 | 4,0 | 1.063 | 1,8 |
| Sin uso, cultivable con riego | 3.403 | 5,8 | 3.403 | 5,8 | 3.403 | 5,8 | 2.160 | 3,7 |
| Sin uso, cultivable en secano | 491 | 0,8 | 491 | 0,8 | 491 | 0,8 | 491 | 0,8 |
| Forestal, bosque nativo, matorral | 4.823 | 8,2 | 4.823 | 8,2 | 4.823 | 8,2 | 4.823 | 8,2 |
| Improductivo e infraestructuras | 3.961 | 6,7 | 3.961 | 6,7 | 3.961 | 6,7 | 3.961 | 6,7 |
| **Total** | **59.017** | **100** | **59.018** | **100** | **59.018** | **100** | **59.017** | **100** |

Fuente: Elaboración propia

### 4.5.9. Demandas de agua

Se han establecido diversos escenarios agronómicos, que corresponden a diferentes tamaños de la zona regada y cada escenario lleva asociados sus correspondientes costes y beneficios de producción agraria. En el posterior estudio de regulación se determinan los volúmenes del embalse necesario para asegurar el riego al 85% y los correspondientes costos de construcción de la infraestructura hidráulica. En la siguiente tabla se resume la demanda neta de agua para la superficie de riego en cada uno de los futuros escenarios con embalse.

Tabla 4.5-5. Demandas netas de agua (millones de $m^3$)

| Escenario | Demandas mensuales netas ($hm^3$/mes) | | | | | | | | | | | | Superficie Neta total (ha) | Demanda anual ($hm^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | | |
| SA | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,01 | 27,6 | 67,9 | 98,2 | 96,8 | 75,9 | 46,0 | 11,5 | 29.913 | 424 |
| SSP | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,01 | 25,6 | 63,0 | 91,4 | 90,1 | 70,7 | 42,8 | 10,6 | 30.126 | 394 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,01 | 20,5 | 53,2 | 79,6 | 80,0 | 63,2 | 37,2 | 8,8 | 30.126 | 342 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 24,1 | 63,1 | 95,1 | 96,8 | 77,0 | 45,5 | 10,5 | 36.237 | 412 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,02 | 27,2 | 71,5 | 108,1 | 110,6 | 88,4 | 52,3 | 12,0 | 41.614 | 470 |

Fuente: Elaboración propia

La demanda neta total en el Escenario 3 (objetivo del Estudio) es 470 millones de $m^3$, un 19% más que en Situación Sin Proyecto, habiendo aumentado la superficie regable desde 30.126 ha hasta 41.614 ha, pero reduciendo la tasa de demanda del sistema desde 13.086 $m^3$/ha-año hasta 11.300 $m^3$/ha-año.

### 4.5.10. Beneficios agrícolas netos del proyecto

El beneficio neto agronómico correspondiente a la construcción del embalse se obtiene como diferencia entre los flujos de las situaciones con proyecto y sin proyecto. Estos flujos contemplan tanto los márgenes agrícolas directos de los cultivos como los gastos indirectos generales, inversión en riego, asistencia técnica y habilitación de terrenos cuando corresponda. El resultado se presenta en las tablas de las páginas siguientes a precios de mercado y precios sociales.

Tabla 4.5-6. Márgenes y flujos netos a precios de mercado ($)

| Año | Margen Neto ($) | | Flujos Netos ($) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Situación Sin Proyecto | Situación Con Proyecto | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 | Escenario 1a | Escenario 1b | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 |
| | | | (Sistema Digua: derechos eventuales) | | | | | (Sistema Digua: derechos permanentes) | | |
| 0 | 20.377.315.341 | 20.377.315.341 | | | | | | | | |
| 1 | 23.988.877.093 | 25.825.906.754 | 4.855.730.360 | 3.470.862.114 | 1.837.029.661 | 1.199.365.399 | 1.311.047.197 | 6.455.190.339 | 5.070.322.093 | 3.436.489.640 |
| 2 | 32.927.900.671 | 28.828.645.032 | -2.096.513.284 | -2.927.603.537 | -4.099.255.639 | -517.838.781 | -566.058.587 | -517.819.777 | -1.348.910.030 | -2.520.562.132 |
| 3 | 26.185.041.724 | 31.712.650.681 | 6.762.071.730 | 6.537.538.929 | 5.527.608.956 | 1.670.231.717 | 1.825.759.367 | 8.302.840.964 | 8.078.308.163 | 7.068.378.190 |
| 4 | 33.749.410.083 | 26.962.725.534 | -5.111.613.850 | -4.787.961.488 | -6.786.684.549 | -1.262.568.621 | -1.380.135.739 | -3.710.537.968 | -3.386.885.606 | -5.385.608.667 |
| 5 | 26.835.382.019 | 28.542.918.248 | 2.428.415.734 | 3.850.979.605 | 1.707.536.230 | 599.818.686 | 655.672.248 | 3.825.354.608 | 5.247.918.479 | 3.104.475.104 |
| 6 | 35.313.375.806 | 38.768.542.677 | 1.265.844.145 | 4.158.902.697 | 3.455.166.871 | 312.663.504 | 341.777.919 | 2.748.282.790 | 5.641.341.343 | 4.937.605.517 |
| 7 | 24.630.413.063 | 38.133.920.012 | 10.132.321.980 | 14.733.146.013 | 13.503.506.949 | 2.502.683.529 | 2.735.726.935 | 11.700.655.870 | 16.301.479.903 | 15.071.840.839 |
| 8 | 16.486.723.571 | 34.843.704.568 | 11.513.207.810 | 18.644.807.118 | 18.356.980.996 | 2.843.762.329 | 3.108.566.109 | 12.990.189.736 | 20.121.789.044 | 19.833.962.922 |
| 9 | 16.397.769.249 | 33.980.723.249 | 8.402.699.625 | 16.361.528.443 | 17.582.954.000 | 2.075.466.807 | 2.268.728.899 | 9.850.948.753 | 17.809.777.571 | 19.031.203.127 |
| 10 | 17.793.045.538 | 39.092.408.993 | 9.773.284.122 | 20.176.365.350 | 21.299.363.456 | 2.414.001.178 | 2.638.786.713 | 11.304.458.823 | 21.707.540.051 | 22.830.538.156 |
| 11 | 26.895.106.766 | 43.867.483.749 | 4.632.314.816 | 16.424.285.326 | 16.972.376.983 | 1.144.181.759 | 1.250.725.000 | 6.305.177.764 | 18.097.148.274 | 18.645.239.931 |
| 12 | 25.190.725.716 | 55.458.313.482 | 13.949.879.612 | 27.520.405.615 | 30.267.587.766 | 3.445.620.264 | 3.766.467.495 | 15.870.360.100 | 29.440.886.103 | 32.188.068.253 |
| 13 | 21.967.229.861 | 49.240.731.521 | 11.645.681.218 | 24.803.538.253 | 27.273.501.660 | 2.876.483.261 | 3.144.333.929 | 13.677.180.843 | 26.835.037.878 | 29.305.001.284 |
| 14 | 22.003.037.886 | 51.588.362.400 | 12.779.561.830 | 26.447.618.443 | 29.585.324.514 | 3.156.551.772 | 3.450.481.694 | 15.029.563.778 | 28.697.620.390 | 31.835.326.461 |
| 15 | 22.814.334.856 | 53.617.407.609 | 14.084.526.816 | 28.357.425.910 | 30.803.072.753 | 3.478.878.124 | 3.802.822.240 | 16.432.076.592 | 30.704.975.686 | 33.150.622.529 |
| 16 | 21.028.801.795 | 44.240.543.116 | 9.225.344.286 | 21.243.658.499 | 23.211.741.321 | 2.278.660.039 | 2.490.842.957 | 11.618.728.397 | 23.637.042.610 | 25.605.125.432 |
| 17 | 28.632.172.558 | 56.791.146.143 | 11.075.704.471 | 24.432.617.080 | 28.158.973.585 | 2.735.699.004 | 2.990.440.207 | 13.497.876.571 | 26.854.789.180 | 30.581.145.685 |
| 18 | 22.338.824.001 | 45.108.959.649 | 8.889.267.215 | 20.831.097.865 | 22.770.135.648 | 2.195.649.002 | 2.400.102.148 | 11.396.346.605 | 23.338.177.254 | 25.277.215.038 |
| 19 | 30.839.602.645 | 59.647.552.726 | 11.960.099.794 | 25.463.804.300 | 28.807.950.081 | 2.954.144.649 | 3.229.226.944 | 14.536.016.768 | 28.039.721.274 | 31.383.867.055 |
| 20 | 32.252.570.598 | 56.897.656.957 | 9.828.964.672 | 22.127.705.909 | 24.645.086.359 | 2.427.754.274 | 2.653.820.462 | 12.406.047.082 | 24.704.788.318 | 27.222.168.768 |
| 21 | 29.487.267.433 | 47.255.734.202 | 6.344.150.106 | 16.529.057.278 | 17.768.466.769 | 1.567.005.076 | 1.712.920.529 | 8.807.492.435 | 18.992.399.607 | 20.231.809.098 |
| 22 | 31.747.476.035 | 49.619.759.931 | 6.957.220.476 | 16.710.235.563 | 17.872.283.897 | 1.718.433.458 | 1.878.449.529 | 9.327.737.192 | 19.080.752.278 | 20.242.800.612 |
| 23 | 24.954.792.187 | 41.297.449.435 | 8.658.535.114 | 16.797.783.771 | 16.342.657.248 | 2.138.658.173 | 2.337.804.481 | 10.953.724.187 | 19.092.972.844 | 18.637.846.321 |
| 24 | 31.692.122.866 | 46.960.416.653 | 7.404.450.805 | 15.151.342.887 | 15.268.293.786 | 1.828.899.349 | 1.999.201.717 | 9.652.526.940 | 17.399.419.022 | 17.516.369.921 |
| 25 | 36.219.642.290 | 44.761.429.425 | 2.133.417.076 | 8.832.410.819 | 8.541.787.135 | 526.954.018 | 576.022.611 | 4.322.630.038 | 11.021.623.781 | 10.731.000.097 |
| 26 | 29.360.521.454 | 39.983.141.101 | 3.420.501.018 | 10.395.828.990 | 10.622.619.647 | 844.863.751 | 923.535.275 | 5.560.121.711 | 12.535.449.683 | 12.762.240.340 |
| 27 | 25.081.753.316 | 44.462.453.691 | 12.570.338.888 | 20.463.521.426 | 19.380.700.376 | 3.104.873.705 | 3.393.991.500 | 14.730.667.461 | 22.623.849.999 | 21.541.028.949 |
| 28 | 18.917.635.095 | 39.189.188.519 | 11.156.931.744 | 19.646.289.236 | 20.271.553.424 | 2.755.762.141 | 3.012.371.571 | 12.927.775.472 | 21.417.132.965 | 22.042.397.152 |
| 29 | 18.789.806.158 | 43.587.983.247 | 13.095.424.598 | 23.112.014.487 | 24.798.177.088 | 3.234.569.876 | 3.535.764.642 | 14.758.491.122 | 24.775.081.011 | 26.461.243.612 |
| 30 | 19.517.844.077 | 45.377.908.762 | 13.239.573.962 | 24.351.710.017 | 25.860.064.685 | 3.270.174.769 | 3.574.684.970 | 14.871.006.692 | 25.983.142.747 | 27.491.497.415 |
| **VAN** | | | **45.691.069.749** | **85.977.397.242** | **84.703.516.482** | **11.285.694.228** | **12.336.588.832** | **59.468.453.411** | **99.754.780.905** | **98.480.900.145** |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.5-7. Márgenes y flujos netos a precios de sociales ($)

| Año | Margen Neto ($) | | Flujos Netos ($) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Situación Sin Proyecto | Situación Con Proyecto | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 | Escenario 1a | Escenario 1b | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 |
| | | | (Sistema Digua: derechos eventuales) | | | | | (Sistema Digua: derechos permanentes) | | |
| 0 | 26.350.791.805 | 26.350.791.805 | | | | | | | | |
| 1 | 30.268.910.318 | 32.934.121.275 | 5.532.986.668 | 4.049.403.046 | 2.665.210.957 | 1.366.647.707 | 1.493.906.400 | 8.249.933.028 | 6.766.349.405 | 5.382.157.316 |
| 2 | 38.702.098.502 | 36.508.092.532 | -455.836.764 | -1.455.322.249 | -2.194.005.971 | -112.591.681 | -123.075.926 | 2.242.836.325 | 1.243.350.839 | 504.667.118 |
| 3 | 31.235.816.198 | 39.950.714.036 | 9.532.847.209 | 9.034.859.391 | 8.714.897.838 | 2.354.613.261 | 2.573.868.746 | 12.187.171.990 | 11.689.184.173 | 11.369.222.620 |
| 4 | 37.134.304.049 | 34.869.724.992 | -1.271.389.460 | -1.458.016.380 | -2.264.579.056 | -314.033.197 | -343.275.154 | 1.116.754.781 | 930.127.862 | 123.565.185 |
| 5 | 29.163.906.735 | 37.258.393.344 | 7.807.153.121 | 8.458.301.595 | 8.094.486.610 | 1.928.366.821 | 2.107.931.343 | 10.198.097.538 | 10.849.246.011 | 10.485.431.026 |
| 6 | 36.466.704.212 | 48.501.719.028 | 8.470.162.274 | 10.313.176.174 | 12.035.014.816 | 2.092.130.082 | 2.286.943.814 | 10.975.148.720 | 12.818.162.619 | 14.540.001.262 |
| 7 | 25.653.891.341 | 48.580.747.212 | 17.778.075.778 | 21.022.143.075 | 22.926.855.871 | 4.391.184.717 | 4.800.080.460 | 20.407.231.793 | 23.651.299.091 | 25.556.011.886 |
| 8 | 17.510.201.850 | 44.256.955.600 | 17.711.351.422 | 23.176.455.555 | 26.746.753.750 | 4.374.703.801 | 4.782.064.884 | 20.229.387.288 | 25.694.491.421 | 29.264.789.616 |
| 9 | 17.421.247.528 | 43.992.254.185 | 14.858.049.864 | 20.873.462.780 | 26.571.006.658 | 3.669.938.316 | 4.011.673.463 | 17.312.455.914 | 23.327.868.829 | 29.025.412.708 |
| 10 | 18.816.523.816 | 49.695.236.357 | 16.486.671.415 | 24.696.850.077 | 30.878.712.540 | 4.072.207.839 | 4.451.401.282 | 19.008.142.497 | 27.218.321.160 | 33.400.183.623 |
| 11 | 27.909.252.084 | 55.121.990.010 | 11.731.611.746 | 21.125.906.111 | 27.212.737.926 | 2.897.708.101 | 3.167.535.171 | 14.401.221.312 | 23.795.515.677 | 29.882.347.492 |
| 12 | 26.210.535.443 | 67.505.985.078 | 21.627.285.786 | 32.669.199.964 | 41.295.449.636 | 5.341.939.589 | 5.839.367.162 | 24.579.047.157 | 35.620.961.335 | 44.247.211.007 |
| 13 | 22.986.412.502 | 60.201.713.901 | 18.229.730.031 | 28.907.342.273 | 37.215.301.399 | 4.502.743.318 | 4.922.027.108 | 21.322.885.417 | 32.000.497.659 | 40.308.456.785 |
| 14 | 23.026.102.215 | 62.885.571.352 | 19.726.655.949 | 30.984.142.475 | 39.859.469.137 | 4.872.484.019 | 5.326.197.106 | 23.062.934.950 | 34.320.421.476 | 43.195.748.138 |
| 15 | 23.833.874.525 | 64.530.487.214 | 20.695.689.193 | 32.621.530.317 | 40.696.612.689 | 5.111.835.231 | 5.587.836.082 | 24.133.420.537 | 36.059.261.661 | 44.134.344.033 |
| 16 | 22.053.069.732 | 54.500.707.434 | 15.235.646.989 | 24.913.293.314 | 32.447.637.702 | 3.763.204.806 | 4.113.624.687 | 18.611.133.069 | 28.288.779.394 | 35.823.123.781 |
| 17 | 29.646.708.111 | 67.389.479.317 | 17.428.374.486 | 28.480.792.511 | 37.742.771.206 | 4.304.808.498 | 4.705.661.111 | 20.847.921.098 | 31.900.339.123 | 41.162.317.818 |
| 18 | 23.363.668.623 | 56.192.871.493 | 15.718.722.186 | 25.357.682.109 | 32.829.202.871 | 3.882.524.380 | 4.244.054.990 | 19.259.045.627 | 28.898.005.549 | 36.369.526.311 |
| 19 | 31.858.110.464 | 71.735.545.572 | 19.873.119.115 | 31.111.751.821 | 39.877.435.108 | 4.908.660.421 | 5.365.742.161 | 23.526.464.430 | 34.765.097.135 | 43.530.780.422 |
| 20 | 33.268.701.672 | 69.325.898.754 | 18.155.241.243 | 28.191.972.024 | 36.057.197.082 | 4.484.344.587 | 4.901.915.136 | 21.827.194.562 | 31.863.925.344 | 39.729.150.401 |
| 21 | 30.508.687.938 | 59.503.715.425 | 14.617.165.806 | 22.566.264.332 | 28.995.027.487 | 3.610.439.954 | 3.946.634.768 | 18.133.213.306 | 26.082.311.832 | 32.511.074.987 |
| 22 | 32.761.379.258 | 61.501.299.572 | 15.021.007.816 | 22.583.427.172 | 28.739.920.314 | 3.710.188.931 | 4.055.672.110 | 18.424.586.948 | 25.987.006.304 | 32.143.499.446 |
| 23 | 25.978.270.466 | 53.138.575.240 | 16.799.671.985 | 22.794.957.967 | 27.160.304.775 | 4.149.518.980 | 4.535.911.436 | 20.118.344.740 | 26.113.630.722 | 30.478.977.530 |
| 24 | 32.709.566.930 | 58.880.191.352 | 15.723.633.748 | 21.395.020.366 | 26.170.624.422 | 3.883.737.536 | 4.245.381.112 | 19.011.837.456 | 24.683.224.073 | 29.458.828.130 |
| 25 | 37.233.545.514 | 56.589.717.331 | 10.525.513.564 | 15.329.357.657 | 19.356.171.818 | 2.599.801.850 | 2.841.888.662 | 13.773.390.114 | 18.577.234.208 | 22.604.048.368 |
| 26 | 30.374.748.427 | 50.654.151.339 | 10.760.121.994 | 15.970.365.795 | 20.279.402.912 | 2.657.750.133 | 2.905.232.938 | 13.968.063.083 | 19.178.306.883 | 23.487.344.001 |
| 27 | 26.105.231.594 | 55.000.211.868 | 19.755.800.110 | 25.935.463.412 | 28.894.980.274 | 4.879.682.627 | 5.334.066.030 | 22.983.487.130 | 29.163.150.432 | 32.122.667.294 |
| 28 | 19.941.113.374 | 48.360.055.934 | 16.886.114.474 | 23.599.484.887 | 28.418.942.561 | 4.170.870.275 | 4.559.250.908 | 19.569.332.990 | 26.282.703.403 | 31.102.161.076 |
| 29 | 19.813.284.437 | 53.457.939.523 | 19.320.232.565 | 27.443.566.232 | 33.644.655.087 | 4.772.097.444 | 5.216.462.792 | 21.916.460.139 | 30.039.793.806 | 36.240.882.660 |
| 30 | 20.541.322.356 | 56.041.681.604 | 20.057.565.536 | 29.154.049.564 | 35.500.359.249 | 4.954.218.687 | 5.415.542.695 | 22.662.074.019 | 31.758.558.046 | 38.104.867.731 |
| **VAN** | | | **173.619.271.666** | **245.163.721.425** | **298.235.344.591** | **42.883.960.101** | **46.877.203.350** | **213.119.558.158** | **284.664.007.918** | **337.735.631.083** |

Fuente: Elaboración propia

## 5. MODELO DE REGULACIÓN

Para simular la explotación del futuro embalse y determinar el volumen necesario para satisfacer las demandas en cada escenario con el 85% de seguridad de riego, a partir de los recursos hídricos disponibles, y en función de los derechos de aprovechamiento de aguas, se ha elaborado un modelo de regulación.

El estudio mostró que la actual derivación de recursos invernales excedentes del río Longaví a través del Canal Alimentador Digua para regar 10.670 ha del Sistema Digua (derechos eventuales) es compatible en los tres escenarios de futuro embalse. Por tanto, la situación agraria futura del Sistema Digua será la misma con embalse y sin embalse, y sus márgenes agrarios se mantendrán iguales, sin ningún perjuicio ni beneficio. Sin embargo, con el modelo de regulación se ha ensayado también la situación teórica de la distribución de caudales suponiendo que los derechos eventuales del Sistema Digua fueran virtualmente permanentes, es decir, con la misma prioridad que los derechos de los beneficiarios del embalse, resultando un aumento de su seguridad de riego respecto a su situación actual, que se traduce en beneficios agronómicos.

Existe una limitación física en los emplazamientos Cuesta Lara y El Mañío, que presentan una capacidad máxima del orden de 160 $hm^3$. En el escenario 1 se necesita un volumen de 133 $hm^3$ para satisfacer la demanda agraria con 85% de seguridad, y en el escenario 2 sería del orden de 210 $hm^3$, valor que no es posible de lograr en esas ubicaciones. Por tanto, las soluciones de Cuesta Lara y El Mañío no presentan capacidad suficiente para incrementar la superficie actual de riego. Por otra parte, existe el condicionante de las afecciones en la zona de La Balsa en caso de que la inundación alcanzase esta zona, lo que no se considera socialmente aceptable; por ello, se plantean para estas soluciones otros escenarios adicionales, que pudieran resultar menos ambiciosos, pero quizás rentables.

- Escenario 1-a: Corresponde al área que pueda regarse con 85% de seguridad, con el máximo embalse en El Mañío sin inundar la zona de La Balsa (44 $hm^3$). Este escenario se plantea también para Cuesta Lara, con la misma capacidad (44 $hm^3$). La superficie de riego resultó de 7.441 ha.
- Escenario 1-b: Corresponde al área que pueda regarse con 85% de seguridad, con el máximo embalse en Cuesta Lara sin afectar la zona de La Balsa (67 $hm^3$). La superficie de riego resultó de 8.134 ha.

Finalmente, se consideró también el Escenario 1 (riego de la superficie actual con una seguridad del 85%), para el emplazamiento El Mañío, aunque resulte inundada la zona de La Balsa. La capacidad necesaria (volumen total, incluyendo el volumen muerto) sería de 133 $hm^3$. En la siguiente Tabla se resumen estos resultados:

Tabla 5.1-1. Superficie regada y Volumen de embalse para cada escenario de riego con seguridad del 85%

| SOLUCIÓN | ESCENARIOS | | Superficie de Riego (ha) | Volumen de regulación ($hm^3$) | Volumen muerto ($hm^3$) | Volumen Total embalse ($hm^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Los Laureles | Sistema Digua con derechos eventuales | 1 | 30.126 | 136,96 | 2,04 | 139 |
| | | 2 | 36.237 | 211,94 | 2,06 | 214 |
| | | 3 | 41.614 | 276,94 | 2,06 | 279 |
| | Sistema Digua con derechos permanentes | 1 | 40.796 | 136,96 | 2,04 | 139 |
| | | 2 | 46.907 | 215,94 | 2,06 | 218 |
| | | 3 | 52.284 | 276,94 | 2,06 | 279 |
| Cuesta Lara | Sistema Digua con derechos eventuales | 1a | 7.441 | 42,71 | 1,29 | 44 |
| | | 1b | 8.134 | 65,71 | 1,29 | 67 |
| El Mañío | Sistema Digua con derechos eventuales | 1a | 7.441 | 42,71 | 1,29 | 44 |
| | | 1 | 30.126 | 131,70 | 1,30 | 133 |

Fuente: Elaboración propia

# 6. DISEÑO DE LAS OBRAS

## 6.1. MURO DE PRESA

En base a las características geotécnicas del emplazamiento de **Los Laureles**, se ha definido una solución de presa de materiales locales con pantalla de hormigón sobre el talud aguas arriba, tipo CFRD. El cuerpo de presa estaría compuesta de escolleras y gravas procedentes de los materiales disponibles en las inmediaciones, con taludes 1,5H:1V aguas arriba y 1,6H:1V aguas abajo, en donde se disponen bermas de 4 m de ancho cada 30 m y un repié de enrocado. La pantalla de hormigón apoyará sobre un plinto de hormigón con anclajes al terreno y con inyecciones de consolidación. El ancho de coronación es de 12 m, con un pretil de 5 m de alto.

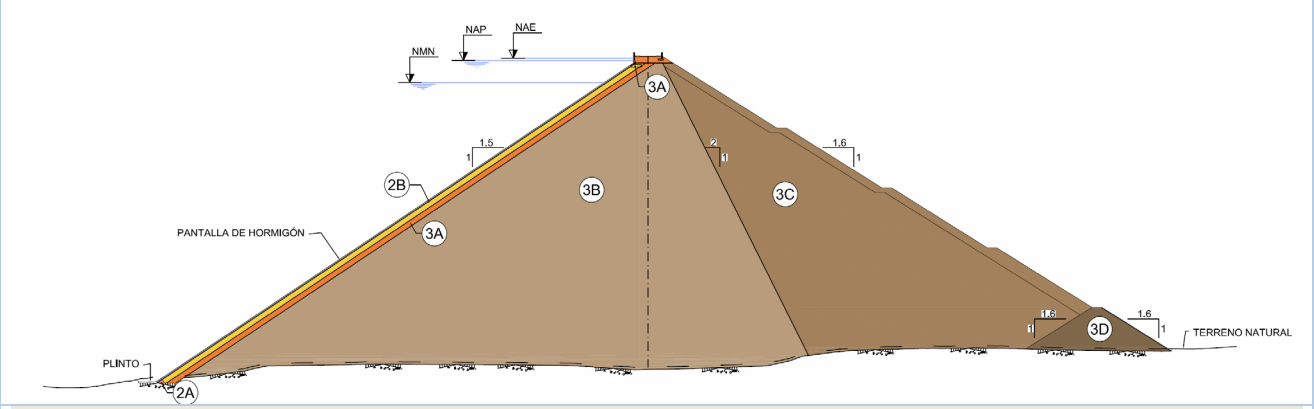



Figura 6.1-1. Sección tipo propuesta para la presa de Los Laureles
Fuente: Elaboración propia

En **Cuesta Lara** las características topográficas y geotécnicas conducen a una presa de hormigón vibrado convencional, con los elementos de desagüe integrados dentro del cuerpo de presa. El paramento aguas abajo tiene talud 0,8H:1V, con el vértice teórico del triángulo resistente a la cota de coronación de 8 m de ancho. El paramento aguas arriba tiene un tramo vertical y otro de talud 1H:4V. La fundación estará en contrapendiente, con inclinación del 5%. El tratamiento en la fundación consistirá en inyecciones de consolidación-impermeabilización y pantalla de drenaje.

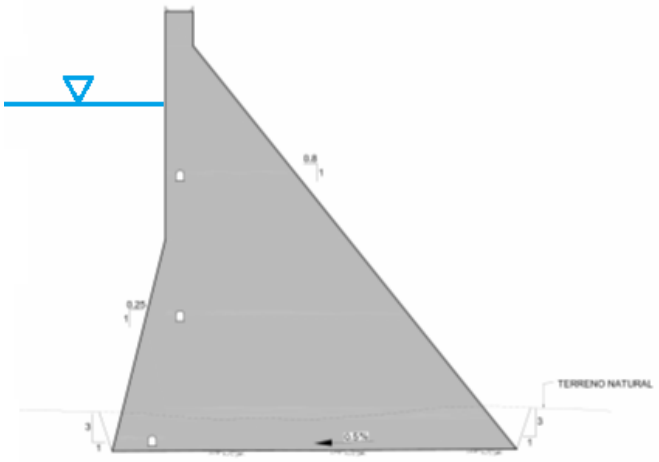



Figura 6.1-2. Sección tipo propuesta para la presa de Cuesta Lara
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el estudio geotécnico realizado, la tipología de presa adoptada en El Mañío es de materiales locales con núcleo impermeable. El ancho inferior del núcleo tendrá ½ de la altura de presa y 5 m en coronación. Se apoyará en la margen derecha sobre la avalancha volcánica, excavando unos 3 m superficiales; en la margen izquierda se retirarán los materiales de avalancha volcánica y terrazas, regularizándose la superficie de apoyo. Los espaldones apoyarán sobre el terreno natural retirando 1 m de capa superficial. El material para el núcleo son limos arenosos con presencia de gravas, que favorecerá la compactación y producirá menores asientos, elaborado con finos procedentes del yacimiento en la zona de Las Guardias.

El material para los espaldones se obtendrá de las cercanías del embalse y de los afloramientos graníticos de las canteras situadas en las inmediaciones de la obra. En el paramento aguas arriba se coloca una capa de Rip-Rap de 3 m de espesor, formado por los tamaños más gruesos de escollera, como protección frente al oleaje. Teniendo en cuenta la sismicidad de la zona se dispone un ancho de coronación de 15 m. El talud aguas arriba tiene inclinación 1,8H:1V y el talud aguas abajo 1,7H:1V, con bermas cada 30 m de 4 m de ancho, que se completa con un repié drenante. En el contacto del núcleo con la fundación se dispone una galería desde donde se realizarán los tratamientos de la fundación (pantalla de inyecciones de impermeabilización y pantalla de drenaje).

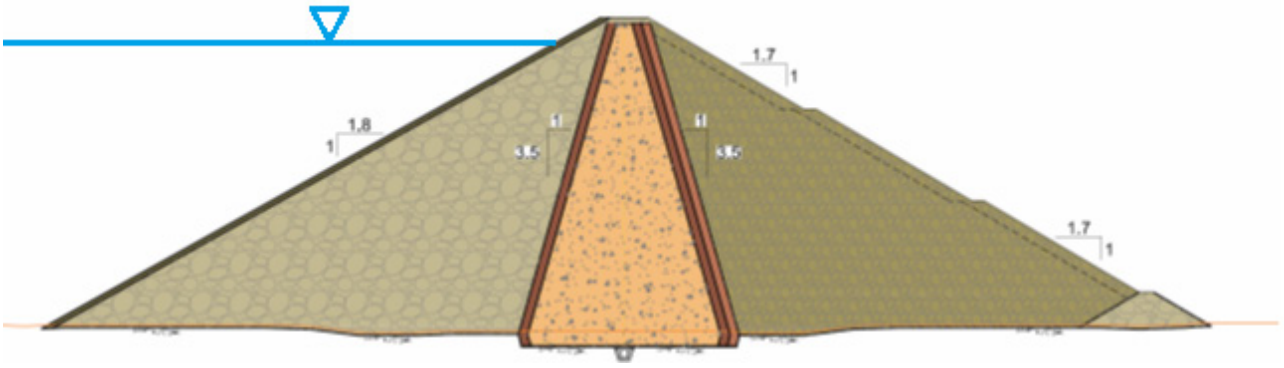



Figura 6.1-3. Sección tipo propuesta para la presa de El Mañío
Fuente: Elaboración propia

## 6.2. EVACUADOR DE CRECIDAS

El evacuador de crecidas diseñado en las presas de Los Laureles y El Mañío está compuesto por un vertedero, un canal colector, un rápido de descarga y trampolín final. Su diseño hidráulico se ha realizado siguiendo la metodología descrita en la publicación técnica *"Desing Of Small Dams"* del U.S. Bureau of Reclamation. Ambas pertenecen a la categoría C (grandes embalses) según el Reglamento de Obras Mayores de la DGA. Por tanto, el caudal de diseño está asociado al periodo de retorno de 1.000 años. Para Los Laureles $Q_{1.000\ años}$=2.970,40 m³/s y para El Mañío $Q_{1.000\ años}$=1.737,90 m³/s. El diseño fue verificado para la crecida asociada a un periodo de retorno de 10.000 años, que en Los Laureles es $Q_{10.000\ años}$= 3.414,90 m³/s y en El Mañío $Q_{10.000\ años}$= 1.992,50 m³/s, de forma que el nivel máximo extraordinario del embalse no supere la cota de coronación durante dicha crecida.

El evacuador de crecidas de Cuesta Lara se sitúa en el cuerpo de presa, con una longitud de 60 m, divido en tres vanos mediante pilas de 1,5 m de ancho, sobre las que apoya el paso sobre el aliviadero. La cota del labio se sitúa en el NMN, el canal de descarga se ajusta al talud aguas abajo de la presa, de valor 0,8H:1V, hasta el trampolín de lanzamiento, con una altura de muros de 3 m. En el trampolín se disponen unos dientes a la salida, para producir la dispersión de la lámina y aumentar la disipación de energía. El caudal de diseño está asociado al periodo de retorno de 1.000 años, que es $Q_{1.000\ años}$=1.737,90 m³/s. El diseño fue verificado para la crecida asociada a un periodo de retorno de 10.000 años que corresponde a un caudal $Q_{10.000\ años}$= 1.992,50 m³/s.

## 6.3. ALTURA DE PRESA

La cota de coronación de los embalses se establece a partir de la máxima Cota de agua durante las crecidas, la revancha por oleaje y la revancha por sismo. Con estos valores, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 6.3-1. Cotas de coronación para las alternativas de embalse estudiadas

| Escenario | Cota vertedero N.M.N (m s.n.m.) | Cota agua T=1.000 (m s.n.m.) | Cota agua T= 10.000 (m s.n.m.) | Oleaje (m) | Sismo (m) | Cota coronación (m s.n.m.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **LOS LAURELES** | | | | | | |
| Escenario 1 | 593,00 | 598,03 | 598,56 | 3,12 | 4,09 | 602,50 |
| Escenario 2 | 610,00 | 614,90 | 615,42 | | | 619,50 |
| Escenario 3 | 621,00 | 625,88 | 626,42 | | | 630,50 |
| **CUESTA LARA** | | | | | | |
| Escenario 1.a | 709,00 | 714,18 | 714,69 | 3,12 | 4,31 | 718,50 |
| Escenario 1.b | 722,00 | 727,18 | 727,67 | | | 731,50 |
| **EL MAÑÍO** | | | | | | |
| Escenario 1.a | 722,00 | 726,69 | 727,16 | 3,12 | 4,03 | 731,00 |
| Escenario 1 | 753,00 | 758,14 | 758,66 | | | 762,50 |

Fuente: Elaboración Propia

## 6.4. OBRAS DE DESVÍO DEL RÍO. TOMA Y DESAGÜE DE FONDO

En El Mañío y Los Laureles (presas de materiales locales), el desvío del río se diseña a través de dos túneles gemelos, posteriormente utilizados como desagüe de fondo y toma de agua, cerrando el desvío mediante tapones de hormigón. Cada túnel tiene sección en herradura de 9 m de ancho para El Mañío y 11 m para Los Laureles, con banqueta de 4,5 m y 5,0 respectivamente. Este dimensionamiento se obtuvo en función del caudal de diseño para lámina libre, que corresponde a la crecida de 50 años de periodo de retorno: $Q_{50\ años}$ = 2.315 m³/s en Los Laureles y $Q_{50\ años}$ = 1.362 m³/s en El Mañío. Además, se proyecta una ataguía de materiales locales compactados, aguas arriba de la presa, con taludes 1,8H:1V en ambos lados y ancho de coronación de 5 m. La altura de las ataguías se obtiene a partir de los cálculos de la curva de descarga de las galerías.

El desagüe de fondo tiene la función de garantizar la seguridad de las obras en caso de desembalse rápido. La obra de toma tiene la función de suministrar los caudales regulados por el embalse (riego y caudal ecológico). Ambos elementos se componen de torre de toma, galería o túnel, cámara de compuertas y obra de restitución al río. Tanto la torre como la galería o túnel se ejecutan en la fase del desvío del río. En la segunda fase se completan las instalaciones para su utilización como tal. La incorporación al río de los caudales a través del desagüe de fondo y/o de la toma, alcanza elevadas velocidades, por lo que se ha diseñado también un cuenco disipador de energía tipo USBR, que permite la entrega al río sin provocar erosiones. Para estas obras de amortiguamiento, se considera la máxima energía con la que podría llegar el flujo para el caudal de diseño.

Para el desvío del río en Cuesta Lara (presa de hormigón), la crecida de diseño corresponde a un riesgo del 20%, lo que equivale a 10 años de periodo de retorno. Este caudal, supone un valor de 1.118,8 m³/s. El esquema de desvío consiste en la construcción de una ataguía a unos 40 m aguas arriba de la presa y un canal de desvío por la margen izquierda. La ataguía será un azud de hormigón con sección trapecial, de 5 m de ancho en coronación y talud 0,8H:1V en el paramento aguas abajo.

Los desagües están incluidos en el cuerpo de presa: dos conductos de 1.400 mm de diámetro, para desagüe de fondo y toma, para garantizar la seguridad en caso de desembalse rápido, y para suministrar las demandas de riego y caudal ecológico. La embocadura de los conductos se ubica en el paramento aguas arriba, protegida por una reja. En cada conducto se disponen dos compuertas, una válvula compuerta de paso circular y asiento plano de seguridad (por conducto) situada en la cámara de válvulas del interior de cuerpo de presa, y una compuerta de regulación (por conducto) tipo Howell Bunger, a la salida de los tubos en el paramento aguas abajo de la presa, para la restitución de los caudales al cauce.

## 6.5. OBRAS COMPLEMENTARIAS

### 6.5.1. Variantes de interferencia y tendidos eléctricos

Las vías de comunicación afectadas por las obras y por la inundación del embalse Los Laureles son las rutas L-75, L-745 y L-733. En los embalses de Cuesta Lara y el Mañío no existe afección a ningún camino principal, por lo que sólo se ha necesitado proyectar los nuevos accesos a cada presa, que conectarán con caminos ya existentes. Además de estas vías de comunicación, existen líneas eléctricas que resultan interferidas, como es el trazado a lo largo de la ruta L-733, a los costados de la ruta, atravesando el río Longaví hacia la ribera derecha en el sector La Balsa, a lo largo de la ruta L-745 en ambos costados, y a lo largo de la ruta L-75 hasta el sector de La Balsa.

### 6.5.2. Mejora de las infraestructuras de riego

En la situación futura, se ha considerado la incorporación a la zona regable de algunas superficies de riego que requieren la realización o mejora de algunas infraestructuras menores para hacer efectivo el riego:

- Mejora de las obras de admisión de canales que presentan el riesgo a corto plazo de que sus bocatomas queden "colgadas" por un desvío del cauce habitual del río.
- Revestimiento de tramos de canales matrices y derivados que presentan mayores problemas de infiltración que conlleve una deficiencia en el reparto de aguas a los regantes ubicados en las últimas etapas de su recorrido.
- Mejora de las obras de distribución, especialmente en lo relativo a marcos partidores y compuertas, en aquellos canales matrices y derivados cuyos elementos estructurales muestran deficiencias en sus funciones, ya que los materiales y componentes se han ido deteriorado con el uso y paso del tiempo.
- Aumento de la tecnificación del riego, que supondría un aumento importante en la eficiencia de aplicación del agua, y por tanto, mayor disponibilidad de la misma.
- Construcción de tranques de regulación y/o mejora de los existentes, puesto que la disposición de este tipo de acumuladores optimizará el sistema de turnos para riego entre los usuarios de cada canal.
- Unificación de algunos canales con obras de admisión y de reparto comunes, especialmente en aquellos canales que disponen de bocatomas muy próximas o recorridos actuales muy próximos.

### 6.5.3. Sistema remoto de aforo de caudales

Se incorpora a las obras un sistema remoto de medición de caudales, transmisión de datos y centralización en un Centro de Control. El sistema estaría compuesto por 11 estaciones de medida de caudales en las principales bocatomas de los canales, que enviarían la señal hasta el Centro de Control en las oficinas de la Junta de Vigilancia del río Longaví y Afluentes, en Parral. Por otra parte, se construirá una estación fluviométrica a pie de presa, que transmitirá la señal vía cable hasta un Centro de Control secundario ubicado en la propia presa. Desde allí, se reenviará la señal vía radio hasta el Centro de Control principal, incorporando así los datos sobre caudales totales evacuados por la presa. El sistema de enlace proyectado es vía radiofrecuencia, por ser el más seguro, sencillo y fiable para las condiciones en alta montaña, de difícil climatología y sin infraestructuras consolidadas de telecomunicación, siendo un medio de comunicación seguro y de bajo coste de mantención, para el envío de señales analógicas y digitales a larga distancia.

## 6.6. POSIBLE CENTRAL HIDROELÉTRICA

Para valorar adecuadamente la rentabilidad de la inversión del embalse, es necesario considerar el eventual aprovechamiento hidroeléctrico, compatible con el uso para riego. Para ello, se ha valorado su potencial y los costes de inversión necesarios. En las tres soluciones de embalse se considera una central a pie de presa equipada con 2 turbinas Francis, con una potencia instalada de 29,6 a 37,8 MW (según escenario) en Los Laureles, de 21 a 24 MW en Cuesta Lara, y de 12,8 a 23,4 en El Mañío, con generación eléctrica y factores de planta muy variables, según cada escenario.

# 7. ESTUDIO DE TENENCIA DE LA TIERRA

El área de afección correspondiente al embalse Los Laureles (en el escenario de mayor volumen) estaría limitada por la curva de nivel a la cota de coronación de la solución más alta. Las propiedades afectadas por la inundación son 26 predios, de las cuales 6 se ubican en la comuna de Longaví y 20 en la comuna de Parral. Una vez identificadas estas propiedades afectadas, se estimaron las áreas de expropiación afectadas en cada predio.

El área afectada por el embalse Cuesta Lara corresponde a la envolvente definida por la cota 730 m s.n.m.; el área de inundación se extiende desde 200 m aguas arriba de la afluencia del río Blanco al río Longaví, hasta el sector denominado La Balsa, 1,5 km aguas arriba de la confluencia de los ríos Villalobos y Cieneguilla, que da origen al río Longaví. Las propiedades afectadas por la inundación corresponden a 5 predios de gran extensión, de los cuales uno se ubica en la comuna de Longaví y los otros 4 en la comuna de Parral.

El área afectada por el embalse de El Mañío corresponde a la envolvente definida por la cota 760 m s.n.m.; el área de inundación se extiende desde aproximadamente 1,4 km aguas arriba de la afluencia del río Blanco al río Longaví, hasta aguas arriba del sector denominado La Balsa (que quedaría inundado), unos 2,3 km aguas arriba de la confluencia de los ríos Villalobos y Cienaguillas.

Los terrenos se sitúan administrativamente en las comunas de Longaví y Parral, siendo el río Longaví el límite político administrativo entre ambas comunas. Una vez identificadas las propiedades afectadas, se estimaron las áreas de expropiación afectas en cada predio. Para el embalse de Los Laureles se estima una expropiación aproximada de 700 ha, para Cuesta Lara se estima una superficie de 300 ha y para El Mañío una expropiación de 450 ha.

# 8. ANÁLISIS AMBIENTAL

## 8.1. ESTRUCTURA DEL ESTUDIO

El Análisis Ambiental enmarcado en el estudio de prefactibilidad tiene el objetivo de evaluar ambientalmente los tres sitios propuestos como posibles emplazamientos para el embalse en el río Longaví, considerando los posibles impactos ambientales y sociales que se podrían generar durante la implementación y operación de las obras, así como analizar la pertinencia del ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental del proyecto, elaborando los respectivos Planes Preliminares de Manejo y Seguimiento Ambiental, así como sus costos aproximados. El estudio contiene los siguientes temas:

- Análisis Preliminar de los posibles emplazamientos.
- Definición de las partes, acciones y obras físicas del proyecto.
- Caracterización de la línea base del área de influencia (medio físico, biótico, social y cultural).
- Zonas de restricción ambiental
- Análisis de la legislación ambiental y plan de cumplimiento.
- Análisis de la pertinencia de ingreso al SEIA.
- Identificación y evaluación de impactos ambientales.
- Plan de manejo y Plan de seguimiento ambiental.
- Identificación de Estudios Ambientales en próximas etapas
- Conclusiones.
- Estimación de costos ambientales asociados al Proyecto.

A continuación se indican los aspectos más importantes de cada uno de estos puntos:

## 8.2. ANÁLISIS AMBIENTAL PRELIMINAR DE LOS SITIOS DE EMPLAZAMIENTO

De las 11 alternativas identificadas inicialmente, se descartaron 8 por diversos motivos (recursos hídricos disponibles, volumen máximo de embalse, situación geológica-geotécnica, situación respecto a derechos de aguas, ubicación respecto a la zona de riego, tamaño de la presa, interferencias y condiciones ambientales).

Por motivos geológicos, se descartaron las alternativas de Las Guardias y La Balsa. Ésta última presenta además impacto ambiental y social, y un enorme tamaño del dique de presa. Por falta de recursos hídricos, se descartó Cieneguilla y Matadero 1 y 2. La alternativa Los Cerrillos se descartó por falta de volumen de embalse mínimo. La alternativa de El Zapallar puede ser viable, aunque tiene grandes incertidumbres. En cualquier caso, presenta excesivos volúmenes de tierra a remover antes de construir la presa, y comparativamente con el resto, no presenta ventajas; por ello, también se descartó su selección. Los Pangues, como ya hemos señalado, no constituye una alternativa, sino un posible recurso de aportación adicional a las alternativas de Cuesta Lara y El Mañío.

Las soluciones que presentan viabilidad técnica, que constituyen la propuesta de TYPSA para ser estudiadas fueron:

- Los Laureles (LL).
- Cuesta Lara, (CL).
- El Mañío (EM).

Los Laureles

Esta alternativa se sitúa sobre el río Longaví, a unos 32 km aproximadamente del valle de la depresión intermedia. Se sitúa al norte del embalse Bullileo. Corresponde a un paisaje poco intervenido, donde la agricultura está prácticamente ausente. La ocupación humana está representada por la explotación agropecuaria en praderas. Las comunidades forestales corresponden fundamentalmente al cortejo florístico del bosque esclerófilo, aunque están presentes también las especies del tipi forestal Roble-Hualo. En este tramo la ribera derecha del valle del Longaví se presenta con topografía marcadamente más abrupta que la ribera izquierda. Esta última exhibe topografía de plataforma que puede ser perfectamente una terraza antigua. Esta alternativa tiene la ventaja de ofrecer un muro natural que corresponde al cordón montañoso que delimita el río Longaví por el Norte.

Dentro de los inconvenientes, cabe mencionar que se identificó una interesante explotación agrícola de arándanos con riego sobre la terraza superior de la ribera izquierda. La terraza inferior en este tramo está sometida al pastoreo. Cabe mencionar que se identificó una comunidad de Loro Tricahue en este tramo, cuyas loreras se sitúan en el talud fluvial del meandro del río Longaví. Otro factor desfavorable es que se extiende sobre los dominios del Sitio Prioritario Bosques Nativos de Digua y Bullileo, que presenta bosques maulinos de la Cordillera. Cabe mencionar que el embalse Bullileo está completamente inserto dentro de los dominios de este Sitio Prioritario.

El Mañío

Esta alternativa se sitúa también sobre el río Longaví, al oriente del embalse Bullileo, a unos 43 km de distancia del valle del Longaví en la Depresión intermedia. La ribera derecha del río Longaví continúa exhibiendo relieve más pronunciado que la ribera izquierda. La cobertura de uso del suelo es mayoritariamente silvopecuaria, observándose extensas superficies con cobertura de bosque nativo. La ladera de exposición oriental del río Longaví en este tramo exhibe plantaciones forestales recientes a lo largo de los primeros 600 metros de recorrido. Están presentes comunidades vegetales del tipo forestal esclerófilo y especies del tipo forestal Roble - Hualo. Se observan especie aisladas de Ciprés de la Cordillera. Las laderas de alta montaña sobre la ribera izquierda corresponden al Sitio Prioritario Bosques Nativos de Digua y Bullileo, afectando parcialmente el área a inundar.

Cuesta Lara

Esta alternativa se sitúa también sobre el río Longaví, al oriente del embalse Bullileo, a unos 42 km de distancia del valle del Longaví en la Depresión intermedia. La ribera derecha del río Longaví continúa exhibiendo relieve más pronunciado que la ribera izquierda. Esta alternativa presenta una posible variante para su peraltado, prolongando el muro para cerrar el collado ubicado en la parte alta del lado derecho. Esta alternativa se extiende a lo largo del río Longaví y podría afectar en su cola a la comunidad humana de La Balsa, por lo que se podría tener un impacto social apreciable. Las características generales de esta alternativa son las mismas que las de El Mañío (están a 1,2 km de separación una de la otra).

## 8.3. DEFINICIÓN DE LAS PARTES, ACCIONES Y OBRAS FÍSICAS DEL PROYECTO

### 8.3.1. Embalse Los Laureles

La presa de los Laureles se ubica en un estrechamiento que por condicionantes topográficos admite una altura máxima de unos 130 m sobre cauce, correspondiendo una coronación de unos 1.450 m de longitud. En el entorno del cauce y la margen derecha, de fuerte pendiente, se observan afloramientos rocosos; sin embargo en la margen izquierda se localizan extensas zonas aterrazadas, que corresponden a depósitos de terraza fluvial de unos 300 - 400 m de anchura en la zona más cercana al cauce, y a depósitos de avalancha volcánica que se extienden más de 800 m hasta el estribo izquierdo, en el resto de esta margen. Se ha definido una solución de presa de materiales locales con pantalla de hormigón, tipo CFRD.

### 8.3.2. Embalse El Mañío

La presa de El Mañío se sitúa unos 1,5 km aguas arriba de la confluencia del río Blanco con el río Longaví. La roca aflora en el entorno del cauce y en algunos escarpes intermedios entre terrazas de la margen izquierda, con recubrimientos aluviales y de avalancha volcánica. Sin embargo, en la margen derecha se presenta un espesor importante de recubrimientos de depósitos de avalancha. De acuerdo con el estudio de materiales realizado, la única tipología de presa posible es de materiales locales, con núcleo impermeable o con pantalla de hormigón. Se descarta la tipología de presa con material "todo uno" procedente de la avalancha volcánica, para la altura de presa que se considera.

### 8.3.3. Embalse Cuesta Lara

La presa de Cuesta Lara se sitúa unos 200 m aguas arriba de la confluencia del río Blanco con el río Longaví, en donde el cauce del río discurre encañonado entre afloramientos de roca granítica. La margen derecha, de taludes más pendientes, presenta afloramientos superficiales bastante continuos de substrato rocoso granítico. La margen izquierda es más tendida, y presenta una terraza en su zona media, sobre los afloramientos rocosos del cauce. Las características topográficas y geotécnicas recomiendan plantear una presa de hormigón vibrado convencional, de forma que los elementos de desagüe queden integrados dentro del cuerpo de presa. Para que la presa quede fundada en roca competente, en la margen derecha se excavará la parte superficial del macizo rocoso, más alterado y descomprimido, hasta una profundidad de unos 10 m. En la margen izquierda es necesario retirar el relleno aterrazado constituido por materiales de avalancha y terraza aluvial de unos 20 m de espesor. Por encima de la cota 680 se excavará del orden de 12-15 m del tramo superficial de roca más alterado.

### 8.3.4. Disponibilidad de Materiales

Los yacimientos considerados son los indicados en la Tabla siguiente:

Tabla 8.3-1. Yacimientos seleccionados. Fuente EDIC/TYPSA

| N° | Yacimiento | Estudio | Presa | Distancia al muro de presa (m) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Yacimiento las Guardias | Prefactibilidad TYPSA 2013-14 | Los Laureles | 4.800 |
| 2 | Yacimiento Malcho | Factibilidad EDIC 2001 | Los Laureles | 1.150 |
| 3 | Yacimiento "K" Los Canelos | Factibilidad EDIC 2001 | Los Laureles | 2.400 |
| 4 | Yacimiento Terraza Nelson | Factibilidad EDIC 2001 | Los Laureles | 4.450 |
| 5 | Yacimiento Sector Mellico | Factibilidad EDIC 2001 | Los Laureles | 4.250 |
| 6 | Yacimiento Sector Mañío | Factibilidad EDIC 2001 | El Mañío | 500 |
| 7 | Yacimiento Río Blanco Oeste | Factibilidad EDIC 2001 | Cuesta Lara/ El Mañío | 1.450 |
| 8 | Yacimiento Río Blanco Este | Factibilidad EDIC 2001 | Cuesta Lara/ EL Mañío | 2.900 |

Fuente: Elaboración propia

### 8.3.5. Caudales Ecológicos

Los valores de los caudales ecológicos propuestos para las alternativas analizadas son:

Tabla 8.3-2. Caudales Ecológicos Propuestos

| Qeco ($m^3/s$) | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Los Laureles | 1,42 | 2,61 | 3,91 | 4,73 | 4,33 | 6,71 | 6,71 | 6,71 | 5,12 | 4,57 | 2,38 | 2,38 |
| El Mañío - Cuesta Lara | 1,04 | 1,58 | 2,26 | 2,74 | 2,50 | 4,49 | 4,49 | 4,49 | 3,32 | 2,64 | 1,35 | 1,49 |

Fuente: Elaboración propia

### 8.3.6. Propiedad, Estudio de Tenencia de Tierra

Los terrenos se sitúan administrativamente en la Provincia de Linares, en las comunas de Parral y Longaví, siendo el río Longaví el límite político administrativo entre ambas comunas, situándose la comuna de Longaví hacia norte y la comuna de Parral hacia el sur. El área de afección correspondiente al embalse Los Laureles estaría limitada por la curva de nivel a la cota de coronación de la solución más alta. Las propiedades afectadas por la inundación son 26 predios, de las cuales 6 se ubican en la comuna de Longaví y 20 en la comuna de Parral. Se estima una expropiación aproximada de 700 ha.

El área afectada por el embalse Cuesta Lara corresponde a la envolvente definida por la cota 730 m.s.n.m. El área de inundación se extiende desde 200 m aguas arriba de la afluencia del río Blanco al río Longaví, hasta el sector denominado La Balsa, 1,5 km aguas arriba de la confluencia de los ríos Villalobos y Cieneguilla, que da origen al río Longaví. Las propiedades afectadas por la inundación corresponden a 5 predios de gran extensión, de los cuales uno se ubica en la comuna de Longaví y los otros 4 en la comuna de Parral. Se estima una expropiación aproximada 300 ha.

El área afectada por el embalse de El Mañío corresponde a la envolvente definida por la cota 760 m s.n.m. El área de inundación se extiende desde aproximadamente 1,4 km aguas arriba de la afluencia del río Blanco al río Longaví, hasta aguas arriba del sector denominado La Balsa (que quedaría inundado), unos 2,3 km aguas arriba de la confluencia de los ríos Villalobos y Cieneguilla. Se estima una expropiación aproximada de 450 ha.

### 8.3.7. Derechos de Agua en el Área del Proyecto

Los regantes están mayoritariamente organizados en dos secciones:

- Sección 1: desde el nacimiento del río Longaví en la Cordillera de los Andes, hasta la bocatoma del canal Primera Abajo, situada aproximadamente 4 km aguas arriba del cruce con la Ruta 5 Sur (*Junta de Vigilancia del Río Longaví y sus Afluentes*).
- Sección 2: desde el cruce con la Ruta 5 hasta la confluencia de los ríos Longaví y Loncomilla (pequeñas comunidades de aguas y organizaciones de hecho).

La *Junta de Vigilancia del Río Longaví y sus Afluentes* administra el Embalse Bullileo y reparte el agua a 32 canales, asociados en 20 bocatomas, integrando 20.920 acciones de derecho de ejercicio permanente y continuo.

Si se considera que una acción corresponde a 1,5 l/s, el caudal total acumulado de ejercicio permanente y continuo es de 31.380 l/s, además de un caudal de 38.620 l/s de ejercicio eventual y continuo (que incluye 25.000 l/s para el Embalse Digua).

### 8.3.8. Área Beneficiada

La zona del estudio se sitúa a unos 340 km al sur de Santiago, provincia de Linares, entre las comunas de Longaví, Retiro y Parral pertenecientes a la provincia de Linares en la región del Maule.

El Área de Estudio pertenece en su totalidad al Sistema Longaví, en ambas riberas, y corresponden con predios potencialmente regables bajo canales gestionados por la JVRL en la Primera Sección del río. La superficie total dentro del perímetro considerado asciende a 60.215 ha, de las cuales 1.198 ha son descuentos (vías de comunicación, hidrografía, núcleos urbanos, terrenos regados por otros sistemas, ríos, esteros, vertientes, etc.), quedando un área neta a caracterizar de 59.017 ha.

Las superficies por comuna dentro del área de estudio agronómico son:

- Superficie total bruta:.....59.017 ha.
- Retiro: .....28.477 ha (48% del total).
- Longaví: .....19.916 ha (34% del total).
- Parral: .....10.624 ha (18% del total).

## 8.4. CARACTERIZACIÓN DE LA LÍNEA BASE DEL ÁREA DE INFLUENCIA

La caracterización de la Línea Base se realizó analizando los siguientes componentes:

Componentes del Medio físico:

- Hidrología;
- Hidrogeología;
- Calidad del agua;
- Geología y geomorfología;
- Ruidos;
- Calidad del aire;
- Clima y Meteorología; y
- Suelos.

Componentes del Medio Biótico:

- Flora y Vegetación terrestre;
- Fauna terrestre y aérea;
- Flora y fauna acuática; y
- Biodiversidad.

Componentes del medio social y cultural:

- Población y asentamientos humanos;
- Infraestructura y vial y transportes;
- Patrimonio cultural y arqueológico;
- Paisaje y estética;
- Planificación territorial;
- Uso del suelo; y
- Otros proyectos en el área.

## 8.5. ZONAS DE RESTRICCIÓN AMBIENTAL

Las zonas de restricción ambiental definidas (denominadas ZR) corresponden a espacios físicos que presentan riesgo de afectar los diferentes componentes ambientales analizados. Estos espacios deben ser excluidos de actividades durante las etapas de construcción y explotación.

Aún considerando que en etapa de prefactibilidad se desconoce la alternativa definitiva de embalse y no se ha definido el proyecto constructivo, se presenta zonas de restricción definidas. Estas zonas tienen carácter general, y tienen por objeto entregar una primera aproximación de los componentes ambientales que condicionarán a futuro la localización tanto del embalse como de las actividades constructivas correspondientes. Las Zonas de Restricción consideradas son:

- ZRhi: Zona con Riesgo de afectar los cursos de agua superficial.
- ZRcag: Zona con Riesgo de afectar la calidad de las aguas superficiales.
- ZRsu: Zona con Riesgo de afectar la calidad de los suelos.
- ZRah: Zona con Riesgo de afectar a la población por ruidos y emisión de material particulado.
- ZRfa: Zona con Riesgo de afectar la Fauna terrestre.
- ZRbi: Zona con Riesgo de afectar la Biodiversidad.
- ZRivt: Zona con Riesgo de afectar infraestructura vial.
- ZRfl: Zona con Riesgo de afectar la Flora terrestre.
- ZRpe: Zona con Riesgo de afectar hitos paisajísticos.

## 8.6. ANÁLISIS DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL Y PLAN DE CUMPLIMIENTO

### 8.6.1. Cumplimiento de la Legislación Ambiental Vigente

Se identificó y analizó el régimen jurídico aplicable en materia ambiental al proyecto de prefactibilidad de un embalse en el Río Longaví, con la finalidad de proponer el borrador de un plan que permita dar cumplimiento a la normativa ambiental vigente. El análisis se estructuró en cuatro grupos de normativa: la normativa general aplicable al proyecto, la normativa específica asociada a la protección del medio ambiente, normas asociadas a instalaciones de servicios e infraestructura y los permisos ambientales sectoriales requeridos, aspectos complementarios a la normativa ambiental en el marco del proyecto.

### 8.6.2. Permisos Ambientales Sectoriales

Se detalla los permisos ambientales sectoriales requeridos por el eventual proyecto:

- Artículo N°76: El permiso ambiental se refiere a la prohibición de hacer excavaciones de tipo antropoarqueológica o paleontológica sin la previa autorización del Consejo de Monumentos Nacionales, ya sea que se trate de una persona natural o jurídica chilena o extranjera.
- Artículo N°91: El permiso ambiental se refiere a los antecedentes previos con los que debe contar el Proyecto Particular de Alcantarillado para la aprobación definitiva por parte del Servicio de Salud Regional. Estos serán expuestos en el capítulo correspondiente del Estudio de Impacto Ambiental.
- Artículo N°95: El permiso ambiental se refiere a la pesca de investigación que sea necesaria para el seguimiento de la condición de poblaciones de especies hidrobiológicas en la aplicación del primer año del plan de seguimiento ambiental, a que se refiere el Título VII de la Ley N° 18.892, Ley General de Pesca y Acuicultura y sus modificaciones, cuyo texto refundido, coordinado y sistematizado se contiene en el D.S. N° 430, de 1992, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción.
- Artículo N°101: El permiso ambiental se refiere a la construcción de las obras que señala el artículo 294 del D.F.L. N° 1.122 de 1981, del Ministerio de Justicia, Código de Aguas, los requisitos para su otorgamiento y los contenidos técnicos y formales necesarios para acreditar su cumplimiento, serán los que se señalan en el presente artículo. Análisis de pertinencia de ingreso al SEIA.
- Artículo N°102: El permiso ambiental se refiere a la corta o explotación de bosque nativo, en cualquier tipo de terrenos, o plantaciones ubicadas en terrenos de aptitud preferentemente forestal, a que se refiere el artículo 21 del Decreto Ley N° 701 , de 1974, sobre Fomento Forestal.

## 8.7. ANÁLISIS DE PERTINENCIA DE INGRESO AL SEIA

La Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, publicada en el Diario Oficial del 9 de marzo de 1994, regula el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental, sin perjuicio de lo que otras normas legales establezcan sobre la materia. Es este cuerpo legal el que establece la normativa fundamental que configura el cuadro en el que debe enmarcarse la construcción de un embalse en el Río Longaví, con el objeto de prever, determinar y mitigar su impacto en el medio ambiente. Conforme a los antecedentes, características del proyecto y la Ley 20.417/ MINSECPRES/2010, que modifica la Ley 19300/MINSECPRES/1994 sobre bases generales del Medio Ambiente, se concluye que el proyecto debe ingresar al sistema bajo la modalidad de Estudio de Impacto Ambiental.

## 8.8. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

El listado de las actividades (construcción, operación y abandono) fue proporcionado por el equipo que elaboró el estudio de ingeniería del proyecto. La identificación de los impactos ambientales se realizó través de la identificación de los efectos ambientales negativos sobre los diferentes elementos ambientales como resultado de la ejecución de las actividades del proyecto. Para ello, se definió primeramente las Zonas de Riesgo (ZRI), que corresponde a aquellas zonas donde existan elementos ambientales que serán directamente afectados por las obras y/o actividades del proyecto dentro del Área de Influencia Directa (A.I.D.), cuya evaluación se realizará posteriormente. Una vez identificados los impactos ambientales, según lo expuesto precedentemente, la evaluación de los impactos ambientales se realizó considerando las indicaciones de los TdR. Se definió impactos ambientales significativos a aquellos cuyo valor de CAI es ≤ -60. Los resultados permiten distinguir los impactos ambientales que se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 8.8-1. Impactos Ambientales identificados

| Medio afectado | Impactos Ambientales |
|---|---|
| Calidad del aire | I-CA1: Deterioro calidad del aire por emisiones procedentes de combustión de derivados del petróleo y rodados, y material particulado. |
| Ruidos | I-RU1: Generación de ruido ambiental sobre la norma en puntos sensibles |
| Hidrología | I-HI1: Interrupción del flujo de agua en cursos de agua tributarios al río Longaví interceptados |
| Calidad del agua | I-CAG1: Deterioro de la calidad del agua superficial para riego |
| Geomorfología | I-GM1: Alteración estabilidad de laderas fluviales |
| Suelos | I-SU1: Erosión del suelo |
| | I-SU2: Contaminación del suelo |
| Usos del suelo | I-US1: pérdida de suelos productivos agropecuarios |
| | I-US2: Pérdida de suelos consagrados conservación en suelos con cobertura de vegetación natural |
| Flora y Vegetación terrestre | I-FL1: Eliminación de cobertura leñosa (bosque y matorral) de vegetación natural por tala de árboles |
| | I-FL2: Eliminación de especies protegidas de la flora terrestre (Hualo, Ciprés de Cordillera, Lingue, belloto del Sur) |
| Flora y fauna acuática | I-FAc1: Daño al hábitat para la fauna acuática |
| | I-FAc2: Eliminación de especies protegidas de la fauna acuática |
| Fauna terrestre | I-FA1: Daño al hábitat de especies protegidas de la fauna terrestre |
| | I-FA2: Eliminación de sector de anidamiento de Loro Tricahue en sector de taludes |
| | I-FA3: Eliminación de fuentes de alimentación de especies protegidas |
| Biodiversidad | I-BI1: intervención en área protegida |
| | I-BI2: Daño a la biodiversidad por modificación de hábitat en área protegida |
| Planificación territorial | I-PT1: Instalación del proyecto en áreas reguladas por Plan Desarrollo Turístico Maule |
| | I-PT2: Pérdida de acceso a elementos del patrimonio recreativo (alta montaña de la cuenca del Longaví y zonas con bosque nativo) definidos por el PRDU Maule |
| Asentamientos humanos | I-AH1: Pérdida de bienes en propiedades afectadas por expropiaciones |
| | I-AH2: : Daño a la calidad de vida de residentes del AID por cambio en condiciones de orientación de uso del territorio |
| Infraestructura vial y transporte | I-VT1: Daño a conectividad local |
| | I-VT2: Daño a puente Malcho, Puente La Balsa y Pasarela peatonal sobre estero Villalobos en sector La Balsa |
| Paisaje y estética | I-PE1: Cambio de valor paisajístico de la cuenca del Longaví |
| | I-PE2: Pérdida de acceso visual a escenas con valor paisajístico en la cuenca del río Longaví |
| | I-PE3: Pérdida de puntos de observación de escenas con alto valor paisajísticos en la cuenca del río Longaví |
| | I-PE4: Pérdida de escenas viduales con alto valor paisajístico en la cuenca del río Longaví |
| Patrimonio arqueológico y cultural | I-PC1: Pérdida de elementos con valor cultural |

Fuente: Elaboración propia

En el capítulo se realizó un análisis detallado de cada uno de los impactos ambientales identificados y un análisis particular de las impactos ambientales significativos, que son aquellos con valor de CAI ≤ -60. Los impactos ambientales que tienen valor de CAI > -60 se consideran impactos ambientales negativos, pero no significativos, por lo que no se elaboró medida de manejo ambiental para controlarlos.

## 8.9. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

Las medidas de manejo ambiental se proponen para cada uno de los impactos ambientales significativos identificados. Cada medida de manejo ambiental se identifica con una sigla alfanumérica que indica el tipo de medida (mitigación, reparación o compensación), la etapa del proyecto (construcción, operación, abandono) y el impacto al cual corresponde. De esta manera, cada medida tiene las siguientes siglas:

| Tipo de medida: | Etapa del proyecto: | Impacto controlado: |
|---|---|---|
| • MM: Medida Mitigación | • c: construcción | • HI1: impacto N° 1 de componente ambiental Hidrología |
| • MR: Medida Reparación | • o: operación | • FAc2: impacto N° 2 de componente ambiental fauna acuática |
| • MC: Medida Compensación | • a: abandono | • ….. etc. |

## 8.10. PLAN DE SEGUIMIENTO AMBIENTAL

Se entrega una tabla con un detalle del plan de seguimiento ambiental, donde se detalla tipo de medida, medida de manejo, hitos de la medida, instrumento de verificación, cumplimiento del hito, y frecuencia.

## 8.11. IDENTIFICACIÓN DE ESTUDIOS AMBIENTALES

Se presenta propuesta de realización de estudios ambientales futuros que complementen la información recabada.

Tabla 8.11-1. Propuesta de estudios ambientales futuros

| MEDIO | COMPONENTE AMBIENTAL | ESTUDIO AMBIENTAL PROPUESTO |
|---|---|---|
| Físico | Ruido y vibraciones | Caracterización e identificación de fuentes de ruido |
| Físico | Suelos | Identificación y cuantificación de suelos con uso productivo |
| Físico | Geomorfología | Estudio de riesgo geomorfológico en laderas |
| Biótico | Flora | Identificación y cuantificación de comunidades de Hualo, Ciprés de la Cordillera y Naranjillo |
| Biótico | Fauna | Identificación y caracterización de la fauna silvestre protegida |
| Biótico | Fauna | Cuantificación de la población de Loro Tricahue |
| Biótico | Fauna | Cuantificación de loreras en la cuenca del río Longaví |
| Biótico | Fauna | Estudio de corredores biológicos |
| Humano | Planificación territorial | Estudio de recursos turísticos y actividades turísticas |
| Humano | Planificación territorial | Estudio de infraestructura para el desarrollo de actividades turísticas |
| Humano | Patrimonio arqueológico y cultural | Prospección pedestre para cuantificación de elementos del patrimonio arqueológico y cultural en la cuenca del Longaví |

Fuente: Elaboración propia

## 8.12. CONCLUSIONES

La línea base define la situación actual del área de instalación del proyecto. En términos generales, el área corresponde a la alta cuenca del río Longaví, cuyas características más destacables son las siguientes:

- Calidad del agua. Los antecedentes bibliográficos recabados y los resultados de laboratorio de las muestras de agua indican que las aguas del río Longaví en el área de instalación de las 4 alternativas de embalse presentan, en general, buena calidad. No se identificó descargas hacia el río de aguas industriales.
- Geomorfología. Granitoides del batolito Santa Gertrudis están presentes en Cuesta Lara y El Mañío. La formación Cura-Mallín está presente en Los Laureles. Las terrazas están presentes en todos los emplazamientos.Los antecedentes recabados indican que están presentes en el área las siguientes unidades geológicas:
    - La Formación Cura-Mallín (Eoceno Superior – Mioceno Inferior);
    - La Formación Cola de Zorro (Plioceno temprano – Pleistoceno);
    - Rocas intrusivas del Batolito Santa Gertrudis – Bullileo;
    - Depósitos de relleno cuaternario del valle (Pleistoceno – Holoceno);
    - Depósitos aluviales recientes (Holoceno); y
    - Depósitos coluviales (Holoceno).
- Ruido. El recorrido realizado permitió constatar que el área presenta ruidos característicos de las zonas rurales: ramaje de árboles causado por el viento, mugidos de animales, sonidos de pájaros y ruido de la corriente fluvial. El recorrido permitió identificar tres fuentes emisoras de ruidos: faenas de explotación de plantación forestal, faenas de explotación de bosque nativo y circulación de vehículos por las rutas viales.
- Calidad del aire. El recorrido permitió constatar que solo se ve alterada la calidad del aire por emisiones de material particulado. Se identificó tres fuentes generadoras de material particulado: tránsito de vehículos por caminos ripiados, faenas de explotación de pino insigne y combustión de leña para calefacción y cocción de alimentos. No se identificó otros elementos que alteren la calidad del aire.
- Suelos. Los suelos del área que se sitúan sobre terrazas fluviales tienen texturas francas y francas limosas, de colores pardos obscuros. El uso más frecuente corresponde a pradera natural. Es probable que estos suelos correspondan a andisoles (derivados de materiales volcánicos). Los suelos situados en posición de montaña son delgados, debido a que la topografía condiciona procesos de erosión.
- Vegetación terrestre. El área estudiada corresponde al tipo forestal Roble – Hualo. Se constató que en las áreas bajas, en las exposiciones sur y lomajes sobre los 1.000 m s.n.m., Roble es una de las especies más frecuentes. En zonas de topografía montañosa, Hualo es la especie de mayor importancia, formando bosques prácticamente puros. Al descender por las laderas de los cerros este tipo forestal limita a diferentes altitudes según la latitud con el *Tipo Forestal Esclerófilo*. En la cuenca del Longaví se aprecia esta situación en las zonas bajas, en donde las especies propias del bosque esclerófilo se asocian con Hualo. Se constató actividades de explotación de bosque nativo para leña, en donde la comercialización de Hualo es frecuente.
- Fauna terrestre. La bibliografía más exhaustiva consultada para el área de estudio da cuenta de la existencia de 25 especies en alguna categoría de conservación, principalmente especies aviares, destacando la presencia de Cóndor, Aguilucho y Loro Tricahue. Respecto de los mamíferos, destacan la Yaca y el Puma.
- Flora y fauna acuática. De acuerdo a las observaciones realizadas en terreno, se aprecia, en general, un ambiente ritrónico propio de alta cordillera y aguas transparentes con baja intervención antrópica. Se apreciaron velocidades altas de corriente. La estación 1 presentó el menor valor de velocidad, debido a la menor pendiente del lugar. Por otra parte, el sustrato estuvo compuesto principalmente por piedras, grava y bolones, situación que da cuenta de la velocidad del sistema hídrico. La fauna íctica presente en el área de estudio, estuvo constituida por: *Oncorhynchus mykiss* (Trucha arcoíris) especie introducida, por lo tanto, sin

categoría de conservación y *Trichomycterus areolatus* (Bagrecito) clasificada como Vulnerable, de acuerdo al D.S 51 MINSEGPRES. Según Vila et al., 2006, *Trichomycterus areolatus*, es la especie de más alta distribución en Chile y presenta una alta capacidad de colonización (Habit et al., 2006, Habit et al., 2005). Por otra parte, de acuerdo a los resultados obtenidos, la especie, fue registrada en el sector superior como inferior del río Longaví, por lo tanto, se minimiza la perdida de hábitat de la especie por fragmentación, debido a su amplia distribución y capacidad de colonización en el río.

- Biodiversidad. La totalidad de la superficie del área a inundar de la alternativa de embalse Los Laureles está inserta en el área correspondiente al sitio prioritario Bosques de Digua y Bullileo. Las otras alternativas interceptan parcialmente a este sitio. El área es visitada por turistas debido a sus condiciones de pristinidad y belleza escénica, lo que está relacionado con las características de Sitio prioritario Para la Conservación de la Biodiversidad. No se constató en terreno aplicación de medidas de conservación del sitio prioritario.

- Asentamientos humanos. Las características del asentamiento humano del área responden a las condiciones propias de los sectores rurales en áreas montañosas. Las viviendas se sitúan próximas a las rutas viales. Aquellas viviendas que se sitúan alejadas de las vías principales, se conectan a través de vías de penetración y senderos. Las concentraciones de viviendas tienen distribución linear, en torno a las redes viales. Del análisis de las unidades residenciales identificadas, se desprende que:

    - En la alternativa Los Laureles se identificó 3 agrupaciones residenciales, lo que corresponde a 29 unidades residenciales.
    - En la alternativa El Mañío con afectación de La Balsa se identificó 2 agrupaciones residenciales, lo que corresponde a 79 unidades residenciales.
    - En la alternativa El Mañío sin afectación de La Balsa se identificó 1 agrupación residencial, lo que corresponde a 21 unidades residenciales.
    - En la alternativa Cuesta Lara sin afectación de La Balsa se identificó 1 agrupación residencial, lo que corresponde a 21 unidades residenciales.

- Vialidad y transportes. El área del proyecto tiene dos rutas viales importantes: la ruta L-733 (ribera derecha del río Longaví) y la ruta L-75 (ribera izquierda del río Longaví). El Puente Malcho conecta la ruta L-745 con la ruta L-733. La instalación del proyecto afectará la pasarela peatonal en estero Villalobos, sector La Balsa, un tramo de aproximadamente 7 km de la ruta L-733, un tramo de la ruta L-75 (cerca de 3 km para la alternativa Laureles), y una serie de caminos locales.

- Patrimonio arqueológico y cultural. El sector en estudio no presenta manifestaciones de elementos arqueológicos, aun considerando la cercanía a sectores de importancia pre y posthispánica (como las cuencas de los ríos Achibueno, Maule hacia el Norte y Ñuble hacia el Sur); sumado a ello, se constató la falta de investigaciones sistemáticas para la cuenca del Longaví. Lo expuesto constituye un antecedente para considerar deseable el cuidado y la atención ante la posible aparición de contextos prehispánicos e históricos que pudieran entregar información sobre el modo de vida precordillerano, que posee larga data en esta zona.

- Paisaje. Las condiciones visuales del área estudiada se caracterizan por la predominancia de vistas encajonadas, lo cual está relacionado por el relieve montañoso del área y la presencia de las gargantas del valle fluvial. Las unidades de paisaje identificadas presentan componentes propios de las áreas no urbanas, en donde predomina la vegetación natural y el relieve montañoso. Se identificó tres hitos paisajísticos, cuya singularidad descansa en la presencia del cuerpo de agua.

- Planificación territorial. Se analizó los siguientes: PRC Retiro, PRC Parral y PRC Longaví y el Plan Regulador para el desarrollo Turístico del Maule (PRDU Maule). Solo este último instrumento de planificación territorial regula el área estudiada, que corresponde a la macrozona bosque nativo, definida por el PRDU Maule, en las cuales no están permitidos los Proyectos inmobiliarios, industriales, resorts, infraestructura sanitaria (plantas de tratamiento de aguas, vertederos, rellenos sanitarios, etc.) y energética (plantas generadoras, subestaciones

eléctricas, gasoductos, oleoductos). No se menciona proyectos de riego y embalses dentro de los no permitidos. En la macrozona Alta Montaña, este instrumento se indica que ésta "presenta atributos para el desarrollo de actividades turísticas recreacionales y de aventura". En la práctica, se observó que es éste el uso actual del territorio de alta montaña en la cuenca del Longaví.

- Uso del suelo. Los antecedentes recabados indican que las clases de usos del suelo predominantes corresponden a bosques. Las actividades agropecuarias están focalizadas en el llano central de la región. El recorrido del área permitió constatar la predominancia de los usos de suelo forestales. Las actividades agropecuarias están acotadas por las condiciones geomorfológicas, por lo cual praderas y cultivos se asientan sobre terrazas y lomajes. Las plantaciones forestales se sitúan en lomajes y montañas.

Se identificaron 29 impactos ambientales, de los cuales 11 corresponden al medio humano, y 28 de ellos se consideraron impactos significativos en alguna de las etapas. Se identificaron 33 medidas de manejo ambiental, de las cuales 18 (55% aproximadamente) corresponden a medidas de mitigación orientadas a disminuir el efecto negativo sobre el medio ambiente, y 13 medidas de compensación (39% aproximadamente de las medidas de manejo ambiental). Del total de medidas del plan de manejo ambiental, el 76% de ellas (25 medidas) son medidas a aplicar durante la etapa de construcción. De la totalidad, el 36% corresponde a medidas de mitigación a aplicar en la etapa de construcción.

También se ha realizado el análisis de pertinencia de ingreso al SEIA (de forma preliminar, ya que no se cuenta con el diseño definitivo de las obras), según la Ley 19.300 de Bases del Medio y sus posteriores modificaciones (Ley 20.417), un proyecto de embalse en el río Longaví debe ingresar al SEIA, pues corresponde al tipo de proyectos enunciados en la letra (a) del artículo 10.

Respecto de la forma de evaluación ambiental contemplada en la Ley de Bases y en el Reglamento, el proyecto deberá ingresar al sistema de Evaluación Ambiental a través de un EIA, debido a que se extiende en áreas correspondientes al Sitio prioritario Bosques de Digua y Bullileo, el cual se encuentra indicado en el instructivo OF. ORD. N° 0298, de 3 de noviembre 2010 del Ministerio del Medio Ambiente, donde se encuentra el listado de sitios prioritarios a los que aplica la letra d) del artículo 11 de la Ley 19.300.

## 8.13. APROXIMACIÓN DE LOS COSTOS AMBIENTALES ASOCIADOS AL PROYECTO

En este capítulo se entrega un itemizado de los costos asociados al Plan de Manejo Ambiental estimados a nivel de un estudio de prefactibilidad. El resumen de los costos ambientales estimados es el siguiente:

Tabla 8.13-1.. Costos de Implementación del Plan de Manejo Ambiental ($)

| ITEM DE PLAN DE MANEJO AMBIENTAL | LL | EM-CLB | EM-SLB | CL-SLB |
|---|---|---|---|---|
| Subtotal diseño - implementación plan construcción | 720.000.000 | 817.600.000 | 667.000.000 | 655.000.000 |
| Subtotal capacitación | 80.000.000 | 80.000.000 | 80.000.000 | 80.000.000 |
| Subtotal prevención y actuación riesgos ambientales | 90.000.000 | 90.000.000 | 90.000.000 | 90.000.000 |
| Subtotal estudios | 6.495.540.000 | 5.118.930.000 | 2.969.880.000 | 3.628.280.000 |
| Subtotal participación ciudadana | 451.000.000 | 238.000.000 | 250.100.000 | 215.000.000 |
| **TOTAL** | **7.836.540.000** | **6.344.530.000** | **4.056.980.000** | **4.668.280.000** |

Fuente: Elaboración propia

## 9. ACTIVIDADES DE PARTICIPACIÓN CIUDADANA

Al comienzo de los trabajos, durante la caracterización del entorno social del Proyecto, se identificaron los agentes sociales y sus representantes, realizando con ellos las primeras reuniones. Adicionalmente, se mantuvieron entrevistas con 10 *informantes clave*, con el objeto de caracterizar el ámbito socioeconómico de los futuros usuarios e identificar los actores relevantes a convocar en las reuniones de PAC.

El día 18 de julio del 2013, se realizó la Presentación del Estudio por parte de la Comisión Nacional de Riego a las autoridades y regantes, en el marco de una actividad de la Junta de Vigilancia del Río Longaví y sus canalistas.

Para difundir los objetivos y alcances del estudio se planificaron 3 ciclos de reuniones de participación ciudadana. La 1ª reunión se realizó el 23 de octubre de 2013, a las 12:00h en Longaví (audiencia de aproximadamente 60 personas, en su mayoría regantes) y a las 16:00 h en Parral (aproximadamente 50-60 personas), con el objetivo de informar y recabar información relevante para el proyecto desde la perspectiva de la comunidad e instituciones relacionadas. En el 2° ciclo, se mantuvo una reunión en la comuna de Parral (18 de julio de 2014, a las 10:00 h, con unos 40 asistentes) y otra en Longaví (18 de julio a las 15:00 h, con unos 50 asistentes), pero agregando otra reunión con los potenciales afectados del proyecto en el sector de Villegas, dentro de la comuna de Parral (el día anterior, 17 de julio de 2014 a las 14:00 h, con unos 60 asistentes). La 3ª reunión de PAC, tuvo lugar los días 11 y 12 de diciembre, en los mismos lugares, Longaví, Parral y Villegas, informando sobre los resultados del estudio y los pasos siguientes del proyecto. En el caso de Villegas, se atendieron las cuestiones formuladas por los asistentes en el ciclo anterior.

## 10. ASESORÍA LEGAL Y TÉCNICA SOBRE DERECHOS DE AGUA

Los trabajos de asesoría legal y técnica consistieron en la prestación de servicios de consultoría legal en materia de derechos de aprovechamiento de aguas a los regantes que integran las organizaciones de usuarios, en relación con los trámites para efectuar la regularización de los derechos que ostentan. Para ello, se contó con abogados expertos en este campo. Estos servicios se articularon a través de la disponibilidad de hacer consultas directas en la materia, realización de un Taller y la distribución de un Instructivo. El Taller fue impartido el día martes 20 de mayo de 2014 en la sede de la JVRL en la localidad de Longaví. A esta reunión asistieron algunos presidentes de los canales de la JRVL, exponiendo ante ellos el diagnóstico sobre la situación legal actual de los derechos de aprovechamiento de aguas que tienen otorgados, y la necesidad de que realicen su regularización antes de que culminen las fases de diseño del embalse.

## 11. EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA

La evaluación económica del proyecto se realizó contrastando sus costes y beneficios, incluyendo el cálculo de indicadores económicos y desarrollando análisis de sensibilidad a la mejor solución. El principal indicador de rentabilidad para seleccionar la alternativa óptima económica corresponde al Valor Actual Neto (VAN), que permite comparar en términos absolutos la rentabilidad de proyectos con inversiones de distinta magnitud. Como complemento, se determina también la Tasa Interna de Retorno (TIR), el cociente entre VAN/Inversión (VAN/I) y el indicador n/k, que es la razón entre los flujos positivos y los flujos negativos.

Los parámetros básicos para el cálculo de estos indicadores han sido los costos de inversión y de mantenimiento, el beneficio anual esperado y las tasas de descuento. Se ha considerado un horizonte de evaluación de 30 años, y no se consideran impuestos de ningún tipo. Se ha utilizado el nivel de precios a fecha de junio de 2014, que queda dado por un dólar norteamericano de $551, y una UF de $ 23.941. En el estudio agronómico se caracterizó la situación actual y la situación futura con proyecto, así como otros escenarios intermedios entre la situación actual y la situación futura para la máxima superficie de riego. Para cada emplazamiento y escenario se establecieron las correspondientes dimensiones de embalse. Así, a cada escenario se asocia su costo de inversión y beneficios de producción agraria. En cada caso, las diferencias respecto de la situación actual entre los flujos de beneficios, obtienen los márgenes que deben contrastarse con los costos de la inversión necesaria.

## 11.1. COSTOS

Los costos considerados en el análisis económico son los siguientes:

- Costos del Proyecto (construcción de la infraestructura, medidas ambientales, expropiaciones y otros).
- Costos de operación y mantención de las obras de riego.
- Costos de la eventual central hidroeléctrica a pie de presa.

### 11.1.1. Costos del proyecto

Los costos directos de construcción de la infraestructura (incluyendo la presa, sus elementos de desagüe, obras de desvío, evacuador de crecidas, variantes de interferencia, mejora de las infraestructuras de riego y sistema remoto para el aforo de caudales) se muestran en la Tabla 11.1-1, expresados en precios privados y en precios sociales. Sobre estos costos directos de construcción, se agrega un 8% en concepto de contingencias e imprevistos, y un 40% del costo directo en concepto de gastos generales y utilidades.

Tabla 11.1-1. Resumen de costos directos de construcción (millones de $)

| Los Laureles | | | Cuesta Lara | | El Mañío | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Esc. 1 | Esc. 2 | Esc. 3 | Esc. 1a | Esc. 1b | Esc. 1a | Esc.1 |
| PRECIOS PRIVADOS | | | | | | |
| 150.801 | 161.549 | 168.211 | 126.160 | 169.184 | 102.057 | 124.321 |
| PRECIOS SOCIALES | | | | | | |
| 129.118 | 141.571 | 149.251 | 123.521 | 166.171 | 87.015 | 108.329 |

Fuente: Elaboración propia

Para evaluar los costos de las medidas ambientales, se han diferenciado medidas de adecuación de programas de ingeniería (API), Implementación de prácticas ambientales (IPA), Planes de Contingencia (PC), Planes de Prevención (PP), Capacitación (C) y Estudios ambientales específicos (E). En la Tabla 11.1-2 se resumen los costos ambientales totales que suman estos capítulos, obtenidos y justificados en el Análisis Ambiental realizado.

Tabla 11.1-2. Resumen de costos ambientales (millones de $)

| Los Laureles | | | Cuesta Lara | | El Mañío | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Esc. 1 | Esc. 2 | Esc. 3 | Esc. 1a | Esc. 1b | Esc. 1a | Esc.1 |
| PRECIOS PRIVADOS | | | | | | |
| 7.526 | 7.680 | 7.837 | 4.668 | 5.135 | 4.057 | 6.345 |
| PRECIOS SOCIALES | | | | | | |
| 6.119 | 6.244 | 6.372 | 3.860 | 4.246 | 3.383 | 5.173 |

Fuente: Elaboración propia

Una vez identificadas las propiedades afectadas por el proyecto en los diferentes emplazamientos, se estimaron las áreas de expropiación afectas en cada predio de forma aproximada (estudio de prefactibilidad), diferenciando para cada solución y escenario, con los siguientes precios de expropiación:

- Superficie agropecuaria (promedio):..... 7.500.000 $/ha
- Superficie de bosque y matorral:..... 2.000.000 $/ha
- Superficie forestal: ..... 4.000.000 $/ha
- Superficie con otros usos (promedio): ..... 1.500.000 $/ha
- Superficie habitacional ..... 5.000.000 $/ha
- Casas inundadas ..... 15.000.000 $/ud
- Caminos ..... 2.000.000 $/ha

Finalmente, los presupuestos de expropiaciones obtienen las cantidades que se muestran en la Tabla 11.1-3:

Tabla 11.1-3. Costos por expropiaciones (millones de $)

| Los Laureles | | | Cuesta Lara | | El Mañío | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Esc. 1 | Esc. 2 | Esc. 3 | Esc. 1a | Esc. 1b | Esc. 1a | Esc.1 |
| 1.692 | 2.280 | 2.394 | 462 | 1.142 | 1.008 | 2.304 |

Fuente: Elaboración propia

### 11.1.2. Costo de operación y mantención

En estudios similares, el costo de operación varía entre 0,5% y 1,0% de los costos directos. En la Tabla 11.1-4 se resumen los costos de operación de las obras (millones de $/año) que se han establecido para el presente Proyecto, que en forma conservadora (en fase de Factibilidad) se adoptó en el 1% del costo directo de construcción.

Tabla 11.1-4. Costos de operación de las obras (millones de $)

| Los Laureles | | | Cuesta Lara | | El Mañío | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Esc. 1 | Esc. 2 | Esc. 3 | Esc. 1a | Esc. 1b | Esc. 1a | Esc.1 |
| PRECIOS PRIVADOS | | | | | | |
| 1.508 | 1.616 | 1.682 | 1.262 | 1.692 | 1.021 | 1.243 |
| PRECIOS SOCIALES | | | | | | |
| 1.291 | 1.416 | 1.493 | 1.247 | 1.679 | 870 | 1.083 |

Fuente: Elaboración propia

### 11.1.3. Costo de la eventual Central Hidroeléctrica

El coste directo de construcción de la eventual central hidroeléctrica (a precios privados o de mercado), así como su coste anual de operación, se ha determinado en función de la potencia instalada. Al coste directo se aplica un 45% en gastos generales y utilidades (algo más altos que en la infraestructura de la presa). En la Tabla 11.1-5 se muestran los costos de construcción estimados para la posible central hidroeléctrica, así como su coste anual de operación.

Tabla 11.1-5. Resumen de Costos de la central hidroeléctrica, con precios privados

| COSTOS | Los Laureles | | | Cuesta Lara | | El Mañío | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Esc. 1 | Esc. 2 | Esc. 3 | Esc. 1a | Esc. 1b | Esc. 1a | Esc.1 |
| POTENCIA INSTALADA (MW) | 29,6 | 34,3 | 37,8 | 21,1 | 24,1 | 12,8 | 23,4 |
| COSTO DE OBRA CIVIL (millones de $) | 873,2 | 873,2 | 873,2 | 873,2 | 873,2 | 873,2 | 873,2 |
| COSTO EQUIPOS ELECTROMECÁNICOS (millones de $) | 8.696,5 | 10.078,3 | 11.104,4 | 6.194,6 | 7.073,6 | 3.766,1 | 686,8 |
| COSTO DE LÍNEA ELÉCTRICA (millones de $) | 10.872,1 | 10.872,1 | 10.872,1 | 13.400,5 | 13.400,5 | 13.400,5 | 13.400,5 |
| COSTO TOTAL DE CONSTRUCCIÓN (millones de $) | 20.441,8 | 21.823,6 | 22.849,7 | 20.468,3 | 21.347,3 | 18.039,8 | 21.141,5 |
| COSTO DE CONSERVACIÓN Y MANTENCIÓN (millones de $/año) | 112,4 | 122,7 | 129,9 | 92,0 | 99,5 | 68,6 | 97,8 |

Fuente: Elaboración propia

## 11.2. BENEFICIOS

Los beneficios considerados para la evaluación económico-financiera, han sido los siguientes:

a) Riego (según método del presupuesto).
b) Valor incremental de la tierra.
c) Generación hidroeléctrica.
d) Control de crecidas.
e) Turismo.
f) Agua potable rural.

### 11.2.1. Beneficios directos del riego

El principal beneficio de la construcción de un embalse es el aumento en la seguridad de riego, lo que permite mejorar el potencial productivo de los cultivos. Pero además, el embalse permite también incorporar cultivos de mayor rentabilidad, que requieren una mayor inversión con riesgo, que no se hubiera producido sin la seguridad de riego que proporciona el embalse. Además, en términos generales, el efecto beneficioso del proyecto se observa en el aumento de superficie con 85% de seguridad de riego. En las Tablas 11.2-1 y 11.2-2 se presenta un resumen con los beneficios asociados al riego para las diferentes soluciones de embalse y escenarios evaluados, en términos del flujo económico neto, con respecto a la situación sin proyecto, a precios de mercado y precios sociales, respectivamente.

El beneficio agroeconómico neto del proyecto es la diferencia entre los márgenes netos de las situaciones con (SCP) y sin proyecto (SSP), determinados en el estudio agroeconómico realizado, según predio promedio, nivel tecnológico y sectores de riego. Los márgenes netos de los escenarios con y sin proyecto consideran los márgenes brutos obtenidos para cada cultivo, menos los costos indirectos y gastos generales, la inversión en riego tecnificado y asistencia técnica. Además, en la Situación Con Proyecto se consideran costos por habilitación de los terrenos (despedradura, nivelación y acondicionamiento para implementar nuevos cultivos), debido al cambio de la estructura productiva del suelo. Lo anterior se obtiene primero a nivel de cada predio promedio evaluado, valores que luego son expandidos para cada tipo de predio, sector y el total del área de estudio.

Los costos indirectos y gastos generales corresponden a los incurridos por los agricultores para abordar la administración, contribuciones, contabilidad, mantención de infraestructura, limpia de canales y electricidad, entre otros. Los costos relacionados con la incorporación de sistemas tecnificados de riego se aplican a terrenos que en Situación Actual utilizan métodos tradicionales, tanto en la Situación Sin Proyecto como en Situación con Proyecto, pero con mayor grado de tecnificación en esta última. Lo anterior, contribuye para que se pueda alcanzar la superficie productiva planteada con la seguridad de riego y los rendimientos esperados, considerando la capacidad de los productores de realizar dichas modificaciones con y sin proyecto. Estos costos incluyen la inversión en el sistema de riego y la mantención anual.

También se considera un programa de asistencia técnica y transferencia tecnológica distinto dependiendo del mejoramiento o no de las obras, que involucra al 40% de los predios de los niveles tecnológico bajo y medio. El programa de asistencia técnica y transferencia tecnológica contribuye a aumentar la adopción de tecnologías que permitan potenciar el rendimiento de los cultivos y optimizar el uso de los recursos productivos, mediante la introducción de nuevas tecnologías para el manejo de los rubros productivos. Los costos de este programa consideran contratación de personal técnico permanente, asesores e insumos físicos para llevar a cabo esta labor.

Tabla 11.2-1. Beneficio agrícola neto anual durante los 30 años de amortización. Precios privados ($)

| Año | Flujos Netos (Precios Privados) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (Sistema Digua: derechos eventuales) | | | | | (Sistema Digua: derechos permanentes) | | |
| | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 | Escenario 1a | Escenario 1b | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 |
| 1 | 4.855.730.360 | 3.470.862.114 | 1.837.029.661 | 1.199.365.399 | 1.311.047.197 | 4.773.847.962 | 3.388.979.716 | 1.755.147.263 |
| 2 | -2.096.513.284 | -2.927.603.537 | -4.099.255.639 | -517.838.781 | -566.058.587 | -2.198.118.478 | -3.029.208.731 | -4.200.860.833 |
| 3 | 6.762.071.730 | 6.537.538.929 | 5.527.608.956 | 1.670.231.717 | 1.825.759.367 | 6.629.105.502 | 6.404.572.701 | 5.394.642.728 |
| 4 | -5.111.613.850 | -4.787.961.488 | -6.786.684.549 | -1.262.568.621 | -1.380.135.739 | -5.251.284.630 | -4.927.632.268 | -6.926.355.329 |
| 5 | 2.428.415.734 | 3.854.881.902 | 1.707.536.230 | 599.818.686 | 655.672.248 | 2.304.962.486 | 3.731.428.654 | 1.584.082.982 |
| 6 | 1.265.844.145 | 4.158.902.697 | 3.455.166.871 | 312.663.504 | 341.777.919 | 1.168.333.825 | 4.061.392.377 | 3.357.656.551 |
| 7 | 10.132.321.980 | 14.742.476.222 | 13.503.506.949 | 2.502.683.529 | 2.735.726.935 | 10.091.834.750 | 14.701.988.992 | 13.463.019.720 |
| 8 | 11.513.207.810 | 18.650.170.497 | 18.356.980.996 | 2.843.762.329 | 3.108.566.109 | 11.624.232.107 | 18.761.194.795 | 18.468.005.294 |
| 9 | 8.402.699.625 | 16.365.796.407 | 17.582.954.000 | 2.075.466.807 | 2.268.728.899 | 8.578.778.803 | 16.541.875.585 | 17.759.033.177 |
| 10 | 9.773.284.122 | 20.176.365.350 | 21.299.363.456 | 2.414.001.178 | 2.638.786.713 | 10.051.879.372 | 20.454.960.600 | 21.577.958.705 |
| 11 | 4.632.314.816 | 16.428.445.516 | 16.972.376.983 | 1.144.181.759 | 1.250.725.000 | 4.998.607.450 | 16.794.738.151 | 17.338.669.617 |
| 12 | 13.949.879.612 | 27.616.632.728 | 30.267.587.766 | 3.445.620.264 | 3.766.467.495 | 14.467.092.113 | 28.133.845.228 | 30.784.800.266 |
| 13 | 11.645.681.218 | 24.885.145.142 | 27.273.501.660 | 2.876.483.261 | 3.144.333.929 | 12.246.127.799 | 25.485.591.722 | 27.873.948.240 |
| 14 | 12.779.561.830 | 26.473.259.998 | 29.585.324.514 | 3.156.551.772 | 3.450.481.694 | 13.465.862.969 | 27.159.561.137 | 30.271.625.653 |
| 15 | 14.084.526.816 | 28.440.278.880 | 30.803.072.753 | 3.478.878.124 | 3.802.822.240 | 14.848.833.175 | 29.204.585.239 | 31.567.379.112 |
| 16 | 9.225.344.286 | 21.243.658.499 | 23.211.741.321 | 2.278.660.039 | 2.490.842.957 | 10.028.593.602 | 22.046.907.814 | 24.014.990.637 |
| 17 | 11.075.704.471 | 24.432.617.080 | 28.158.973.585 | 2.735.699.004 | 2.990.440.207 | 11.925.826.483 | 25.282.739.091 | 29.009.095.596 |
| 18 | 8.889.267.215 | 20.831.097.865 | 22.770.135.648 | 2.195.649.002 | 2.400.102.148 | 9.761.522.965 | 21.703.353.615 | 23.642.391.398 |
| 19 | 11.960.099.794 | 25.510.251.046 | 28.807.950.081 | 2.954.144.649 | 3.229.226.944 | 12.857.278.899 | 26.407.430.151 | 29.705.129.186 |
| 20 | 9.828.964.672 | 22.164.616.295 | 24.645.086.359 | 2.427.754.274 | 2.653.820.462 | 10.701.942.783 | 23.037.594.406 | 25.518.064.469 |
| 21 | 6.344.150.106 | 16.619.572.765 | 17.768.466.769 | 1.567.005.076 | 1.712.920.529 | 7.123.121.601 | 17.398.544.260 | 18.547.438.264 |
| 22 | 6.957.220.476 | 16.710.235.563 | 17.872.283.897 | 1.718.433.458 | 1.878.449.529 | 7.669.159.219 | 17.422.174.305 | 18.584.222.639 |
| 23 | 8.658.535.114 | 16.797.783.771 | 16.342.657.248 | 2.138.658.173 | 2.337.804.481 | 9.285.482.781 | 17.424.731.438 | 16.969.604.915 |
| 24 | 7.404.450.805 | 15.190.053.439 | 15.268.293.786 | 1.828.899.349 | 1.999.201.717 | 7.971.608.079 | 15.757.210.713 | 15.835.451.060 |
| 25 | 2.133.417.076 | 8.832.410.819 | 8.541.787.135 | 526.954.018 | 576.022.611 | 2.612.091.159 | 9.311.084.901 | 9.020.461.217 |
| 26 | 3.420.501.018 | 10.401.392.346 | 10.622.619.647 | 844.863.751 | 923.535.275 | 3.829.425.636 | 10.810.316.964 | 11.031.544.265 |
| 27 | 12.570.338.888 | 20.463.521.426 | 19.380.700.376 | 3.104.873.705 | 3.393.991.500 | 12.992.560.701 | 20.885.743.238 | 19.802.922.188 |
| 28 | 11.156.931.744 | 19.646.289.236 | 20.271.553.424 | 2.755.762.141 | 3.012.371.571 | 11.569.803.806 | 20.059.161.298 | 20.684.425.486 |
| 29 | 13.095.424.598 | 23.140.012.787 | 24.798.177.088 | 3.234.569.876 | 3.535.764.642 | 13.467.922.272 | 23.512.510.461 | 25.170.674.762 |
| 30 | 13.239.573.962 | 24.371.790.688 | 25.860.064.685 | 3.270.174.769 | 3.574.684.970 | 13.512.608.165 | 24.644.824.892 | 26.133.098.888 |
| **VAN** | **45.691.069.749** | **86.074.674.906** | **84.703.516.482** | **11.285.694.228** | **12.336.588.832** | **46.956.816.364** | **87.340.421.522** | **85.969.263.098** |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11.2-2. Beneficio agrícola neto anual durante los 30 años de amortización. Precios sociales ($)

| Año | Flujos Netos (Precios sociales) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (Sistema Digua: derechos eventuales) | | | | | (Sistema Digua: derechos permanentes) | | |
| | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 | Escenario 1a | Escenario 1b | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 |
| 1 | 5.532.986.66 | 4.049.403.04 | 2.665.210.95 | 1.366.647.70 | 1.493.906.40 | 5.440.608.02 | 3.957.024.40 | 2.572.832.31 |
| 2 | -455.836.76 | -1.455.322.24 | -2.194.005.97 | -112.591.68 | -123.075.92 | -581.021.15 | -1.580.506.64 | -2.319.190.36 |
| 3 | 9.532.847.20 | 9.034.859.39 | 8.714.897.83 | 2.354.613.26 | 2.573.868.74 | 9.361.207.10 | 8.863.219.28 | 8.543.257.73 |
| 4 | -1.271.389.46 | -1.458.016.38 | -2.264.579.05 | -314.033.19 | -343.275.15 | -1.462.187.08 | -1.648.814.00 | -2.455.376.68 |
| 5 | 7.807.153.12 | 8.462.203.89 | 8.094.486.61 | 1.928.366.82 | 2.107.931.34 | 7.621.079.03 | 8.276.129.80 | 7.908.412.52 |
| 6 | 8.470.162.27 | 10.313.176.17 | 12.035.014.81 | 2.092.130.08 | 2.286.943.81 | 8.300.683.62 | 10.143.697.52 | 11.865.536.16 |
| 7 | 17.778.075.77 | 21.031.473.28 | 22.926.855.87 | 4.391.184.71 | 4.800.080.46 | 17.658.694.21 | 20.912.091.72 | 22.807.474.31 |
| 8 | 17.711.351.42 | 23.181.818.93 | 26.746.753.75 | 4.374.703.80 | 4.782.064.88 | 17.742.914.85 | 23.213.382.36 | 26.778.317.18 |
| 9 | 14.858.049.86 | 20.877.730.74 | 26.571.006.65 | 3.669.938.31 | 4.011.673.46 | 14.951.282.03 | 20.970.962.91 | 26.664.238.83 |
| 10 | 16.486.671.41 | 24.696.850.07 | 30.878.712.54 | 4.072.207.83 | 4.451.401.28 | 16.683.733.89 | 24.893.912.55 | 31.075.775.02 |
| 11 | 11.731.611.74 | 21.130.066.30 | 27.212.737.92 | 2.897.708.10 | 3.167.535.17 | 12.019.791.08 | 21.418.245.63 | 27.500.917.26 |
| 12 | 21.627.285.78 | 32.765.427.07 | 41.295.449.63 | 5.341.939.58 | 5.839.367.16 | 22.082.805.38 | 33.220.946.67 | 41.750.969.23 |
| 13 | 18.229.730.03 | 28.988.949.16 | 37.215.301.39 | 4.502.743.31 | 4.922.027.10 | 18.779.099.69 | 29.538.318.82 | 37.764.671.06 |
| 14 | 19.726.655.94 | 31.009.784.03 | 39.859.469.13 | 4.872.484.01 | 5.326.197.10 | 20.364.039.32 | 31.647.167.40 | 40.496.852.51 |
| 15 | 20.695.689.19 | 32.704.383.28 | 40.696.612.68 | 5.111.835.23 | 5.587.836.08 | 21.410.041.50 | 33.418.735.60 | 41.410.965.00 |
| 16 | 15.235.646.98 | 24.913.293.31 | 32.447.637.70 | 3.763.204.80 | 4.113.624.68 | 15.986.920.46 | 25.664.566.79 | 33.198.911.17 |
| 17 | 17.428.374.48 | 28.480.792.51 | 37.742.771.20 | 4.304.808.49 | 4.705.661.11 | 18.225.070.58 | 29.277.488.61 | 38.539.467.30 |
| 18 | 15.718.722.18 | 25.357.682.10 | 32.829.202.87 | 3.882.524.38 | 4.244.054.99 | 16.535.965.72 | 26.174.925.65 | 33.646.446.41 |
| 19 | 19.873.119.11 | 31.158.198.56 | 39.877.435.10 | 4.908.660.42 | 5.365.742.16 | 20.713.443.91 | 31.998.523.36 | 40.717.759.90 |
| 20 | 18.155.241.24 | 28.228.882.41 | 36.057.197.08 | 4.484.344.58 | 4.901.915.13 | 18.972.553.46 | 29.046.194.63 | 36.874.509.30 |
| 21 | 14.617.165.80 | 22.656.779.81 | 28.995.027.48 | 3.610.439.95 | 3.946.634.76 | 15.335.476.22 | 23.375.090.24 | 29.713.337.90 |
| 22 | 15.021.007.81 | 22.583.427.17 | 28.739.920.31 | 3.710.188.93 | 4.055.672.11 | 15.669.532.42 | 23.231.951.78 | 29.388.444.92 |
| 23 | 16.799.671.98 | 22.794.957.96 | 27.160.304.77 | 4.149.518.98 | 4.535.911.43 | 17.358.026.57 | 23.353.312.55 | 27.718.659.36 |
| 24 | 15.723.633.74 | 21.433.730.91 | 26.170.624.42 | 3.883.737.53 | 4.245.381.11 | 16.224.860.99 | 21.934.958.16 | 26.671.851.66 |
| 25 | 10.525.513.56 | 15.329.357.65 | 19.356.171.81 | 2.599.801.85 | 2.841.888.66 | 10.933.718.44 | 15.737.562.53 | 19.764.376.69 |
| 26 | 10.760.121.99 | 15.975.929.15 | 20.279.402.91 | 2.657.750.13 | 2.905.232.93 | 11.092.964.92 | 16.308.772.07 | 20.612.245.83 |
| 27 | 19.755.800.11 | 25.935.463.41 | 28.894.980.27 | 4.879.682.62 | 5.334.066.03 | 20.093.541.44 | 26.273.204.74 | 29.232.721.60 |
| 28 | 16.886.114.47 | 23.599.484.88 | 28.418.942.56 | 4.170.870.27 | 4.559.250.90 | 17.209.278.37 | 23.922.648.78 | 28.742.106.45 |
| 29 | 19.320.232.56 | 27.471.564.53 | 33.644.655.08 | 4.772.097.44 | 5.216.462.79 | 19.598.977.55 | 27.750.309.51 | 33.923.400.07 |
| 30 | 20.057.565.53 | 29.174.130.23 | 35.500.359.24 | 4.954.218.68 | 5.415.542.69 | 20.239.272.51 | 29.355.837.21 | 35.682.066.22 |
| **VAN** | **173.619.271.66** | **245.385.853.50** | **298.235.344.59** | **42.883.960.10** | **46.877.203.35** | **176.644.660.43** | **248.411.242.27** | **301.260.733.36** |

Fuente: Elaboración propia

### 11.2.2. Beneficio asociado al valor incremental de la tierra

El paso desde una situación Sin Proyecto a una situación Con Proyecto implica un cambio en el uso del suelo, incrementando su valor productivo y por ende comercial. Así, la incorporación de nuevas zonas a partir de la habilitación de terrenos sin uso y la implementación de cultivos intensivos, justifica esta variación. La Tabla 11.2-3 resume la variación del uso del suelo según tamaño de embalse y escenario.

Tabla 11.2-3. Cambio del uso del suelo en el área de estudio

| Tipo suelo | Valor tierra | Situación Sin Proyecto | | Escenario 1 | | Escenario 2 | | Escenario 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ($/ha) | Sup. (ha) | Valor Tierra (M $) | Sup. (ha) | Valor Tierra (M $) | Sup. (ha) | Valor Tierra (M $) | Sup. (ha) | Valor Tierra (M $) |
| Arable cultivada con riego | 10.016.698 | 30.126 | 301.765 | 30.126 | 301.765 | 36.237 | 362.972 | 41.203 | 412.718 |
| Arable cultivada sin riego | 2.504.175 | 13.850 | 34.682 | 13.850 | 34.682 | 7.739 | 19.381 | 5.316 | 13.311 |
| Arable no cultivada | 2.504.175 | 2.363 | 5.917 | 2.363 | 5.917 | 2.363 | 5.917 | 1.063 | 2.663 |
| Sin uso, potencialmente cultivable | 2.504.175 | 3.894 | 9.752 | 3.894 | 9.752 | 3.894 | 9.752 | 2.651 | 6.639 |
| Forestal, bosque nativo, matorral | 2.000.000 | 4.823 | 9.647 | 4.823 | 9.647 | 4.823 | 9.647 | 4.823 | 9.647 |
| Improductivo e infraestructuras | 1.500.000 | 3.961 | 5.941 | 3.961 | 5.941 | 3.961 | 5.941 | 3.961 | 5.941 |
| Total | | 59.017 | 367.704 | 59.017 | 367.704 | 59.017 | 413.610 | 59.017 | 450.919 |
| Valor incremental o Benef. Neto | | | - | | 0 | | 45.905 | | 83.215 |

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se calcula el beneficio asociado al incremento de superficie multiplicando por el valor esperado de venta. En base a datos de ODEPA, se consideró que el valor es $10.016.698/ha para la superficie bajo riego. El valor de la tierra de secano se estimó en el 25% de la superficie bajo riego: $2.504.175/ha. Para el caso de la superficie forestal, y otros usos, se considera que su valor está incluido en el costo estimado de expropiaciones.

### 11.2.3. Beneficio asociado a las transacciones de los derechos de aguas

Para evaluar los beneficios asociados a la disponibilidad de recursos hídricos, se determina el valor del caudal equivalente medio asociado al proyecto, el que se muestra en la tabla 11.2-4. Estos valores se determinaron como el promedio del caudal efluente desde cada uno de los embalses considerados. Se hace notar que el caudal medio disponible se determina a partir del volumen anual disponible de embalsar, por lo que el uso de una u otra variable es equivalente.

Tabla 11.2-4. Caudal medio asociado a cada alternativa

| Alternativa | | Demanda Neta ($m^3$/año) | Caudal Asociado ($m^3$/s) |
|---|---|---|---|
| Situación Actual | | 423.929.438 | 13,4 |
| Situación Sin Proyecto | | 394.224.270 | 12,5 |
| Situación Con Proyecto | Escenario 1 | 342.545.366 | 10,9 |
| | Escenario 2 | 412.147.734 | 13,1 |
| | Escenario 3 | 470.272.249 | 14,9 |

Fuente: Elaboración propia

El siguiente elemento a considerar es la evaluación del valor del agua. En este sentido cabe destacar que en el último estudio tarifario de la empresa sanitaria Aguas Nuevo Sur S.A. para el periodo 2011-2016 estima que el valor del agua cruda es $0.- para toda la región del Maule, debido a que aún existe disponibilidad de derechos de aprovechamiento de aguas a solicitar.

Con el fin de establecer un cálculo aproximado al respecto, se ha utilizado la información contenida en el estudio tarifario de la empresa sanitaria ESBIO S.A. para el periodo para el periodo 2011-2016, en cuyo Capítulo 5, referente a la determinación del valor del agua cruda, se presenta un valor promedio de 38,77 UF/L/s. Con este valor se determinaron los beneficios diferenciales asociados a las transacciones de derechos de aprovechamiento de aguas evitadas debido al proyecto.

### 11.2.4. Beneficio asociado a la generación hidroeléctrica

Afectando la producción hidroeléctrica calculada por los precios de venta de mercado, se obtienen los márgenes brutos de venta, frente a los que habrá que contraponer los costes de la inversión para la construcción y los costes de mantención. Se consideran los siguientes parámetros básicos:

- Venta de Potencia: $ 4.704 por kW/mes.
- Venta Energía: $ 47,04 por kWh.

Los valores de venta, en millones de pesos, a precios privados, son los siguientes:

Tabla 11.2-5. Venta de producción hidroeléctrica (precios privados)

| Parámetro | Sistema Digua: derechos eventuales | | | | | | | Sistema Digua: derechos permanentes | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Los Laureles | | | Cuesta Lara | | El Mañío | | Los Laureles | | |
| | Esc 1 | Esc 2 | Esc 3 | Esc 1a | Esc 1b | Esc 1a | Esc 1 | Esc1 | Esc 2 | Esc 3 |
| Potencia media (MW) | 20 | 23 | 25 | 6 | 16 | 2 | 16 | 20 | 23 | 25 |
| Generación (GWh/año) | 176 | 204 | 221 | 56 | 144 | 19 | 139 | 175 | 205 | 218 |
| Venta potencia (Mill $/año) | 787 | 914 | 992 | 251 | 646 | 84 | 622 | 782 | 917 | 976 |
| Venta energía (Mill $/año) | 8.264 | 9.607 | 10.418 | 2.622 | 6.780 | 894 | 6.532 | 8.210 | 9.635 | 10.255 |
| Venta Total (Mill $/año) | 9.050 | 10.521 | 11.409 | 2.873 | 7.426 | 978 | 7.154 | 8.992 | 10.552 | 11.231 |

Fuente: Elaboración propia

### 11.2.5. Beneficio asociado al control de crecidas

Los beneficios del embalse se equiparan al valor del daño anual evitado, que se calcula como la diferencia de los daños por las crecidas, en los escenarios de las situaciones con proyecto (SCP) y la situación sin proyecto (SSP). Estos daños serían la suma de los daños agrarios (pérdida de las producciones), los daños sobre infraestructuras civiles (puentes, carreteras y vías, líneas eléctricas), y los daños sobre las propiedades y edificaciones, bien sean aisladas o de los núcleos poblacionales.

El beneficio por control de crecidas puede ser en la práctica muy significativo, dependiendo del nivel al que se encuentre el embalse al momento de una crecida, reduciendo los caudales de crecida aguas debajo de la presa, y por tanto los niveles de inundación y los daños. Sin embargo, las diferencias entre las correspondientes situaciones no pueden ser calculadas con la información disponible en fase de Prefactibilidad, y por tanto no se puede cuantificar el beneficio por control de crecidas.

Bajo este criterio, lo más conservador y razonable para la evaluación, es no considerar beneficios por control de crecidas y estimar dicho beneficio en etapas futuras del proyecto.

### 11.2.6. Beneficio asociado al turismo

La actividad turística actual descansa sobre emprendimientos aislados de lugareños. No se identificó infraestructura formal de acogida para visitantes (hotelería, gastronomía, artesanía, etc.), ni adecuación de la infraestructura vial, ni señalética adecuada, red de salud para la acogida de turistas, etc. Es claro que estas actividades se verán perjudicadas por una parte, por la invasión de la zona inundable del embalse, pero también surgirán otras actividades relacionadas con el medio húmedo que se desarrolla, como el canotaje, piragüismo, y la navegación en general. El senderismo será posiblemente desplazado a las zonas más altas, donde se pueden instalar fácilmente miradores hacia el nuevo paisaje.

De los reconocimientos en terreno efectuados, se puede concluir que los recursos naturales son el principal potencial turístico de la zona. No existen atractivos culturales de señalar, como arquitectura, festividades y artesanía, que impliquen una participación mayor de la población local. El equipamiento turístico existente en el área es muy escaso, con excepción de la zona de La Balsa, sector donde existen casas de vacaciones. La demanda turística rural está en expansión, pero aún no ha logrado consolidarse porque no existe en el mercado interno una oferta diversificada, consolidada y difundida. En la zona de Bullileo, existen algunas cabañas y camping con instalaciones básicas.

Metodológicamente la hipótesis a adoptar para evaluar el posible beneficio del turismo debe ser conservadora, es decir tendente a establecer el mínimo beneficio posible. Cualitativamente es previsible que el futuro embalse induzca beneficios por el desarrollo de actividades turísticas, pero no resulta posible cuantificarlo en esta fase de los trabajos, y las hipótesis menos favorables conducen a determinar que el beneficio mínimo es nulo.

### 11.2.7. Beneficios asociados al agua potable

El dimensionamiento del embalse regulador de agua para riego, se realiza con el objetivo de proporcionar los caudales demandados con el 85% de seguridad. Sin embargo, los sistemas de APR requieren el 95% de seguridad, lo que obligaría a aumentar notablemente la relación entre el volumen de agua regulado y el volumen de tranque. Por tanto, el coste que se obtendría para el $m^3$ de agua para APR sería notablemente mayor que el coste del $m^3$ de agua regulada para riego.

En noviembre de 2013 el Ministerio de Obras Públicas firmó un Convenio de Agua Potable Rural con el Gobierno Regional de la Región del Maule, por más de 17 mil millones de pesos, para el mejoramiento y ampliación de 41 sistemas de APR en la Región del Maule, que beneficiará a más de 60 mil habitantes de las provincias de Curicó, Linares, Talca y Cauquenes. Este convenio permitirá ejecutar numerosos proyectos de agua potable rural entre los años 2014 y 2016, en respuesta a las necesidades de mejora de las condiciones y modernización de los sistemas de Agua Potable Rural de las comunidades de la Región del Maule para potenciar su desarrollo.

Sin embargo, al considerar los posibles beneficios de entregar un caudal firme a sistemas de APR locales, es fundamental tener en cuenta que en esta zona todas las poblaciones están asentadas en las inmediaciones de cauces naturales con aguas permanentes, lo que permite que las captaciones para agua potable sean de aguas superficiales en la práctica totalidad de los casos, sin que se acusen problemas de falta de abastecimiento, y cuyo coste es relativamente bajo en la actualidad.

En el último estudio tarifario de la empresa sanitaria Aguas Nuevo Sur S.A. para el periodo 2011-2016 estima que el valor del agua cruda es $0.- para toda la región del Maule, debido a que aún existe disponibilidad de derechos de aprovechamiento de aguas a solicitar. En este escenario, no es posible considerar que existan posibles beneficios de utilización del agua para sistemas de APR locales.

## 11.3. EVALUACIÓN ECONÓMICA

### 11.3.1. Escenarios

Para realizar la evaluación económica se definieron dos casos:

- ✓ **Uso exclusivo de Riego:** Corresponde evaluar los beneficios del proyecto para uso de riego en su totalidad.
- ✓ **Uso de Riego+Generación Hidroeléctrica**: Corresponde a la evaluación del proyecto del embalse, incluyendo los usos de riego y generación hidroeléctrica.

Se considera un horizonte de evaluación, que correspondería a la vida útil del proyecto, de 30 años. No obstante, de forma complementaria, dada la alta probabilidad de que las obras tengan una vida útil más allá de este periodo, se estiman los beneficios netos que se producirían a partir de este momento, actualizándose e incorporándose como un beneficio en forma de **valor residual**.

Por tanto, para cada uno de los dos casos, se realizan dos evaluaciones:

- **Considerando el valor residual**.
- **Sin considerar el valor residual**, siendo este supuesto (más conservador) el que servirá de referencia para determinar la rentabilidad económica del proyecto.

El valor residual al final del período de proyección, es el valor actual de la corriente de flujo de efectivo a partir del año terminal, que es el último año del período de proyección. Para un flujo de efectivo en constante crecimiento a perpetuidad, el valor residual (VR) es estimado con la fórmula:

$$VR = [CF\ (1 + g)] \ / \ (r - g)$$

Donde:

- "**CF**" es el flujo de efectivo en el año terminal, sin embargo, dada la variabilidad de los ingresos agrarios a lo largo del periodo de la vida útil, por los costos de reposición de riego tecnificado y sustitución de frutales que han finalizado su periodo productivo, resulta más adecuado obtenerlos mediante la diferencia del promedio de los ingresos de los años 1 a 30, y el promedio de los costos de los años 1 a 30.
- "**r**" es la tasa de descuento, que es el 6% para precios sociales y el 12% a precios de mercado.
- "**g**" es la tasa de crecimiento del flujo de efectivo a perpetuidad. Dada la dificultad de cuantificar este valor, para la estimación del valor residual se considera 0% como valor más conservador.

### 11.3.2. Resultados

En las tablas 11.3-1 y 11.3-2 de las páginas siguientes, se presentan los resultados de la evaluación económica realizada con el método del Presupuesto, en el Escenario de Riego (Con y Sin Valor Residual) y en el Escenario de Riego e Hidrogeneración (Con y Sin Valor Residual), respectivamente.

Se observa que con precios privados, el proyecto de riego no resulta rentable para ninguno de los embalses. Con precios sociales y uso exclusivo para riego, sólo resulta rentable el embalse Los Laureles con los volúmenes mayores (279 y 214 $hm^3$); es decir, en los escenarios 2 y 3, y con mejor resultado para el embalse mayor (TIR 7,35%). Los embalses de Cuesta Lara y El Mañío no resultarían rentables en ningún caso. Con precios sociales y uso conjunto para riego y generación hidroeléctrica, el embalse Los Laureles resultaría rentable con todos los tamaños de embalse, siendo mejor el embalse de mayor tamaño. Sin embargo, los embalses de Cuesta Lara y El Mañío seguirían sin ser rentables.

En caso de considerar el valor residual, los resultados son algo mejores, pero muy similares; así para el embalse de mayor tamaño (Escenario 3), a precios sociales y uso exclusivo para riego, el TIR pasaría de 7,35% a 8,48%.

Tabla 11.3-1. Resultados de la evaluación económica, sin considerar el valor residual

| CASO | SOLUCIÓN | ESCENARIO | | Volumen embalse (hm³) | PRECIOS PRIVADOS | | | | | PRECIOS SOCIALES | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | VAN (MM $) | IVAN | VAN/Sup (MM $/ha) | n/k | TIR (%) | VAN (MM $) | IVAN | VAN/Sup (MM $/ha) | n/k | TIR (%) |
| SÓLO RIEGO | Los Laureles | Sistema Digua: derechos eventuales | Esc.1 | 139 | -198.471,40 | -0,89 | -6,59 | 0,17 | -0,93% | -42.889,40 | -0,22 | -1,42 | 0,79 | 4,28% |
| | | | Esc. 2 | 214 | -175.594,40 | -0,73 | -4,85 | 0,31 | 3,34% | 8.022,30 | 0,04 | 0,22 | 1,04 | 6,26% |
| | | | Esc. 3 | 279 | -187.624,00 | -0,75 | -4,51 | 0,30 | 3,29% | 48.211,30 | 0,22 | 1,16 | 1,21 | 7,35% |
| | | Sistema Digua: derechos permanentes | Esc. 1 | 139 | -197.205,60 | -0,88 | -4,83 | 0,17 | -0,60% | -39.864,00 | -0,21 | -0,98 | 0,80 | 4,42% |
| | | | Esc. 2 | 218 | -174.328,60 | -0,73 | -3,72 | 0,32 | 3,49% | 11.047,70 | 0,05 | 0,24 | 1,05 | 6,35% |
| | | | Esc. 3 | 279 | -186.358,20 | -0,75 | -3,56 | 0,31 | 3,44% | 51.236,70 | 0,23 | 0,98 | 1,22 | 7,42% |
| | Cuesta Lara | Escenario 1ª | | 44 | -190.482,00 | -1,02 | -25,60 | 0,03 | - | -163.077,00 | -0,88 | -21,92 | 0,15 | - |
| | | Escenario 1b | | 67 | -257.696,20 | -1,03 | -31,68 | 0,02 | - | -229.962,60 | -0,93 | -28,27 | 0,11 | - |
| | El Mañío | Escenario 1ª | | 44 | -152.834,30 | -1,01 | -20,54 | 0,04 | -7,58% | -102.025,30 | -0,79 | -13,71 | 0,24 | - |
| | | Escenario 1 | | 133 | -189.993,20 | -1,03 | -6,31 | 0,03 | - | -135.693,40 | -0,85 | -4,50 | 0,20 | - |
| RIEGO + HIDROGENERACIÓN | Los Laureles | Sistema Digua: derechos eventuales | Esc.1 | 139 | -156.116,40 | -0,70 | -5,18 | 0,40 | 3,78% | 50.497,30 | 0,26 | 1,68 | 1,22 | 7,70% |
| | | | Esc. 2 | 214 | -123.475,50 | -0,52 | -3,41 | 0,56 | 6,73% | 119.514,00 | 0,57 | 3,30 | 1,48 | 9,31% |
| | | | Esc. 3 | 279 | -129.898,40 | -0,52 | -3,12 | 0,55 | 6,78% | 170.338,20 | 0,77 | 4,09 | 1,65 | 10,19% |
| | | Sistema Digua: derechos permanentes | Esc. 1 | 139 | -155.315,80 | -0,70 | -3,81 | 0,40 | 3,91% | 52.724,90 | 0,28 | 1,29 | 1,23 | 7,75% |
| | | | Esc. 2 | 218 | -122.025,90 | -0,51 | -2,60 | 0,56 | 6,84% | 122.895,70 | 0,59 | 2,62 | 1,50 | 9,37% |
| | | | Esc. 3 | 279 | -129.863,00 | -0,52 | -2,48 | 0,55 | 6,81% | 171.119,20 | 0,77 | 3,27 | 1,66 | 10,19% |
| | Cuesta Lara | Escenario 1ª | | 44 | -197.757,30 | -1,06 | -26,58 | 0,10 | -4,04% | -154.472,20 | -0,84 | -20,76 | 0,29 | -2,01% |
| | | Escenario 1b | | 67 | -229.633,90 | -0,92 | -28,23 | 0,20 | -1,24% | -160.068,70 | -0,64 | -19,68 | 0,44 | 0,04% |
| | El Mañío | Escenario 1ª | | 44 | -171.663,70 | -1,14 | -23,07 | 0,06 | -5,86% | -115.660,20 | -0,90 | -15,54 | 0,27 | -2,11% |
| | | Escenario 2 | | 133 | -163.810,20 | -0,89 | -5,44 | 0,26 | 0,44% | -69.222,60 | -0,43 | -2,30 | 0,65 | 2,65% |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11.3-2. Resultados de la evaluación económica, considerando el valor residual al final de 30 años

| CASO | SOLUCIÓN | ESCENARIO | | Volumen embalse (hm³) | PRECIOS PRIVADOS | | | | | PRECIOS SOCIALES | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | VAN (MM $) | IVAN | VAN/Sup (MM $/ha) | n/k | TIR (%) | VAN (MM $) | IVAN | VAN/Sup (MM $/ha) | n/k | TIR (%) |
| SÓLO RIEGO | Los Laureles | Sistema Digua: derechos eventuales | Esc.1 | 139 | -196.851,00 | -0,88 | -6,53 | 0,17 | 0,35% | -6.789,50 | -0,04 | -0,23 | 0,97 | 5,79% |
| | | | Esc. 2 | 214 | -171.935,60 | -0,72 | -4,74 | 0,33 | 4,25% | 61.674,80 | 0,29 | 1,70 | 1,28 | 7,52% |
| | | | Esc. 3 | 279 | -183.806,50 | -0,74 | -4,42 | 0,32 | 4,20% | 114.989,40 | 0,52 | 2,76 | 1,49 | 8,48% |
| | | Sistema Digua: derechos permanentes | Esc. 1 | 139 | -195.484,90 | -0,88 | -4,79 | 0,18 | 0,64% | -2.831,20 | -0,01 | -0,07 | 0,99 | 5,91% |
| | | | Esc. 2 | 218 | -170.569,40 | -0,71 | -3,64 | 0,33 | 4,39% | 65.633,10 | 0,31 | 1,40 | 1,30 | 7,60% |
| | | | Esc. 3 | 279 | -182.440,30 | -0,73 | -3,49 | 0,32 | 4,33% | 118.947,70 | 0,54 | 2,28 | 1,51 | 8,55% |
| | Cuesta Lara | Escenario 1ª | | 44 | -190.302,50 | -1,02 | -25,57 | 0,03 | - | -156.701,40 | -0,85 | -21,06 | 0,18 | - |
| | | Escenario 1b | | 67 | -257.577,80 | -1,03 | -31,67 | 0,02 | - | -223.857,10 | -0,90 | -27,52 | 0,13 | - |
| | El Mañío | Escenario 1ª | | 44 | -152.595,00 | -1,01 | -20,51 | 0,04 | - | -94.617,70 | -0,73 | -12,72 | 0,30 | - |
| | | Escenario 1 | | 133 | -189.763,30 | -1,03 | -6,30 | 0,03 | - | -127.957,70 | -0,80 | -4,25 | 0,24 | - |
| RIEGO + HIDROGENERACIÓN | Los Laureles | Sistema Digua: derechos eventuales | Esc.1 | 139 | -153.181,00 | -0,69 | -5,08 | 0,41 | 4,52% | 98.677,20 | 0,52 | 3,28 | 1,44 | 8,64% |
| | | | Esc. 2 | 214 | -118.285,50 | -0,49 | -3,26 | 0,57 | 7,32% | 187.232,20 | 0,89 | 5,17 | 1,76 | 10,12% |
| | | | Esc. 3 | 279 | -124.419,60 | -0,50 | -2,99 | 0,57 | 7,36% | 252.377,70 | 1,14 | 6,06 | 1,97 | 10,94% |
| | | Sistema Digua: derechos permanentes | Esc. 1 | 139 | -152.288,60 | -0,68 | -3,73 | 0,41 | 4,65% | 101.758,00 | 0,53 | 2,49 | 1,45 | 8,70% |
| | | | Esc. 2 | 218 | -116.731,00 | -0,49 | -2,49 | 0,58 | 7,42% | 191.587,80 | 0,91 | 4,08 | 1,77 | 10,18% |
| | | | Esc. 3 | 279 | -124.310,00 | -0,50 | -2,38 | 0,57 | 7,39% | 253.849,80 | 1,15 | 4,86 | 1,97 | 10,94% |
| | Cuesta Lara | Escenario 1ª | | 44 | -197.177,10 | -1,06 | -26,50 | 0,10 | -2,82% | -144.415,60 | -0,78 | -19,41 | 0,34 | -0,09% |
| | | Escenario 1b | | 67 | -228.438,60 | -0,91 | -28,08 | 0,20 | -0,26% | -144.071,10 | -0,58 | -17,71 | 0,49 | 1,56% |
| | El Mañío | Escenario 1ª | | 44 | -171.299,00 | -1,13 | -23,02 | 0,06 | -4,41% | -107.101,30 | -0,83 | -14,39 | 0,33 | 0,04% |
| | | Escenario 2 | | 133 | -162.543,50 | -0,88 | -5,40 | 0,27 | 1,32% | -51.962,40 | -0,32 | -1,72 | 0,74 | 3,94% |

Fuente: Elaboración propia

## 11.4. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Al hacer cualquier evaluación económica, siempre hay un elemento de incertidumbre asociado a las variables y alternativas que se estudian, lo que dificulta la toma de decisiones con mayor certeza. Una forma de disminuir esta incertidumbre es a través un análisis de sensibilidad, que busca identificar las variables que más afectan el resultado económico de un proyecto y la magnitud de su incidencia. Para este proyecto en particular, el análisis se realiza para el mejor volumen determinado en el embalse de Los Laureles, para el uso exclusivo de riego y sin considerar el valor residual al final del horizonte de evaluación de los 30 años.

Como primer paso, la Tabla 11.4-1 muestra el cambio que experimenta el VAN y TIR, a precios sociales, ante la variación del ±10% de los beneficios agrícolas, los costos de construcción del embalse, costos de expropiaciones, costos ambientales y de operación. De este cuadro se puede observar que la variable que más incide en la rentabilidad es el beneficio agropecuario, y la segunda variable con mayor influencia es el costo de construcción del embalse. Las restantes variables tienen un efecto marginal.

Tabla 11.4-1. Análisis de incidencia de las variables en la rentabilidad del proyecto

| Parámetro evaluado | | Variación (%) | VAN 0 (MM $) | TIR 0 (%) | VAN 1 (MM $) | TIR 1 (%) | ΔVAN (%) | Elasticidad (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Beneficios agrícolas | | +10,% | 48.211 | 7,35% | 78.035 | 8,10% | 61,86% | 6,19% |
| Costos | Obras embalse | -10,% | 48.211 | 7,35% | 70.300 | 8,09% | 45,82% | 4,58% |
| | Expropiaciones | -10% | 48.211 | 7,35% | 48.451 | 7,36% | 0,50% | 0,05% |
| Costos de operación | | -10% | 48.211 | 7,35% | 50.266 | 7,41% | 4,26% | 0,43% |
| Costos ambientales | | -10% | 48.211 | 7,35% | 48.831 | 7,37% | 1,28% | 0,13% |
| Beneficios agrícolas | | -10% | 48.211 | 7,35% | 18.388 | 6,54% | -61,86% | 6,19% |
| Costos | Obras embalse | +10% | 48.211 | 7,35% | 26.122 | 6,69% | -45,82% | 4,58% |
| | Expropiaciones | +10% | 48.211 | 7,35% | 47.972 | 7,34% | -0,50% | 0,05% |
| Costos de operación | | +10% | 48.211 | 7,35% | 46.157 | 7,29% | -4,26% | 0,43% |
| Costos ambientales | | +10% | 48.211 | 7,35% | 47.592 | 7,33% | -1,28% | 0,13% |

Fuente: Elaboración propia

Para analizar con más profundidad los parámetros agronómicos, se modificó la gradualidad de los cambios en la Situación Con Proyecto, como consecuencia de la incorporación de los cultivos que conforman el nuevo uso del suelo. Así, se valoró un escenario denominado "temprano" en donde la incorporación de los cultivos fuera más rápida que la estimada inicialmente, y otro escenario "tardío" en donde los cambios se producen más lentamente.

La Tabla 11.4-2 muestra el análisis de sensibilidad para la incorporación de la tierra a la agricultura de riego, donde se refleja que si la gradualidad de los cambios sucede más rápidamente, como efecto del aumento de los beneficios agrícolas en los primeros años, la rentabilidad del proyecto aumenta. Por otra parte, se realizan los cálculos de variación del VAN para los siguientes supuestos, y cuyos resultados se muestran en esta misma tabla:

- Incremento de un 10% en los ingresos por la venta de productos agrícolas.
- Reducción de un 10% en los ingresos por la venta de productos agrícolas.
- Reducción de un 10% en los costos de producción de los rubros.
- Incremento de un 10% en los costos de producción de los rubros.

Se observa la gran influencia sobre la rentabilidad que tiene el aumento o disminución de los ingresos: para un incremento del +10% la variación del TIR es casi un 16%, y para una reducción del -10% el proyecto se convierte en no rentable.

También, resulta interesante evaluar el efecto de la participación de los agricultores en el proyecto, en términos de la cantidad de predios. Tal como lo muestra la Tabla 11.4-2, esta variable tiene alta incidencia en la rentabilidad del proyecto ya que, por ejemplo, el VAN social es negativo si solo se incorpora el 95% de los predios. Por otra parte, se ha evaluado el cambio del VAN social ante una variación del periodo de ejecución de las obras, resultados que se muestran en la misma tabla 11.4-2. Destaca que el proyecto se vuelve menos rentable mientras más demore la construcción, de hecho, en el caso de que se demore 3 años, podría peligrar la rentabilidad.

Tabla 11.4-2. Resumen del análisis de sensibilidad de parámetros agrícolas. Alternativa Los Laureles Escenario 3

| Item | Escenario Base | | Escenario Modificado | | Diferencia | % Var. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | VAN (MM $) | TIR (%) | VAN (MM $) | TIR (%) | VAN | TIR |
| Ingresos (+10%) | 48.211,30 | 7,35% | 98.098 | 8,61% | 49.886 | 17,06% |
| Ingresos (-10%) | | | -1.347 | 5,96% | -49.559 | -18,92% |
| Costos (-10%) | | | 63.447 | 7,75% | 15.236 | 5,45% |
| Costos (+10%) | | | 32.876 | 6,94% | -15.336 | -5,64% |
| Incorporación Temprana | | | 54.776 | 7,54% | 6.564 | 2,64% |
| Incorporación Tardía | | | 35.963 | 7,00% | -12.248 | -4,75% |
| Predios (95%) | | | 20.615 | 6,59% | -27.597 | -10,33% |
| Predios (90%) | | | -6.951 | 5,80% | -55.162 | -21,16% |
| Embalse (+2 años) | | | 39.043 | 7,10% | -9.169 | -3,40% |
| Embalse (+3 años) | | | 30.515 | 6,87% | -17.697 | -6,59% |

Fuente: Elaboración propia

## 11.5. ANÁLISIS DE RIESGO

El modelo de evaluación económica es de carácter determinista; es decir, las variables económicas tienen valores únicos establecidos una vez fijadas las condiciones y los parámetros de la obra y el volumen de demanda a atender. Los análisis de sensibilidad indican la repercusión en el resultado que puede provocar una variación de los datos asumidos. Sin embargo, resulta conveniente realizar también un análisis de riesgo, que permita medir la probabilidad de variación de los flujos económicos en función de la probabilidad de variación de los datos.

El riesgo analizado ha sido el asociado a la inversión para los casos que resultaron rentables (escenarios 2 y 3 en Los Laureles). El análisis de riesgo se ha centrado en dos variables que tienen una influencia elevada sobre la rentabilidad del proyecto (sensibilidad >1): el coste de construcción del embalse y los beneficios agrícolas. Las partidas de mayor incidencia en los costos de construcción del embalse son el Relleno del cuerpo de presa y la Excavación abierta en roca con medios mecánicos (representan casi el 40% del costo directo). En el caso de los beneficios agrícolas, los cultivos cuyos precios tienen mayor repercusión son el arándano y el manzano (22% y 12% respectivamente sobre el total de ingresos).

En ambos casos, se ha supuesto una modelación triangular de la función de probabilidad (FDP), según la cual se establecen para cada variable los valores mínimo, máximo y más probable. En el caso de los costos de construcción, se adoptó como valor mínimo el 90% del valor más probable (coincidente con el valor determinista) y como valor máximo el 145% del valor más probable. En el caso de los precios de venta de la producción agrícola, los valores mínimo y máximo se obtuvieron del estudio de mercado realizado, adoptando los correspondientes al percentil 10 y al percentil 90, respectivamente. Los valores que definen las FDP de las cuatro variables analizadas se exponen en la Tabla 11.5-1.

Tabla 11.5-1. Valores para la distribución triangular de las variables a modelar (precios sociales)

| VARIABLE | Mínimo | Más probable | Máximo |
|---|---|---|---|
| Relleno con material procedente de préstamo | 3.444 $/m$^3$ | 3.827 $/m$^3$ | 5.5549 $/m$^3$ |
| | 90,0% | 100% | 145,0% |
| Excavación abierta en roca con medios mecánicos | 13.076 $/m$^3$ | 14.529 $/m$^3$ | 21.067 $/m$^3$ |
| | 90,0% | 100,0% | 145,0% |
| Manzana | 110 $/kg | 150 $/kg | 174 $/kg |
| | 73,3% | 100% | 116,0% |
| Arándano | 832 $/kg | 1.055 $/kg | 1.460 $/kg |
| | 78,9% | 100,0% | 138,4% |

Fuente: Elaboración propia

Para realizar la simulación se utilizó la aplicación Crystal-Ball, en base a la prueba de ajuste del Chi-Cuadrado a una distribución normal con el 5% de nivel de significación, y considerando un nivel de confianza de 95% y 10.000 iteraciones, para los conjuntos de valores de VANS de las dos escenarios elegidos. Para cuantificar el riesgo del Proyecto se utilizó el indicador *Value at Risk* (VaR) o pérdida máxima con un 5% de probabilidad en los 30 años de la vida útil del proyecto. En la Tabla 11.5-2 se presentan los VaR para las simulaciones del indicador VANS en cada escenario estudiado.

Tabla 11.5-2. Valor en Riesgo (VaR) obtenido de la simulación del VANS para cada escenario

| Escenario | Volumen de embalse (hm$^3$) | Superficie de riego (ha) | VAN (Percentil 5) Millones $ | VAN Esperado (Percentil 50) Millones $ | VaR VANS Millones $ |
|---|---|---|---|---|---|
| Los Laureles Escenario 2 | 214,0 | 36.237 | -13.585,34 | 8.022,32 | 21.607.66 |
| Los Laureles Escenario 3 | 279,0 | 41.614 | 25.806,03 | 48.211,31 | 22.405,28 |

Fuente: Elaboración propia

## 11.6. INDICADORES ADICIONALES Y OTRAS EXTERNALIDADES

Un indicador importante es la **generación de mano de obra agrícola** en cada escenario respecto a la Situación Actual. Los mayores incrementos se producen obviamente para el escenario de mayor superficie de riego transformada (Escenario 3), obteniendo un crecimiento del 39% en el empleo permanente masculino y un 192% el femenino. A ello se suma el aumento de las jornadas temporales anuales masculinas (75%) y femeninas (71%).

La **rentabilidad por hectárea productiva** (cociente entre el beneficio ocasionado por el proyecto y el número de hectáreas beneficiadas) se incrementa en el escenario de mayor superficie regada hasta el 63% (y del 30% en el peor de los casos), en relación a la rentabilidad de la Situación Sin Proyecto. Este resultado confirma el importante impacto de la construcción de una obra de riego en el valle.

El **ingreso per cápita** asignable al sector agropecuario (cociente entre el beneficio ocasionado por el proyecto y el número de agricultores beneficiados) se incrementa un 66% en el escenario de mayor superficie regada y mayor disponibilidad de agua, y aproximadamente el 30% en el peor de los casos, en relación a la Situación Sin Proyecto, lo que coincide con las mayores utilidades por encima de las remuneraciones de la labor agrícola.

La **generación de impuestos** por el incremento de la utilidad al entrar en servicio el embalse se incrementa en un 73% en el escenario de mayor superficie de riego, pasando de $26,3 mil millones en Situación Actual a más de $45,6 mil millones.

Además de lo descrito, se pueden mencionar otros efectos adicionales, que debido a sus características propias y su complejidad, no pueden ser valorados cuantitativamente en esta fase de Prefactibilidad dentro de la evaluación económica:

- Medio construido: No se detectan efectos significativos en los asentamientos humanos, ya que el proyecto se ubica en una zona despoblada del valle.
- Paisaje: Los efectos serían minimizados y monitoreados según lo indicado en el Análisis Ambiental.
- El beneficio por control de crecidas no puede ser cuantificado económicamente en fase de Prefactibilidad.
- Las actividades relacionadas con el turismo se verán afectadas por la aparición del embalse, pero en esta fase de Prefactibilidad no resulta posible cuantificar económicamente los beneficios de algunas y los perjuicios en otras, y por tanto no se ha considerado un beneficio económico por este motivo.
- El posible beneficio de entregar un caudal firme a sistemas de APR locales, teniendo en cuenta las características poblaciones en esta zona de la Región del Maule, puede considerarse inexistente.

## 11.7. MOMENTO ÓPTIMO DE LA INVERSIÓN

El momento óptimo de inversión se obtiene al comparar el VAN de invertir en el momento n versus hacerlo en el momento n+1. Para que este cálculo sea posible, los beneficios netos anuales no pueden depender del momento del inicio del proyecto, sin que su evolución y gradualidad de incorporación dependan de la construcción del embalse, sino de la evolución de la demanda o una variación en el mercado de insumos (como en proyectos de agua potable o alcantarillado). En el proyecto del embalse los beneficios agrícolas dependen radicalmente de la construcción de la obra, por lo que no resulta pertinente este cálculo. En este caso el momento de realización de la obra dependerá de la comparación del proyecto con otros dentro de la cartera del Estado.

## 11.8. ANÁLISIS FINANCIERO

Se parte del supuesto de que la obra será construida bajo los procedimientos que establece el DFL N°1.123 de 1981. El análisis financiero de los predios tipo se basa en los siguientes supuestos:

- Las obras asociadas al riego se construyen en el primer año de análisis (año 0), correspondiendo al segundo período el inicio de la situación con proyecto.
- Se contempla el ofrecimiento de un crédito blando a 21 años para el pago de las obras, que debe ser contrastado con la disposición de pago de los beneficiarios, a fin de obtener el subsidio requerido para llevar a cabo el proyecto. Se ha calculado el pago potencial con tasas de 2% y 4,5%. Se determinó que el pago anual por hectárea de la obra es $380.441 con una tasa de 2% y de $482.797 con 4,5%.
- La tasa de descuento es de un 12%, al igual que la evaluación económica privada.
- Los valores de ingresos agropecuarios, costos directos de la actividad agropecuaria, costos indirectos, margen neto y margen neto corregido por el efecto hidrológico, para las situaciones Con y Sin proyecto, corresponden a los valores privados determinados, para cada predio tipo.
- El capital de trabajo considerado para las situaciones Sin y Con Proyecto corresponde a un 20% de los costos indirectos, otros costos y las inversiones de los tres primeros años, el que es financiado mediante crédito a 10 años con una tasa de interés de un 8,0%, en cuotas iguales.
- Se ha supuesto que la realización del proyecto debe permitir, a cada predio tipo, entregar al propietario una cierta rentabilidad por su actividad, que representa su sustento familiar. De esta forma se ha definido, para el diferencial de flujos entre las situaciones Sin y Con Proyecto. El factor así definido se aplica anualmente a la utilidad después del impuesto. Dado el nivel tecnológico existente, se adopta para todos los estratos una utilidad de 10%.

Los resultados muestran que todos los estratos tienen problemas de flujo de caja en algún momento del proyecto. Además, existe una gran cantidad de agricultores que requieren un subsidio mayor al 65%. En términos globales, los agricultores tienen disposición de financiar aproximadamente el 34% del proyecto con una tasa de interés del 2%, y disposición de financiar el 28% en el caso de una tasa del 4,5%, lo que se traduce en la entrega de un subsidio anual de Mill$10.460 (con tasa del 2%) y de Mill$14.48 (con tasa del 4,5%). Se ha ponderado la disposición (capacidad) de pago y los subsidios, por hectárea y expandido, para cada estrato de tamaño predial, independientemente del sector en el cual se encuentre. Se observa que el estrato 2 es el que requiere mayor subsidio; el estrato 6 requiere un porcentaje mucho menor.

# 12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 12.1. DESCRIPCIÓN DE LAS SOLUCIONES

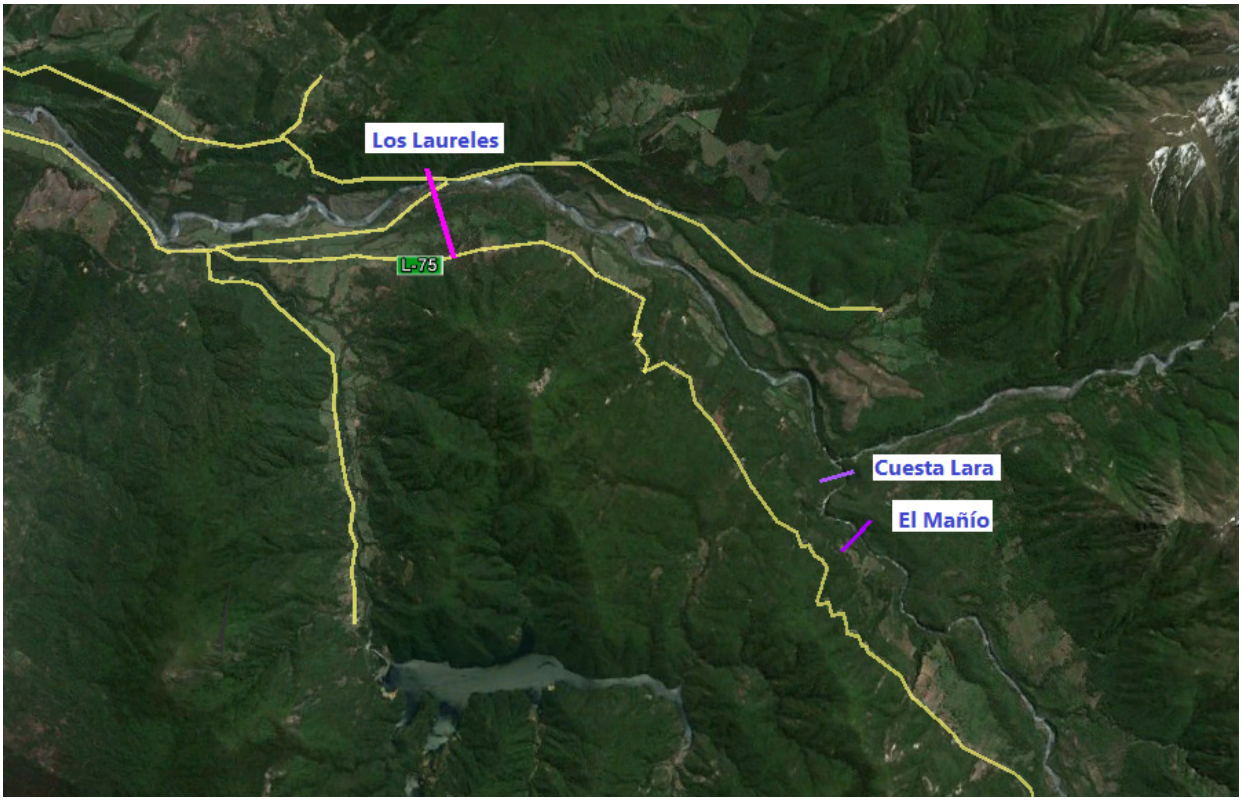
De los estudios técnicos de ingeniería desarrollados se concluye que los tres mejores emplazamientos que reúnen las condiciones necesarias para ser técnicamente viables sobre el cauce del río Longaví, para la ubicación de un embalse de riego, son los denominados *Los Laureles, Cuesta Lara y El Mañío*. Las tres soluciones se ubican en la zona media alta de la cuenca del río Longaví.

Tabla 12.1-1. Coordenadas UTM de los ejes de presa, Coordenadas WGS 84, Huso 19 Sur

| Alternativa | Margen Izquierda | | Margen Derecha | |
|---|---|---|---|---|
| | Este (m) | Norte (m) | Este (m) | Norte (m) |
| **Los Laureles** | 284.493 | 5.986.754 | 284.056 | 5.988.060 |
| **Cuesta Lara** | 289.857 | 5.983.601 | 290.396 | 5.983.751 |
| **El Mañío** | 290.179 | 5.982.676 | 290.591 | 5.983.112 |

Fuente: Elaboración propia

Figura 12.1-1. Situación de las soluciones de embalse




Fuente: Elaboración propia.

Una de las premisas fundamentales en las que se basa la elección y diseño del tipo de presa es la aptitud geológico-geotécnica del terreno sobre el que se funda: profundidad y resistencia del sustrato de apoyo, profundidad de excavación requerida, y garantías de impermeabilidad. Las tipologías propuestas en cada emplazamiento son:

a) La presa de **Los Laureles** se ubica en una angostura bastante amplia. Aunque se observan afloramientos rocosos en la margen derecha y el entorno del cauce, en la margen izquierda se localizan depósitos de terraza fluvial y de avalancha volcánica de gran espesor. Se dispone de materiales en calidad y cantidad suficiente para cuerpo de presa, excepto para formar un núcleo impermeable. En base a las recomendaciones y características geotécnicas del emplazamiento, se definió una **presa de materiales locales con pantalla de hormigón (tipo CFRD).**

b) La presa de **Cuesta Lara** se sitúa en un tramo del río Longaví encañonado entre afloramientos graníticos, más continuos y superficiales en la margen derecha, de taludes más pronunciados. La margen izquierda es más tendida y presenta una terraza sobre los afloramientos rocosos del cauce. Las características topográficas y geotécnicas permiten la construcción de una **presa de hormigón vibrado convencional**.

c) En el emplazamiento de **El Mañío** la roca aflora en el entorno del cauce y en la margen izquierda, con leves recubrimientos aluviales y de avalancha volcánica. Sin embargo, en la margen derecha se presenta un espesor importante de depósito de avalancha. Los estudios geológicos y de materiales recomiendan el diseño de una **presa de materiales locales con núcleo impermeable**.

Con las demandas de riego correspondientes al escenario de mayor superficie (y con seguridad mínima del 85%), el estudio de regulación establece una capacidad de embalse que sólo es posible obtener en el emplazamiento de Los Laureles, que ofrece 280 $hm^3$. En los emplazamientos de Cuesta Lara y El Mañío, para que la zona inundable no cubra el sector denominado *La Balsa*, se dispondría de una capacidad de 67 $hm^3$ y 44 $hm^3$, respectivamente.

Con estas dimensiones máximas, se diseñaron sus elementos de desagüe, en función de los caudales de crecida para T=1000 años, que son más altos en Los Laureles (2.970,4 $m^3/s$) que en El Mañío y en Cuesta Lara (1.737,9 $m^3/s$), por tener asociada una hoya significativamente mayor con los aportes del río Blanco, lo que conduce a la necesidad de un evacuador de crecidas mayor y más costoso. Los principales parámetros de estos embalses se muestran en la Tabla 12.1-2.

Tabla 12.1-2. Parámetros principales de las presas, para su tamaño máximo

| Parámetro | Los Laureles | Cuesta Lara | El Mañío |
|---|---|---|---|
| Altura de presa | 135 m | 131 m | 96 m |
| Volumen de embalse total (nivel normal) | 279 $hm^3$ | 67 $hm^3$ | 44 $hm^3$ |
| Superficie inundación (situación normal) | 668 ha | 300 ha | 236 ha |
| $Q_{entrada}$ para T=1000 años | 2.970 $m^3/s$ | 1.738 $m^3/s$ | 1.738 $m^3/s$ |
| $Q_{salida}$ para T=1000 años | 2.338 $m^3/s$ | 1.544 $m^3/s$ | 1.654 $m^3/s$ |

Fuente: Elaboración propia

En las tres soluciones el posible impacto ambiental sobre el entorno natural resulta asumible. Los mayores impactos son sobre los asentamientos humanos rurales y su actividad agrícola y ganadera. Las laderas de alta montaña sobre la ribera izquierda de las tres soluciones corresponden al Sitio Prioritario Bosques Nativos de Digua y Bullileo, que presenta bosques maulinos de la Cordillera.

El embalse de Los Laureles corresponde a un paisaje menos intervenido, en donde la agricultura está prácticamente ausente de la zona inundable (salvo alguna excepción de cultivo de arándanos) y la ocupación humana está centrada en la explotación de praderas con apotreramientos y algún caserío. Se identificó una comunidad de Loro Tricahue en el talud fluvial del meandro del río Longaví. La zona afectada por los emplazamientos de Cuesta Lara y El Mañío es prácticamente la misma, mayoritariamente silvopecuaria, observándose extensas superficies de bosque nativo y recientes plantaciones forestales en la ladera de exposición oriental. Hay presencia de comunidades forestales esclerófilas y especies de Roble-Hualo, así como ejemplares aislados de Ciprés de la Cordillera. Su cola de embalse termina en las inmediaciones de la comunidad de La Balsa, sector de numerosos caseríos rurales y vacacionales, y podría ocasionar cierto impacto social, en función de la cota definitiva del embalse.

## 12.2. VALORACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica ha considerado los costos y beneficios de cada solución, con diferentes tamaños, obteniendo diversos indicadores económicos y analizando la sensibilidad a la variación de algunos parámetros de partida. El análisis financiero contempla un horizonte de evaluación de 30 años.

Los beneficios considerados en la evaluación han sido los incrementos de la producción agrícola, el valor incremental de la tierra, y la posible producción hidroeléctrica. El beneficio real por control de crecidas puede ser significativo, aunque no resulta cuantificable en fase de prefactibilidad. No obstante, teóricamente el mejor embalse es el situado más aguas abajo (Los Laureles), pues permite controlar también los caudales del río Blanco. Tampoco resulta posible la cuantificación económica de los efectos sobre el turismo, aunque se observa cierto optimismo entre los empresarios del rubro. El posible beneficio de entregar un caudal firme a sistemas de APR locales en esta zona de la Región del Maule, puede considerarse inexistente. El principal beneficio es el agronómico, y corresponde al aumento en la seguridad de riego y al incremento de la superficie regada, lo que provoca la inversión en cultivos de mayor rentabilidad y permite mejorar la productividad agronómica del valle.

Los costos de construcción de la presa y sus obras complementarias, incluyendo las medidas de mitigación ambiental, restitución de los viales y otras infraestructuras afectadas, y las expropiaciones necesarias, se muestran en la Tabla 12.2-1.

Tabla 12.2-1. Costos Totales de los Proyectos (Millones de pesos)

| | Los Laureles | | | Cuesta Lara | | El Mañío | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Esc. 1 | Esc. 2 | Esc. 3 | Esc. 1a | Esc. 1b | Esc. 1a | Esc.1 |
| Vol. Embalse (hm3) | 139 | 214 | 279 | 44 | 67 | 44 | 133 |
| PRECIOS PRIVADOS | | | | | | | |
| Construcción | 223.186 | 239.093 | 248.952 | 186.716 | 250.393 | 151.044 | 183.995 |
| Ambiental | 7.526 | 7.680 | 7.837 | 4.668 | 5.135 | 4.057 | 6.345 |
| Expropiación | 1.692 | 2.280 | 2.394 | 462 | 1.142 | 1.008 | 2.304 |
| Total | 232.404 | 249.053 | 259.183 | 191.846 | 256.670 | 156.109 | 192.643 |
| PRECIOS SOCIALES | | | | | | | |
| Construcción | 191.094 | 209.525 | 220.891 | 182.811 | 245.933 | 128.782 | 160.327 |
| Ambiental | 6.119 | 6.244 | 6.372 | 3.860 | 4.246 | 3.383 | 5.173 |
| Expropiación | 1.692 | 2.280 | 2.394 | 462 | 1.142 | 1.008 | 2.304 |
| Total | 198.906 | 218.050 | 229.657 | 187.132 | 251.320 | 133.173 | 167.804 |

Fuente: Elaboración propia

Si se considera la capacidad de embalse en cada solución, se observa que los costos unitarios son muy elevados en Cuesta Lara y en la solución menor de El Mañío (aproximadamente entre \$3.000 y \$4.250 /$m^3$ de embalse), aunque para el escenario 1 resulta menos costosa la solución de El Mañío que Los Laureles. En el emplazamiento de Los Laureles se obtiene un ratio de \$1.431 /$m^3$ de embalse en el escenario 1, que baja hasta \$823 /$m^3$ de embalse para el escenario 3 (el embalse mayor).

Al contrastar los costos con los beneficios, la evaluación económica muestra que sólo resulta rentable (a precios sociales) el embalse de **Los Laureles** con los volúmenes mayores. Así, el embalse de 214 $hm^3$ obtiene una TIR del 6,26% y el embalse de 279 $hm^3$ una TIR del 7,35%. En este último caso, si se tuviera en cuenta el valor residual de la presa al final del período de 30 años, la TIR pasaría al 8,48%.

## 12.3. OTROS FACTORES

Respecto al potencial hidroeléctrico, las potencias más altas se encuentran en Los Laureles (de 30 a 38 MW), donde también se obtienen los costos unitarios más bajos (605 millones de $/MW). En la solución mayor de Los Laureles (279 $hm^3$), si se considera también la eventual generación hidroeléctrica, la TIR mejora desde 7,35% hasta el 10,19% (sin incluir el valor residual del embalse al final de los 30 años) o hasta el 10,94% (incluyendo el valor residual en los beneficios).

Tabla 12.3-1. Costos unitarios de producción hidroeléctrica

| Los Laureles | | | Cuesta Lara | | El Mañío | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 | Escenario 1a | Escenario 1b | Escenario 1a | Escenario 1 |
| POTENCIA INSTALADA (MW) | | | | | | |
| 29,6 | 34,3 | 37,8 | 21,1 | 24,1 | 12,8 | 23,4 |
| COSTO TOTAL DE CONSTRUCCIÓN (millones de $) | | | | | | |
| 20.441,8 | 21.823,6 | 22.849,7 | 20.468,3 | 21.347,3 | 18.039,8 | 21.141,5 |
| COSTO UNITARIO (millones de $/MW) | | | | | | |
| **691,1** | **636,6** | **605,0** | **971,4** | **887,3** | **1.408,3** | **905,0** |

Fuente: Elaboración propia

Además de estos beneficios considerados en el cálculo del VAN y de la TIR, existen otras externalidades positivas, como son la generación de empleo agrícola (permanente y temporal), la rentabilidad por hectárea productiva (cociente entre beneficio agrícola y número de hectáreas beneficiadas), el ingreso per cápita asignable al sector agropecuario (cociente entre el beneficio ocasionado y el número de agricultores beneficiados) y la generación de impuestos.

## 12.4. RECOMENDACIÓN DEL PROYECTO

Conforme a los resultados obtenidos, se recomienda continuar en etapa de Factibilidad con el desarrollo del embalse denominado **Los Laureles, con una altura de 135,5 metros y un volumen de 279 $hm^3$**, (escenario 3), que alcanza un VAN social de 48.211 millones de pesos y una TIR social de 7,35% para uso exclusivo de riego (sin considerar el valor residual del proyecto). Se recomienda además avanzar en el análisis del proyecto de generación hidroeléctrica, ya que mejora significativamente los indicadores económicos; en particular el VAN social aumenta en más de 122.126 millones de pesos, y la TIR social aumenta desde el 7,35% hasta el 10,19%. Por otra parte, el análisis de sensibilidad muestra que el proyecto de mayor volumen es rentable para todos los casos, lo que refuerza la recomendación anterior.

Los principales beneficios agronómicos de esta solución son:

- Seguridad de riego del 85% en toda la zona de riego actual del Sistema Longaví (unas 29.900 ha).
- Incremento de 11.700 ha de riego con 85% de seguridad (unas 9.160 ha de secano, 1.300 ha de superficie arable no cultivada, y otras 1.240 ha de superficie sin uso).
- No se inducen perjuicios al Sistema Digua; al contrario, se aumentaría la seguridad de riego de 10.670 ha que se riegan actualmente con recursos del río Longaví, derivados a través del Canal Alimentador Digua. En las etapas futuras del proyecto, se recomienda elaborar un modelo integrado de simulación y operación conjunta, que incluya las características operacionales y jurídicas del Sistema Digua, plasmadas a través de sus demandas de agua y derechos de aprovechamiento de aguas.

Además, se obtiene un crecimiento del 39% en el empleo permanente masculino y un 192% en el femenino, con aumento de las jornadas temporales anuales masculinas (75%) y femeninas (71%). La rentabilidad por hectárea productiva crece el 63% en relación a la rentabilidad sin proyecto, lo que confirma el fuerte impacto de la realización de un embalse de regulación en el valle. El ingreso per cápita del sector agropecuario se incrementa el 66%, y la generación de impuestos crecería un 73%.