



METODOLOGÍA FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE RIEGO

Ministerio de Desarrollo Social

División de Evaluación Social de Inversiones

Ficha Resumen

Nombre Metodología	Formulación y Evaluación de Proyectos de Riego		
Sector	Recursos Hídricos		
Subsector	Riego		
Resumen	<p>La metodología está compuesta de tres capítulos y un anexo. El primero corresponde a los antecedentes generales del sector; el segundo, a la formulación del proyecto que describe aspectos como: el diagnóstico y optimización de la situación actual; balance oferta-demanda y estudio de alternativas; y el tercero presenta la evaluación del proyecto que consta de la identificación de beneficios y costos; configuración de flujos netos; cálculo de indicadores y criterios de decisión. Por último, está el anexo que describe la estimación de los beneficios por generación hidroeléctrica y por agua potable.</p>		
Proyectos a los que aplica	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de un sistema de regulación (embalse, tranque, presa). • Mejoramiento de canales (entubamiento y/o revestimiento). • Habilitaciones de bocatomas, compuertas, etc. • Construcción de embalse para riego que considere una central hidroeléctrica o producción de agua potable 		
Marco Normativo	<ul style="list-style-type: none"> • DFL 1.123: Establece normas sobre ejecución de obras de riego por el Estado. • Reglamento 1.123: Reglamenta procedimiento para aplicación del D.F.L 1.123/81, sobre ejecución de obras de riego por el Estado. • Reglamento para la determinación del caudal mínimo ecológico. • Código de Aguas. 		
Fuentes de los Principales Datos	<ul style="list-style-type: none"> • Juntas de Vigilancia. • Asociaciones de canalistas. • Comunidades de aguas. • Dirección de Obras Hidráulicas. • Comisión Nacional de Riego. • Oficina de Políticas Agrarias (ODEPA). 		
Principales Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de la producción. • Cambio en la estructura de cultivos. • Pérdida de producción evitada. • Ahorro de costos 		
Método Valorización Beneficios	<ul style="list-style-type: none"> • Método del Presupuesto. 	Horizonte de Evaluación (años)	30
Enfoque Evaluación	<ul style="list-style-type: none"> • Costo Beneficio. 		
Indicador	<i>Nombre Indicador</i>	Valor Actual Neto (VAN)	
	<i>Criterio de Decisión</i>	Tasa Interna de Retorno (TIR)	

ÍNDICE

Ficha Resumen.....	2
1. Antecedentes Generales del Sector.....	5
1.1 Descripción del Sector	5
1.2 Definición de un Sistema de Riego	5
a) Obras de captación	5
b) Obras de conducción	5
c) Obras de distribución	6
d) Obras de regulación.....	6
1.3 Tipologías de Proyectos	6
a) Proyectos de Construcción	6
b) Proyectos de Mejoramiento	6
c) Proyectos de Reparación	6
d) Proyectos de Ampliación	7
e) Proyectos de Reposición.....	7
1.4 Ciclo de vida de los Proyectos.....	7
a) Preinversión.....	7
b) Inversión	7
c) Operación	8
2. Formulación de Proyectos.....	8
2.1 Diagnóstico de la Situación Actual	8
a) Identificación del Problema	8
b) Descripción del Área de Influencia	8
c) Estudio de Mercado.....	10
d) Universo Predial.....	10
e) Encuesta Simple.....	10
f) Estratificación predial y Nivel tecnológico	11
g) Análisis de la Oferta	12
h) Análisis de la Demanda.....	12
i) Déficit o Balance Hídrico	16
2.2 Optimización de la Situación actual	18
2.3 Situación Con Proyecto.....	18
2.4 Análisis de Alternativas	18

3. Evaluación Social de Proyectos	19
3.1 Identificación de Beneficios y Costos de los Proyectos	19
a) Identificación de Beneficios.....	19
b) Identificación de Costos.....	20
3.2 Estimación de Beneficios	21
a) Método del Presupuesto	21
b) Estimación del ahorro de costos.....	25
3.3 Configuración de los Flujos Netos.....	26
a) Corrección a precios sociales.....	26
b) Horizonte de Evaluación	29
c) Valor Residual	29
d) Tamaño optimo	29
e) Construcción de flujos netos	29
3.4 Cálculo de indicadores.....	30
a) Tasa social de descuento	30
b) Valor Actual Neto Social (VANS).....	30
c) Tasa Interna de Retorno Social (TIRS).....	31
d) Análisis de Sensibilidad.....	31
Anexo 1: Estimación de Beneficios por Generación hidroeléctrica	32
Anexo 2: Estimación de Beneficios por Agua Potable.....	36

1. Antecedentes Generales del Sector

1.1 Descripción del Sector

El objetivo de esta metodología es apoyar la formulación y evaluación de iniciativas del sector “Recursos Hídricos” que son postuladas al Sistema Nacional de Inversiones. En general, la mayoría de las iniciativas de riego tienen como objetivo minimizar los efectos negativos provocados por la escasez hídrica, a través de infraestructuras que permitan mejorar la eficiencia de riego, incrementar la superficie regada, aumentar la seguridad de riego y/o la disponibilidad de agua, entre otros. Esto finalmente conlleva a minimizar el déficit que existe entre la oferta y la demanda por agua y por lo tanto, mejorar la producción agrícola, tanto en los rendimientos como en la calidad de los productos en el área beneficiada.

Las iniciativas de inversión son presentadas por la Comisión Nacional de Riego (CNR) a etapa de prefactibilidad, con el fin de potenciar la competitividad de los agricultores y las organizaciones de regantes y también por la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) a la etapa de factibilidad en adelante, que construye las obras hidráulicas para el uso y disposición eficiente de los recursos hídricos, lo cual se complementa con acciones de conservación, explotación y administración de dichas obras o servicios.

1.2 Definición de un Sistema de Riego

Un sistema de riego corresponde a un conjunto de estructuras y capacidades organizacionales que interactúan entre sí que captan, regulan, conducen y distribuyen el agua entre los usuarios de una determinada área de riego, para así satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos¹.

Un sistema de riego puede estar conformado por dos partes, por un sistema de riego extrapredial e intrapredial. Dentro del sistema de riego extrapredial se encuentran las obras que captan el agua desde una fuente para luego conducir, distribuir y regular su uso según los requerimientos de los cultivos. Estas obras están situadas entre las superficies de riego.

a) Obras de captación

Son aquellas obras que permiten extraer las aguas desde una fuente superficial o subterránea. Las obras más típicas son bocatomas, pozos y elevaciones mecánicas.

b) Obras de conducción

Son aquellas obras que permiten conducir las aguas desde el punto de captación al área de riego, algunas de ellas son canales, canoas, sifones, tuberías a presión, túneles entre otras.

¹ INDAP, Ministerio de Agricultura “Manual Básico para la Capacitación en Gestión de Recursos Hídricos” Diciembre 2011.

c) Obras de distribución

Son aquellas obras que permiten distribuir las aguas de acuerdo a los derechos de cada regante o según las Organizaciones de Usuarios de Aguas (OUA) existentes en el área de riego. Las obras más comunes son marcos partidores, cajas de distribución y compuertas.

d) Obras de regulación

Son aquellas que sirven para almacenar las aguas que se pierden por escurrimiento y así ser aprovechadas durante los períodos en que se origine un déficit o para aumentar la superficie regada. Las obras más comunes son presas de embalses y embalses de regulación corta.

El sistema de riego intrapredial es un conjunto organizado de equipos que permite aplicar el agua al sistema radicular de las especies agrícolas presentes en el área de riego. Existen diferentes equipos para usos específicos, los que van a depender de la topografía del lugar, tipo de cultivo, características del suelo, disponibilidad de agua y costos de instalación. También cada método de riego tiene asociado un nivel de eficiencia que generalmente aumenta a medida que la tecnología es mayor. Algunos de los métodos de riego son por aspersión, surcos, tendido, goteo, microaspersión, cinta, entre otros.

1.3 Tipologías de Proyectos

Para los proyectos de riego se pueden distinguir las siguientes tipologías que son las más comunes:

a) Proyectos de Construcción

Los proyectos de construcción corresponden a la materialización de un servicio que no existe a la fecha y puede ser la construcción de cualquier obra de riego, como obras de regulación o embalses, canales de conducción, distribución o alimentación, obras de derivación como bocatomas u obras de captación como pozos.

b) Proyectos de Mejoramiento

Su objetivo principal es aumentar la calidad de un servicio existente. En proyectos de mejoramiento del sistema, las obras más típicas corresponden al reemplazo de canales, ya sea por aumento de diámetro o por pasar de canal abierto a uno revestido, para mejorar la eficiencia.

c) Proyectos de Reparación

Su objetivo principal es recuperar el deterioro ocasional sufrido por una obra ya construida, como por ejemplo, reparar grietas, reparación del desagüe de fondo de un embalse, obras de descarga, u otras.

d) Proyectos de Ampliación

Su objetivo es aumentar la capacidad de servicio, sin modificación de lo existente, como extender canales para regar nuevas áreas o agregar bocatomas o compuertas al sistema.

e) Proyectos de Reposición

Implica la renovación parcial o total de un servicio ya existente, con o sin cambio de la capacidad y/o calidad del mismo. Las obras más típicas corresponden a cambio de la obra por término de su vida útil, como reposición de compuertas.

1.4 Ciclo de vida de los Proyectos

Como en todo proyecto de inversión, en el ciclo de vida de un proyecto de riego se distinguen las fases de preinversión, inversión y operación.

a) Preinversión

El objetivo de esta fase es determinar la conveniencia de implementar la iniciativa de inversión y, como tal, busca entregar un criterio de decisión acertado respecto de su ejecución. Este análisis forma parte de la evaluación ex-ante de la inversión.

En la etapa de prefactibilidad de no existir el estudio integrado de cuencas, se debe dar cuenta de la identificación del problema, diagnóstico de la situación actual (demanda, oferta y déficit), identificación y definición de alternativas de solución (optimización de la situación base; tamaño y localización), identificación de beneficios y costos, evaluación privada y social, para todas las alternativas por el Método del Presupuesto y análisis de sensibilidad.

En la etapa de factibilidad debe ir el resumen ejecutivo del estudio de prefactibilidad y debe contener a lo menos Estudios de: Ingeniería; Geológico Geotécnico; Agroeconómico; Balance Hídrico; Derechos de Agua; Tenencia de la Tierra, Expropiaciones y Servidumbres; Análisis Ambiental; Interferencias y Participación Ciudadana, si corresponde.

Se recomienda ver las Normas de Instrucciones y Procedimientos (NIP) del sector para conocer en detalle cada uno de los requisitos.

b) Inversión

La fase de inversión está compuesta por las etapas de Diseño y Ejecución. El Diseño consiste en la elaboración de la ingeniería de detalle contenida en un Informe del Diseño que debe estar aprobado por la Dirección de Obras Hidráulicas. También se obtienen los certificados de los derechos de agua, terrenos y servidumbres de paso; y las aprobaciones técnicas que correspondan, las cuales son requisitos necesarios para postular a la etapa de ejecución de la obra. En tanto, la etapa de Ejecución se refiere a la construcción de las obras definidas en la etapa de diseño del proyecto y que finalmente dan solución al problema detectado en el estudio de diagnóstico.

c) Operación

Esta fase comienza con la puesta en marcha del proyecto. En esta etapa se debieran generar los beneficios y costos de operación y mantención esperados.

Después de un período de funcionamiento del proyecto, corresponde realizar los estudios de evaluación ex – post, los que están destinados a analizar el cumplimiento de las proyecciones, tales como la demanda, costos operacionales, entre otras. A partir de sus conclusiones se pueden formular acciones tendientes a corregir eventuales deficiencias técnicas y/o de gestión; y también es posible introducir mejoras en la formulación evaluación de futuros proyectos

2. Formulación de Proyectos

En la formulación de los proyectos de riego, las principales fuentes de información corresponden a las Organizaciones de Usuarios de Aguas; Juntas de Vigilancia, Asociaciones de Canalistas y Comunidades de Aguas; la Dirección de Obras Hidráulicas, Dirección General de Aguas (DGA), Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), la Comisión Nacional de Riego (CNR), los regantes, entre otros.

Cualquiera sea la etapa a la que se postula, el proyecto debe ser preparado de acuerdo a la siguiente pauta general.

2.1 Diagnóstico de la Situación Actual

Se debe realizar una descripción general del área que se pretende regar, en términos de hidrología, climatología, capacidad de uso de suelo, situación actual de la infraestructura, matriz de involucrados, entre otros, con el fin de identificar las limitaciones existentes que impiden el crecimiento en esa área determinada y así establecer en base a un conocimiento técnico la magnitud del problema.

a) Identificación del Problema

Se deberá describir el problema, en relación al recurso hídrico, que afecta a los regantes tanto las causas que explican el problema detectado como los efectos negativos que inciden en su bienestar y que fundamentan una intervención para subsanarlos.

Es importante señalar que el problema no se debe definir como una carencia de una infraestructura específica, como por ejemplo: “falta un canal”, ya que limita el análisis de alternativas y optimizaciones posibles; puesto que entrega de manera preliminar y sin previo análisis una probable solución a la problemática identificada.

b) Descripción del Área de Influencia

Los antecedentes mínimos que deben señalarse son:

- **Ubicación geográfica:** debe especificar las características físicas de la zona con sus respectivas coordenadas, límites, etc. (se pueden agregar fotografías georeferenciadas o cartografías).
- **Climatología:** tiene el fin de definir las zonas agroclimáticas de acuerdo a sus características productivas. Se deben incluir parámetros como la temperatura máxima y mínima, precipitaciones, radiación solar, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad del viento. También funciones agroclimáticas como grados días, horas de frío, evapotranspiración de referencia, entre otras. Algunas fuentes sugeridas son: Centro de Agricultura y Medioambiente AGRIMED y Estaciones meteorológicas, DGA, entre otras.
- **Suelo:** es esencial su descripción porque la productividad agrícola está dada principalmente con las características del suelo. Dentro de las características que son importantes detallar están: clases y categorías de suelo del área beneficiada, textura, pedregosidad, pendiente, grado de erosión, drenaje, salinidad, fertilidad, entre otras. Dentro de las fuentes a sugerir están: CIREN, FAO, entre otras.
- **Uso actual de suelo:** se debe identificar a través de una encuesta a los regantes o del catastro de las Organizaciones de Usuarios de Agua (OUA) la superficie actual de riego, es decir, los tipos de cultivos existentes con sus respectivas hectáreas y métodos de riego utilizado.
- **Hidrología:** evalúa el comportamiento de las aguas en una región en particular, a nivel de cuenca y subcuenca. Para esto se debe recopilar información sobre la fuente de abastecimiento del proyecto, caudal con 85% de seguridad, caudal existente, caudal por acción (l/s), número de accionistas, calidad de las aguas, caudal mínimo ecológico, caudal medio anual de los recursos hídricos, estacionalidad (períodos de demanda, máximas precipitaciones, períodos secos, duración del año hidrológico, etc.); y también corresponde analizar tanto los afluentes como los efluentes. La fuente principal de información es la DGA.

En caso de proyectos cuya fuente sea el agua subterránea, es necesario contar con información sobre la disponibilidad y ubicación del recurso hídrico. También es importante que se entreguen antecedentes sobre la capacidad de recarga del acuífero y la movilidad del agua, tanto de forma vertical como horizontal. En caso de presentar una iniciativa de recarga de acuíferos, éste debe contar previamente con un Estudio Básico que contenga sus respectivos estudios hidrogeológicos.

- **Situación Actual de la Infraestructura:** Se deben identificar y describir aspectos como el estado de sistemas de conducción y acumulación, nivel de tecnificación, redes de monitoreo pertinentes al proyecto, obras de drenaje, entre otros.
- **Derechos de Agua:** se debe acreditar en qué situación y estado están los derechos de agua de los respectivos usuarios y los derechos asociados al proyecto.

- Matriz de Involucrados: Describir las organizaciones de usuarios de aguas a las cuales pertenecen los grupos de beneficiarios de la iniciativa, tales como: Juntas de Vigilancia, Asociaciones de Canalistas, Comunidades de Aguas u otros.

c) Estudio de Mercado

Es necesario realizar un estudio de mercado para identificar:

- ✓ Posibles mercados para la comercialización de los productos;
- ✓ Precios agrícolas y sus proyecciones;
- ✓ Productos característicos de un lugar;
- ✓ La evolución histórica de la superficie destinada a cada cultivo;
- ✓ La estructura agrícola de los regantes;
- ✓ Tecnologías utilizadas, entre otras.

d) Universo Predial

Para determinar el universo de los usuarios se deben consultar las siguientes fuentes: Rol Extracto Agrícola del SII, Catastro de Usuarios de la DGA, Base de Datos Prediales del VI Censo Nacional Agropecuario del INE, entre otras. Dado que muchas de estas fuentes se encuentran desactualizadas, se debe procurar obtener el universo predial complementando estas distintas fuentes de información.

e) Encuesta Simple

Se debe efectuar una encuesta muestral o censal simple sobre el universo predial, con el propósito de obtener los estudios de casos que permitan caracterizar los *Predios Promedios*. La cobertura muestral debe tener un nivel de confianza del 95% y un margen de error no superior al 4%. Para efectos de la encuesta, el tamaño de la muestra debe calcularse según Hernández et al. (1991), utilizando la siguiente fórmula que se detalla a continuación²:

$$n = \frac{Nz_{\alpha/2}^2 pq}{(N-1)d^2 + z_{\alpha/2}^2 pq}$$

² Comisión Nacional de Riego (CNR), "Términos de Referencia Estudio de Prefactibilidad, Proyecto de Riego Magallanes" 2016

Donde:

n= tamaño de la muestra

N= Tamaño de la población.

Z = significancia

p= Distribución poblacional del fenómeno en las explotaciones agrícolas

q = 1-P

d = error permisible.

El nivel de significancia determinado en la tabla de la distribución Fisher “z”, presentada por Hernández et al. (1991) es 1,96 con un grado de confianza del 95%. Al no ser conocida la distribución poblacional del fenómeno se asignó el grado máximo de varianza que es de 0,5, con el fin de reducir el error de la muestra. Por lo anteriormente mencionado y ocupando la formula $Q = 1-P$, el valor de Q es de 0,5. El error que se aceptó como permisible fue 0,04.³

La metodología de obtención de predios promedios corresponde a una situación intermedia entre predios tipo reales y predios tipo promedio. Esta consiste en la subdivisión de cada estrato de tamaño, de manera que pueden ser representadas al máximo todas las variables que participan al interior de las tipologías prediales (sectores, suelos, clima, niveles tecnológicos, uso de suelos, disponibilidad de agua, etc), procediendo posteriormente a seleccionar un predio promedio, el cual es la resultante del cuociente entre el área de cada subdivisión predial (hectáreas) y el número de predios que representa.

Cabe señalar que esta metodología es idéntica a la de los predios tipo reales, con la diferencia que al momento de seleccionar el predio promedio, no se elige a ningún rol presente al interior de la subdivisión predial, ya que se opta por seleccionar un predio que sea el promedio de ellos.⁴

f) Estratificación predial y Nivel tecnológico

Corresponde a aquellos regantes que están siendo afectados por el problema actual y que por lo tanto, serán beneficiados con el proyecto. Para esto se deberá agrupar por estratos de superficie (cantidad de hectáreas) el número de regantes existentes (pequeños, medianos y grandes), caracterizar el uso de la superficie disponible (productivas, secano, riego, etc), cual es el objetivo de ésta (autoconsumo, venta, etc) y que nivel tecnológico poseen. La información se puede obtener a través de la encuesta simple realizada.

³ Hernández, Roberto S.; Fernández, Carlos C.; Baptista, Pilar L., Metodología de la Investigación. México, 1991.

⁴ Comisión Nacional de Riego (CNR), “Propuesta de Modificación a Metodología de Evaluación de Proyectos de Riego 2004.”

g) Análisis de la Oferta

En primer lugar se deberá realizar un diagnóstico del estado en que se encuentra la infraestructura de riego como las obras de captación, red de canales, tranques de regulación nocturna, entre otras. La oferta hídrica es la cantidad de agua disponible expresada en volumen por unidad de tiempo, generalmente litros/segundo (l/s).

Para determinar la oferta es importante definir que un año hidrológico está compuesto por los caudales medios mensuales, que corresponden a los promedios de los caudales diarios, los cuales son medidos diariamente en estaciones de aforos o como el promedio de varios registros.

La oferta se calcula en base al caudal con un 85% de seguridad de riego ($Q_{85\%}$) lo que significa que posee un 85% de probabilidad de contar con un caudal Q_s para regar una superficie "S" satisfaciendo las necesidades de los cultivos.

Para el cálculo de la oferta se deben considerar los siguientes aspectos:

- ✓ Estadísticas hidrológicas de los caudales medios mensuales para mínimo los últimos 30 años, de forma tal que consideren los eventos de sequía.
- ✓ Un análisis de frecuencia con las estadísticas hidrológicas para determinar el caudal medio mensual para cada probabilidad de excedencia, utilizando un método de distribución de frecuencia como Normal, Log-Normal, Gumbel, Pearson, etc. Se debe escoger aquella distribución que posea el mejor ajuste.
- ✓ Curvas de variación estacional con los caudales medios mensuales para cada una de las probabilidades de excedencia. En este punto es importante recalcar que se debe identificar el caudal con 85% de excedencia.
- ✓ El caudal ecológico mínimo es el caudal necesario para asegurar la supervivencia de un ecosistema acuático preestablecido. Para los nuevos derechos de aprovechamiento de aguas que se constituyen en cada fuente superficial, se debe determinar el caudal ecológico según los criterios del "Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de los Recursos Hídricos" de la Dirección General de Aguas (DGA) y del Decreto N°014 de 22 de Mayo 2012 "Reglamento para la Determinación del Caudal Ecológico Mínimo".
- ✓ El artículo 18 del código de aguas que estipula que las aguas lacustres o embalsadas no son objetos de derechos de ejercicio eventual.

La oferta calculada como el caudal ($Q_{85\%}$) debe ser equivalente con el número de derechos de aprovechamiento que posean los regantes certificado por la DGA, ya que si bien la oferta fue determinada con la estadística hidrológica no significa que sea la oferta que realmente se va a utilizar.

h) Análisis de la Demanda

La demanda hídrica depende de la cantidad de agua que consume un cultivo y de la eficiencia del sistema de riego, tanto intrapredial como extrapredial, incluyendo así los

sistemas de conducción, acumulación y otras obras hidráulicas que estén involucradas entre la fuente de captación y el cultivo.

Para determinar la demanda hídrica y la superficie de cada cultivo se requiere considerar las pérdidas y los consumos, y para esto se debe tener en cuenta los siguientes conceptos⁵:

- **Evapotranspiración:** se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde, a través de la superficie del suelo por evaporación (E) y, por otra parte, mediante transpiración (T) de las plantas.
- **Evapotranspiración del Cultivo (ET_c):** Corresponde al proceso de evapotranspiración del cultivo mediante condiciones estándar. Las condiciones estándar de los cultivos son: que se desarrollen en campos extensos, bajo condiciones agronómicas excelentes y sin limitaciones de humedad en el suelo.
- **Evapotranspiración de Referencia (ET₀):** Es la cantidad de agua consumida, durante un período de tiempo determinado, en un suelo cubierto de vegetación homogénea, densa, en plena actividad vegetativa y con un buen suministro de agua. Cabe tener presente que esta evapotranspiración de referencia dependerá necesariamente de las condiciones climáticas imperantes en cada lugar. Se expresa en mm/mes.
- **Coefficiente del cultivo (K_c):** El coeficiente de cultivo depende de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de cada especie y expresa la capacidad de la planta para extraer el agua del suelo en las distintas etapas del período vegetativo. No se expresa en unidades. La fuente de información de los K_c por cultivos se encuentra en la FAO.

Entonces, la evapotranspiración de cultivo (ET_c) se calcula de la siguiente manera:

$$ET_c = ET_0 * K_c$$

Donde,

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/mes)

ET₀ = Evapotranspiración de referencia (mm/mes)

K_c = Coeficiente del cultivo

⁵ AGRIMED, Atlas de la Evapotranspiración 2015

- **Demanda Hídrica Neta (DHN):** Se obtiene a través de la diferencia entre la ET_c y el aporte de la precipitación, particularmente la precipitación efectiva, la que corresponde a la fracción de la precipitación total que puede ser aprovechada por el cultivo. La fracción que no es utilizada puede perderse en forma de escorrentía superficial, percolación profunda o evaporación.

La fórmula que expresa el método de Blaney y Criddle modificado por Merlet y Santibañez es la siguiente:

$$P_{ef} = -0,0022 * X^2 + 1,0903 * X$$

Donde;

P_{ef}= Precipitación efectiva (mm/mes)

X=Precipitación Media Mensual (mm/mes)

Por lo tanto, la Demanda Hídrica Neta (DHN) será,

$$DHN = (ET_c - P_{ef}) * 10$$

Donde,

DHN= Demanda Hídrica Neta

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/mes)

P_{ef} = Precipitación efectiva (mm/mes)

- **Tasa de riego (TR):** La tasa de riego, da cuenta del volumen de agua que es preciso aplicar a una superficie unitaria (1 hectárea) de cultivo, para satisfacer su demanda hídrica neta.

El volumen definitivo de agua que será aplicado depende de la eficiencia del riego, según la siguiente tabla.

Tabla 1: Eficiencia por tipo de riego

Tipo de Riego	Porcentaje de eficiencia
Tendido	30%
Surcos	45%
Bordes	60%
Aspersión	75%
Cinta	90%
Goteo	90%

Cada cultivo posee un método de riego y por consecuencia una eficiencia asociada a ese método. Por ello, para estimar la tasa de riego se debe utilizar el porcentaje de eficiencia distinguiendo por cada tipo de cultivo, tanto para la situación actual como la proyectada; lo que se obtiene de la encuesta a los agricultores o de los catastros de las Organizaciones de Usuarios de Agua (OUA).

La tasa de riego (TR) se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$TR = \frac{DHN}{Ef. de Riego}$$

Donde;

TR: Tasa de Riego (m³/ha/mes);
DHN: Demanda Hídrica Neta (m³/ha/mes);
Ef. de Riego: Eficiencia de aplicación de riego

El cálculo de la tasa de riego, expresada como lámina de agua por mes también se puede calcular como el flujo permanente o caudal fijo que necesita una hectárea de cultivo. Esta forma de expresar la demanda bruta se denomina Módulo de Riego.

- **Módulo de Riego (MR):** se refiere al volumen total que demanda un cultivo en todo su ciclo vegetativo, desde la preparación del suelo y la siembra, hasta la cosecha, es decir:

$$MR = TR * 0,0004$$

Donde;

MR= Módulo de Riego (l/s/ha)
TR= Tasa de Riego (m³/ha/mes)

El Módulo de Riego (MR) es un caudal específico por unidad de superficie de cultivo (una hectárea). Por esto, debe multiplicarse este valor por la cantidad de superficie para hallar el caudal demandado (Qd) en litros por segundos; este valor determina la cantidad de agua que debe llegar de forma constante al terreno de forma ininterrumpida para mantener las condiciones óptimas de humedad, es decir:

$$Q_d = MR * A$$

Donde;

Qd= Caudal demandado (l/s)
MR= Módulo de Riego (l/s/ha)
A= Superficie de cada tipo de cultivo (ha)

- **Cálculo del caudal demandado:** Para que los cultivos cumplan exitosamente todos los procesos fenológicos, es importante que cuenten con toda el agua que necesitan, sólo así entregarán un máximo potencial productivo. Por ello, se deben determinar todos los requerimientos vistos anteriormente (la evapotranspiración de los cultivos, precipitaciones efectivas y las eficiencias de riego de acuerdo al método utilizado).

A continuación se muestra la tabla para obtener la demanda con toda la información anterior, en la que debe estar contenida toda la superficie de riego para la situación sin y con proyecto, considerando los criterios mostrados anteriormente y los que luego se explicarán en apartados posteriores.

Tabla 2: Pasos de la determinación de la demanda

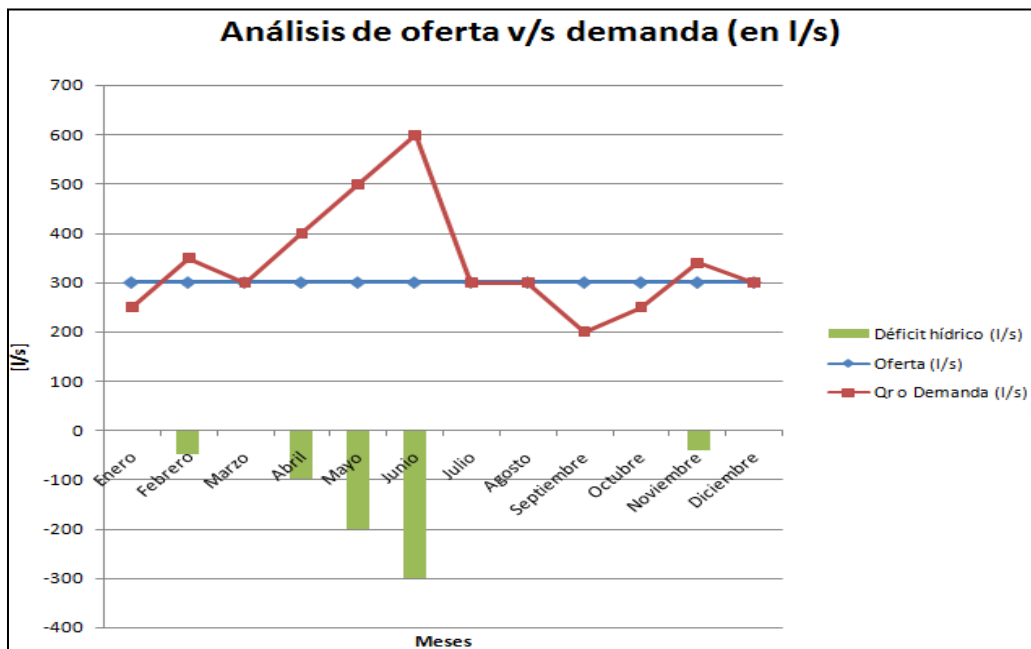
Paso	Parámetro a determinar	Fuente de dato u operación	Datos y Resultados del cálculo mensual	Ene	Dic
1	Evapotranspiración de Referencia	Et0 (mm/mes)	Centro de agricultura y medioambiente AGRIMED. Stgo 2015				
2	Coeficiente del Cultivo	Kc	Centro de agricultura y medioambiente AGRIMED. Stgo 2015				
3	Evapotranspiración del Cultivo	Etc (mm/mes)	Etc= Etp*Kc				
4	Precipitación Media Mensual	X (mm/mes)	Dirección General de Aguas (DGA) http://snia.dga.cl/BNAconsultas/resportes				
5	Precipitación Efectiva	Pef (mm/mes)	$Pef = -0,0022 * X^2 + 1,0903 * X$				
6	Demanda Hídrica Neta	DHN (m3/ha/mes)	$DHN = (Etc - Pef) * 10$				
7	Tasa de Riego	TR (m3/ha/mes)	$TR = DHN / Ef$, Ef: Eficiencia				
8	Módulo de Riego	MR (l/s/ha)	$MR = TR * 0,0004$				
9	Caudal demandado	Qd (l/s)	$Qd = MR * A$, A: Número de Hectáreas de cada cultivo				

Fuente: Elaboración propia

i) Déficit o Balance Hídrico

El déficit o balance hídrico corresponde a la suma algebraica entre las ganancias y pérdidas de agua del suelo. Dentro de las ganancias se incluyen: la precipitación, el riego y el ascenso capilar; mientras que en las pérdidas se encuentran la evapotranspiración, el escurrimiento superficial y la percolación profunda. En consecuencia, el déficit se calcula mediante la comparación entre oferta y demanda calculada anteriormente. A continuación un ejemplo del gráfico del balance hídrico.

Gráfico 1: Análisis de la oferta y demanda



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico se muestra una oferta constante de 300 l/s de enero a diciembre; por otro lado, existe una demanda de los cultivos que en algunos meses supera la oferta disponible. Lo anterior arroja un déficit que se puede apreciar en los meses de febrero, abril, mayo, junio y noviembre.

Es importante destacar que desde el punto de vista agro-hidrológico, una superficie con riego seguro, es aquella que tiene una seguridad de riego mayor o igual a 85%. Para este nivel es posible suponer que el riesgo para el agricultor es el adecuado para decidir invertir en la plantación. Para asegurar que la oferta suple la demanda de los cultivos se debe comprobar que la seguridad de riego, cociente entre los años no fallados y el total de años considerados, sea realmente el 85%. Para ello, se debe considerar que un año fallado es aquel en que al menos un mes presente un déficit de agua superior al 15% de la demanda, o en que en dos meses consecutivos se presente déficit mayores a un 10% y menores a un 15%.⁶

Si existe déficit en los meses en que no hay disponibilidad de agua se deberá ajustar (disminuir) la superficie de nuevo riego, de tal manera que al menos la oferta sea equivalente a la demanda.

También se puede utilizar el software WEAP⁷ que estima el déficit hídrico construyendo modelos para crear simulaciones de entradas y salidas de agua de una cuenca o más, con el fin de adoptar un enfoque integrado para la planificación de los recursos hídricos.

⁶ Dirección de Obras Hidráulicas (DOH)

⁷ Water Evaluation And Planning System (WEAP) es una herramienta de modelación para la planificación y distribución de agua que puede ser aplicada a diferentes escalas, desde pequeñas zonas de captación hasta extensas cuencas. http://www.weap21.org/downloads/Guia_modelacion_WEAP_Espanol.pdf

Resultado del diagnóstico se debe determinar la seguridad de riego actual del área del proyecto, y la superficie que se puede regar con una seguridad del 85%.

2.2 Optimización de la Situación actual

La optimización de la situación actual corresponde a la situación sin proyecto que consiste en identificar medidas de inversiones marginales que puedan mejorar la situación actual, eliminando parcialmente el problema. Evita atribuirle al proyecto estos beneficios y así no sobreestimarlos en la evaluación, como por ejemplo: medidas de gestión y/o administrativas, capacitación, reparaciones de bajo costo, entre otras.

La situación actual optimizada debe reflejar las pérdidas crecientes en los rendimientos de los cultivos por la sequía, es decir, no debe ser una proyección estática en el horizonte de evaluación. Para ello, se deberá identificar los ciclos de sequía con los datos registrados de una fuente oficial, como las estaciones meteorológicas y con dichos datos analizar el impacto que existe en la variable de la precipitación media mensual (mm/mes) en la construcción de la demanda del cultivo. Esto significará que al disminuir la precipitación media mensual (mm/mes) las hectáreas regadas se verán reducidas, tanto en la situación actual optimizada como en la situación con proyecto. Cabe señalar que esta última tendrá un impacto marginal respecto de la situación sin proyecto, ya que la restricción hídrica medida en la disminución de la precipitación media mensual, se verá contra restada por la operación del proyecto.

2.3 Situación Con Proyecto

La situación con proyecto corresponde a la situación futura, cuya materialización se espera por la ejecución del proyecto; es decir, corresponde a la situación a la cual se espera llegar una vez realizado el proyecto.

Los beneficios y los costos se realizan comparando la situación actual optimizada (sin proyecto) con la situación con proyecto, tal como se muestra más adelante.

2.4 Análisis de Alternativas

Se deben describir, técnica y económicamente todas las alternativas factibles que puedan dar solución al problema identificado. Todas las alternativas posibles deben ser comprables entre sí, es decir, que tengan el mismo nivel de calidad y puedan ser capaces de subsanar completamente el problema detectado.

Cada una de las alternativas debe ser evaluada de forma separada para finalmente tomar la decisión de elegir aquella que sea la más conveniente desde el punto de vista técnico económico.

3. Evaluación Social de Proyectos

La evaluación social de proyectos permite determinar en qué medida un proyecto de inversión tendrá un efecto sobre la sociedad en términos económicos y de bienestar. En el SNI se utilizan dos enfoques de evaluación:

- **Análisis costo-beneficio:** este tipo de análisis permite identificar, entre un conjunto de alternativas de iniciativas de inversión, cuál es la que genera el mayor beneficio neto para la sociedad. Requiere identificar, cuantificar y valorizar todos los beneficios y costos del proyecto, en precios sociales y obtener indicadores como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) que permitan concluir sobre la rentabilidad económica del proyecto.
- **Análisis costo-eficiencia:** asume que los beneficios son deseados por la sociedad por lo que no se calcula un valor monetario de los beneficios. El objetivo de este enfoque es evaluar alternativas que permitan obtener el beneficio buscado, utilizando la menor cantidad de recursos. Para ello, se debe realizar una completa identificación, cuantificación y valoración de los costos asociados al proyecto, expresados en precios sociales, para construir posteriormente indicadores como el Valor Actual de Costos (VAC) y el Costo Anual Equivalente (CAE),

Las iniciativas de inversión de proyectos de riego se evalúan con un enfoque costo beneficio.

3.1 Identificación de Beneficios y Costos de los Proyectos

a) *Identificación de Beneficios*

Un proyecto de riego puede generar los siguientes beneficios sociales:

- **Beneficios por aumento en la producción agrícola:** Con la construcción de la obra aumentará la disponibilidad de agua, y por lo tanto disminuirá la incertidumbre de la tenencia de agua (mayor seguridad de riego). Esto permite por un lado, que los cultivos actuales obtengan mayores rendimientos y mejoren su calidad, y por otro, que hectáreas agrícolas que no estaban siendo regadas sean incorporadas⁸. En ambos casos, se logrará aumentar la producción actual.
- **Beneficios por cambio en la estructura de cultivo:** El agricultor podrá optar por cambiar su estructura de cultivos por otros más rentables y así obtener mayores beneficios, como por ejemplo de un cultivo anual a uno permanente.

⁸ Es fundamental que las superficies de nuevo riego tengan una cierta lógica en cuanto a la gradualidad en la incorporación de cultivos. El porcentaje de la tasa de incorporación dependerá de la superficie nueva y de los datos que entreguen respaldando los supuestos.

- **Beneficio por pérdida evitada:** El agricultor que decida no cambiar su estructura de cultivo, podrá al menos mantener la producción actual con la ejecución del proyecto de riego, ya que este disminuye el efecto negativo de la sequía en los rendimientos de los cultivos.
- **Ahorro de costos:** Se refiere a los recursos que dejan de ser empleados en las faenas actuales, como por ejemplo ahorro por disminución de pérdidas de agua, ahorro de mano de obra, ahorro en los costos de operación y mantención, etc.

Para proyectos de riego que contemplen hidrogenación y/o producción de agua potable se identifican otros beneficios, los cuales están descritos en los anexos 1 y 2 de esta metodología.

b) Identificación de Costos

Los costos que se pueden identificar en los proyectos de riego son:

- **Costos de inversión:** corresponden a los costos de construcción de las obras civiles como por ejemplo: sistemas de captación, conducción, canales matrices secundarios, regulación nocturna, revestimientos, equipos de bombeo, perforaciones, puesta en riego, etc; adquisición y/o habilitación de terrenos; mejoramiento y/o ampliación de componentes o equipos; transferencia tecnológica y capacitación.
- **Costos de operación y mantención:** Se registran durante la vida útil del proyecto y son los que permiten el buen funcionamiento y mantenimiento del sistema, como por ejemplo: sueldos del personal operativo, gastos en energía, combustibles, productos químicos, labores de presas, costos de mantención de compuertas, entre otros.
- **Costos de producción agrícola:** Corresponde a los costos incurridos en la adquisición de los factores productivos e insumos como: mano de obra, semillas, maquinarias, fertilizantes, otros. Estos costos aparecen en las fichas agroeconómicas de cada cultivo. También se debe agregar el costo por tecnificación en los frutales.
- **Costos ambientales:** La construcción de las obras de riego traen consigo movimientos de tierra, contaminación, alteración del paisaje, por lo que se debe incurrir en gastos para paliar estos efectos negativos provocados por la ejecución del proyecto.

3.2 Estimación de Beneficios

Para la estimación de los beneficios relacionados con el aumento en la producción agrícola, por cambio en la estructura de cultivo y por pérdida evitada se aplicará el *Método del Valor del Producto Marginal Método del Presupuesto*. Por otra parte, y según el tipo de proyecto, se estimará el beneficio por *Ahorro de Costos* en insumos o factores productivos.

a) Método del Presupuesto

También conocido como *Método del Producto Marginal* evalúa la contribución incremental de producción, es decir, la diferencia entre los ingresos y todos los costos asociados a la producción distintos al agua incluyendo los costos asociados a la gestión del sistema productivo. Este método es capaz de identificar el cambio de la productividad en función al incremento de recursos hídricos como insumo.

En teoría, el método considera una función de producción donde el recurso hídrico corresponde a un insumo productivo, que junto a otros recursos (trabajo, capital, energía, etc) producen un bien. Frente a una variación en la disponibilidad de agua para la producción se espera que se modifiquen los costos de producción, el precio, la cantidad del producto final y los retornos de los otros factores de producción. Por lo cual, el valor total de la producción agrícola será igual a la sumatoria de los costos de oportunidad de los factores de producción, incluidos el capital y la tierra, por número de hectárea agrícola más el precio del agua por el consumo de agua por hectárea agrícola. Cuando los costos de oportunidad o precio sombra de los otros factores, distintos al agua, están determinados por su precio de mercado, entonces el precio sombra del agua es igual a la diferencia entre el valor total de la producción agrícola y los costos de los otros factores. Dado el valor total de producción agrícola por:

$$VTP = \sum_{i=1}^n H_i * \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [P_{ij} * Q_{ij}] + Pa * \sum_{i=1}^n [Da_i * H_i]$$

VTP = Valor total de la producción agrícola;

H_i = Cantidad de hectáreas destinadas a la especie agrícola i ;

P_{ij} = Precio de los factores de producción j para la especie agrícola i ;

Q_{ij} = Cantidad demanda de los factores de producción j para la especie agrícola i ;

Pa = Precio del agua (\$/l/s; \$/m³);

Da_i = Demanda neta de agua de la especie agrícola i (l/s/ha; m³/ha).

i = Especie (tipos de frutales, hortalizas, forrajeras, cereales, etc)

j = Factores de producción (capital, tierra, energía, insumos, etc)

La cantidad de hectáreas destinadas a la especie agrícola i (H_i) puede aumentar a causa del proyecto por tener una mayor seguridad y disponibilidad de riego. Uno de los objetivos de la construcción del embalse, por ejemplo, es aumentar la superficie regada de una zona en particular lo que podría ocurrir por la incorporación de suelos improductivos y/o pasar de áreas de secano a riego, etc y también aumentar la producción agrícola. El regante tiene la posibilidad de incrementar los cultivos existentes o cambiar la estructura de cultivo por cultivos que sean más rentables como frutales, pero también puede ocurrir que decida permanecer de la misma manera, con el fin de asegurar el riego para las especies agrícolas que ya posee y así aumentar sus rendimientos.

Con respecto al precio del agua (P_a), existe una gran dispersión de precios que indican la poca información que hay entre vendedores y compradores, lo que permite que el mercado de derechos de aguas (DDA) sea ineficiente en la asignación final de los recursos⁹. Es por ello, que el Método del Presupuesto es una de las formas más fáciles para estimar el valor del agua.

La demanda por agua de la especie i (Da_i) depende de varios aspectos como la evapotranspiración del cultivo, la precipitación efectiva, la eficiencia del sistema de riego, entre otros. La eficiencia del sistema de riego aumenta con el nivel de tecnificación, por ejemplo un método de riego tradicional como riego por surco posee un nivel de eficiencia del 45%, mientras que el tecnificado como riego por goteo posee un 90% de eficiencia, lo que significa que existen menores pérdidas por escurrimiento y percolación.

Este beneficio se calcula como el diferencial de beneficios y costos de las situaciones sin (situación actual optimizada) y con proyecto, es decir, es el valor incremental de los flujos netos. La situación actual optimizada se debe construir reflejando la disminución de los rendimientos a causa de la sequía y la situación con proyecto va a corresponder a al menos mantener esos rendimientos, que el agricultor hubiese perdido sin la ejecución del proyecto, a causa de una mayor disponibilidad de agua entregada por una obra de regulación por ejemplo.

Para ambas situaciones se deben tener en cuenta los siguientes aspectos y/o supuestos:

- ✓ Todos los costos requeridos en la producción agrícola para que así, efectivamente, se obtenga el beneficio neto atribuible al proyecto.
- ✓ Los costos de oportunidad de la mano de obra familiar que no es “efectivamente pagada” y las distorsiones de mercado que no reflejan el verdadero valor de los factores de producción.
- ✓ Tener cuidado con este método porque es altamente sensible a pequeñas variaciones en los supuestos y especificaciones relativas a los rendimientos y

⁹ Comisión Nacional de Riego, “Análisis Estimación del Precio Privado de los Derechos de Aprovechamiento de Aguas” 2013.

precios. Asimismo, si se omite algún factor de producción, erróneamente se asignarán mayores beneficios al agua.

- ✓ Tanto para la situación sin (situación actual optimizada) y con proyecto, para que no se sobreestimen los beneficios de la obra de riego, se deben considerar aspectos como: estructura de cultivos, producción agrícola, cantidad y tipo de superficie, métodos de riego, etc. El Valor Actual Neto (VAN) que se estima por este método es la rentabilidad de un conjunto de inversiones como por ejemplo, la obra de riego intrapredial, la inversión en nuevos cultivos, aplicación de nuevas tecnologías y desarrollo de transferencias tecnológicas¹⁰ que son realizadas por la ejecución del proyecto.
- ✓ Para los cultivos permanentes (frutales) se debe considerar el tiempo que requieren para entrar nuevamente en producción.
- ✓ Es fundamental que las superficies de nuevo riego (situación con proyecto) tengan una cierta lógica en cuanto a la gradualidad en la incorporación de cultivos. El porcentaje de la tasa de incorporación dependerá de la superficie nueva y de los datos que entreguen respaldando los supuestos.
- ✓ Para la situación con proyecto se debe considerar la curva de adopción de tecnología, la cual dependerá del tipo de cultivo y de los rendimientos esperados.

Para obtener el cálculo del beneficio por el Método del Presupuesto, se presenta a continuación una tabla con los aspectos a considerar, tanto en la situación con y sin proyecto, con sus respectivas fuentes y/o fórmulas de cálculo.

¹⁰ Qualitas Agroconsultores Ltda. (2013), Diagnóstico sobre Determinación de Parámetros Socioeconómicos para Estudios de Riego en Etapa de Prefactibilidad, Informe técnico 2. Comisión Nacional de Riego (CNR).

SITUACIÓN SIN PROYECTO (SITUACIÓN ACTUAL OPTIMIZADA)	CÁLCULO/FUENTE DE INFORMACIÓN	SITUACIÓN CON PROYECTO	FUENTE DE INFORMACIÓN
1. Estructura actual de cultivos: Nombrar tipo de cultivos existentes en el área beneficiada (cereales, frutales, hortalizas, etc.) y número de hectáreas correspondientes. También se deben describir el tipo de hectáreas (secano, riego, productivas, arables, etc.) existentes en la localidad.	Encuesta a los regantes.	1. Nueva estructura de cultivos: Proyectar los posibles tipos de cultivos y número de hectáreas correspondientes, las cuáles deben ser coherentes con el cálculo del balance hídrico.	La nueva estructura de cultivos debe ser respaldada por una revisión bibliográfica de la región como Censo Agropecuario-ODEPA, Catastro frutícola-CIREN, Boletín agrometeorológico por región-INIA, etc.
2. Método de riego actual: Se debe describir por tipo de cultivo el método actual utilizado para riego (surco, tendido, aspersión, etc.)	Encuesta a los regantes.	2. Método de riego con proyecto: Se deben describir por tipo de cultivo el método a utilizar para riego (goteo, microaspersión, cinta, etc.)	Ficha técnica regional por tipo de cultivo (CNR-ODEPA)
3. Productividad agrícola: identificar el rendimiento por cada cultivo actual (kg/ha)	Encuesta a los regantes, Ficha técnica regional por tipo de cultivo (CNR-ODEPA)	3. Productividad agrícola: identificar el rendimiento por cada cultivo con proyecto(kg/ha)	Ficha técnica regional por tipo de cultivo (CNR-ODEPA)
4. Precios: Identificar los precios de las distintas especies agrícolas por rendimiento y así obtener los ingresos de la situación actual.	Ficha técnica regional por tipo de cultivo (CNR-ODEPA) o precios publicados en boletines de ODEPA	4. Precios: Identificar los precios de las distintas especies agrícolas por rendimiento y así obtener los ingresos de la situación con proyecto.	Ficha técnica regional por tipo de cultivo (CNR-ODEPA) o precios publicados en boletines de ODEPA
5. Costos: se deben identificar los costos de Mano de obra, maquinaria e insumos por tipo de cultivo necesarios en la producción agrícola.	Ficha técnica regional por tipo de cultivo (CNR-ODEPA)	5. Costos: se deben identificar los costos de Mano de obra, maquinaria e insumos por tipo de cultivo necesarios en la producción agrícola. También se debe incluir el costo de instalación de riego tecnificado.	Ficha técnica regional por tipo de cultivo (CNR-ODEPA)
6. Margen Bruto situación actual: Dado los flujos de ingresos y costos de todas las especies agrícolas, se debe obtener la diferencia de ambos flujos para cada año. En este caso sería hasta el año 30 que corresponde al horizonte de evaluación.	$\text{Ingresos SP} - \text{Costos SP} = \text{Mg Bruto SP}$	6. Margen Bruto situación con proyecto: Dado los flujos de ingresos y costos de todas las especies agrícolas, se debe obtener la diferencia de ambos flujos para cada año. En este caso sería hasta el año 30 que corresponde al horizonte de evaluación.	$\text{Ingresos CP} - \text{Costos CP} = \text{Mg Bruto CP}$

Finalmente, el diferencial entre el margen bruto con proyecto (Mg. Bruto CP) y el sin proyecto (Mg. Bruto SP) proyectado y actualizado a 30 años menos la inversión y los costos de operación y mantenimiento del proyecto se obtendrá el VAN que corresponderá al beneficio agrícola del proyecto (BNA) de riego.

b) Estimación del ahorro de costos

Para aquellos proyectos que generen una liberación de recursos, ya sea de insumos o factores productivos, energía, entre otros, será necesario valorarlos monetariamente. Para esto, primero se deberá cuantificar la magnitud del ahorro del recurso y luego aplicar un precio que refleje su valor.

i) Ahorro de insumos

$$A^{ins} = (C_{sp}^{ins} - C_{cp}^{ins}) * P^{ins}$$

Donde;

Ains = Ahorro de insumos

Cinssp = Cantidad del insumo sin proyecto

Cinscp = Cantidad del insumo con proyecto

Pins = Precio del insumo

ii) Ahorro de mano de obra calificada

$$AC = (H_{sp} - H_{cp}) * S_c * 0,98$$

Donde;

Ac = Ahorro mano de obra calificada

Hcsp = Horas hombre mano de obra calificada sin proyecto

Hccp = Horas hombre mano de obra calificada con proyecto

Sc = Sueldo bruto mano de obra calificada

0,98 = Factor de corrección

iii) Ahorro de mano de obra semi calificada

$$A^{sc} = (H_{sp}^{sc} - H_{cp}^{sc}) * S^{sc} * 0,68$$

Donde;

Asc = Ahorro de mano de obra semi calificada

Hscsp = Horas hombre mano de obra semi calificada sin proyecto

Hscsp = Horas hombre mano de obra semi calificada con proyecto

Ssc = Sueldo bruto mano de obra semi calificada
0,68 = Factor de corrección mano de obra semi calificada

iv) Ahorro de mano de obra no calificada

$$A^{nc} = (H^{nc}_{sp} - H^{nc}_{cp}) * S^{nc} * 0,62$$

Donde;

Anc = Ahorro de mano de obra no calificada
Hncsp = Horas hombre mano de obra no calificada sin proyecto
Hnccp = Horas hombre mano de obra no calificada con proyecto
Snc = Sueldo bruto mano de obra no calificada
0,62 = Factor de corrección mano de obra no calificada

v) Ahorro de energía

$$A^e = (Kwh_{sp} - Kwh_{cp}) * T^e$$

Donde;

Ae = Ahorro energía
Kwhesp = Energía sin proyecto
Kwhcep = Energía con proyecto
Te = Tarifa eléctrica.

3.3 Configuración de los Flujos Netos

A partir de los costos de inversión, operación y mantención y mitigación ambiental, se debe construir los flujos netos durante el horizonte de evaluación, valorados a precios sociales.

a) Corrección a precios sociales

El objetivo de la estimación de los precios sociales es disponer de valores que reflejen el verdadero beneficio o costo para la sociedad de utilizar unidades adicionales de recursos durante la ejecución y operación de un proyecto.

Para una correcta evaluación social de los proyectos se requiere valorizar tanto beneficios como costos de los proyectos usando precios sociales. Para ello es necesario tener en cuenta ciertos factores de conversión, los cuales multiplicados por el precio de mercado neto darán origen a los denominados “precios sociales”.

Tabla N°3: Corrección a precios sociales¹¹

Costos	Ajuste
Maquinarias, equipos e insumos nacionales	Descontar IVA y otros impuestos;
Maquinarias, equipos e insumos importados	Descontar IVA, arancel y otros impuestos; aplicar el factor de corrección de la divisa
Sueldos y salarios	Aplicar el factor de corrección de la mano de obra, para cada nivel de calificación.
Combustibles	Utilizar el Valor Social del Diesel o Gasolina.

Fuente: Ministerio de Desarrollo Social e Instituto Nacional de Estadísticas (INE)

Los principales factores de corrección son:

- Impuestos

El IVA y cualquier otro tipo de impuesto deben ser descontados de los ingresos y costos en los flujos al realizar la evaluación social.

Tabla 4: Corrección a precios sociales impuestos

Variable	Valor
IVA	19%
Arancel Aduanero	1,7%

Fuente: Ministerio de Desarrollo e Instituto Nacional de Estadísticas (INE)

(*) Valor actual utiliza arancel efectivo importaciones chilenas.

- Mano de Obra

Existen distintas calificaciones según tipo de mano de obra, y cada una de ellas tiene un factor de corrección, por lo tanto, estas se definen a continuación:

- Mano de Obra Calificada: Aquellos trabajadores que desempeñan actividades cuya ejecución requiere estudios previos o vasta experiencia, por ejemplo: profesionales, técnicos, obreros especializados. Entre estos últimos se debe considerar maestros de primera en general, ya sean mecánicos, electricistas, albañiles, pintores, carpinteros u otros.

¹¹ Los precios sociales deben estar linkeados para que sea más fácil su revisión en la planilla de evaluación social del proyecto.

- Mano de Obra Semi Calificada: Aquellos trabajadores que desempeñan actividades para las cuales no se requiere estudios previos y que, teniendo experiencia, esta no es suficientes para ser clasificados como maestros de primera.
- Mano de Obra no Calificada: Aquellos trabajadores que desempeñan actividades cuya ejecución no requiere de estudios ni experiencia previa, por ejemplo: jornaleros, cargadores, personas sin oficio definido.

El costo social de la mano de obra se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$PS=g*PB$$

Donde:

PS: Precio Social de la Mano de Obra

g: Factor de corrección

PB: Salario bruto o costo para el empleador de la mano de obra (costo privado)

Tabla 5: Corrección a precios sociales mano de obra

Categoría Mano de Obra	Factor de corrección
Calificada	0,98
Semi calificada	0,68
No calificada	0,62

FUENTE: MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL

- Importación de Productos

Tabla 6: Corrección a precio social divisa

Variable	Precio social (\$/l)
Precio social de la divisa	1,01

FUENTE: MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL

- Precio Social del Combustible

Se calculan precios sociales para el diesel y las gasolinas diferenciando por octanaje (93, 95 y 97). Los precios sociales vigentes para los distintos combustibles por litro se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 7: Corrección a precios sociales combustible¹²

Combustible	\$/litro
Petróleo diesel	\$ 422
Gasolina 93	\$ 393
Gasolina 95	\$ 416
Gasolina 97	\$ 443

FUENTE: MINISTERIO DE DESARROLLO SOCIAL

b) Horizonte de Evaluación

El horizonte de evaluación corresponde al período para el cual se proyectan tanto los beneficios, como los costos de este y depende de la vida útil de cada componente del sistema de riego. Debe incluirse en el flujo las inversiones en reposición en caso de ser necesarias. El horizonte de evaluación para las obras de riego será de 30 años.

c) Valor Residual

Se calcula restando la depreciación acumulada al valor inicial de los activos. Para el caso de los terrenos, el valor residual es equivalente al valor considerado en la inversión, ya que cualquier aumento en su plusvalía, no es beneficio atribuible al proyecto. Este valor deberá incluirse en el último periodo del horizonte de evaluación.

d) Tamaño óptimo

Se debe prestar atención y cuidado a la proyección de la situación actual optimizada a fin de determinar el tamaño óptimo y no inducir a un sub o sobredimensionamiento de las obras. Para ello, el volumen de un embalse va a depender de la hidrología del lugar, de las eficiencias de la regulación nocturna, del número de hectáreas regables, métodos de riego, entre otras.

e) Construcción de flujos netos

En la siguiente tabla se muestra como deben construirse los flujos netos que permitirán la evaluación económica de los proyectos de riego.

Es necesario reiterar que los cultivos estimados para la situación con proyecto deben ser ingresados gradualmente.

¹² Los precios sociales de valor monetario se actualizan todos los años, por lo que se recomienda estar revisando periódicamente el link que aparece en la referencia.

Tabla 8: Construcción flujos netos

Horizonte de Evaluación	Costos				Beneficios			Flujo Actualizado
	Año	Inversión	Mantenimiento	Mitigación Ambiental	Costo Total	Margen Bruto Actual	Margen Bruto Futuro	
0								
1								
...								
30								
							VAN	

3.4 Cálculo de indicadores

a) Tasa social de descuento

La tasa social de descuento es el costo alternativo del proyecto, es decir, es el costo que significa para el país invertir en el proyecto y no a su mejor uso alternativo. Esta tasa sirve para determinar la equivalencia de un monto de dinero en dos periodos de tiempo distintos, por lo que los flujos deben ser actualizados o descontados utilizando la tasa social de descuento, que actualmente corresponde al 6%.

b) Valor Actual Neto Social (VANS)

Es la suma de los flujos futuros en un periodo fijo que están expresados, mediante la tasa de descuento, en valores actuales. En este caso se debe calcular el VAN social, por lo que se utilizará la tasa social de descuento.

$$VANS = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t}$$

VANS=Valor Actual Social Neto

I_0 = Inversión inicial

F_t = Flujo neto al final del período t

n= horizonte de evaluación

r= tasa social de descuento

El criterio de decisión utilizando VAN es el siguiente:

VANS	Criterio de decisión
=0	Indiferente o no de ejecutar el proyecto
<0	No se realiza el proyecto
>0	Se realiza el proyecto

c) Tasa Interna de Retorno Social (TIRS)

Mide la rentabilidad promedio de un proyecto, suponiendo que los flujos se reinvierten en el mismo proyecto a una tasa constante. La tasa Interna de Retorno Social corresponde a la tasa que hace el VANS igual a cero. La TIRS se calcula de la siguiente manera:

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} = 0$$

El criterio de decisión utilizando la TIRS es:

TIRS	Criterio de decisión
=6%	Indiferente o no de ejecutar el proyecto
<6%	No se realiza el proyecto
>6%	Se realiza el proyecto

d) Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad reconoce que las variables que fueron incluidas y analizadas en la evaluación de proyectos pueden cambiar durante el tiempo, las cuales afectarán de manera positiva o negativa a la evaluación. Algunas de las variables más relevantes son: ingresos, precios de insumos, costos de producción, rendimiento de los cultivos, entre otras.

Es por esto que el objetivo es identificar la fortaleza del proyecto ante las modificaciones de las variables relevantes, es decir, que el proyecto se mantenga rentable (VAN>0).

Tabla 9: Análisis de Sensibilidad

Escenarios	Sensibilizadores		Resultados	
(Disminución 20% ingresos por venta)	ingresos por venta	0,8	VANS	
	Costos de venta	1,0	TIRS	
	Inversión	1,0	Δ% VANS	
(Aumento del 20% en costos de venta)	ingresos por venta	1,0	VANS	
	Costos de venta	1,2	TIRS	
	Inversión	1,0	Δ% VANS	
(Aumento del 30% en inversión)	ingresos por venta	1,0	VANS	
	Costos de venta	1,0	TIRS	
	Inversión	1,3	Δ% VANS	

FUENTE: Elaboración propia

Anexo 1: Estimación de Beneficios por Generación hidroeléctrica

Los beneficios de los proyectos de hidrogeneración eléctrica van a depender del tamaño de la central a construir (capacidad instalada), lo que a su vez depende tanto de los requerimientos de energía y potencia, como también del mismo recurso hídrico utilizable. Dentro de los beneficios de un proyecto de riego que contemple generación eléctrica están:

- a) Ventas de energía (bajo el supuesto que el mercado eléctrico es competitivo);
- b) Ventas de potencia.

a) Beneficios por venta de energía

Se refiere a la venta de energía de los proyectos de riego que contemplan generación hidroeléctrica, en donde el dueño del proyecto puede vender energía al sistema eléctrico. Este beneficio está dado por un aumento en el consumo de energía que pueden estimarse a través de los ingresos anuales por ventas de energía, es decir:

$$V_e [\$] = P_e [\$/\text{kWh}] \times Q_e [\text{kWh}]$$

Donde;

V_e = ventas por energía anual

P_e = Precio de energía

Q_e = Energía generable anual

Es relevante mencionar que la determinación de la capacidad instalada de la central permitirá definir el modelo de negocio a considerar desde el punto de vista eléctrico, y por ende, el precio de venta de energía a incorporar en la evaluación económica del proyecto en cuestión.

Para efectos de reducir riesgos y estabilizar el flujo de ingresos del negocio eléctrico, se recomienda que los proyectos de generación se puedan desarrollar como “Pequeños Medios de Generación (PMG)”. Según la regulación del mercado eléctrico chileno, los PMG son medios de generación cuyos excedentes de potencia son menores o iguales a 9 MW. De igual forma, los medios de generación anteriormente descritos, pueden optar a conectarse al sistema de distribución de un concesionario eléctrico o bien a instalaciones de una empresa que posea líneas de distribución de energía eléctrica que utilicen bienes nacionales de uso público. En caso que el medio de generación que opte por esta conexión, se clasificara como “PMGD”.

Bajo las consideraciones anteriores, y definiéndose el proyecto hidroeléctrico como PMG o PMGD, la regulación eléctrica del país permite la venta de energía asegurando un precio estabilizado de venta (precio de nudo de energía y potencia asociada a la subestación eléctrica primaria de conexión), de forma de reducir los riesgos de exposición al mercado spot de energía.

La central hidroeléctrica puede escoger, en función a su capacidad instalada, si acogerse a la venta de energía a costo marginal en el mercado spot, enfrentando el riesgo de un precio que presenta volatilidades, o acogerse al precio estabilizado en caso de presentarse un proyecto de capacidad instalada menor a 9 MW.

Costo Marginal instantáneo en la subestación eléctrica primaria de conexión

El costo marginal es el precio a utilizar en la valorización de transferencias de energía entre empresas generadoras y representan el principio rector del mercado de transferencias física del mercado spot. El costo marginal es el costo que tiene para el sistema el proveer una unidad adicional de energía en cada hora. En la práctica, como el despacho de los generadores lo realiza el coordinador (CDEC) en orden creciente de costos, el costo marginal se define como el costo variable de la unidad generadora más cara que se encuentra operando para abastecer la demanda en un instante determinado.

Los valores del costo marginal son entregados hora a hora, para la mayor parte de las barras del sistema por el coordinador de los sistemas eléctricos.

Precio estabilizado de energía o precio de nudo asociada a la subestación eléctrica primaria de conexión

Los precios de nudo se fijan semestralmente, en los meses de abril y octubre de cada año. Su determinación es efectuada por la Comisión Nacional de Energía (CNE), quien a través de un informe técnico comunica sus resultados al Ministerio de Energía, el cual procede a su fijación mediante un Decreto publicado en el Diario Oficial. El precio de nudo se constituye de dos componentes:

- Precio básico de la energía: Promedio en el tiempo de los costos marginales de energía del sistema eléctrico operando a mínimo costo actualizado de operación y de racionamiento, durante el período de estudio.
- Precio básico de la potencia de punta: Costo marginal anual de incrementar la capacidad instalada del sistema eléctrico considerando las unidades generadoras más económicas, determinadas para suministrar potencia adicional durante las horas de demanda máxima anual del sistema eléctrico, incrementado en un porcentaje igual al margen de reserva de potencia teórico del sistema eléctrico.

En el caso de utilizar precios estabilizados, el precio de energía está representado por el precio básico de la energía (P_e) que se puede obtener del “Decreto de Precio de Nudo” calculado y publicado por la Comisión Nacional de Energía (CNE) y firmado por el Ministerio de Energía, el cual se fija cada 6 meses. En caso de utilizar el precio spot, el precio de la energía será el costo marginal en la subestación primaria de conexión, el que se obtiene a partir de lo publicado por el coordinador del sistema eléctrico en su sitio web.

Por otra parte, la Energía generable (Q_e) va a depender de la capacidad máxima de la central hidroeléctrica ($C_{m\acute{a}x}$) y del factor de planta como se muestra a continuación.

$$Q_e \text{ [kWh]} = C_{m\acute{a}x} \text{ [kW]} \times 8.760 \text{ [h]} \times f$$

Donde;

Q_e = Energía generable anual

$C_{m\acute{a}x}$ = Capacidad máxima

f = Factor planta

La capacidad máxima estará dada principalmente por el tamaño de las turbinas, mientras que el factor de planta depende del uso del recurso primario para generación, en este caso, la disponibilidad del agua para generación.

b) Beneficios por venta de potencia

El beneficio está dado por la venta de potencia que se refiere a la capacidad de desarrollar trabajo mecánico determinado. El cálculo de los ingresos por venta de potencia va a depender de la potencia firme y del precio base de la potencia de punta, tal como se muestra a continuación.

$$V_p \text{ [\$]} = P_{b_p} \text{ [\$ / kW-mes]} \times 12 \text{ [mes]} \times P_f \text{ [kW]}$$

V_p = Ventas por potencia anual

P_{b_p} = Precio base de la potencia de punta

P_f = Potencia firme

El Precio base de la potencia de punta (P_{b_p}) se obtiene del Decreto de Precio de Nudo calculado y publicado por la Comisión Nacional de Energía (CNE) y firmado por el Ministerio de Energía.

La Potencia Firme (P_f) corresponde a la potencia máxima que sería capaz de inyectar y transitar un generador en los sistemas de transmisión en las horas de punta, considerando su indisponibilidad probable. Aquella corresponderá a la suma de las potencias firmes de sus propias unidades y de las contratadas con terceros que operen en sincronismo con el sistema.

La Potencia Firme (P_f) de cada central se calcula a partir de las potencias firmes preliminares ajustada por un factor único definido como el cociente entre la demanda máxima del sistema y la sumatoria de las potencia firmes preliminares de cada central, dando como resultado la potencia firme de la central, tal que:

$$PF_i = PFP_i \cdot \left[\frac{D_{\max}}{\sum PFP_i} \right]$$

La demanda máxima (D_{máx}) utilizada corresponde a la demanda bruta del Sistema Interconectado Central (SIC) descontados los consumos propios de las centrales, registrada durante el período de punta (días hábiles entre las 18:00 y 23:00 hrs. de los meses comprendidos entre mayo y septiembre del año de cálculo)¹³.

La potencia Firme depende de la capacidad máxima de la central y de un factor que se define como el reconocimiento de potencia que lo asigna el coordinador, es decir:

$$Pf \text{ [kW]} = C_{máx} \text{ [kW]} \times rp$$

Donde;

Pf = Potencia Firme

C_{máx} = Capacidad máxima

rp = Reconocimiento de potencia

Con el fin de simplificar el cálculo de la potencia firme, se podrá utilizar el factor asignado por el Coordinador a una central que posea las mismas características (capacidad instalada de generación, tecnología, etc) que el proyecto que se está evaluando. El catastro de centrales que operan en los sistemas eléctricos se puede obtener a partir de las estadísticas publicadas por la Comisión Nacional de Energía (CNE).

Cabe destacar que para efectos de la evaluación social, tanto los precios base de energía como los de potencia deben ir sin IVA.

¹³ Coordinador del Sistema Eléctrico Interconectado Central, CDEC-SIC, "Metodología de Cálculo de la Potencia Firme" 2013

Anexo 2: Estimación de Beneficios por Agua Potable

Podrá existir una declaración por traspaso de los derechos de agua de los regantes hacia los comités/cooperativas de agua potable rural, previo convenio establecido entre la Dirección de Obras Hidráulicas y las organizaciones de usuarios de aguas. En este caso, se deberá descontar de la producción agrícola el caudal que será destinado para la producción de agua potable.

El beneficio principal que contempla un proyecto de riego con producción de agua potable es el ingreso por venta de agua cruda.

a) Ingreso por venta de agua cruda

El ingreso por venta de agua cruda está dado por el precio de agua cruda por el número de acciones destinadas a la producción de agua.

$$V_a [\text{\$}] = P_a [\text{\$/l/s}] * Q_a [\text{l/s}]$$

Donde;

V_a = Venta por agua cruda

P_a = Precio de agua cruda

Q_a = Cantidad de derechos destinados para agua potable

Para obtener el precio de agua cruda (P_a) se debe calcular con la “Metodología de determinación del valor de agua cruda” publicada por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Esta metodología utiliza el método de las transacciones de los derechos de agua, en donde el precio dependerá del tipo de fuente.

Del caudal inicial (Q85%) se deberá descontar el caudal destinado para agua potable, el cual se representa a través de la cantidad de los derechos de los regantes (Q_a). Al disminuir el caudal para riego también disminuye la producción agrícola, por lo que se debe comparar la situación de un embalse sólo con beneficios agrícolas versus un embalse con beneficios agrícolas más la venta de agua cruda e identificar cual de los dos proyectos es rentable.

Es importante destacar que el proyecto que considere entregar agua potable a una comunidad debe realizar por sí mismo el análisis de alternativas que sean factibles y comparables entre sí. Entre estas alternativas a evaluar están: camión aljibe, pozos, embalses, etc. Finalmente se debe escoger la alternativa que resuelva la problemática identificada y sea la más conveniente desde el punto de vista técnico y económico.