

INFORME FINAL

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE EMBALSES PARA LOS VALLES DE LLUTA Y AZAPA

RESUMEN EJECUTIVO

INDICE

1.	<u>ANTECEDENTES GENERALES</u>	1
1.1	<u>Objetivos generales del estudio</u>	1
1.2	<u>Área del proyecto</u>	1
2.	<u>DESCRIPCIÓN DE LAS FASES Y ETAPAS DEL ESTUDIO</u>	2
3.	<u>ESTUDIOS DE TERRENO</u>	3
3.1	<u>Estudio topográfico</u>	3
3.2	<u>Estudios geofísicos</u>	3
3.3	<u>Sondajes</u>	4
3.4	<u>Pozos y calicatas</u>	4
4.	<u>ESTUDIOS BÁSICOS</u>	4
4.1	<u>Estudio hidrológico</u>	5
4.2	<u>Estudio geológico</u>	6
4.3	<u>Estudio de riesgo sísmico</u>	8
4.4	<u>Estudio geotécnico</u>	8
4.4.1	<u>Valle de Lluta</u>	8
4.4.2	<u>Valle de Azapa</u>	8
5.	<u>ESTUDIOS AGROECONÓMICOS</u>	9
5.1	<u>Generalidades</u>	9
5.1.1	<u>Características agroclimáticas</u>	9
5.2	<u>Valle de Lluta</u>	10
5.2.1	<u>Área del proyecto</u>	10
5.2.2	<u>Situación de la agricultura</u>	10
5.2.2.1	<u>Estructura de la propiedad agrícola de Lluta</u>	10
5.2.2.2	<u>Uso actual y futuro de la tierra</u>	10
5.2.2.3	<u>Rendimientos actuales y futuros de los cultivos</u>	12
5.2.2.4	<u>Flujo de márgenes netos agrícolas en la situación actual y futura</u>	13
5.3	<u>Valle de Azapa</u>	14
5.3.1	<u>Área del proyecto</u>	14
5.3.2	<u>Situación de la agricultura</u>	14
5.3.2.1	<u>Estructura de la propiedad agrícola de Azapa</u>	14
5.3.2.2	<u>Uso actual y futuro de la tierra</u>	15
5.3.2.3	<u>Rendimientos actuales y futuros de los cultivos</u>	17
5.3.2.4	<u>Flujo de márgenes netos agrícolas en la situación actual y futura</u>	18
6.	<u>EVALUACIÓN DE DAÑOS PROVOCADOS POR CRECIDAS ALUVIONALES</u>	19
7.	<u>DISEÑOS DE LAS OBRAS SELECCIONADAS</u>	21

<u>7.1</u>	<u>Presas seleccionadas</u>	21
<u>7.2</u>	<u>Descripción de los trabajos ejecutados</u>	21
<u>7.3</u>	<u>Conclusiones obtenidas del diseño realizado</u>	21
<u>7.3.1</u>	<u>Valle de Lluta. Presa de Chironta</u>	21
<u>7.3.2</u>	<u>Valle de Azapa. Presa de Livilcar</u>	22
<u>7.3.3</u>	<u>Presas de Tignamar, Caragua, Caillama y Copaquilla</u>	22
<u>7.3.4</u>	<u>Análisis de los volúmenes para riego</u>	22
<u>7.3.5</u>	<u>Caminos de acceso</u>	23
<u>8.</u>	<u>EVALUACIÓN ECONÓMICA</u>	23
<u>8.1</u>	<u>Criterios de Evaluación</u>	23
<u>8.2</u>	<u>Resultados de la evaluación</u>	23
<u>8.2.1</u>	<u>Presa de Chironta (Sitio 4)</u>	24
<u>8.2.1.1</u>	<u>VAN y TIR</u>	24
<u>8.2.1.2</u>	<u>Sensibilización</u>	24
<u>8.2.2</u>	<u>Presa de Livilcar (Sector 6B)</u>	25
<u>8.2.2.1</u>	<u>VAN y TIR</u>	25
<u>8.2.2.2</u>	<u>Sensibilización</u>	25
<u>8.2.3</u>	<u>Comparación entre la presa de Livilcar y las 4 presas de la Zona Alta</u>	26
<u>9.</u>	<u>COSTO FINAL DE LOS EMBALSES</u>	26
<u>9.1</u>	<u>Valle de Lluta</u>	26
<u>9.2</u>	<u>Valle de Azapa</u>	27
<u>10.</u>	<u>ESTUDIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL</u>	27
<u>11.</u>	<u>CONCLUSIONES</u>	29
<u>11.1</u>	<u>Valle de Lluta</u>	29
<u>11.2</u>	<u>Valle de Azapa</u>	30

INFORME FINAL

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE EMBALSES PARA LOS VALLES DE LLUTA Y AZAPA

RESUMEN EJECUTIVO

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Objetivos generales del estudio

Los Servicios considerados en este Estudio corresponden al desarrollo completo de los estudios técnicos y económicos de embalses de regulación para los ríos Lluta y San José, a nivel de factibilidad, incluido un estudio de análisis ambiental para las soluciones seleccionadas.

Estos embalses han sido estudiados como obras de multipropósito, aceptando que ellos tendrían la función de:

- Controlar las crecidas y los sedimentos
- Asegurar y extender el riego en los valles de Lluta y Azapa

Por lo tanto, los objetivos principales de la Consultoría fueron:

- Identificar y cuantificar los daños que producen las crecidas y sedimentos en ambos valles.
- Identificar los mejores sitios de emplazamiento de obras de regulación que permitan mitigar los daños producidos por las crecidas y sedimentos.
- Desarrollar los diseños preliminares de dichas obras y seleccionar a nivel de prefactibilidad aquellas que presenten los mejores índices técnico- económicos.
- Plantear soluciones de proyecto con las obras seleccionadas y caracterizarlas con estudios completos de ingeniería y de agronomía, a nivel de factibilidad.
- Estudiar la operación del sistema control de crecidas-riego y optimizarla.
- Analizar los impactos ambientales de cada una de las soluciones estudiadas y definir las medidas de mitigación y sus costos.
- Evaluar económicamente a precios de mercado las alternativas planteadas y recomendar las más convenientes.

1.2 Área del proyecto

El área de estudio se encuentra localizada geográficamente entre los paralelos 18° 15' y 18° 40' de latitud sur y los meridianos 69° 30' y 70° 25' de longitud oeste, aproximadamente, y corresponde a los valles de los ríos Lluta y San José ubicados en la parte más septentrional del país. El río Lluta desemboca en el mar unos 10 km al norte de la ciudad de Arica y el río San José en la misma ciudad. En el plano 505-03-06-IIHP-PLN-001 se muestra el área del proyecto y se indican las 24 angosturas estudiadas.

2. DESCRIPCIÓN DE LAS FASES Y ETAPAS DEL ESTUDIO

El estudio se realizó en dos fases, Prefactibilidad y Factibilidad, incluyendo cada una de ellas las etapas que se describen a continuación:

Fase I Prefactibilidad

Se estudiaron a nivel de prefactibilidad 10 sitios de presa en la cuenca del río Lluta y 14 sitios de presas en la cuenca del río San José, de las cuales 6 están ubicados en la zona alta del valle. El estudio se dividió en las siguientes etapas:

Etapa 1: Revisión de los antecedentes existentes. En esta etapa se realizaron las primeras visitas a terreno, lo que permitió efectuar un diagnóstico preliminar de las angosturas indicadas en los Términos de Referencia y de otras propuestas por el Consultor.

Etapa 2: Se identificaron y evaluaron todos los sitios de embalse definidos en la Etapa 1, utilizando los antecedentes existentes y la información recogida en terreno por todos los especialistas.

Etapa 2.1: Esta etapa corresponde a la confección del Informe del Estudio de Prefactibilidad. Este informe recomienda continuar estudiando los embalses de Lluta 3 y Lluta 4 en el valle de Lluta, ambos denominados Chironta, y los embalses de Livilcar, Tignamar, Caragua, Caillama y Copaquilla en el valle de Azapa.

Fase II Factibilidad

Etapa 3: Se efectuaron estudios en el terreno consistentes en estudios topográficos y geofísicos y se ejecutaron sondajes, pozos y calicatas.

Etapa 4: Se realizaron los estudios básicos de: hidrología, geología, riesgo sísmico y geotecnia. Los estudios de geología y geotecnia utilizaron como base los estudios de geosísmica y las prospecciones y ensayos realizados.

Etapa 5: Se determinó la situación actual del riego, para lo cual se efectuó un reconocimiento de los derechos de agua, de las organizaciones de usuarios y de la infraestructura de riego existente, a través de una encuesta agropecuaria específica. La encuesta determinó el uso actual del suelo, las demandas actuales de agua para uso agrícola y para otros usos y facilitó el estudio de sectorización del área agrícola del proyecto.

Etapa 6: Se efectuó un estudio detallado de suelos y se determinaron los distritos agroclimáticos. Con los antecedentes de la encuesta se definieron las áreas de influencia del proyecto y la estructura de la propiedad agrícola. Se efectuó también el estudio de mercado, comercialización y precios. Por último, se definieron los predios tipos, lo que permitió definir la situación agropecuaria actual y los resultados económicos de la agricultura actual.

Etapa 7: Se determinó la proyección de la situación actual sin proyecto para un horizonte de 30 años. Luego se determinó la situación agrícola futura y se analizó la calidad del agua de riego. Se realizó un modelo de simulación del riego con el que se pudo determinar las

demandas futuras de agua al embalse de riego. Por último, se analizaron la puesta en riego y los programas de asistencia técnica y capacitación.

Etapa 8: Se evaluaron los daños provocados por las crecidas aluvionales en ambos valles, para diferentes períodos de retorno, y se determinó la relación niveles de inundación- caudales de crecidas. Finalmente, se valorizaron los daños actuales y futuros que serían provocados en ambos valles por distintas crecidas, partiendo por las crecidas históricas y luego extrapolando los daños para las crecidas de períodos de retorno de 300 y 500 años.

Etapa 9: Se ejecutaron los diseños preliminares de los embalses seleccionados en la Fase I Prefactibilidad y se determinaron sus características y costos a través del banco de datos de costos de Ingedesa. En el caso del embalse Livilcar se analizaron 3 tipos de presas y 2 tipos de vertederos, para asegurar la solución técnica y económicamente más favorable. Se estudió además la conveniencia de implementar las Obras de Traslase desde el río Laco al embalse Caillama.

Para cada uno de los embalses proyectados se determinaron los presupuestos de sus obras y sus respectivos programas de construcción.

Etapa 10: Se realizó la evaluación económica y se recomendó el tamaño de los proyectos. Se utilizaron los beneficios agrícolas y sus flujos, los beneficios de daños evitados y sus flujos y los flujos de los costos por la construcción de las obras de los embalses. Luego se efectuaron análisis de sensibilidad de diferentes parámetros tales como: costo de las obras, ingresos agrícolas y variación de los daños evitados.

Etapa 11: Se realizó el Informe Final del Estudio, el que incluye el diseño final de factibilidad de los dos proyectos recomendados, la presa de Chironta en el río Lluta y la presa de Livilcar en el río San José.

3. ESTUDIOS DE TERRENO

Para realizar los diseños de las presas seleccionadas se ejecutaron los siguientes estudios de terreno:

3.1 Estudio topográfico

Se realizó el apoyo terrestre y el pinchado de los fotogramas para la confección de 3.222 ha de planos aerofotogramétricos a escala 1:5.000, correspondientes a las zonas de inundación de los embalses de Tignamar, Caragua, Caillama y Copaquilla. La vinculación de los puntos de apoyo se hizo a través de nivelaciones geométricas, las que quedaron materializadas mediante monolitos en cada sector en que se hicieron los levantamientos. Se efectuaron levantamientos de perfiles, tanto longitudinales como transversales, para efectuar la revisión de los planos a escala 1:5.000 entregados por la D.O.H. Además, se hicieron 210 ha de levantamientos taquimétricos a escala 1:500 en las zonas de las presas.

3.2 Estudios geofísicos

El estudio consistió en la ejecución de perfiles sísmicos mediante la técnica de sismica de refracción, orientados a establecer los espesores de sobrecarga y una estratigrafía basada en la velocidad de propagación de la onda sísmica compresional en las rocas de las áreas estudiadas.

La cantidad y longitud de los perfiles sísmicos realizados se muestra en la siguiente tabla:

Valle	Sector	N° Perfiles	Longitud (m)
Lluta	1	6	1.458
	3	7	1.690
	4	8	1.610
	Subtotal Lluta	21	4.758
Azapa	1	6	1.114
	2	6	1.102
	6A-6B	12	2.434
	Subtotal Azapa	24	4.650
Total		45	9.408

3.3 Sondajes

Con el fin de precisar mejor la estratigrafía del subsuelo y su permeabilidad, se ejecutaron los 13 sondajes que se indican a continuación:

Valle	Sector	N° Sondajes	Longitud (m)	Lefranc (n°)	Lugeon (n°)
Lluta	3	2	110,5	7	5
	4	2	73,7	4	1
	Subtotal	4	184,2	11	6
Azapa	1	2	182,9	23	3
	2	2	205,9	27	2
	Tignamar	2	115,0	0	19
	Caragua	2	115,0	0	12
	Caillama	1	55,0	0	9
	Subtotal	9	673,8	50	45
Total		13	858,0	61	51

3.4 Pozos y calicatas

El estudio de yacimientos de materiales para rellenos de presa y áridos para hormigones se basó en exploraciones mediante pozos y calicatas.

Los suelos aluviales existentes en el río Lluta en la zona de los emplazamientos denominados Chironta (Lluta 3 y Lluta 4) fueron prospectados con 10 calicatas. Los rellenos de los ríos formativos del río San José fueron explorados en dos sectores, Tignamar y Caragua, con 10 calicatas en cada uno.

Todos los pozos fueron descritos estratigráficamente y en algunos de ellos se realizó granulometría integral gigante, complementada con ensayos de mecánica de suelos.

4. ESTUDIOS BÁSICOS

Los Estudios Básicos desarrollados para la ejecución del proyecto de factibilidad estuvieron destinados a levantar las principales incógnitas del proyecto, vale decir, conocer las características del recurso hídrico de cada solución. Para ello se efectuó un completo estudio hidrológico de todas las cuencas afluentes a cada presa. Para definir la seguridad de las obras se realizó un estudio de riesgo sísmico y un estudio geológico, y para conocer los materiales para las presas se efectuó un estudio geotécnico. A continuación se describe brevemente cada uno de ellos:

4.1 Estudio hidrológico

Se determinaron los recursos hídricos de las cuencas de los ríos Lluta y Azapa en los inicios de las respectivas zonas de riego. Estos recursos fueron obtenidos con las estaciones Río Lluta en Tocontasi (LLT) y San José antes Bocatoma Canal Azapa (SJABA). Los caudales medios mensuales y anual, en m^3/s , se indican en la tabla siguiente:

Sección	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Anual
LLT	1,32	1,28	1,38	3,14	5,85	4,99	1,87	1,72	1,79	1,92	1,72	1,59	2,38
SJABA	0,74	0,78	0,75	1,79	2,57	1,94	1,04	0,96	1,11	0,89	0,82	0,72	1,18

Por otra parte, utilizando el Hidrograma Unitario Sintético se obtuvieron los caudales máximos instantáneos (m^3/s) con distintos períodos de retorno para las secciones en que se ubicarían las presas estudiadas. En la tabla siguiente se entregan estos caudales, indicando la presa que corresponde a cada estudio.

Caudales Máximos Instantáneos (m³/s)

Estación	Período de Retorno Tr (años)					
	5	10	50	100	200	1000
Río Lluta bajo Socoroma (Chironta)	50	80	309	496	700	1.336
Río San José en zona de presas (Livilcar)	35	58	195	289	462	913
Río Tignamar en zona de presa (Tignamar)	18	31	102	183	290	563
Río Seco en Zona de presa (Copaquilla)	4	6	20	38	67	142
Qda. Caillama en zona de presa (Caillama)	3	4	14	27	43	85
Qda. Belén en Caragua (Caragua)	5	9	29	55	90	176

Para estas mismas estaciones, se determinó el volumen de las crecidas para períodos de retorno de 200 y 1.000 años, los que se muestran en la siguiente tabla:

Volúmenes de Crecidas (millones de m³)

Estación	Período de Retorno Tr (años)	
	200	1.000
Río Lluta bajo Socoroma	28,4	49,8
Río San José en zona de presas	15,5	26,8
Río Tignamar en zona de presa	10,1	15,1
Río Seco en Zona de presa	4,7	6,0
Qda. Caillama en zona de presa	4,0	4,7
Qda. Belén en Caragua	5,0	6,4

Finalmente, se determinaron los volúmenes de sedimentación en la zona de los embalses. Para ello se consideraron tres hipótesis distintas que se especifican en el estudio y que corresponden a una visión optimista, media y pesimista del arrastre potencial de los ríos. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

Volúmenes Promedios Anuales de los Sedimentos Totales Afluentes a los Embalses (m³)

Estación	Hipótesis 1	Hipótesis 2	Hipótesis 3
Río Lluta bajo Socoroma	135.501	375.851	512.407
Río San José en zona de presas	79.842	206.368	275.347
Río Tignamar en zona de presa	52.121	134.715	179.744
Río Seco en zona de presa	24.213	62.582	83.500
Qda. Caillama en zona de presa	20.763	53.665	71.603
Qda. Belén en Caragua	25.685	66.389	88.580

4.2 Estudio geológico

Este estudio fue realizado en dos etapas: la primera para la Fase I (Prefactibilidad) y la segunda para la Fase II (Factibilidad).

El estudio de la Fase I comprendió 24 emplazamientos de presas, 10 ubicados en la cuenca del río Lluta y 14 ubicados en la cuenca del río San José. Para ello se examinaron las fotografías

aéreas a escala 1:8.000 del levantamiento aerofotogramétrico y se efectuaron dos visitas a terreno, junto con la investigación de las referencias bibliográficas disponibles.

Para cada emplazamiento se hizo un análisis fotogeológico indicando las características geotécnicas de cada angostura. La información geológica obtenida a partir de este análisis permitió confeccionar un perfil geológico de cada zona de presa y un esquema en planta indicando las principales estructuras geológicas de cada lugar estudiado.

Con estos antecedentes, se hizo una calificación fotogeológica de todos los sectores analizados que permitió elegir las mejores zonas de emplazamiento de las presas de cada valle, a nivel de prefactibilidad. Estos estudios geológicos primarios tuvieron un papel preponderante en la selección de las mejores angosturas de cada valle.

Para la ejecución del estudio geológico de la Fase II se contó con nuevos antecedentes de terreno. Se visitó nuevamente las angosturas seleccionadas y se hicieron prospecciones en todas ellas. Se ejecutaron perfiles geofísicos, sondajes y pozos.

Las angosturas de los Sectores 3 y 4 del valle del río Lluta resultaron las más favorables para construir embalses porque tienen un macizo rocoso homogéneo en ambos estribos y el valle se ensancha hacia aguas arriba, lo que permite mejorar su capacidad de almacenamiento. En el caso de la angostura del Sector 3, existe una incógnita en su ladera derecha que podría corresponder a un posible paleovalle. Como resultado de los estudios realizados, la angostura geológicamente más favorable es la de Chironta, correspondiente al Sector 4.

Las angosturas de los Sectores 1 y 2 del valle del río Azapa están labradas en conglomerados, con sedimentos no consolidados en sus riberas. Sólo se encontró sedimentos consolidados en la ribera izquierda de la angostura 1. Las permeabilidades medidas en los sondajes realizados indican que ellas no presentan hermeticidad cierta para un embalse que almacene agua. Por esta razón se descartaron estas presas.

La angostura del Sector Livilcar presenta una variedad de rocas geológicamente favorables para la construcción de una presa de embalse. Por ser muy estrecha, esta angostura permite implantar una presa de volumen reducido. El valle se ensancha moderadamente hacia aguas arriba incrementando el volumen del vaso.

Las angosturas de los Sectores Tignamar, Caragua, Caillama y Copaquilla son estrechas y cuentan con rocas competentes en ambas laderas. Los depósitos fluviales existentes en cada angostura son de poco espesor. Aguas arriba de ellas el valle se ensancha con lo que se obtiene un buen vaso para almacenar agua y contener las crecidas.

4.3 Estudio de riesgo sísmico

El estudio realizado permite aseverar que la sismicidad de la zona, en cuanto a tamaño de los terremotos, es menor que la sismicidad de la zona central de Chile. Son escasos los sismos de magnitud superior a 7 en la escala de Richter, siendo de 5 la magnitud media de los eventos ocurridos.

Dada la proximidad de los sectores seleccionados, las aceleraciones máximas esperadas difieren poco, por lo que se recomienda tomar una aceleración máxima única para todos ellos.-

4.4 Estudio geotécnico

Las conclusiones del Estudio Geotécnico fueron las siguientes:

4.4.1 Valle de Lluta

Impermeabilizar el valle bajo la presa ubicada en el sitio 3 de Lluta resultaría difícil y oneroso. Además, la presa podría quedar parcialmente apoyada sobre un cono de deyección de una quebrada activa en la ladera izquierda. Por lo tanto, se recomienda postergar este sitio con respecto al sitio 4.

En el sitio Lluta 4, la presa más apropiada sería una de gravas compactadas con pantalla de hormigón (CFGD–Concrete Faced Gravel Dam), complementada con una pared moldeada para impermeabilizar los suelos aluviales presentes en la fundación.

El yacimiento estudiado para ambas presas es apto para obtener los materiales típicos de relleno de una presa del tipo señalado.

4.4.2 Valle de Azapa

Impermeabilizar la fundación de la presa en el sitio Azapa 1 resultaría muy oneroso. Además, los estribos muestran estratos de suelos finos que no son aptos para fundar una presa. Por lo anterior, se ha descartado este sitio.

También se ha descartado como solución una presa construida en el sitio Azapa 2 debido a la dificultad que representaría impermeabilizar los estribos y el valle de fondo.

Los sitios de Livilcar (Azapa 6A y Azapa 6B) presentan condiciones favorables para implantar una presa tipo CFRD. Se eligió el Sitio 6B porque permite implantar la presa sin que el embalse inunde el pueblo de Livilcar.

Los sitios de Tignamar, Caragua y Caillama presentan roca cercana a la superficie en el fondo del valle y en ambas laderas, por lo que resultan técnicamente factibles para implantar presas de hormigón rodillado.

El sitio de Copaquilla corresponde a una garganta muy angosta en la que también es factible implantar una presa de hormigón rodillado, con costos algo mayores que en los otros sitios, dados los tratamientos que habrá que efectuar a la roca en laderas y fondo del valle.

5. ESTUDIOS AGROECONÓMICOS

5.1 Generalidades

La metodología utilizada tradicionalmente para los estudios agroeconómicos de los proyectos de factibilidad en riego, debió ser modificada y adaptada en el presente estudio debido a las diferentes condiciones naturales y tecnológicas de la agricultura de los valles de Lluta y Azapa, que la diferencian de las agriculturas de la zona centro-norte y sur del país.

Debido al clima y a las condiciones del mercado, los cultivos se siembran en diferentes proporciones todos los meses y se comercializan durante todo el año, de tal modo que los productos obtienen precios muy diferentes según la época del año en que se venden. El agua disponible para riego siempre es mayor entre Enero y Agosto, lo que permite cultivar la mayor proporción de la tierra en ese período y cosechar en invierno. Para Azapa, es la época para la producción de hortalizas para “Embarque”, es decir, para ser enviadas a Santiago donde obtienen los mejores precios. Por las razones mencionadas, en el uso de la tierra se debió considerar como cultivos diferentes a los que, siendo de la misma especie, tienen diferentes fechas de siembra y cosecha.

Las superficies cultivadas y los rendimientos de cada año son variables, ya que están en función de las variaciones en la disponibilidad de agua de riego. Ello también tiene alguna influencia en los precios de los productos. Por esta razón, mediante una encuesta, se determinó la situación actual de la agricultura para años hidrológicos “normal” y “seco” teniendo como base el uso de la tierra, los rendimientos y los precios para los años agrícolas más recientes de esas características, como son 2002 y 1996, respectivamente.

Por último, los sistemas de siembras, que se realizan manualmente, las dosis de semilla, las distancias y densidad de siembra, la fertilización, el control de maleza, la cosecha y el riego de los cultivos de ambos valles, difieren significativamente de lo que se conoce en el resto del país. En consecuencia, no pueden aplicarse a estos cultivos normas o estándares típicos de la zona central. Los parámetros de los cultivos se obtuvieron en terreno durante la ejecución de la encuesta agropecuaria y ellos se utilizaron para elaborar las fichas técnicas o Estándares de Producción Unitarios de cada cultivo para este proyecto.

5.1.1 Características agroclimáticas

Las condiciones agro climáticas representan la principal fortaleza de la agricultura de los valles de Lluta y Azapa. En las áreas del estudio se encuentran dos zonas Agroclimáticas, el “Agroclima Arica” en el tramo occidental del valle de Lluta y en la totalidad del valle de Azapa y el “Agroclima Poconchile”, en el tramo oriental y más alto del valle de Lluta. Ambos agroclimas permiten una amplia gama de cultivos hortícolas y de frutales, especialmente sub tropicales. Sólo quedan excluidos los frutales con alto requerimiento de frío invernal. Sin embargo, la salinidad de los suelos y del agua ha impedido hasta hoy la plantación de dichos frutales en el valle.

Básicamente, la principal diferencia práctica entre ambos agroclimas es la temperatura media en los meses invernales, lo que permite en el agroclima Arica el cultivo durante todo el año de

hortalizas típicas de primavera-verano. En el agroclima Poconchile en cambio, el tipo de hortalizas mencionadas sólo pueden sembrarse entre agosto y enero.

5.2 Valle de Lluta

5.2.1 Área del proyecto

La envolvente que incluye la totalidad del valle de Lluta abarca una superficie total de 4.869 ha, de las cuales, la superficie agrícola representa el 52,1%, vale decir, 2.357 ha. De esta superficie agrícola sólo 1.747 ha son cultivables en la actualidad. La superficie restante corresponde a las superficies indirectamente productivas y a las con limitaciones serias de drenaje y de otro tipo. Para el análisis de la agricultura, el área del proyecto se dividió en 3 sectores:

- Sector 1 o Alto, que se ubica desde el inicio del área agrícola hasta el puente ferroviario donde el tren de Arica a La Paz cruza el río Lluta hacia su ribera derecha.
- Sector 2 o Medio, desde el puente señalado hasta el Puente Chacabuco, donde la carretera cruza el río Lluta hacia la ribera norte.
- Sector 3 o Bajo, que incluye el resto del valle hasta el mar.

5.2.2 Situación de la agricultura

5.2.2.1 Estructura de la propiedad agrícola de Lluta

Se caracteriza por el amplio predominio de las propiedades pequeñas y medianas. La superficie de los predios del valle de Lluta, por estrato de tamaño, se presenta en el Cuadro 5.2-1.

Cuadro 5.2-1
Estructura de la Propiedad Agrícola del valle de Lluta

Estratos	Rangos	N° Predios	%	Superficie Cultivable	%	Tamaño Promedio
		Totales	Predios	(ha)	Superficie	(ha)
1	0 – 0,9	124	25,5	52,6	3,0	0,4
2	1,0 - 7,0	288	59,1	771,8	44,2	2,7
3	7,1 - 20,0	71	14,6	817,5	46,8	11,5
4	+20,1	4	0,8	105,0	6,0	26,3
Total		487	100,0	1.746,9	100,0	3,6

La propiedad es mayoritariamente de tipo familiar y se maneja con el uso intensivo de mano de obra aportado sólo por los componentes de la familia y, eventualmente, con trabajadores contratados.

5.2.2.2 Uso actual y futuro de la tierra

En los últimos 10 años se ha producido un proceso de intensificación en el uso de la tierra mediante el reemplazo de parte del maíz y de la alfalfa, por variedades de cebollas con 3 temporadas de cosecha y ajos rosados que, incluso, se están exportando a México.

En la actualidad la salinidad de los suelos y del agua de riego determina que sólo unos pocos cultivos puedan desarrollarse en Lluta. Estos son el “maíz Lluteño”, los ajos, algunas variedades

de cebollas, la alfalfa, betarragas y algunas hortalizas menores. Sin embargo, por las bondades del clima estos cultivos pueden sembrarse en cualquier época del año e incluso es posible realizar un segundo cultivo en el mismo terreno (con excepción del Sector Alto, o Sector 1).

En la situación futura, con embalse, no se puede esperar cambios significativos en la calidad del agua de riego, por lo que este escenario se proyectó con los mismos cultivos actuales. Aunque existe la posibilidad futura de la introducción a nivel comercial de 2 nuevos cultivos, la palma datilera y los espárragos, ellos no fueron considerados en este proyecto por cuanto no se cuenta con datos suficientes sobre su comportamiento que permita establecer parámetros confiables de rendimientos, costos, mercados, etc. En cualquier caso, son opciones abiertas que debieran analizarse primero, en forma experimental.

La construcción de un embalse de regulación de la cuenca permitirá el riego con 85% de seguridad para la superficie máxima cultivable en la actualidad. Esto también significa que se podrán seguir incrementando los cultivos de mayor rentabilidad como son el ajo y la cebolla en desmedro del maíz para choclos y de la alfalfa. Al no haber disminución en la disponibilidad de agua entre septiembre y diciembre, se podrá aumentar la proporción de suelos con “segundos cultivos”.

En el Cuadro 5.2-2 se muestra el uso actual y el proyectado como uso futuro de la tierra. El uso actual de la tierra se muestra para un “año normal” y para un “año seco”, mientras que el uso futuro se presenta para dos opciones de volumen de embalse. Los principales cambios que se esperan con la regulación de la cuenca, además del incremento de la seguridad de riego al 85%, es el incremento de los rendimientos de los cultivos y de la superficie cultivada hasta llegar al máximo potencial del valle. Además, se espera un aumento de los dobles cultivos hortícolas y la intensificación del uso de la tierra con el incremento de hortalizas más rentables como cebollas y ajos en reemplazo del maíz para choclos y la alfalfa.

Cuadro 5.2-2
Uso de la Tierra en Situación Actual y en Situación Futura (ha)

Cultivos	Situación actual		Situación futura	
	Año Normal	Año Seco	Situación con Emb.de 5.6 Hm ³	Situación con Emb.de 10.5 Hm ³
Maíz Choclo	1.156,6	722,0	969,5	1.362,2
Ajos Rosados	144,8	141,6	457,9	643,3
Cebollas	324,3	230,6	943,8	1.326,1
Otras Hort	100,4	76,4	118,8	166,9
Alfalfa	269,2	269,2	214,6	301,5
Sup. Riego Real (*)	1.995,3	1.439,8	2.704,6	3.800,0
Sup. Riego Física	1.538,5	1.310,4	1.691,8	2.235,0
Sin Cultivos	158,9	387,0	543,2	0
Total Sup. Regada	1.697,4	1.697,4	2.235,0	2.235,0

(*) Esta superficie incluye dobles cultivos

La evaluación económica determinó que el volumen óptimo del embalse sería de 17 Hm³, de los cuales 10,5 Hm³ serían de uso exclusivo para riego. Este volumen permite asegurar, con 85% de seguridad, el cultivo de 2.235 ha físicas, lo que equivale a 3.800 ha reales, al incluir dobles cultivos.

5.2.2.3 Rendimientos actuales y futuros de los cultivos

Las principales variedades de las especies cultivadas en Lluta, por la salinidad del agua y del suelo, son locales o adaptadas a estas condiciones extremas de salinidad. Sin embargo, esto también significa que los rendimientos obtenidos, v.g., por el maíz Lluteño, es bastante menor a los que se obtienen con maíces híbridos de alta selección genética en el resto del país. La principal variedad de cebolla es la “Tarapaqueña”, originaria de Camiña, muy resistente a las sales y al boro, pero de bajo rendimiento relativo.

Los rendimientos de los cultivos de Lluta presentan diferencias marcadas entre los rendimientos en “años normales”, donde no existe déficit de agua entre enero y agosto y los “años secos”, donde el déficit es durante toda la temporada.

Los rendimientos proyectados para la Situación Futura o “Con Proyecto” de los cultivos reflejan el efecto directo del mejoramiento de la disponibilidad de agua. Los rendimientos actuales serán incrementados al disponer de mayores recursos hídricos derivados de la regulación de la cuenca por el embalse. Adicionalmente, se tendrá un aumento de los rendimientos por el incremento tecnológico, que origina la mayor seguridad de riego.

Como en “año normal” los cultivos casi no sufren estrés hídrico, el incremento de los rendimientos para la situación con proyecto, se deberá sólo al efecto tecnológico y, por ende, los aumentos serán moderados. En situación futura, prácticamente, no habrán años con déficit de agua por lo que todos los rendimientos futuros serán moderadamente superiores a los de un “año normal”. Por el contrario, el efecto de la regulación de la cuenca significará un incremento significativo de los rendimientos futuros con respecto a los obtenidos en años secos.

En el Cuadro 5.2-3 se muestran los rendimientos futuros y su comparación con los actuales en un “año normal” y en un “año seco”.

**Cuadro 5.2-3
Rendimientos de la Sit. Futura y Comparación con los de la Sit. Actual**

Cultivos	Unidad	Rendimiento Futuros	Rendimientos Actuales	
		Promedio con Proyecto	"Año Seco"	"Año Normal"
Maíz Choclo	Unidad	22.500	9.500	17.000
Maíz Choclo	Unidad	24.000	10.000	18.000
Cebollas Inv	Kg	45.500	20.000	30.000
Cebollas Prim 1	Kg	45.500	25.000	30.000
Cebollas Ver	Kg	45.500	28.000	30.000
Ajos Hera	Kg	8.400	5.000	7.000
Ajos	Cuelgas	1.700	800	1.500
Betarragas	Paquetes	12.500	7.000	12.000

5.2.2.4 Flujo de márgenes netos agrícolas en la situación actual y futura

Los resultados económicos actuales de la agricultura de Lluta varían anualmente en función de la disponibilidad de agua para riego.

El margen anual neto actual, a precios de mercado, varía entre un máximo de 1.213 millones de pesos y un mínimo de 471 millones de pesos, ambos expresados en moneda de enero de 2003. En un “año normal”, el margen neto anual es del orden de 1.110 millones de pesos. El margen neto promedio de 30 años analizados es de 870 millones de pesos.

El modelo de desarrollo agrícola propuesto para la situación futura en las 1.700 ha físicas actuales, las que se transforman en 2.700 ha al considerar los dobles cultivos, requiere de un embalse del orden de los 5,6 millones de m³ de capacidad. En las condiciones señaladas el margen neto futuro anual, estabilizado, sería del orden de los 2.707 millones de pesos, lo que comparado con el margen neto promedio actual de 870 millones de pesos, significa un incremento de los márgenes netos equivalente a 3 veces el promedio actual.

Para el caso de un volumen embalsado para riego de 10,5 Hm³, el futuro margen neto anual, estabilizado, será del orden de 3.565 millones de pesos lo que, comparado con el margen neto promedio actual, significa un incremento de, prácticamente, 4 veces.

En el Cuadro 5.2-4 se muestran los futuros márgenes netos agrícolas para ambos volúmenes de embalse para riego y su comparación con los obtenidos en la actualidad.

**Cuadro 5.2-4
Márgenes Netos Agrícolas del Valle de Lluta (millones de \$ de Enero 2003)**

Situación Actual	Año Normal	1.110
	Años Seco	471
	Promedio Actual	870
Situación Futura	Prom.anual si Vol=5.6 Hm ³	2.707

Situación Futura	Prom.anual si Vol=10.5 Hm ³	3.565
------------------	--	-------

Se ha considerado que para la obtención de los márgenes netos futuros se requiere de inversiones en riego tecnificado para toda la superficie adicional que se siembre con ajos y para el 50% de la que se dedique a cebolla. En cuanto a asistencia técnica y capacitación, sólo se incluyen costos por este concepto para atender a los agricultores menores de 7 ha. Los predios mayores contratan la asistencia técnica con recursos propios.

5.3 Valle de Azapa

5.3.1 Área del proyecto

La envolvente que incluye la totalidad del valle de Azapa abarca una superficie de 4.669 ha, de las cuales, la superficie agrícola representa el 84%, vale decir, 3.927 ha. De esta superficie agrícola sólo 3.562 ha son cultivables en la actualidad. La superficie restante corresponde a las superficies indirectamente productivas y a las con limitaciones para el cultivo.

5.3.2 Situación de la agricultura

La situación actual se definió mediante encuestas al 20% de los 636 predios mayores de 0,5 ha. Se realizaron 127 encuestas en 3 sectores en que se dividió en valle, a saber:

- Sector 1, ocupa la parte superior del valle hasta la Quebrada del Diablo.
- Sector 2, incluye las terrazas altas desde la Quebrada del Diablo hasta llegar a Arica.
- Sector 3, ocupa las terrazas bajas del mismo tramo del sector 2.

En el sector 3 se incluyeron los suelos antrópicos o creados por el hombre.

5.3.2.1 Estructura de la propiedad agrícola de Azapa

La propiedad agrícola de este valle se caracteriza por el predominio de las propiedades pequeñas y medianas. La superficie de los predios del valle de Azapa, por estrato de tamaño, se presenta en el Cuadro 5.3-1.

**Cuadro 5.3-1
Estructura de la Propiedad Agrícola del valle de Azapa**

Estratos	Rangos	Nº Predios	%	Superficie	%	Tamaño Promedio
		Totales	Predios	(ha)	Superficie	(ha)
1^a	0 - 0.5	348	35,5	96,2	2,7	0,3
1b	0,51 - 0.9	87	8,8	63,5	1,8	0,7
2	1,0 - 3,0	184	18,7	358,0	10,0	1,9
3	3,1 - 10,0	318	32,3	1.943,3	54,5	6,1
4	10,1-20,0	27	2,7	401,2	11,3	14,9
5	+20,1	20	2,0	700	19,7	35,0
Total		984	100,0	3.562,2	100,0	3,6

En Azapa los predios menores de 3 ha son explotaciones de tipo familiar, con uso intensivo de mano de obra, aportada por los componentes familiares, con alta productividad. Los predios medianos y grandes, tienen un alto grado de especialización. Son los principales productores y procesadores de aceitunas y tomate para “embarque”, que abastecen al país en invierno y primavera. Son líderes en innovaciones productivas como cultivos hidropónicos, introducción de nuevas variedades hortícolas, etc.

5.3.2.2 Uso actual y futuro de la tierra

Las especies de mayor extensión espacial son el olivo y el tomate. La superficie con cultivos hortícolas es variable de año en año, la que se va ajustando a las características hidrológicas del período anual. La seguridad de riego actual, para la superficie de 3.560 ha es del orden del 50%. El agua disponible actual sólo permitiría regar 1.780 ha con 85% de seguridad.

Los agricultores aprovechan muy bien las ventajas comparativas de Azapa. Sus condiciones climáticas permiten cultivos en contraestación con la zona central del país. Los factores que limitan su desarrollo son la escasa disponibilidad de agua, la baja seguridad de riego, las variables condiciones del mercado interno y la competencia externa (Perú). Para los productos frutícolas, existe además otro factor adicional, la presencia de la mosca de la fruta.

La agricultura de Azapa es la más moderna y tecnificada del país, todo el riego se realiza con sistemas modernos de goteo, con “cintas de riego” y se aplican sólo fertilizantes solubles, mediante fertirrigación. Sin embargo, por ser más rentables los cultivos hortícolas que el de los olivos, la mayoría de los productores está prefiriendo, cada año, cultivar el máximo de superficie con hortalizas que permita la disponibilidad de agua. Con ello maximizan los ingresos por cada m³ de agua de riego utilizado.

De acuerdo a los resultados del modelo de simulación operativo de los embalses, la superficie de riego futuro, con 85% de seguridad, aumentaría con respecto a la situación actual en sólo 174 ha (9.8 %).

Las superficies regadas con 50%, por acción del embalse, se incrementarán en 951 ha. Este aumento del área regada se producirá sólo en 15 años de los 30 años considerados. En otros

11 años las superficies adicionales serán menores, en proporción a la menor disponibilidad de agua.

Debido a la alta rentabilidad de los cultivos hortícolas por sobre los olivos, el proyecto ha considerado para la situación "Con Proyecto", que las áreas adicionales futuras con respecto a la situación actual, cualquiera que sea su seguridad, se utilizarán con cultivos hortícolas, con las mismas especies actuales y con igual distribución proporcional que en la actualidad, pues esta distribución refleja las prioridades aceptadas por los agricultores del valle de Azapa y maximiza los ingresos en función de los m³ de agua disponibles.

Cuadro 5.3-2

Superficies de Riego en el Valle de Azapa en situación Actual y Futura con 50 y 85% de seguridad

Embalse:	1 millón m3	Recarga Estacional Máxima	5 m3/s
	Superficie Actual	Total Superficie Futura	Incremento
	(ha)	(ha)	(ha)
Con 85% Seg.	1.787,0	1.953,9	166,9
Con 50% Seg	3.450,0	4.401,4	951,4

Embalse:	3 millones m3	Recarga Estacional Máxima	5 m3/s
	Superficie Actual	Total Superficie Futura	Incremento
	(ha)	(ha)	(ha)
Con 85% Seg.	1.787,0	1.953,9	166,9
Con 50% Seg	3.450,0	4.401,4	951,4

Embalse:	5 millones m3	Recarga Estacional Máxima	5 m3/s
	Superficie Actual	Total Superficie Futura	Incremento
	(ha)	(ha)	(ha)
Con 85% Seg.	1.787,0	1.983,1	196,1
Con 50% Seg	3.450,0	4.401,4	951,4

Embalse:	7 millones m3	Recarga Estacional Máxima	5 m3/s
	Superficie Actual (ha)	Total Superficie Futura (ha)	Incremento (ha)
Con 85% Seg.	1.787,0	2.020,5	233,5
Con 50% Seg	3.450,0	4.401,4	951,4

5.3.2.3 Rendimientos actuales y futuros de los cultivos

Las principales especies cultivadas en Azapa, además del olivo y el tomate, son los porotos verdes, el zapallo italiano y maíz dulce, morrón, lechuga, etc.

Los rendimientos de los cultivos de Azapa son elevados por la excelente tecnología usada en los cultivos y por el riego eficiente implementado. Sin embargo, existen diferencias significativas entre los rendimientos de los “años normales” y el de los “años secos”.

Los rendimientos futuros de los cultivos se incrementarán por el efecto de la regulación del cauce por un embalse que permitirá la recarga del acuífero y por el mejoramiento tecnológico que originará la implementación del proyecto. Con el aporte anual de agua al acuífero y acumulación superficial por el embalse, se eliminarán los déficit extremos de los “años secos”, por lo que los rendimientos futuros corresponderán a los de un “año normal” actual, más un pequeño incremento por mejoramiento tecnológico. En el Cuadro 5.3-3 se muestran los rendimientos futuros y su comparación con los de un “año normal” y los de un “año seco”, actual.

**Cuadro 5.3-3
Rendimientos de la Sit. Futura y Comparación con los de la Sit. Actual**

Cultivos	Unidad	Rendimiento Futuros	Rendimientos Actuales	
		Promedio con Proyecto	"Año Seco"	"Año Normal"
Olivos Pequeños prod.	Ton	9,0	1,6	3
Olivos Grandes prod.	Ton	12,0	4,0	9
Tomates	Ton	132,0	100,0	120
Porotos verdes	Kg	5.000,0	3.000,0	4000
Zapallo Italiano	Ton	41,6	20,6	30
Morrones	Ton	56,0	26,0	31
Maíz Híbrido Inv	Miles Uni	54,0	28,5	40
Maíz Híbrido Ver	Miles Uni	54,0	16,0	40
Lechugas	Miles Uni	100,0	55,0	100

5.3.2.4 Flujo de márgenes netos agrícolas en la situación actual y futura

Por las fluctuaciones anuales de los recursos de agua, el flujo de márgenes netos agrícolas actuales es variable durante los 30 años analizados.

El margen neto anual, a precios de mercado, varía entre un máximo de 11.803,7 millones de pesos en un año húmedo y un mínimo de 3.348,2 millones de pesos en un año muy seco, ambos en moneda de enero del 2003. El ingreso agrícola anual promedio de los 30 años del horizonte del proyecto es de 8.484,2 millones de pesos.

Como la superficie de los cultivos de la situación futura implica habilitar una superficie adicional de 951 ha, se estimó que ello requeriría al menos de un lapso de 3 años. En este tiempo, se deben realizar las inversiones para la construcción de nuevos suelos antrópicos y las instalaciones de sistemas de riego por goteo.

Por la seguridad en el abastecimiento de agua, los flujos futuros de márgenes netos anuales no serán constantes durante el horizonte del proyecto.

El margen neto futuro anual máximo, será del orden de 15,7 mil millones de pesos, mientras el mínimo llegará a 3,3 mil millones de pesos. El promedio del margen neto anual de Azapa durante el horizonte del proyecto será de 11,1 mil millones de pesos, lo que comparado con el promedio actual de 8,5 mil millones de pesos, significa un incremento del orden del 31 %.

El incremento en los márgenes netos agrícolas de Azapa entre la Situación Actual y la Situación Futura resulta ser moderado si se compara con el incremento de los márgenes netos del valle de Lluta. Esto se debe, por una parte, al alto nivel actual del valle en tecnología y rentabilidad y, por otro, al bajo impacto que produciría un embalse, por lo exiguo de los recursos hídricos disponibles para regular. En el cuadro 5.3-4 se indican los márgenes netos agrícolas del valle de Azapa.

Cuadro 5.3-4
Márgenes Netos del Valle de Azapa.
(en mil millones de \$ de Enero 2003)

Situación Actual	Máximo	11,8
	Mínimo	3,3
	Promedio	8,5
Situación Futura	Máximo	15,7
	Mínimo	3,3
	Promedio	11,1

6. EVALUACIÓN DE DAÑOS PROVOCADOS POR CRECIDAS ALUVIONALES

La valorización de daños por crecidas aluvionales tuvo por finalidad determinar, para los valles de Lluta y Azapa, curvas que relacionaran los daños provocados por crecidas de distintos periodos de retorno en función de sus caudales.

Mediante un cuidadoso trabajo multidisciplinario, que incluyó investigación de antecedentes históricos, reuniones de análisis con representantes de todos los sectores económicos regionales, ejecución de estudios hidrológicos e hidráulicos específicos y otros trabajos, se definió las siguientes relaciones:

- Curvas de Daños para Situación Actual sin Proyecto
- Curvas de Daños para Situación Futura sin Proyecto, considerando dos escenarios de evolución de los valles, uno conservador (crecimiento realista de las actividades económicas) y otro pesimista (crecimiento extremadamente favorable de las actividades económicas).
- Relaciones para establecer la forma en que evolucionarán en el tiempo las Curvas de Daños desde la Situación Actual Sin Proyecto a la Situación Futura Sin Proyecto.

Las Curvas de Daños son genéricas y correlacionan las crecidas con sus daños esperados aguas abajo del sitio del proyecto en cada situación, por lo tanto, permiten determinar para cualquier crecida, en función de su período de retorno (o su caudal equivalente), los daños esperados en los valles de Lluta y Azapa, para las situaciones actual y futura sin y con proyecto.

Los gráficos 1 y 2 siguientes muestran las curvas de daños esperados para la situación actual y futura sin proyecto, determinadas en los valles de Lluta y Azapa respectivamente.

Curva de Daños Esperados en función del Período de Retorno

Gráfico 1 Valle de Lluta

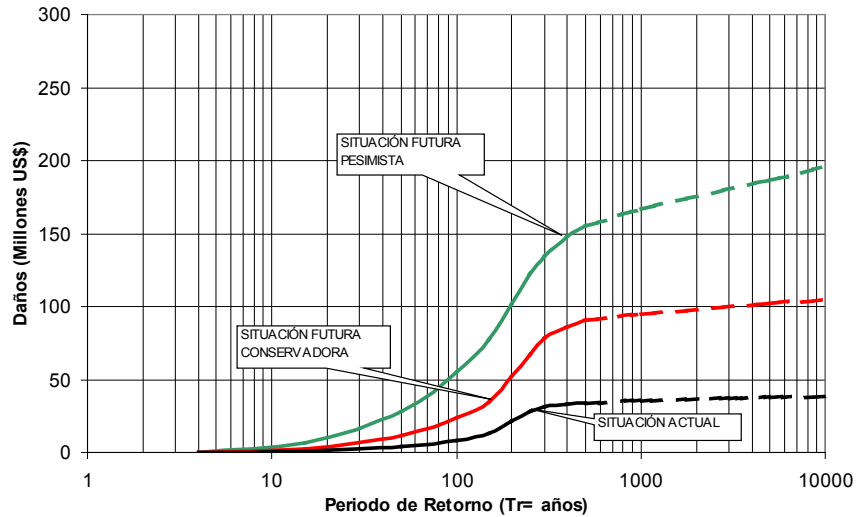
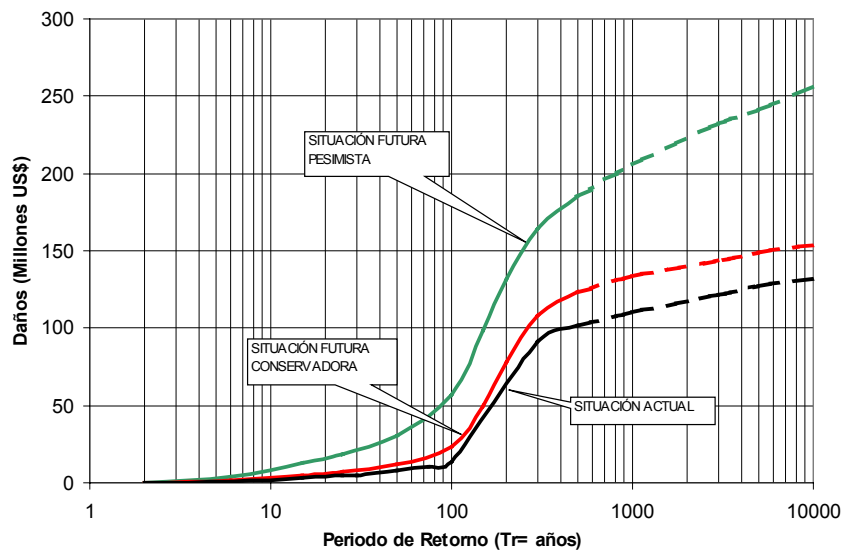


Gráfico 2 Valle de Azapa



Los beneficios asociados al proyecto de los embalses estudiados en cada uno de los valles se determinaron en la “Evaluación Económica y Recomendación del Tamaño de los Proyectos”, aplicando la Metodología del Daño Evitado. Estos beneficios están constituidos principalmente por la disminución que se espera de los daños materiales causados por las crecidas aluvionales con motivo de la implementación de los embalses proyectados y se determinaron como la diferencia entre el valor esperado del daño por inundaciones que se produciría en la situación “Sin Proyecto” y el valor esperado del daño en la situación “Con Proyecto”.

7. DISEÑOS DE LAS OBRAS SELECCIONADAS

7.1 Presas seleccionadas

En el valle de Lluta se seleccionó la angostura del Sector 4 denominada angostura de Chironta como la más adecuada para la construcción de una presa, en tanto que para el valle de Azapa se analizaron dos alternativas, la primera considera la construcción de un embalse en el cauce del río Livilcar, aguas abajo del caserío del mismo nombre, en tanto que la segunda alternativa considera la construcción de cuatro presas en los afluentes formativos del río Livilcar-San José, de manera que entre las cuatro produzcan el mismo efecto regulador para la crecida de diseño que el que produce la presa de Livilcar.

7.2 Descripción de los trabajos ejecutados

Con el propósito de obtener la curva de costo de cada embalse como antecedente para la evaluación económica del proyecto, se elaboraron diseños preliminares de las obras, considerando distintas alturas de presa. Con posterioridad a la evaluación económica, se realizaron los diseños específicos a nivel de factibilidad de los proyectos recomendados para cada valle.

La valorización de estas obras fue realizada mediante precios unitarios extraídos del banco de datos de Ingendesa, debidamente corregidos para asimilarlos a las condiciones propias de cada una de las angosturas previamente seleccionadas.

Para el diseño de las obras se consideraron todos los antecedentes y los resultados obtenidos en los estudios básicos realizados en las etapas anteriores del proyecto, así como también la información recogida de las prospecciones y de los reconocimientos de terreno realizados.

Para todos los embalses seleccionados, se calculó el presupuesto denominado “Costos Directos del Proyecto”. Este presupuesto está formado por los costos de ingeniería, inspección y administración de la construcción, más los costos de los terrenos, gastos legales y ambientales y más los costos de construcción de las obras propiamente tales. A cada uno de estos presupuestos, se les agregaron sus respectivos imprevistos.

Para la planificación de la construcción se han considerado tanto las características de los ríos en los cuales se implantarán las presas como los volúmenes de obras, la disponibilidad de los materiales de construcción necesarios en las cercanías de los lugares de las obras y las dificultades de accesos que presentan cada uno de los lugares seleccionados.

7.3 Conclusiones obtenidas del diseño realizado

7.3.1 Valle de Lluta. Presa de Chironta

La presa más conveniente para implantar en la angostura de Chironta, es una presa del tipo CFGD (Concrete Face Gravel Dam), de 76,5 m de altura, conformada por rellenos de gravas compactadas, con una pantalla de hormigón en su paramento de aguas arriba. La impermeabilización de la fundación se logrará con una pared moldeada de 20 m de profundidad máxima. Esta presa permitirá la formación de un embalse de 17 hm³ de capacidad total. Ver plano adjunto 505-07-02-IIHP-PLN-005 y 505-07-02-IIHP-PLN-006.

Para la construcción de la presa de Chironta se podrá contar con los yacimientos pétreos necesarios en el mismo valle, en la zona de inundación del embalse.

7.3.2 Valle de Azapa. Presa de Livilcar

La presa más conveniente para implantar en la angostura de Livilcar, es una presa del tipo CFGD, de 79,3 m de altura, fundada en roca en toda su extensión, que estará conformada por rellenos de gravas compactadas. La impermeabilización de la presa se hará mediante una pantalla de hormigón en su paramento de aguas arriba. Esta presa permitirá la formación de un embalse de 7,94 hm³ de capacidad total. Ver plano adjunto 505-07-02-IIHP-PLN-007 y 505-07-02-IIHP-PLN-008. Los materiales para el relleno de la presa deberían extraerse principalmente desde el yacimiento de Paradero, ubicado aguas abajo de la presa.

7.3.3 Presas de Tignamar, Caragua, Caillama y Copaquilla

Estas presas se encuentran ubicadas en angosturas labradas en rocas, con laderas de fuerte pendiente y escaso relleno de fondo de valle. Por esta razón, las presas más adecuadas resultan ser las del tipo RCC (Roller Compacted Concrete), ya que ellas permiten implantar el evacuador de crecidas en la propia presa. Además, este diseño simplifica las obras de desviación.

Los yacimientos de materiales pétreos para la fabricación del hormigón, se encuentran en lugares accesibles, cercanos a los respectivos sitios de construcción y sin mayores dificultades para su extracción.

7.3.4 Análisis de los volúmenes para riego

Los recursos hídricos del río Lluta corresponden a un cauce con flujos continuos y permanentes que permiten establecer un volumen en el embalse con fines exclusivos para riego. La magnitud de este volumen se definió en la evaluación económica. En la etapa de diseño se establecieron ocho volúmenes (1,95; 3,85; 5,6; 7; 8,5; 10,5; 11,3 y 16,5 millones de m³), en función de las características propias de los sectores de riego en que se ha dividido el valle de Lluta.

En el caso del río San José, que no posee flujos continuos y que tiene todos sus derechos de aprovechamiento otorgados, el volumen de embalse exclusivo para riego se buscó a través de aprovechar la regulación de la hoya intermedia existente entre el desagüe de la laguna Cotacotani y la bocatoma del canal Azapa y de reducir la evaporación al trasvasar agua desde esa laguna al embalse Livilcar.

De acuerdo a resultados de la modelación simplificada del sistema Azapa, la regulación de crecidas en el embalse produciría por sí sola una modificación de la recarga al acuífero, obteniéndose una ganancia creciente de hectáreas regadas con 85% de seguridad, desde 174 ha para el volumen de riego cero hasta 240 ha para un volumen de riego de 7 millones de m³ en el embalse. Asimismo, el modelo muestra que para la situación futura, con seguridad de riego de 50%, se tendría un incremento de 950 ha prácticamente constantes si el volumen de riego varía de cero a 7 millones de m³. El estudio económico dedujo un volumen para riego de sólo 1 millón de m³.

El estudio de la regulación de los recursos de la laguna Cotacotani, que cuantificaba y evaluaba la ganancia de caudal por reducción de evaporación al bajar las aguas desde la laguna Cotacotani al embalse Livilcar quedó sin efecto, ya que el embalse Livilcar recomendado tendría un volumen para regulación del riego inferior al mínimo que requiere el trasvase económico desde la laguna Cotacotani.

7.3.5 Caminos de acceso

Los costos de los caminos de acceso a los embalses seleccionados se estimaron mediante trazados preliminares en levantamientos escala 1:5.000 y 1:2.000 para los sectores en que esta base topográfica estaba disponible, y en planchetas del IGM a escala 1:50.000 en el resto.

8. EVALUACIÓN ECONÓMICA

8.1 Criterios de Evaluación

La evaluación económica del proyecto se realizó a precios de mercado usando el “Método del Presupuesto”.

La evaluación fue realizada para los valles de Lluta y Azapa independientemente. En el valle de Lluta se evaluó sólo el escenario con el embalse ubicado en la angostura Chironta (Sector 4). En el valle de Azapa se consideraron dos escenarios, el primero con un embalse ubicado en la angostura de Livilcar B, que no inunda el poblado homónimo, y el segundo escenario, que considera como solución alternativa la construcción simultánea de 4 embalses en la zona alta, vale decir, las presas de Tignamar, Caragua, Caillama y Copaquilla.

Los ítemes considerados en los escenarios para la evaluación fueron los siguientes:

- Inversiones
 - i. Obras de embalse
 - ii. Riego Predial
 - iii. Asistencia Técnica
 - iv. Operación y Mantenimiento
- Ingresos
 - v. Neto Agrícola Actual
 - vi. Neto Agrícola Futuro
 - vii. Por daños evitados
- Valor Residual de las obras del embalse

Los parámetros económicos determinados fueron:

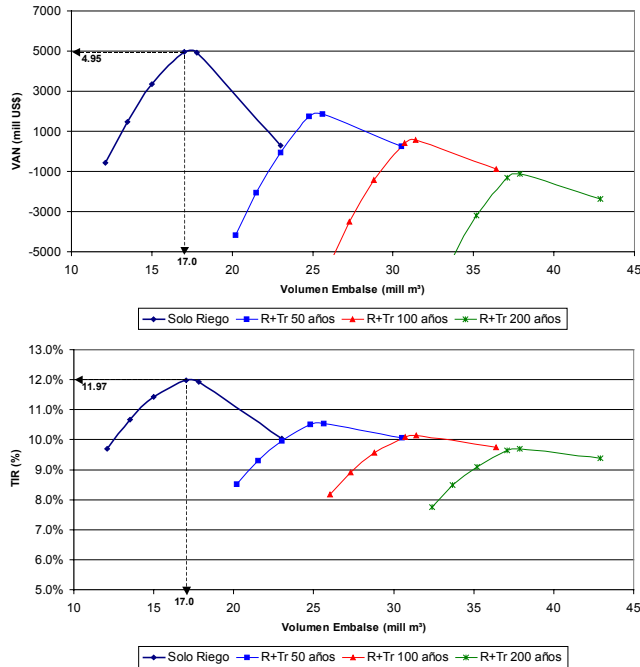
- VAN del Proyecto
- TIR del Proyecto
- IVAN del Proyecto

8.2 Resultados de la evaluación

8.2.1 Presa de Chironta (Sitio 4)

8.2.1.1 VAN y TIR

El VAN y la TIR en función del volumen del embalse se muestra en la figura siguiente:



De los resultados anteriormente expuestos, se desprende que para Chironta la solución óptima resulta la que contempla un volumen de regulación destinado sólo para riego.

Los parámetros de la solución elegida, son los siguientes:

Caso	Volumen mill m³	Altura m	Costo mill US\$	VAN mill US\$	TIR %	IVAN
Sólo Riego	17	76.5	25.042	4.95	11.97	0.198

8.2.1.2 Sensibilización

El estudio de sensibilidad se hizo variando los costos del proyecto y los beneficios agrícolas en +/- 10%. También se hizo el análisis de sensibilidad al año hidrológico de inicio de la puesta en marcha del proyecto.

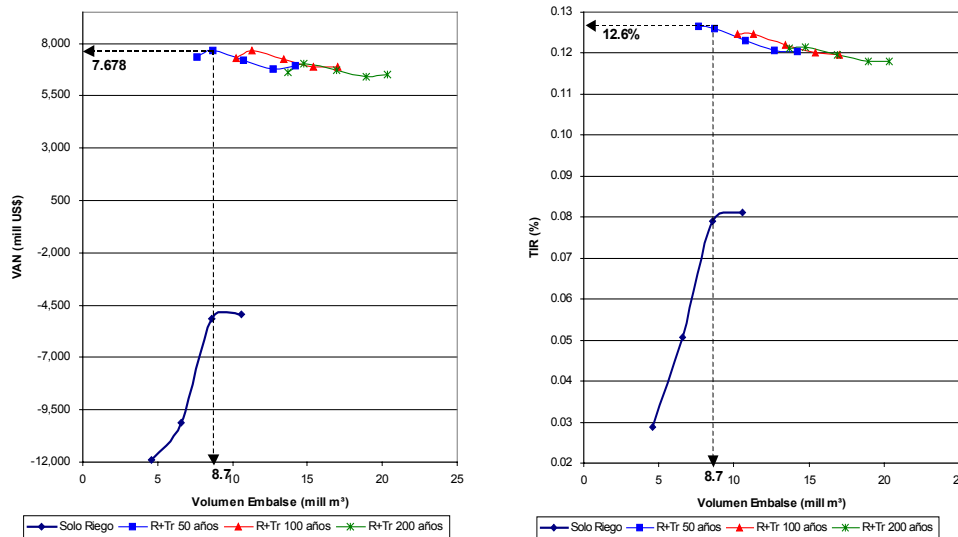
Los valores entregados por el análisis de sensibilidad se muestran en la tabla siguiente:

Descripción	Factores de Sensibilidad								
	Costo del Proyecto			Beneficios Agrícolas			Año Hidrológico de Inicio		
	VAN mill US\$	TIR %	IVAN -	VAN mill US\$	TIR %	IVAN -	VAN mill US\$	TIR %	IVAN -
Costo Proyecto									
Costo según Presupuesto	4.949	11.97%	0.198						
Costo + 10%	2.981	11.10%	0.108						
Costo - 10%	6.945	12.98%	0.307						
Beneficios Agrícolas									
Beneficio Calculado				4.949	11.97%	0.198			
Beneficio + 10%				8.749	13.41%	0.349			
Beneficio - 10%				1.149	10.45%	0.046			
Año Hidrológico de Inicio									
Año 50% (normal)							4.949	11.97%	0.198
Año 85% (seco)							6.273	12.57%	0.251
Año 15% (húmedo)							6.480	12.72%	0.259

8.2.2 Presa de Livilcar (Sector 6B)

8.2.2.1 VAN y TIR

El VAN y la TIR en función del volumen del embalse se muestra en la figura siguiente:



De los resultados anteriormente expuestos se desprende que para Livilcar la solución óptima resulta ser una presa de multipropósito, que regula la crecida de $Tr=50$ años y deja un volumen para riego de 1 millón de m^3 .

Los parámetros de la solución elegida son los siguientes:

Caso	Volumen mill m^3	Altura m	Costo mill US\$	VAN mill US\$	TIR %	IVAN
R+Tr 50 años	8.7	81.3	29.13	7.678	12.6	0.264

8.2.2.2 Sensibilización

El estudio de sensibilidad se hizo variando los costos del proyecto y los beneficios agrícolas en +/- 10%. También se hizo el análisis de sensibilidad al año hidrológico de inicio de la puesta en marcha del proyecto.

Los valores entregados por el análisis de sensibilidad se muestran en la tabla siguiente:

Descripción	Costo del Proyecto			Beneficios Agrícolas			Año Hidrológico de Inicio		
	VAN	TIR	IVAN	VAN	TIR	IVAN	VAN	TIR	IVAN
	mill US\$	%	-	mill US\$	%	-	mill US\$	%	-
Costo Proyecto									
Costo según Presupuesto	7.678	12.60%	0.264						
Costo + 10%	5.388	11.70%	0.168						
Costo - 10%	9.969	13.64%	0.380						
Beneficios Agrícolas									
Beneficio Calculado				7.678	12.60%	0.264			
Beneficio + 10%				19.150	16.16%	0.657			
Beneficio - 10%				-3.793	8.60%	-0.130			
Año Hidrológico de Inicio									
Año 50% (normal)							7.678	12.60%	0.264
Año 85% (seco)							9.057	13.03%	0.311
Año 15% (húmedo)							8.371	12.57%	0.287

8.2.3 Comparación entre la presa de Livilcar y las 4 presas de la Zona Alta

Como se ha dicho precedentemente, en el valle de Azapa existía la posibilidad de que el embalse Livilcar inundara total o parcialmente el pueblo de Livilcar. Por tal motivo, se buscó una solución que reemplazara totalmente a la solución del embalse Livilcar. Esto se lograba a través de la regulación de los cuatro cauces principales de la cuenca alta del río San José, vale decir, los valles de Tignamar, Caragua, Caillama y Copaquilla. Estas cuatro presas, deben trabajar simultáneamente para lograr el mismo efecto de regulación hidráulica que produce la presa de Livilcar.

Las características y el costo de cada una de las presas y del conjunto se muestra en la tabla siguiente:

Item	Unidad	Presas de Azapa Alto					Conjunto	Presa Unica Livilcar
		Tignamar	Caragia	Copaquilla	Caillama	No controlada		
Superficie Cuenca	ha	495	144	149	69	220	1.077	1.076
Altura presa	m	42,1	39,0	41,8	40,5			81,30
Volumen de regulación	mill de m³	2,20	0,19	1,56	0,18		4,1	4,12
Volumen muerto	mill de m³	2,77	1,20	1,10	1,00		6,1	3,60
Volumen total	mill de m³	4,96	1,39	2,66	1,18		10,2	8,72
Cota coronamiento	m s.n.m.	3.017,1	2.844,0	2.856,8	2.837,6			1.888
Cota base	m s.n.m.	2.975	2.805	2.815	2.795			1.807
Costo Directo	mil de \$US	10.661	6.997	6.232	9.595		33.485	29.134

9. COSTO FINAL DE LOS EMBALSES

9.1 Valle de Lluta

La presa seleccionada en el valle de Lluta fue la de Chironta correspondiente al Sector 4. El presupuesto de los costos directos de esta presa se indican en el cuadro siguiente.

Valle de Lluta – Presa Chironta Presupuesto de costos directos del proyecto (cifras en miles de dólares)

Costos de construcción	19.946
Expropiaciones, gastos legales y ambientales	938
Estudios de ingeniería, inspección y administración de la construcción	4.069
TOTAL COSTO DIRECTO DEL PROYECTO	24.953

9.2 Valle de Azapa

Una vez seleccionada la presa de Livilcar en el valle de Azapa, se procedió a optimizar su diseño. Esto se logró aumentando el diámetro del túnel de desagüe de medio fondo, de manera tal que sin aumentar el caudal efluente del embalse (60 m³/s), se regulara la crecida de diseño (Tr=50 años) alcanzando el nivel máximo del embalse justo hasta el umbral del vertedero, sin verter. El nuevo diseño permitió reducir en dos metros la altura de la presa, con lo cual, el presupuesto de la presa Livilcar llegó a 28.844 millones de US\$, menor que los 29.134 millones de US\$ del análisis preliminar de comparación. Esto confirma que la presa Livilcar es más económica que la suma de las cuatro presas de la cuenca alta.

El presupuesto de los costos directos de esta presa se incluye en el cuadro siguiente.

Valle de Azapa – Presa Livilcar
Presupuesto de costos directos del proyecto
(cifras en miles de dólares)

Costos de construcción	23.192
Expropiaciones, gastos legales y ambientales	1.314
Estudios de ingeniería, inspección y administración de la construcción	4.338
TOTAL COSTO DIRECTO DEL PROYECTO	28.844

10. ESTUDIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL

La consultoría incluyó la elaboración de un Estudio de Análisis Ambiental (EAA), para tener esta variable incluida desde el inicio del proyecto, con el fin de visualizar y ponderar las bondades de cada solución desde el punto de vista ambiental. El análisis ambiental incluyó un proceso preliminar de participación comunitaria que lo respaldara.

Los Objetivos del EAA fueron los siguientes:

- Identificar, predecir y evaluar los impactos ambientales potenciales que se relacionan con las variables del proyecto;
- Efectuar un análisis comparativo y valorar, desde la perspectiva ambiental, las distintas soluciones propuestas en el estudio de ingeniería;
- Determinar, analizar y proponer medidas de mitigación, reparación y compensación ambiental para cada sitio de presa elegido;

- Efectuar un análisis de los costos ambientales de cada una de las soluciones de presas elegidas;

Luego de haberse estudiado y descartado por razones técnicas diversas angosturas en ambos valles, fueron seleccionados seis sectores (uno en el valle de Lluta y cinco en el valle de Azapa) como posibles emplazamientos para construir las presas. Estos sectores se ubican en áreas rurales, de baja o nula densidad poblacional, es decir, donde no existen asentamientos humanos. Los únicos sectores donde hay algunos habitantes son Livilcar y Copaquilla, ambos en el valle de Azapa.

La evaluación preliminar del efecto ambiental de los proyectos seleccionados en los valles de Lluta y Azapa confirmó los enormes beneficios que significaría la materialización de estas presas.

En el valle de Lluta, la construcción de la presa Chironta es ambientalmente aceptable.

Existen numerosos impactos positivos, tales como: Seguridad de riego, seguridad y plusvalía para los predios ribereños, mejoramiento de caminos, etc.

Hay pocos impactos negativos y estos son mitigables, como por ejemplo: la eventual alteración de algunos sitios arqueológicos, la pérdida de suelos, laderas y roqueríos en la zona de inundación.

En el valle de Azapa, el análisis de impacto ambiental que se efectuó para cada sector seleccionado permitió visualizar las diferencias que habría, desde este punto de vista, al emplazar las presas en cada uno de ellos.

Las principales diferencias que se detectan entre los sectores se originan, principalmente, debido a la presencia en Livilcar y Copaquilla, de población indígena que pertenece a la etnia aymara.

Construir embalses en la zona alta de Azapa, es decir en Tignamar, Caragua, Copaquilla y Caillama, es ambientalmente menos favorable que construir la presa en Livilcar. De estos sectores seleccionados, se visualiza que la presa de mayor impacto negativo sería Copaquilla,

Casi todos los impactos negativos pueden ser mitigados. En otros casos, se visualiza que es posible adoptar medidas de reparación y compensación ambiental adecuadas.

Una estimación preliminar de los costos ambientales en que habría que incurrir en cada una de las distintas soluciones de presas, se muestra en la tabla siguiente.

Costo de Estudios Ambientales y Plan de Manejo Ambiental en los sectores de embalse en los valles de Lluta y Azapa, en millones de pesos

Item	LLUTA	AZAPA				
	Sector 4 Chironta	Livilcar Altern. B	Sector 8 Tignamar	Sector 10 Caragua	Sector 12 Copaquilla	Sector 13 Caillama
Estudios Ambientales y Participación Ciudadana	31	49	29	24	39	24
Manejo Ambiental y	291	201	198	207	168	184

Seguimiento						
TOTAL	322	250	227	231	207	208

Elaboración: Ingendesa

El proceso de participación comunitaria realizado permitió formarse una cabal idea de la favorable percepción que tiene la población respecto a los efectos económicos, ambientales y socioculturales del proyecto.

11. CONCLUSIONES

11.1 Valle de Lluta

La evaluación económica del proyecto permitió obtener las siguientes conclusiones:

- Para este valle no se justifica económicamente realizar obras de embalse para el control de las crecidas. El VAN y la TIR son mayores a medida que disminuye el volumen de regulación de crecidas. Los valores máximos se obtienen para el caso en que este volumen es igual a cero.
- El volumen óptimo del embalse es de 17 Hm³. Este volumen se divide en 10,5 Hm³ para riego y 6,5 Hm³ de volumen muerto. Para esta presa de 76,5 m de altura el costo directo sería de 25,0 millones de dólares, el VAN de 4,95 millones de dólares, la TIR de 11,97% y el IVAN de 0,198. Para este caso la superficie real regada con 85% de seguridad alcanzaría las 3.800 ha incluyendo dobles cultivos (2.235 ha de superficie física).
- El análisis de sensibilidad realizado sobre el costo directo del embalse, indica que si se aumenta el costo directo en un 10%, se obtiene un VAN de 2.981 millones de dólares, una TIR de 11,10% y un IVAN de 0,108. En cambio, si se disminuye el costo directo en un 10 %, se obtiene un VAN de 6.945 millones de dólares, una TIR de 12,98% y un IVAN de 0,307.
- En el caso en el que se aumentarían los beneficios agrícolas en un 10%, se obtiene un VAN de 8,749 millones de dólares, una TIR de 13,41% y un IVAN de 0,349. Por otro lado, si se disminuyen los beneficios agrícolas en un 10%, se obtiene un VAN de 1,149 millones de dólares, una TIR de 10,45% y un IVAN de 0,046.
- Cabe hacer presente que es posible implementar en el futuro cultivos más rentables que los supuestos, como es el caso de la palma datilera, lo cual permite aseverar que la disminución de los ingresos agrícolas en el valle es muy poco probable.
- Dado que la superficie agrícola disponible en el valle es mayor que la que sería posible regar con 85% de seguridad, se han considerado aquellas zonas que en la actualidad no se cultivan, porque aún tienen limitaciones por drenaje, y que en el futuro, por la construcción del embalse, presentarán condiciones apropiadas para la agricultura con una moderada inversión para habilitarlas.
- Por otra parte, dada la favorable disposición de las obras civiles del proyecto sería necesario analizar, en una etapa posterior del estudio, la conveniencia de incluir una central hidroeléctrica como parte del proyecto. Esto es posible ya que los caudales entregados para riego son relativamente constantes a lo largo del año.

Por su parte, el Análisis de Impacto Ambiental desarrollado para el valle de Lluta permitió concluir que:

- La construcción de la presa Chironta es ambientalmente aceptable.
- El proyecto tendrá numerosos impactos positivos, tales como: seguridad de riego, seguridad y plusvalía para los predios ribereños, mejoramiento de caminos, etc.
- Los impactos negativos serán pocos y estos son mitigables, como por ejemplo: la eventual alteración de algunos sitios arqueológicos, la pérdida de suelos, laderas y roqueríos en la zona de inundación.

11.2 Valle de Azapa

La evaluación económica del proyecto permitió obtener las siguientes conclusiones:

- En el caso del valle de Azapa, las obras de embalse se justifican como un proyecto de uso múltiple en que es preponderante la función de regulación de crecidas.
- El volumen del embalse permite regular las crecidas afluentes a él y con ello aumentar el volumen de regulación subterráneo, vale decir, se obtiene una mayor recarga del acuífero, lo que permite contar con una mayor disponibilidad de agua potable y de agua para riego por bombeo.
- La presa de Livilcar escogida en la evaluación económica fue la que regula la crecida de $T_r = 50$ años con un volumen útil de $8,7 \text{ Hm}^3$ y con un costo de 29,13 millones de dólares. Esta solución fue optimizada modificando ligeramente el diseño del desagüe de medio fondo lo que permitió reducir el volumen total a $7,94 \text{ Hm}^3$, del cual $3,6 \text{ Hm}^3$ corresponden al volumen muerto, 1 Hm^3 al volumen destinado para riego y $3,34 \text{ Hm}^3$ corresponde al volumen destinado a la regulación de la crecida con período de retorno de 50 años. Esta presa tendría una altura de 79,3 m, con un nivel máximo excepcional del embalse en la cota 1.886,3 m s.n.m., que no alcanza a inundar el poblado de Livilcar, cuya cota más baja corresponde a la 1.900 m s.n.m.
- El costo directo de esta obra sería de 28,84 millones de dólares, su VAN sería de 7.678 millones de dólares, su TIR alcanzaría a 12,60 % y su IVAN sería de 0,264. La superficie real regada con 85% de seguridad alcanzaría las 1.954 ha.
- El análisis de sensibilidad realizado indicó que si se aumentan en un 10% los costos directos del embalse, se obtiene un VAN de 5.388 millones de dólares, una TIR de 11,70% y un IVAN de 0,168. En el caso que se disminuyan en un 10% los costos directos, el VAN sería de 9.969 millones de dólares, la TIR de 13,64% y un IVAN 0,380.
- En el caso en que los beneficios agrícolas se aumentaran en un 10%, se obtiene un VAN de 19.150 millones de dólares, una TIR de 16,16% y un IVAN de 0,657. Por el contrario, si se disminuyen los beneficios agrícolas en un 10%, el VAN obtenido es de **-3,793** millones de dólares, la TIR es de 8,60% y el IVAN es de **-0,130**. Esta posibilidad es poco probable pues se ha verificado, con la realización de este estudio, que los ingresos agrícolas siguen una tendencia creciente y sostenida en el último tiempo.

Por su parte, el Análisis de Impacto Ambiental desarrollado para el valle de Azapa permitió concluir que:

- Construir embalses en la zona alta de Azapa, es decir en Tignamar, Caragua, Copaquilla y Caillama, es ambientalmente menos favorable que construir la presa en Livilcar.

- La construcción de la presa Livilcar es ambientalmente aceptable ya que no inunda al poblado de Livilcar para ninguna condición hidráulica del embalse.
- El proyecto tendrá numerosos impactos positivos, tales como: regulación de crecidas y con ello reducción del embanque en la playa de Chinchorro y en el puerto de Arica, recarga del acuífero, nuevos caminos, mejora en la tecnología de riego y otros.