



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

# **ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA A NIVEL PREDIAL DE LA PRODUCCIÓN LECHERA EN CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

JAVIERA BROUSSAIN KYLING

PROFESOR GUÍA  
MARCELO OLIVARES ALVEAL

PROFERORES DE LA COMISIÓN  
FRANCISCO SALAZAR SPERBERG  
MAURICIO TOLEDO VILLEGAS

SANTIAGO DE CHILE  
MAYO 2011

## **Análisis y Aplicación de la Metodología para la obtención de la Huella Hídrica en la parte predial de la Producción lechera en Chile**

El presente trabajo de título analiza el concepto de Huella Hídrica (WFP por sus siglas en inglés) y su aplicabilidad en la producción lechera en predios de Chile. La WFP mide la cantidad de agua consumida en un proceso productivo, a lo largo de su cadena de suministros. Para estimar este valor, se debió definir un sistema de producción, estudiar sobre el consumo de agua en el proceso, indagar acerca del origen del agua consumida, y establecer la calidad y cantidad del agua que retorna al medio ambiente. La WFP se divide en tres componentes: WFP azul y WFP verde, las que indican el origen del agua consumida, y WFP gris, la cual mide el consumo de agua producto de una descarga a un cuerpo receptor.

El proceso de producción de leche cuenta con una etapa predial y una etapa industrial. En la etapa predial se requieren insumos para producir leche cruda, tales como alimento, fertilizantes, medicamentos y herramientas. En la etapa industrial, la leche es transportada a la industria lechera, se procesa y finalmente es puesta en el comercio.

Este estudio se enfoca en la etapa predial, donde se generan los principales consumos de agua. Se investiga la WFP de un litro de leche cruda en siete predios lecheros, característicos de los distintos sistemas productivos existentes en Chile, entre las regiones Quinta y Décima. Se analiza la disponibilidad de datos necesarios para el cálculo de la WFP, por parte de los predios, y se propone una metodología de cálculo para los sistemas lecheros del país.

El valor de la WFP obtenida es aproximadamente de 300 litros de agua por litro de leche y aumenta levemente de sur a norte, a medida que los sistemas se tornan intensivos. La componente más relevante de este valor es la productividad de cultivos de alimentos para las vacas, esto es, los kilogramos de materia seca por hectárea, y su evapotranspiración. El valor obtenido es muy sensible a la productividad de cultivos, por lo que se sugiere tener mayor precisión de este valor.

Se encontraron limitaciones metodológicas para la obtención de la WFP<sub>gris</sub>, debido a su dependencia con respecto a las normas de calidad y a la falta de ellas en Chile. Existieron además limitaciones prácticas referidas a la medición de datos, por lo cual se debió utilizar valores promedio.

Finalmente se concluye que el indicador WFP es una herramienta útil para medir el consumo de agua de la producción de un litro de leche cruda y de la cadena de sus suministros. Sin embargo, se debe ahondar en la precisión y metodología de los datos registrados a nivel predial, de manera de lograr que este indicador sea un aporte al desarrollo sustentable del rubro lechero.

## **Analysis and Application of Methodology to obtaining the Water Footprint of milk in farm production in Chile**

This paper analyzes the concept of Water Footprint (WFP) and its applicability in the production of milk in Chilean farms. The WFP is the amount of water consumed in a production process, that is taken away from the environment. To estimate this amount, a production system must be defined, considering the water consumed during the process, its source, as well as assessing the quantity and characteristics of water returned to the environment as an output of the system. WFP is compounded by three types: blue WFP or green WFP classify consumption based on the source of the water, and gray WFP regards consumption as discharges to a water body.

The milk production process has a farming stage, where the cows and dairy farm are located, and an industrial stage, in which milk is produced. Several inputs are needed in the farm to produce raw milk: food, fertilizers, medication and the tools to sustain the cows and to guarantee the proper performance of the dairy farm. Once raw milk is produced, it is delivered to a dairy factory, where it is processed for its commercialization.

This study focuses on the farm production stage, where the majority of water consumption occurs. In particular, the different kinds of production processes are described. The WFP of one liter of raw milk is calculated in seven farms dedicated to dairy production, which are representative of the different production processes in Chile, between the Fifth and Tenth regions of the country. The availability of data is analyzed to calculate the WFP, and a methodology to calculate it is proposed as a result of it.

The most important components of the calculation are the productivity of crops intended to grow food for cows, measured as kilograms of dried food per hectare; and its evapotranspiration. The WFP obtained is approximately 300 liters of water per liter of raw milk, with a slight increase from south to north, as the systems become intensive. This result is very sensitive to the productivity of crops, therefore, precision is encouraged when it comes to estimating the parameter.

There were some methodological limitations to obtain the gray WFP, because of its dependence on quality standards and the lack of them in Chile. There were also practical limitations regarding the measurement of data, so average values were used.

In conclusion, the indicator is useful for measuring water consumption in the production of a liter of raw milk and its supply chain. However, emphasized efforts should be made in order to delve into the accuracy and methodology of data recorded at the farms.

---

## AGRADECIMIENTOS

---

Quiero agradecer a las personas que hicieron posible este trabajo. Al profesor guía Marcelo Olivares, por su constante apoyo y dedicación a lo largo de todo el desarrollo de este trabajo. Al profesor co-Guía Francisco Salazar, Director de INIA- Remehue por su soporte agronómico, y al profesor integrante Mauricio Toledo, por sus importantes ideas y colaboración a la hora de estructurar el trabajo. Al Instituto de Investigación Agropecuaria INIA, Centro Regional de investigación Remehue (INIA-Remehue), Osorno, por la cooperación con los datos y al Consorcio lechero por el financiamiento otorgado. Además a los dueños de los predios involucrados.

Quisiera agradecer también a las personas me ayudaron a llegar a esta etapa de mi vida. A mis amigas de la infancia, en especial a la Denisse, la Paulette, la Karen, la Claudia T. y la Paula. A mis amigos de primer año de la universidad, particularmente al Dani, por no dejar que me ahogue en vasos de agua, al Watis por defender sus ideales, y a Oscar Garay. A mis amigos del vóley, en especial a la Javi, a la Sofi, a Manacho, a la Nico S., a la Marce, a la Nico P., al Rolo, a la Claudia Q. y al Joaco, por todos los buenos momentos y compartir esa pasión conmigo. A mis amigos de civil, especialmente a Guatón, la Pía, la Lucy, y a Manuel por apoyarme durante la memoria y en mi vida.

Finalmente a mi familia por formarme como persona, a mi mamá y a mi papá, por ser una base firme para mis principios e ideales, a mi hermano por recordarme las cosas importantes en la vida, a mi abuela Chita por su esfuerzo en mi desarrollo cultural, y a mi hermana Valentina por su apoyo y valoración, por darme confianza, por su interés y además por su responsabilidad en la edición de este trabajo.

---

## ÍNDICE

---

<i>Capítulo I: Introducción y objetivos</i> .....	1
<i>Capítulo II: Revisión Bibliográfica</i> .....	5
2.1. La WFP y aspectos metodológicos.....	5
2.2. Funcionamiento de predios lecheros.....	8
i. Producción de alimentos en los predios.....	9
ii. Lactancia y ordeña.....	10
iii. Efluentes de Lechería .....	11
iv. Variabilidad en el manejo predial lechero .....	11
2.3. Normas que regulan el impacto ambiental de purines.....	12
<i>Capítulo III: Metodología</i> .....	14
<i>Capítulo IV: Recopilación y procesamiento de datos</i> .....	16
4.1. Descripción del proceso productivo en cada predio.....	16
4.2. Mapa de procesos .....	18
4.3. Definición del sistema para el cálculo de la WFP de un litro de leche cruda y otros aspectos críticos .....	20
4.4. Caracterización de los predios .....	22
4.5. Recopilación y manejo de datos .....	24
4.6. Datos para el cálculo de la WFP para cada predio .....	26
<i>Capítulo V: Formulación del modelo y desarrollo de planilla</i> .....	32
5.1. Formulación del modelo .....	32
5.2. Planilla Excel .....	36
<i>Capítulo VI: Discusión y resultados</i> .....	39
6.1. Comparación del indicador WFP en distintos predios .....	39
6.2. Críticas y limitaciones al indicador .....	41
<i>Capítulo VII: Conclusiones y Recomendaciones</i> .....	44

<b>Bibliografía</b> .....	<b>47</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>51</b>

**Anexos**

<i>Anexo 1 Evapotranspiración</i> .....	<i>I</i>
<i>Anexo 2 Pre-Encuesta Predial:</i> .....	<i>IV</i>
<i>Anexo 3 Evapotranspiración de cultivos de cada predio</i> .....	<i>VI</i>
<i>Anexo 4 Encuesta de datos</i> .....	<i>XI</i>
<i>Anexo 5 Cálculo de WFP de cada predio</i> .....	<i>XIV</i>
<i>Anexo 6 Uso de agua en lechería</i> .....	<i>XXI</i>

**Índice de Ecuaciones**

<i>(1)</i> .....	<i>5</i>
<i>(2)</i> .....	<i>6</i>
<i>(3)</i> .....	<i>7</i>
<i>(4)</i> .....	<i>32</i>
<i>(5)</i> .....	<i>32</i>
<i>(6)</i> .....	<i>33</i>
<i>(7)</i> .....	<i>33</i>
<i>(8)</i> .....	<i>34</i>
<i>(9)</i> .....	<i>34</i>
<i>(10)</i> .....	<i>34</i>
<i>(11)</i> .....	<i>34</i>

(12) .....	34
(13) .....	34
(14) .....	34
(15) .....	35

## Índice de Figuras

<i>Figura 1 Balance de masa para calcular WFPgris</i> -----	6
<i>Figura 2 Esquema para la obtención del valor de la WFP de un litro de leche cruda</i> -----	14
<i>Figura 3 Línea de tiempo de la vaca</i> -----	16
<i>Figura 4 Línea de extracción de leche</i> -----	17
<i>Figura 5 Mapa de Proceso de producción lechera</i> -----	18
<i>Figura 6 Cadena producción de leche</i> -----	18
<i>Figura 7 Sistema de producción lechero</i> -----	21
<i>Figura 8 Ubicación de los predios</i> -----	23
<i>Figura 9 Gráfico de producción de leche por vaca al día</i> -----	29
<i>Figura 10 Gráfico de alimento TCO</i> -----	29
<i>Figura 11 Gráfico de razón vaca ordeña/vaca masa</i> -----	29
<i>Figura 12 Gráfico de tamaño planteles</i> -----	30
<i>Figura 13 Gráfico de producción lechera por</i> -----	30
<i>Figura 14 Gráfico de producción de leche anual por predio</i> -----	30
<i>Figura 15 Gráfico de densidad bovina [VO/hectárea]</i> -----	30

<i>Figura 16 Gráfico de WFP total, diferenciada por color según el origen del agua</i> -----	39
<i>Figura 17 Gráfico de sensibilidad con respecto al alimento TCO</i> -----	41

## **Índice de Tablas**

<i>Tabla 1 Producción de leche regional y superficie lechera (Fuente: Anrique et al., 1999)</i> _____	1
<i>Tabla 2 Valores referenciales de agua consumida en sistemas lecheros, en base a la vida del animal (Fuente: Hoekstra et al., 2003)</i> _____	8
<i>Tabla 3 Ciclo anual de alimento y pariciones</i> _____	17
<i>Tabla 4 Ubicación de los predios (Fuente: INIA-Remehue)</i> _____	23
<i>Tabla 5 Información otorgada por los predios</i> _____	25
<i>Tabla 6 Resumen de datos</i> _____	28
<i>Tabla 7 Cálculo de WFP</i> _____	36
<i>Tabla 8 Resumen de datos y resultados</i> _____	39



---

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

---

Las necesidades de agua de la humanidad actual se encuentran por debajo del 10% de las precipitaciones anuales (Llamas, 2005). Esto hecho puede relativizar la creencia de que existe una crisis de agua en el mundo. Sin embargo, el recurso depende de un lugar y un tiempo, hecho por el cual es importante el manejo o administración eficiente del agua y la adecuada ubicación de las actividades productivas.

Como respuesta a este problema fue introducido el concepto Agua Virtual por J. A. Allan a principios de los años 90. El análisis de las importaciones y exportaciones del agua virtual supone un punto de vista novedoso para paliar las situaciones de déficit hídrico, ya que tiene en cuenta el consumo real de agua. Así, los gobiernos cuentan con una mejor herramienta para planificar su economía en relación con la escasez de agua, favoreciendo la exportación de productos cuya producción involucra más agua en los países con excedentes importantes, y animando a su importación en los países que padecen estrés hídrico (Garrido, 2008).

A escala mundial, los sectores industriales consumen y contaminan grandes volúmenes de agua, siendo la agricultura la principal responsable de estos consumos (Hoekstra et al., 2009a).

En el caso chileno, la agricultura es un rubro importante dentro de la economía nacional. Dentro de ésta, la producción de leche constituye un 31% del PIB pecuario, que a su vez representa un 28% del PIB silvoagropecuario (ODEPA, 2000ab).

La producción lechera en Chile se concentra mayoritariamente en la región de Los Lagos. Los sistemas productivos de la zona sur se basan principalmente en el pastoreo, a diferencia de los de la zona central, donde la producción se hace más intensiva y en menor superficie. Tal como se observa en la Tabla 1, hacia las regiones de la zona sur existe una tendencia a aumentar la superficie de producción, la cantidad de vacas y la producción de leche. A su vez, se observa un incremento de la densidad de vacas hacia la zona centro.

**Tabla 1 Producción de leche regional y superficie lechera (Fuente: Anrique et al., 1999)**

Factores		Regiones			
		RM-V-VII	VIII	IX	XIV-X
Vacas lecheras	Número	81.260	73.112	71.844	378.853
Superficie	[ha]	50.000	75.000	81.250	418.750
Densidad	[vacas/ha]	1,63	0,97	0,88	0,90
Producción de leche	Mega litros	278	174	246	1221
Porcentaje de la producción nacional	[%]	14	9	13	64

A nivel predial del proceso de producción de leche, el agua es consumida principalmente por los cultivos de alimento para las vacas en forma de evapotranspiración o es incorporada a la planta. Además, se producen aguas residuales, las cuales potencialmente provocan un impacto ambiental, tanto por la competencia sobre el consumo de agua, como por su potencial carga de contaminación sobre el medioambiente.

La cantidad de agua consumida depende de las condiciones de manejo de los predios, del tipo de suelo, tipo de cultivo y de las condiciones climáticas imperantes. En Chile, el clima varía de norte a sur, aumentando la pluviometría hacia el sur (DGA, 1987). Aprovechando estas características, los predios de la zona sur basan su producción en la pradera, es decir, las vacas lecheras obtienen su alimento directamente de ella a través de pastoreo. En cambio, en la zona central los sistemas de producción lechero se hacen más intensivos, alimentando a las vacas con alimentos extra praderales (concentradas de cultivos y pellets), y normalmente manteniéndolas siempre estabuladas. Como se observará más adelante en este estudio, estas diferencias pueden generar consumos distintos de agua.

Existe una creciente preocupación por parte de los productores lecheros y los consumidores por cuantificar el impacto asociado al consumo de agua o su potencial contaminación en la industria. En el ámbito internacional, se han creado indicadores que buscan cuantificar este impacto (Chapagain & Hoekstra, 2003; Hoekstra et al., 2010) y, si bien existen estudios sobre el uso de agua en lecherías (Iramin, 2001), ninguno establece un índice que mida la utilización de agua, que pueda ser comparable entre distintas industrias, y que establezca el impacto ambiental generado. Este estudio pretende estimar un valor que mida la utilización del agua, sin embargo la evaluación del impacto provocado se deja planteada para futuros trabajos.

En base a la necesidad de la existencia de un indicador que cuantifique la cantidad de agua utilizada en la fabricación de un producto, en 2002, Hoekstra introduce el concepto de Huella Hídrica (Water Footprint en inglés), que constituye un indicador de consumo de agua en la fabricación de un producto, y a su vez, la cantidad de agua que es contaminada en su producción (Hoekstra et al., 2009a). La WFP es una herramienta de administración del agua, un índice de sustentabilidad para cualquier tipo de industria. Se define como el volumen total de agua consumida para la fabricación del producto, medido a lo largo de toda su cadena de insumos. Éste es un indicador multidimensional, que muestra específicamente en el espacio y el tiempo, los volúmenes de agua consumida de las diversas fuentes y los volúmenes de agua contaminada por distintos tipo de contaminante.

Tal como la Huella de Carbono indica la cantidad de dióxido de carbono emitido al producir un bien (www.footprintnetwork.org, 2010), y la Huella Ecológica indica la cantidad de terreno necesaria para sostener un bien, persona u organización (www.footprintnetwork.org, 2010), la WFP pretende indicar la apropiación del recurso agua para el desarrollo de los productos.

Para la evaluación de la WFP se deben seguir tres pasos consecutivos: la contabilidad de la WFP, la evaluación de impactos que la WFP genera, y la toma de decisión con respecto a esos impactos (Hoekstra et al., 2009a). Este trabajo se enfocó en el primero de estos pasos, la contabilidad de WFP.

En Chile, el uso de este índice se encuentra en una etapa incipiente, por lo que en primer lugar se debe contextualizar la WFP en la producción lechera, encontrar un valor preliminar de la WFP aplicada en producción lechera, junto con definir aspectos metodológicos que aporten al desarrollo de este indicador, e identificar debilidades y fortalezas de su implementación. Este trabajo constituye el primer acercamiento al concepto de WFP en el rubro de la leche a nivel nacional. Este estudio involucra una revisión del procedimiento descrito en el Manual de WFP (Hoekstra et al., 2009a), analiza todos los usos del agua en la lechería y predios, a partir de estudios existentes (Llamas, 2005; Brewer et al., 1999; Salazar et al., 2003; Longhurst et al., 2000) y a través de encuestas a realizar, haciendo énfasis en la aplicación de la metodología sugerida y la posibilidad de adecuarla al ámbito nacional. Los resultados que se obtendrán son una primera aproximación de este cálculo, a los cuales puede realizárseles ajustes a medida que se perfeccione el procedimiento.

En términos generales, para producir leche se necesita tener una vaca en condiciones adecuadas, debe comer y beber, además de reproducirse. La forma de darle el alimento, la bebida o la manera de preñarla, varía según la zona y el predio específico. Existen textos y manuales con recomendaciones acerca del manejo de lecherías (Hargresves & Adsme, 2001; Abarzua et al., 2007), pero no hay un modo único de proceder, ya que cada dueño de predio elige el manejo que estime más conveniente. Por nombrar algunos ejemplos sobre variaciones en el manejo de predios, las de vacas pueden ser alimentadas sólo en pradera con pasto, o sólo en establos con concentrado; el riego también puede tener grandes variaciones, desde la inexistencia de éste a un riego permanente, e incluso la disposición de desechos, como purines, puede variar desde la descarga directa a cuerpos de agua, hasta la utilización como abono en praderas. Toda esta versatilidad genera que el procedimiento para el cálculo no sea estándar, y debe ajustarse a cada predio, lo que se traduce en una posible variación en el valor de la WFP.

Varios eslabones en la cadena de producción lechera involucran agua en muchos eslabones: para producir el alimento de las vacas, para que las vacas beban, y para la limpieza y funcionamiento de lecherías. En el

Anexo 6 se detalla este uso (Salazar et al., 2003; Longhurst et al., 2000; Brewer et al., 1999). Toda esta agua es extraída de sus fuentes, interrumpiendo su ciclo hidrológico natural, y se devuelve al medio con alteraciones químicas, físicas y/o biológicas lo que puede afectar el medioambiente.

Este estudio se enfoca en siete predios que se ubican entre las regiones V y X, que son monitoreados por el Instituto de Investigación Agropecuaria (INIA), Centro Regional de Investigación Remehue (INIA-Remehue), Osorno. Los datos serán obtenidos a través de encuestas presenciales y colecta directa de información mediante correo electrónico. Se analiza la información disponible, estimando los datos faltantes, obteniéndolos a través de juicio de experto y/o teoría según corresponda, utilizando para ello literatura nacional e internacional. Se genera un modelo simple en Excel para la obtención de la WFP, que pueda ser utilizada por asesores agropecuarios o productores lecheros. Se busca el valor de la WFP para la producción de un litro de leche cruda y se compara con valores en literatura para validar los resultados.

## **Objetivos**

### General

Realizar un análisis de la metodología para la obtención de la WFP y estudiar el potencial de este valor como indicador del uso (consumo y contaminación) de agua y su aplicabilidad a nivel predial en la industria lechera en Chile.

### Específicos

Determinar cuáles son las consideraciones particulares para el cálculo de la WFP a nivel predial en Chile.

Identificar cuál es la disponibilidad de datos con respecto al uso de agua, al alimento proporcionado a las vacas y a la producción del alimento por parte de los predios estudiados.

Proponer una metodología plasmada en una herramienta de cálculo de la WFP para predios lecheros en Chile.

Estimar valores referenciales de la WFP en la producción de leche a nivel predial en predios característicos entre la V y X región, y analizar su variación con respecto a los distintos manejos.

Realizar un análisis de las limitaciones del indicador WFP.

---

---

## CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

---

---

### 2.1. La WFP y aspectos metodológicos.

La WFP es un indicador multidimensional, que muestra el volumen de agua consumida, la localización y tiempo en que se usó, además del origen, que puede ser de precipitaciones, fuentes superficiales o subterráneas, u obtenida de un cauce para diluir descargas (Hoekstra et al., 2009a). La WFP muestra la apropiación humana del recurso limitado de agua fresca y proporciona una base para la discusión de temas sobre el uso eficiente, equitativo y sustentable del agua. Además, la WFP forma las bases del asesoramiento de los impactos de la producción de bienes y servicios en un nivel primario para poder formular estrategias que reduzcan impactos (Hoekstra et al., 2009a).

La WFP de un producto se mide sobre los consumos directos e indirectos de agua. Los directos son aquellos en los que el agua se consume durante el proceso productivo, mientras que los indirectos se refiere a lo largo de la cadena de producción de los insumos (Hoekstra et al., 2009a).

El estudio de la WFP está constituido tres pasos principales: primero, la contabilidad del índice, que corresponde al análisis cuantitativo del volumen de agua consumida o contaminada durante la producción de un bien y sus insumos. Luego, la evaluación del valor obtenido, donde se revela la importancia del agua en la zona específica, ya que tiene mayor impacto utilizar un metro cúbico de agua en zonas áridas, donde existe mayor competencia, que en áreas donde abunda de agua. En este paso se puede superponer un mapa de stress hídrico de la zona en estudio, que le da un sentido local al indicador. El tercer paso es la toma decisiones con respecto a la evaluación de los impactos de la WFP, donde se resuelven las acciones que se recomiendan para disminuirlos. (Hoekstra et al., 2009b). Este trabajo se enfoca en el desarrollo del primer paso, la contabilidad de la WFP, ya que es el primer acercamiento y aproximación al tema en Chile. Los pasos de evaluación del valor obtenido y toma de decisiones con respecto a la evaluación quedan fuera de los alcances de este trabajo pero quedan propuestos para su desarrollo a futuro.

La WFP se divide en tres componentes, dependiendo del origen del agua consumida y de la calidad con que ésta es devuelta al medio: la WFP Verde, la WFP Azul y la WFP Gris.

La WFP verde corresponde al volumen de agua proveniente de la precipitación que cae directamente sobre suelos y plantas y que es consumida en forma de evapotranspiración. Se calcula según la Ec. (1).

$$WFP_{verde} = \text{Agua verde Evaporada} + \text{Agua Verde Incorporada} \quad (1)$$

Donde:

- *Agua verde evaporada* (o evapotranspirada): es el agua proveniente de precipitaciones, que cae directamente sobre plantas y suelos, y que se consume por evapotranspiración (ver Anexo 1)
- *Agua verde incorporada*: corresponde al agua que va incorporada en la vegetación, es decir, la humedad de las plantas.

La WFP azul es el volumen de agua superficial o agua subterránea consumida en forma de evaporación, incorporación al producto o no retornada a la fuente en el mismo lugar o espacio de tiempo. Se calcula de acuerdo la Ec. (2).

$$WFP_{azul} = \text{Agua Azul Evaporada} + \text{Agua Azul Incorporada} + \text{Agua que no retorna al sistema} \quad (2)$$

Donde:

- *Agua azul evaporada*: corresponde al agua subterránea o proveniente de ríos que se consume por evaporación de superficies de agua o evapotranspiración de cultivos que son regados.
- *Agua azul incorporada*: corresponde al agua subterránea o proveniente de ríos que se incorpora en el producto.
- *Agua que no retorna*: corresponde al agua que es utilizada y que no se devuelve a la misma cuenca de donde se obtuvo, o se retiene de tal manera que se devuelve en otro periodo de tiempo.

La WFP gris es el volumen de agua consumida para asimilar la carga de un efluente de un proceso productivo por parte de un cuerpo receptor de tal manera que cumpla la norma de calidad ambiental (Hoekstra et al., 2009a). Se calcula de acuerdo a la Ec. (3) a través del desarrollo que se obtiene de acuerdo al balance de masa de la Figura 1.

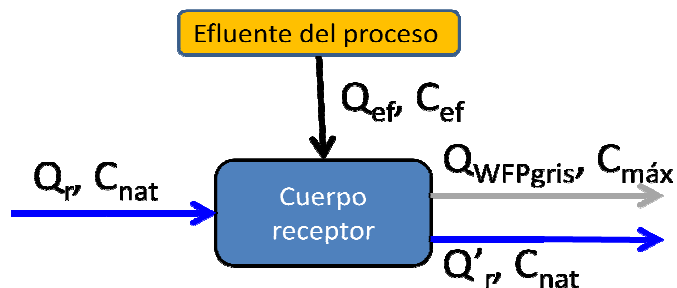


Figura 1 Balance de masa para calcular WFPgris

Donde:

- $Q_r$ : caudal original del cuerpo receptor, en  $[m^3/s]$ .
- $C_{nat}$ : concentración natural del cuerpo receptor, en  $[kg/m^3]$ .
- $Q_{ef}$ : caudal del efluente descargado desde el proceso productivo, en  $[m^3/s]$ .
- $C_{ef}$ : Concentración del efluente descargado desde el proceso productivo en  $[kg/m^3]$ .
- $Q'_r$ : caudal del cuerpo receptor libre de elementos descargados, luego de la descarga, en  $[m^3/s]$ .
- $Q_{WFP\ gris}$ : caudal del cuerpo receptor con la concentración máxima de elementos descargados permitidos por la norma, luego de la descarga, en  $[m^3/s]$ .
- $C_{máx}$ : concentración máxima de elementos descargados permitida por la norma de calidad ambiental en  $[kg/m^3]$ .

Luego se realiza un balance de caudal y uno de masa:

*Balance de caudal:*

$$Q_{río} + Q_{ef} = Q_{WFPgris} + Q'_{río}$$

$$Q'_{río} = Q_{río} + Q_{ef} - Q_{WFPgris}$$

*Balance de masa:*

$$Q_{río} * C_{nat} + Q_{ef} * C_{ef} = Q_{WFPgris} * C_{máx} + Q'_{río} * C_{nat}$$

(2) en (3):

$$Q_{río} * C_{nat} + Q_{ef} * C_{ef} = Q_{WFPgris} * C_{máx} + (Q_{río} + Q_{ef} - Q_{WFPgris}) * C_{nat}$$

$$\cancel{Q_{río} * C_{nat}} + Q_{ef} * C_{ef} = Q_{WFPgris} * C_{máx} + \cancel{Q_{río} * C_{nat}} + Q_{ef} * C_{nat} - Q_{WFPgris} * C_{nat}$$

$$Q_{WFPgris} * (C_{máx} - C_{nat}) = Q_{ef} * (C_{ef} - C_{nat})$$

$$Q_{WFPgris} = \frac{Q_{ef} * (C_{ef} - C_{nat})}{(C_{máx} - C_{nat})} \quad (3)$$

La concentración máxima y la concentración natural del cuerpo receptor del efluente, están dadas por normas de calidad ambiental que rijan en el lugar de estudio (Hoekstra et al., 2009a).

Existen numerosos trabajos que desarrollan el estudio de la WFP aplicado en agricultura, en alimentos, como índice que mida el agua consumida por naciones, y en temas medioambientales, (Water footprint

Network, 2011). Sin embargo, sólo existen ejemplos prácticos sobre su cálculo para casos específicos (Chapagain & Hoekstra, 2003). De esta forma, cada vez que se aplique el concepto a una nueva situación, se generan nuevas preguntas prácticas sobre este indicador, tales como: qué tipo de WFP calcular, hasta qué nivel de la cadena productiva analizar (evaluar solo los consumos directos o incluir también los indirectos), qué periodo de tiempo evaluar (diario, mensual, anual o multianual), y cuándo estudiar ese periodo de tiempo (la última década o un año específico) (Hoekstra et al., 2009a). En este contexto, es importante señalar que aún existen discusiones acerca de la precisión del método y cómo estimar sus impactos locales. A nivel mundial, no existe un método estandarizado, el manual de WFP sólo entrega una guía sobre la metodología a seguir y permite realizar ajustes de acuerdo al tema específico que se desarrolle.

Con respecto a la producción lechera, existen estudios en Holanda que entregan un valor de referencia del agua consumida durante la producción de un litro de leche (Hoekstra & Chapagain, 2003). Estos estudios fueron realizados analizando la cantidad de agua consumida por la vaca en la alimentación, bebida y en los servicios de obtención de la leche, a lo largo de toda la vida del animal. En estos estudios también se comparan sistemas de producción intensiva y de pastoreo. La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos.

**Tabla 2 Valores referenciales de agua consumida en sistemas lecheros, en base a la vida del animal**

**(Fuente: Hoekstra et al., 2003)**

Sistema	Agua bebida	Agua evapotranspirada por cultivos	Agua de servicios	Litros de leche a lo largo de la vida de la vaca	WFP	WFP sin agua de servicios
	[m <sup>3</sup> /animal]	[m <sup>3</sup> /animal]	[m <sup>3</sup> /animal]	[l. leche/animal]	[m <sup>3</sup> /l.leche]	[m <sup>3</sup> /l.leche]
Intensivo	219,0	39075	64,4	51779	0,76	0,76
Pastoreo	123,7	32110	15,7	17500	1,84	1,84

La Tabla 2 establece valores referenciales que permitirán verificar consistencia de los resultados presentes en este estudio.

## **2.2. Funcionamiento de predios lecheros**

A escala global, la agricultura es el mayor consumidor de agua fresca. Un 85% de la WFP de la humanidad se gasta en la agricultura, 10% industria, y 5% en consumo doméstico. El 68% del agua es destinada a cultivos para consumo animal (Anrique et al., 1999; Hargresves et al., 2001).



Existen principalmente tres sistemas productivos de leche en Chile: los sistemas intensivos, los semi-intensivo y los pastoriles. Estos sistemas se encuentran presentes simultáneamente en todas las zonas lecheras, pero existe una fuerte predominancia de uno sobre el resto según la zona (Anrique et al., 1999).

Los sistemas intensivos se ubican principalmente en la zona central de Chile, y producen los mayores volúmenes de producción lechera por animal y por plantel. El número de animales puede llegar a 1000 por plantel, requieren altas cantidades de concentrado en la dieta. En estos sistemas, el confinamiento en establos (estabulación) es total. Se asocian a un mayor consumo de agua directa que a los otros sistemas pastoriles, por la ubicación geográfica, que implica una mayor evaporación; el tipo de alimento administrado a los animales, que hace necesario administrarle mayor cantidad de agua de beber a las vacas; y la estabulación de los planteles, que requiere agua para limpieza de pisos.

Los sistema semi-intensivos predominan en la zona centro sur de Chile, tienen una producción por vaca más baja que en los sistemas de la zona central y cuentan con un tamaño de rebaño más pequeño. Los sistemas semi-intensivos son altamente dependientes de la conservación de forraje, por lo que presentan una baja estacionalidad. Ocasionalmente se usa riego en praderas y la estabulación es esporádica, no superando los seis meses.

Los sistemas pastoriles son comunes en la zona sur (X y XIV Región). Presentan una producción variable, y normalmente tienen una estacionalidad marcada. Predominan aquellos de pariciones en primavera, debido a la exclusiva dependencia de la pradera en la alimentación. El confinamiento de las vacas en estos sistemas es ocasional, dependiendo características del invierno y muchas veces ocurre sólo durante la noche. A los sistemas pastoriles se le asocia un menor consumo de agua directa, debido a que: los animales se alimentan con pasto fresco con mayor humedad, no necesitan establos de gran envergadura ni higiene de ellos, y su ubicación geográfica implica menos evaporación.

#### i. Producción de alimentos en los predios

Las praderas presentan distintas tasas de crecimiento a través del año, así como cambios en su composición de nutrientes y características de suelo. El consumo de alimento por parte del animal está condicionado por las características de la pradera.

La alimentación del animal es determinante en la producción lechera. El equilibrio de nutrientes tiene una función fundamental para mantener la vida del animal en óptimas condiciones, producir leche de mejor calidad, y por lo tanto, tener mejor rentabilidad económica. Las vacas tienen requerimientos energéticos, proteicos, vitamínicos, y de minerales, además de requerir fibra y agua. Estos requerimientos se satisfacen

con distintos tipos de alimento, como gramíneas, grasas y aceites en concentrados, leguminosas, y distintos tipos de pasto (Dumont, 1993).

El pastoreo es un proceso dinámico en el que la pradera y el animal interactúan afectándose mutuamente. La defoliación, el pisoteo y las defecaciones animales alteran algunas propiedades de la pradera, afectando su producción y calidad (Abarzua et al., 2007).

Uno de los objetivos de un buen manejo de pastoreo es utilizar una alta proporción del forraje producido y al mismo tiempo lograr el máximo consumo de nutrientes por el animal. Estos dos objetivos son antagónicos, por lo que un adecuado método de pastoreo debe generar un equilibrio entre el consumo individual y la eficiencia de utilización de la pradera.

La frecuencia e intensidad del pastoreo determina la disponibilidad de forraje al ingreso (disponibilidad pre-pastoreo) y a la salida (residuo) de cada potrero. El control de estas variables afecta tanto el rendimiento y la calidad nutritiva de la pradera, como su consumo por los animales. Para eso existe un manejo cotidiano de pastoreo en el corto plazo, donde se controla la frecuencia e intensidad de utilización de pradera, además existen recomendaciones para facilitar la planificación sobre estas variables (Abarzua et al., 2007).

La producción de cultivos se concentra en la época de octubre o noviembre. Para distribuir la dotación de alimento a lo largo del año se conserva el pasto o cultivos en forma de henos o silos.

La henificación es la conservación del forraje por medio del secado, reduciendo el contenido de humedad a menos del 15%. La henificación consiste en el corte del forraje y secado, que se debe realizar lo más rápido posible para evitar pérdida de nutrientes. Un punto importante es la etapa de crecimiento al punto del corte ya que el pasto va perdiendo calidad nutricional a medida que se desarrolla (Hargresves & Adsme, 2001).

El ensilaje consiste en la conservación del forraje por medio de la fermentación anaeróbica, que baja el pH a valores entre 3,4 y 4,5, inhibiendo el crecimiento de microorganismos. En las zonas del centro sur, el ensilaje de maíz es un excelente recurso forrajero ya que presenta un óptimo aporte energético y tiene altos rendimientos (Hargresves & Adsme, 2001).

## ii. Lactancia y ordeña

La lactancia es resultado de dos procesos, la síntesis y secreción de leche y su remoción a través de la ordeña. El potencial de producción de leche de una vaca está determinado por la presencia de tejido

secretor y su actividad. La verdadera producción se define por el tiempo que puede ser mantenido el potencial de producción de leche.

Las vacas se ordeñan 2 veces al día. Sin embargo, existen predios que utilizan 3 ordeñas, logrando aumentar la producción de leche en un 10%. Las máquinas de ordeña succionan la leche a través de las pezoneras generando vacío. Antes de la ordeña, los pezones deben ser lavados con abundante agua, al final de la ordeña se debe desinfectar el pezón y aplicar un sellante.

Después de cada ordeña se debe lavar el equipo para conservar el estado sanitario del rebaño, ya que las bacterias se reproducen rápidamente en residuos de leche.

### iii. Efluentes de Lechería

Los purines son generados por la mezcla de orina, fecas y agua de higiene en lechería. La vaca defeca aproximadamente 12 veces al día, un promedio de 1,9 kg de materia fecal, que contiene un 86% de humedad. Además, orina 10 veces al día, aproximadamente 2 litros cada vez (Abarzua et al., 2007). El purín que se genera en establos es recolectado a través de canales, mientras que en lecherías se deben lavar pisos y canales para mantener la higiene, lo que también genera aporte a los purines. Todo este material se recolecta en pozos purineros, donde se espesa y fermenta ligeramente.

El purín tiene un alto valor de nitrógeno, nutriente esencial para el crecimiento de las plantas. Además contiene una humedad relativa al tiempo que se mantenga en el pozo, la cual varía entre el 98% y el 86% (Abarzua et al., 2007). Periódicamente el purín se extrae del pozo y es aplicado en pradera o cultivos. Existen manuales de recomendación de aplicación de purines, con análisis de balances del nitrógeno e hídricos requerido por praderas y cultivos, que determinan la concentración y carga que se debe aplicar.

### iv. Variabilidad en el manejo predial lechero

Como ya se ha descrito, el manejo de un predio lechero depende de muchos factores, y finalmente es el dueño del predio quien decide el procedimiento que seguirá para conseguir mejores rendimientos. Dadas estas variaciones, no se puede planificar una metodología estándar, fija y estructurada, para el cálculo de la WFP, si no que se debe analizar el procedimiento de cada predio y las consideraciones particulares para obtenerla.

### **2.3. Normas que regulan el impacto ambiental de purines**

Como se describió anteriormente, la WFP gris depende de la carga natural del medio ambiente y de la carga máxima permitida por la norma. Esto significa que la WFP gris podría variar en distintos estados o países según lo estricto de sus normas.

Por otra parte, los efluentes producidos en lechería generalmente se reutilizan como fertilizante o mejoradores de suelo y/o cultivos. La mayor cantidad de residuos de la industria lechera son los purines, que son una mezcla de fecas orina y agua principalmente, junto con paja aserrín y restos de alimentos, que provienen de lechería y patios ganaderos (Salazar, 1997). En la industria agraria los purines tienen un valor nutritivo, se utilizan para la fertilización y el mejoramiento de praderas, en consecuencia, en ningún caso es considerado como un residuo, emisión o contaminación. Se realizan balances de nitrógeno entre requerimiento de las plantas y el contenido del purín aplicado, o bien balances hídricos en caso que se considere el purín como parte del riego (Pain, 1990).

En el extranjero, existen normativas que regulan la ubicación de pozos purineros (Heatley, 1996; Loriman, 1997), la aplicación de purines a praderas (Madani, 1996) y su manejo (MAFF, 1991, 1992, 1993). En Chile no existen normativas específicas enfocadas al manejo y tratamiento de efluentes de lechería. Sin embargo, estos están sujetos a regulaciones ambientales y sanitarias que controlan las descargas de efluentes de industrias de producción de alimentos, como son el Código Sanitario, el Reglamento Sanitario de Alimentos (DS 60, 1984), la norma provisoria de la SISS Ley N° 3133/16, el Decreto Supremo N° 745, la Norma Chilena N° 1333, la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas (DS 46, 2010) y la Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales (DS 90, 2010). Además, la Ley de Bases del Medio Ambiente n° 19.300/1993, indica cuándo deberá someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) cualquier lechería o crianza de animales de dimensiones industriales.

A pesar de someterse a SEIA, la carencia de normas de calidad ambiental limita el cálculo de la WFP gris como indicador de alteración del medioambiente. El cálculo de la WFP gris podría realizarse utilizando parámetros del DS 90 y DS 46, sin embargo, el significado físico de este valor variaría. Esto es, porque las normas de calidad ambiental establecen valores máximos de la carga que puede aceptar un cuerpo de agua, en cambio los decretos mencionados entregan valores máximos con respecto a las concentraciones descargadas, es decir, a la dilución del efluente de lechería para el presente trabajo. De esta forma la WFP gris, en lugar de representar un consumo de agua para asimilación de descarga por parte del cuerpo

receptor, representa un valor relacionado con concentración que posee la descarga e indica el margen, en el rango entre la concentración natural y máxima del cuerpo receptor, que posee el efluente.

No obstante, las emisiones de los predios no califican en los decretos mencionados, ya que no suelen descargarse a alcantarillado ni a cuerpos de agua, y por lo tanto no son aplicables para el cálculo. Los purines son arrojados a praderas o cultivos donde los nutrientes son absorbidos por las plantas y la carga que efectivamente llega a la napa subterránea a través de infiltración se supone libre de elementos contaminantes.

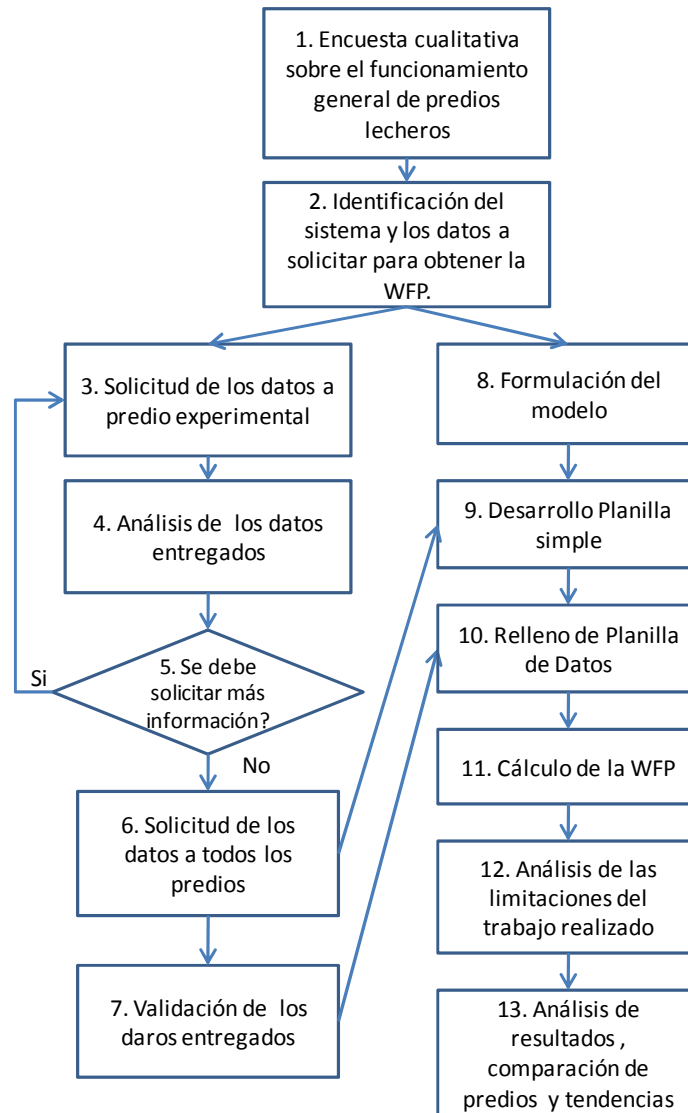
De esta forma, el cálculo de la WFP gris se omite durante el desarrollo de este trabajo, y solo se enfocará en la WFP verde y WFP Azul.

---

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

---

Con el fin de describir la metodología del trabajo realizado se presenta la Figura 2.



*Figura 2 Esquema para la obtención del valor de la WFP de un litro de leche cruda*

En la Figura 2, el paso 1 consiste en realizar una encuesta que tiene como objetivo estudiar el funcionamiento práctico de los predios productores de leche. Se pide información cualitativa del manejo predial.

En el paso 2 se identifica los datos requeridos para calcular la WFP de un litro de leche cruda. Además, con la información otorgada por la encuesta realizada se estudia la cadena de producción lechera, donde se

indican los eslabones y se muestran los insumos necesarios. Junto con esto se identifica el sistema que se analizará y se determina sus fronteras, ingresos y salidas de agua.

El paso 3 consiste en la solicitud de los datos al predio experimental, con el objetivo de determinar si se necesita más información antes de enviar la solicitud a los otros predios, (paso 4). Una vez establecidos qué datos definitivos se pedirán (paso 5), se realiza una encuesta en formato Excel mediante correo electrónico a seis predios seleccionados por INIA, representativos de cada manejo entre las regiones Quinta y Décima (paso 6) (el detalle de la encuesta de datos se puede ver en el Anexo 4).

Luego, se analizan los datos entregados por los seis predios (paso 7) y se validan estudiando rangos donde debiesen encontrarse o con respecto valores de referencia. Según su calidad y la disponibilidad, se determina qué valores adoptar directamente, cuáles se deben sustituir por medidas equivalentes, cuáles se deber obtener de otras fuentes y cuales omitir.

Por otra parte, luego del paso 2, se realiza la formulación necesaria para la obtención de la WFP (paso 8). De acuerdo con estas fórmulas y los datos a que se solicitan a los predios se realiza la planilla Excel (paso 9). Una vez que se validen los datos y se cuente con la planilla, se hace uso de ésta (paso 10). Este paso considera un análisis de la evapotranspiración de los cultivos de alimento para las vacas en una planilla anexa (con la información del Anexo 3).

Luego se calcula el valor de la WFP (paso 11), y se realiza un análisis sobre las limitaciones encontradas durante el desarrollo del trabajo (paso 12).

Finalmente se analizan los resultados, se buscan tendencias con respecto a la WFP y se comparan los valores obtenidos de los predios (paso 13).

---

## CAPÍTULO IV: RECOPIACIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

---

### 4.1. Descripción del proceso productivo en cada predio

Se desarrolló una encuesta con el objetivo de estudiar el funcionamiento efectivo de los predios lecheros. Se encuestaron los predios de INIA- Remehue y Río Negro.

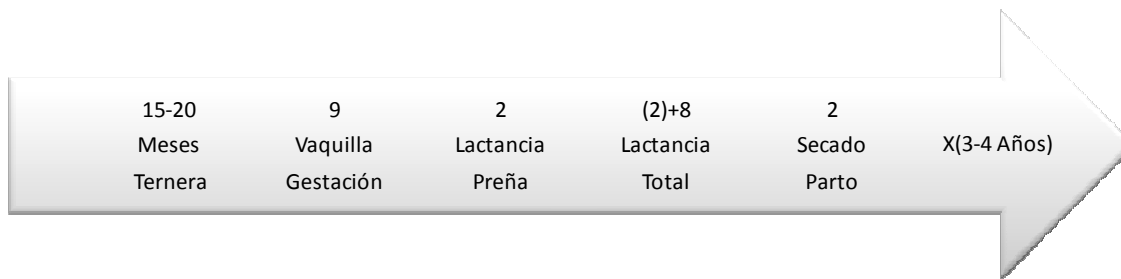
#### Encuesta

La encuesta consultó acerca del funcionamiento del predio, en espacios de tiempo diario, mensual, anual y multianual. Se preguntó sobre la dinámica de los animales, sobre la producción de carne, leche y alimento para animales, además del uso del agua (detalle de la encuesta se encuentra en el Anexo 2).

#### Resultados de la encuesta:

Un predio de ganado bovino puede dedicarse a lechería, engorda de animales para carne, y/o siembra de cultivos. Hay predios con o sin riego para cultivos y/o praderas.

En la Figura 3 se presenta el ciclo de vida de las vacas lecheras.



*Figura 3 Línea de tiempo de la vaca*

La línea de tiempo de la Figura 3 resume el ciclo de vida de una vaca. Los valores están en meses. La ternera es preñada cuando pesa 350 kg., entre los 15 a 20 meses de vida. A continuación, la vaquilla tiene 9 meses de gestación, para luego parir y entrar en lactancia. A los 2 meses de lactancia la vaca es preñada nuevamente, y continúa produciendo leche ocho meses más, antes de secarse durante los dos meses previos al nuevo parto. Cada ciclo dura un año, y cada vaca produce, con un rendimiento lechero económicamente rentable, durante tres o cuatro ciclos. Sin embargo, este rango puede variar entre dos y nueve ciclos.



En Chile, el rendimiento lechero de una vaca varía entre los 20 y los 40 litros de leche al día. En caso de que la producción sea menor a este valor, la vaca no se considera rentable económicamente.

En los meses de primavera y verano existe un mayor crecimiento del pasto que en los de otoño e invierno, por lo que se intenta de concentrar las pariciones en Marzo y Diciembre. Se implementan estrategias de manejo de las praderas, se seleccionan algunos potreros que se les dan directamente a las vacas y otros que se rezagan para que el pasto crezca, luego se cosecha y se guarda para forraje de invierno.

La Tabla 3 refleja el comportamiento del pasto en el predio y la situación de pariciones esperadas, dependiendo de las estaciones del año. Hay partos en primavera y otoño. El pasto crece en primavera, se cosecha en verano, se guarda en otoño y se da forraje en invierno.

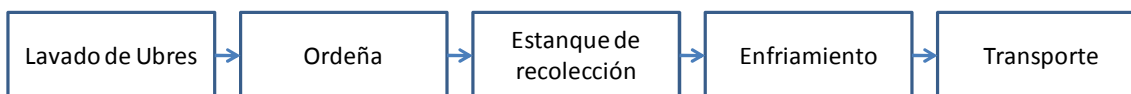
**Tabla 3 Ciclo anual de alimento y pariciones**

<b>Primavera</b>	<b>Verano</b>	<b>Otoño</b>	<b>Invierno</b>
Crece el Pasto	Cosecha	Guarda el Pasto	Forraje
Partos		Partos	

En una escala diaria, las vacas se rodean para llevarlas a la sala de ordeña o lechería dos veces al día. Para un plantel de 300 vacas cada ordeña dura aproximadamente 4 horas. En invierno, después de la ordeña las vacas van a comederos donde se les da concentrado, o forraje y luego a potrero nuevamente.

Antes de entrar a la sala de ordeña las vacas son encerradas en un patio de espera de cemento. Entran a la sala, se lava la ubre y se instala la pezonera que succiona la leche. Al terminar, cuando ya hayan pasado todas las vacas, se limpia la lechería, el patio de espera y los equipamientos con agua y jabón. La leche se enfría mediante placas o refrigeración eléctrica y se recolecta en estanques. Una vez al día, pasa un camión que retira la leche y la lleva a la planta.

La extracción de leche comienza con el lavado de la ubre, luego se ordeña la vaca, la leche pasa a un estanque de recolección, se enfría y finalmente se acumula un estanque refrigerado hasta que un camión la recoge y lleva a la planta lechera. La línea para la producción de leche se esquematiza en la Figura 4.



*Figura 4 Línea de extracción de leche*

El agua que es utilizada para lavar lechería, ubres y patio de espera, se reúne con los purines de los patios de comida y va al estanque purinero. Aquí se concentra por drenaje o por evaporación. Después el purín es

esparcido en praderas y se utiliza como abono. La línea de producción de purines se esquematiza en la Figura 5.

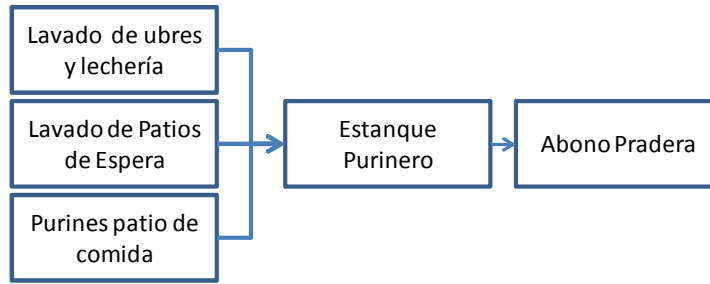


Figura 5 Mapa de Proceso de producción lechera

## 4.2. Mapa de procesos

Con la información recaudada a través de la encuesta fue posible realizar el mapa proceso de producción de leche presentado en la Figura 6.

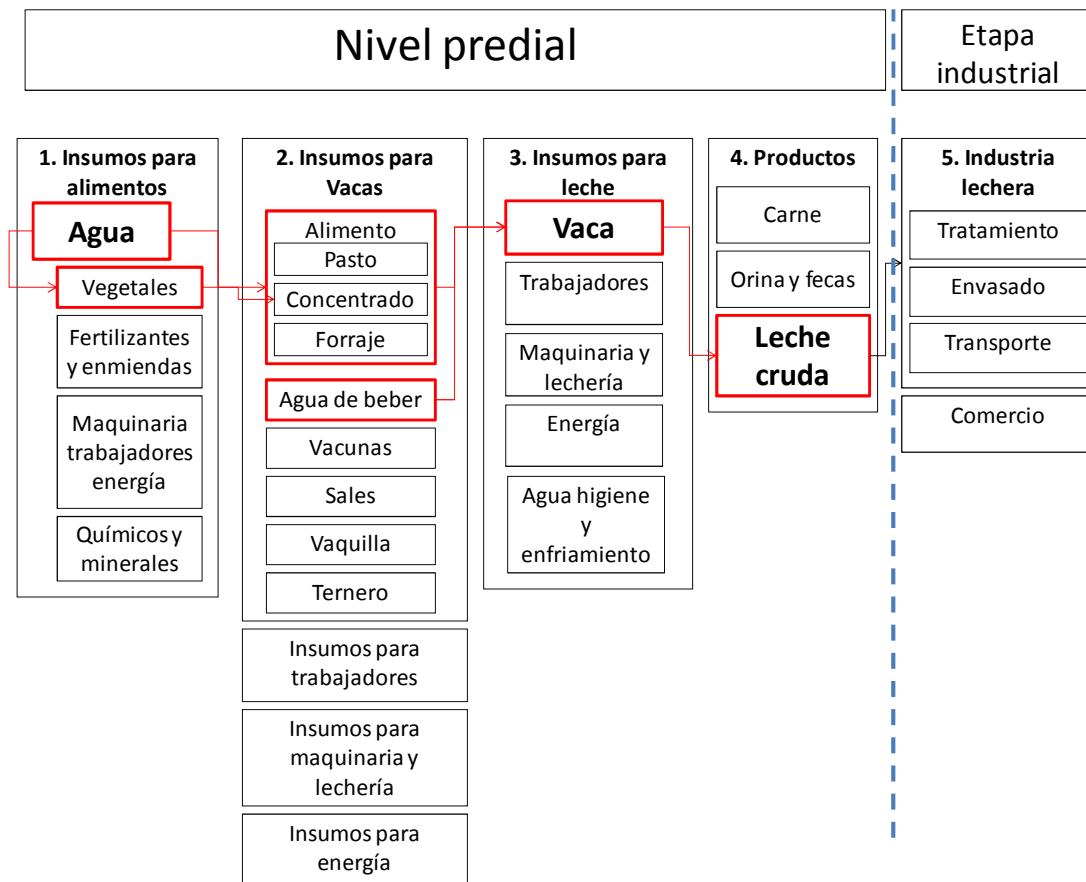


Figura 6 Cadena producción de leche

La Figura 6 está dividida en columnas que representan los cinco principales eslabones en la cadena de producción lechera. Los alcances de este trabajo se enmarcan en los primeros cuatro eslabones, que corresponden al nivel predial, y se explican con mayor detalle a continuación. El quinto eslabón corresponde a la parte industrial, el cual también constituye parte de la cadena de producción, razón por la cual está incluido en la figura a pesar de no ser considerado en la posterior explicación.

Primero se debe identificar la leche cruda en el eslabón 4, ya que corresponde al producto en estudio. Además de leche, la vaca produce carne, orina y fecas.

En el eslabón 3 están los insumos para producir la leche cruda, el principal insumo en este eslabón es la vaca. Para producir la leche cruda también se requiere una lechería, maquinaria, trabajadores y agua para higiene y enfriamiento que luego se reúne con los purines.

En el eslabón 2, junto con los elementos necesarios para que la vaca produzca leche, se encuentran los insumos para trabajadores, maquinaria y energía. Los insumos para la vaca son alimentos, agua para beber, vacunas y medicamentos, y en algunas ocasiones sales minerales como acompañamiento de la dieta. Además, para que la vaca produzca leche, debe haber logrado un cierto nivel de madurez físico, por lo que es necesario considerar que de manera previa fue una vaquilla. Por otra parte debe haber sido preñada y haber parido un ternero.

En el eslabón 1 están los insumos para el alimento, principalmente se necesita agua para el pasto y los cultivos de forraje. Además, se necesitan vegetales (para producir el concentrado), abono, maquinaria, trabajadores, energía, minerales y químicos (para los medicamentos y sales).

Se observa aquí que el proceso se torna recursivo, es por eso que se analiza hasta este nivel. Profundizar en más niveles no aporta mayormente a la WFP, menor al 1%, (Hoekstra et al., 2009a), debido a que, a pesar que es probable que en estos procesos se requiera alta cantidad de agua, al atribuirle a la producción de un litro de leche se hace despreciable con respecto a aportes más directos.

En el trabajo se estudia los principales consumos de agua que se muestran en el esquema en rojo. Se estudia sólo el producto leche o leche cruda, ya que en los objetivos de este trabajo se busca encontrar la WFP de un litro de leche cruda. Del eslabón 3 se estudia sólo la vaca, ya que se asume que el mayor consumo de agua por litro de leche se debe al consumo de la vaca y no del resto de los insumos para producir leche, es decir, el aporte a la WFP de un litro de leche por parte de la maquinaria, los trabajadores y la energía como insumo se desprecia frente al aporte que hace la vaca.

Del eslabón 2 se estudia el consumo de alimento y agua de la vaca, se desprecia el valor del resto de los insumos, ya que no aporta mayormente a la WFP.

Como parte del alimento es necesario estudiar el aporte de agua por parte del concentrado. Para esto se debe ir al eslabón 1 ya que es de origen vegetal, pero es manufacturado. El aporte de agua que generen los vegetales del concentrado se estimará en el desarrollo de este trabajo

El resto de los ítems indicados en la figura constituyen un bajo aporte a la WFP, y por lo tanto, en este trabajo, por tratarse de una primera aproximación, no se consideraran dentro del cálculo. En el análisis final del trabajo se espera concluir sobre estos consumos que no se contabilizan, pero cabe destacar que el valor de WFP que se calcule es una aproximación subestimada del valor real.

### **4.3. Definición del sistema para el cálculo de la WFP de un litro de leche cruda y otros aspectos críticos**

Previo a la definición física del sistema se describirá su composición. El sistema debe ser la unidad de producción lechera, y como unidad de producción lechera se entiende todos los procesos necesarios para llegar a producir un litro de leche cruda. Los principales procesos para producir un litro de leche cruda son la producción de los insumos (ver Figura 6), el crecimiento del pasto, la producción de leche por parte de la vaca y la conservación de la leche. La unidad de producción lechera debe contener a los elementos involucrados para producir leche, y estos son todas las vacas productoras de leche, la lechería, el alimento y la producción de alimento. Se puede identificar todos estos elementos y procesos en el predio, lo que define las fronteras del sistema como las fronteras del predio. En caso de existir insumos externos al sistema puede considerar una WFP asociada a estos insumos y sumarla directamente a la WFP del producto, o bien, se puede ampliar el sistema considerando estos insumos y calcular su WFP aportante. En ambos casos se obtiene el mismo valor de la WFP, pero el primero está ideado para ocasiones en las que se cuente con la WFP de los insumos. La Figura 7 esquematiza el sistema de la primera forma descrita, indica los principales aportes de WFP que se estudiarán enseñados en la Figura 6, y los principales flujos de agua utilizada que no aportan a la WFP.

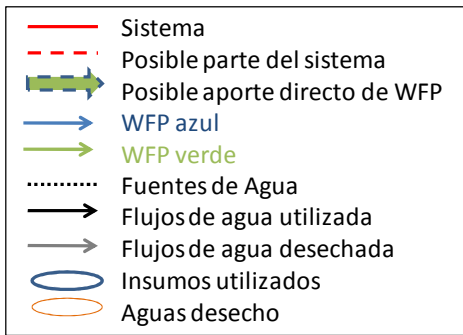
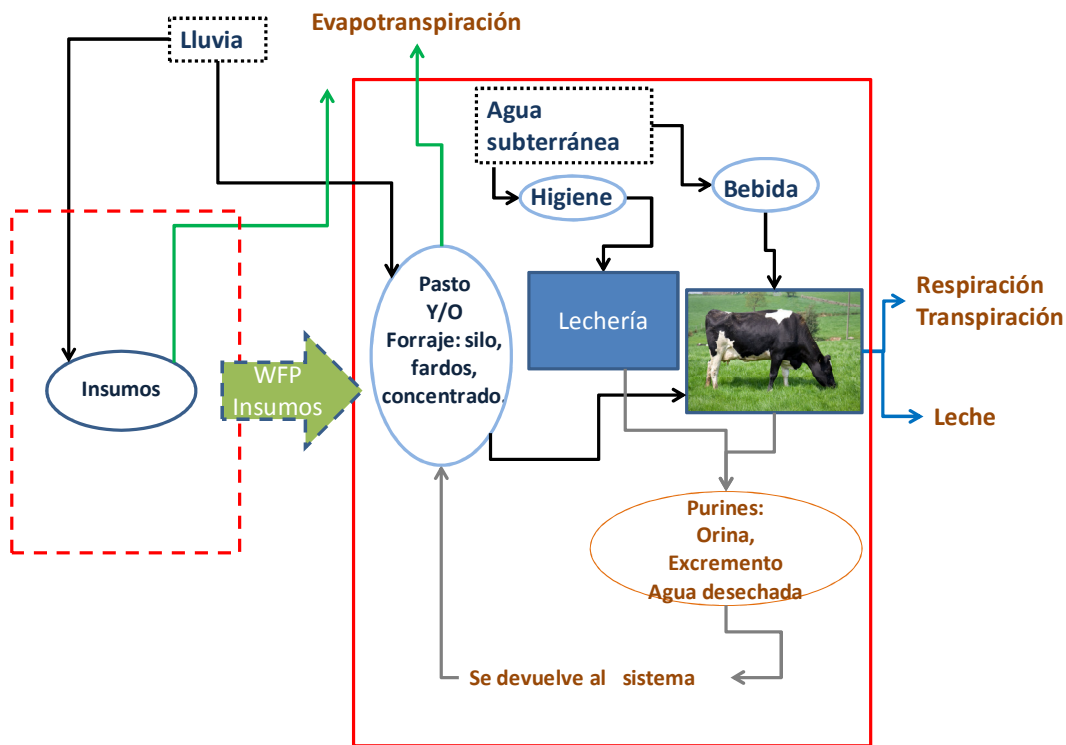


Figura 7 Sistema de producción lechera

La Figura 7 muestra la definición del sistema. En rojo se presenta el sistema definitivo, que contiene los procesos de lechería, la vaca como productora de leche y el pasto o alimento otorgado. En este sistema podría incluirse insumos externos o bien dejarlos fuera del sistema y, en este caso, añadir directamente el aporte de WFP por parte de estos.

El sistema incluye las fuentes de agua subterránea, que proveen agua para la higiene de lechería y el agua de beber para los animales. El agua que se consume desde esta fuente es considerada como WFP azul. El agua que no se consume, vuelve al sistema a través de los purines arrojados en praderas, por lo tanto, no constituye un consumo y no se considera dentro de la WFP.

El agua proveniente de las precipitaciones entra al sistema y es utilizada por las plantas de alimento para las vacas. Estas consumen un porcentaje de esta agua en forma de evapotranspiración, lo que es considerado como WFP verde. Otro porcentaje del agua de lluvia ingresa a las plantas y constituye su humedad, que será incorporada junto con agua de beber, ya que forma parte del agua que ingiere el animal, y en parte es devuelta al sistema en los purines o se incorpora al producto.

Como se explicó anteriormente, los purines debieran considerarse en el cálculo de la WFP gris independiente de la pradera donde sean aplicados. Sin embargo, no existe normativa que rija la disposición de estos sobre praderas, e incluso podría considerarse la percolación ocurrida en el terreno y la absorción de nutrientes por las plantas como un tratamiento que limpie los desechos líquidos completamente, de tal manera que, al momento de llegar a la fuente de agua subterránea, se encuentran con la misma calidad de la fuente.

Dentro del cálculo de la WFP se omitirán algunas pérdidas del sistema porque no contribuyen mayormente en un análisis preliminar de la WFP, tales como la respiración y transpiración de la vaca, el consumo de la vaca antes de entrar en lechería y la evaporación de estanques de acumulación de purines, de pisos y canales, indicadas en el esquema de la Figura 6.

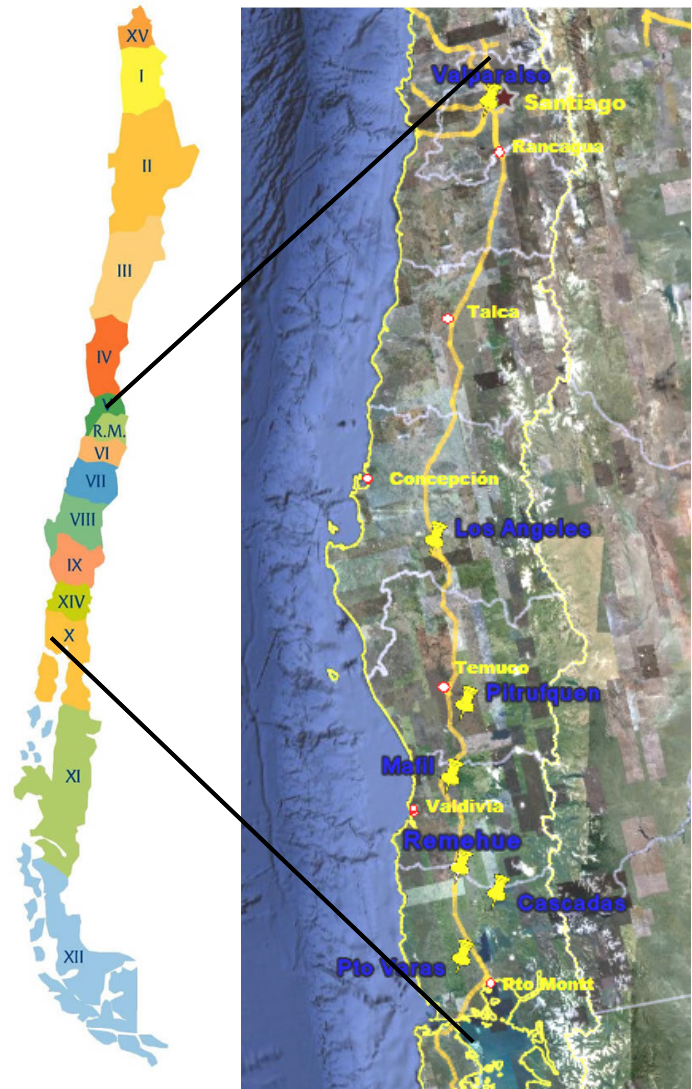
Se realizará el estudio en ciclos anuales, ya que el funcionamiento del predio se repite de acuerdo a las estaciones del año.

#### **4.4. Caracterización de los predios**

La Tabla 4 resume la ubicación de los siete predios monitoreados e indica la localización de estos en el mapa de Chile, los predios son INIA- Remehue y otros seis entre las regiones V y X:

**Tabla 4 Ubicación de los predios (Fuente: INIA-Remehue)**

Identificación	Fundo	Ubicación
Lechería		
1	San Cristóbal	Pto Varas
2	La Chacra	Cascadas
3	INIA Experimental	Osorno
4	Coyahue	Máfil
5	Las Rosas	Pitrufquén
6	El morro Norte	Los Ángeles
7	Marruecos	Valparaíso



*Figura 8 Ubicación de los predios*

La Tabla 4 es el detalle de la ubicación los predios. En la Figura 8 se la muestra en azul la ubicación de los predios, y en amarillo las capitales regionales con el objetivo de tener puntos de referencia dentro del mapa y así ubicar las ciudades de mejor manera.

Los predios fueron seleccionados debido a que se encuentran dentro de la base de datos de INIA Remehue y por tanto tienen cierto nivel de monitoreo constante, en consecuencia deberían contar con información confiable. Además, son considerados predios característicos de cada zona lechera.

## 4.5. Recopilación y manejo de datos

Dado el sistema referido en la Figura 7, los datos solicitados inicialmente para el predio experimental son:

- Cantidad y tipo de alimento que se entrega a todas las vacas en lechería al año.
- Producción de praderas del alimento, en kilogramos de materia seca por hectárea.
- Evapotranspiración de referencia (ET0) de la zona o predio.
- Litros de leche producida al año.
- Número de vacas en lechería promedio al año.
- Tipo de riego, y volumen anual de agua utilizada para riego de los cultivos de alimentos para las vacas en lechería.
- Forma de disposición de purines (en caso de ser dispuesto como abono omitir la siguiente pregunta).
- Volumen de purines, cuerpo receptor de agua, vulnerabilidad del acuífero, concentración natural del cuerpo receptor de purines, concentración de nitrógeno.

Con estos datos se realiza el primer modelo simple de cálculo (descrito en el capítulo V) para el predio 3 (INIA Remehue, experimental). Sin embargo, se hizo necesario solicitar más datos con respecto al alimento y a los cultivos, para estandarizar las unidades. Se añadieron los siguientes requerimientos datos:

- Para el alimento, en caso de ser tal cual ofrecido se solicita el porcentaje de humedad o materia seca, para obtener la cantidad de alimento en las unidades indicadas.
- Tipo de concentrado, marca y especificaciones.
- Coeficiente de cultivos Kc, duración de etapas del cultivo, y fecha de plantación.
- Volumen de agua bebida por las vacas, y volumen de agua devuelta en purines y orina.

Estos datos fueron solicitados a los siete predios mediante encuesta enmarcada en un cuestionario sobre manejo de efluentes realizado por INIA. En este cuestionario se añadió una página dedicada a la obtención de la WFP. El detalle se encuentra en el Anexo 3.

Los predios entregaron la información que se resume en la Tabla 5:



**Tabla 5 Información otorgada por los predios**

Identificación	Información		
	Lechería	Entregada	Faltante
1	Cantidad de Alimento % Materia Seca	ETo Productividades	
2	Cantidad de Alimento % Materia Seca	ETo Productividades	
3	Cantidad de Alimento % Materia Seca Productividad Eto		
4	Cantidad de Alimento % Materia Seca Pocas Productividades	ETo Productividades	
5	Cantidad de Alimento % Materia Seca Pocas Productividades	ETo Productividades	
6	Cantidad de Alimento % Materia Seca Productividades de Alimentos generados	ETo Productividades Importados	
7	Cantidad de Alimento % Materia Seca Productividades de Alimentos generados	ETo Productividades Importados	

En la Tabla 5 en la columna de *Información Faltante*, para los predios 6 y 7, se denota como *Importados* la información faltante con respecto a la productividad y evapotranspiración de ciertos alimentos importados al predio. Como ya se mencionó anteriormente y se ilustró en el sistema de la Figura 7, se pueden contabilizar la WFP de los alimentos importados o se pueden considerar dentro del sistema y calcular su WFP. Dado que no se tiene la WFP de estos alimentos directamente se debe calcular, y para esto es necesaria la información sobre productividad de los cultivos y evapotranspiración

Para completar los datos faltantes se recurrió a dos formas. Se investigó si existe la información en otras fuentes que sea similar a la solicitada, o se transformaron los datos a valores equivalentes para realizar el cálculo de WFP.

La evapotranspiración potencial (ETo) faltante se obtiene de la primera forma. La Comisión Nacional de Riego (CNR) cuenta con mapas de ETo a lo largo de todo Chile. Para verificar los datos se compara la ETo entregada por el predio 1 con la obtenida desde los mapas en esta zona. La variación entre estos es menor al 5% por lo cual se considera válido el método y se utiliza los mapas para los otros predios.

Los datos de productividad se completan forma utilizando la misma. Se busca el promedio de cada cultivo según la zona o se utiliza juicio de expertos.

Con respecto a los alimentos importados, las productividades y evapotranspiración, sin embargo, estos constituyen generalmente residuos de cultivos (como afrecho de raps) o especies que no son dedicadas 100% a la alimentación de las vacas, por lo que la evapotranspiración y productividad del cultivo total no representa lo atribuido a la producción de leche. Para considerar el aporte de WFP de estos alimentos se recurre a la segunda forma de relleno de datos. Se traduce el valor nutricional de estos alimentos a cultivos que se produzcan en la zona de cada lechería. Este procedimiento de explicará en detalle durante el cálculo de la WFP.

#### **4.6. Datos para el cálculo de la WFP para cada predio**

Durante el desarrollo de este trabajo se hizo supuestos importantes generales y particulares para cada predio. Se rellenó valores faltantes, en consecuencia los resultados están sujetos a aproximaciones o son subestimaciones. Además, se presumen faltas o datos no confiables en ciertos valores entregados por los predios.

Dada la naturaleza de los datos solicitados, se asumen valores promediados en el tiempo de alimentación de las vacas y de porcentaje de materia seca de los alimentos (Anrique et al., 2007), lo que afecta a la precisión en el resultado.

El dato de productividad de los cultivos fue entregado sólo por algunos predios. En los casos que no fue entregado se utilizó datos de los predios en los que se tenía información, por lo tanto los valores no pertenecen a la zona específica. En la mayoría de las ocasiones que no se contó con los datos se utilizó juicio de experto (Bornscheuer, 2010; Broussain, 2010). Entonces, los datos utilizados son valores generales para cada cultivo. No se cuenta con el dato exacto con respecto al cultivo que efectivamente se comieron las vacas lecheras del cada predio.

El agua de beber es dato teórico, obtenido de literatura (Klein, 2003). Éste depende del peso de la vaca, de la alimentación, del clima (por lo tanto de la latitud) y por consiguiente tiene alta variabilidad. La obtención del valor exacto sería inviable, además, el aporte de este ítem al valor final de la WFP es poco relevante. Así también, el agua devuelta es un valor teórico (Abarzua et al., 2007).

Para el cálculo de la ETc se asumen valores teóricos de Kc, de la duración de las etapas de crecimiento y de la fecha de plantación según la zona (FAO 56, 2006). Estos valores están sujetos a una variabilidad intrínseca ya que dependen del clima, calidad y enfermedades de las plantas, entre otros factores.

Se asume que el concentrado es el mismo en todos los predios, de marca Cisternas®. Dado que es de origen vegetal (Espinoza, 2010), para el cálculo del agua consumida del concentrado, se compara la suma de los cultivos que se comen las vacas con la cantidad de concentrado consumido. Se hace una proporción directa entre la cantidad de kilos de vegetales y la cantidad de agua total evapotranspirada por estos, y con esta misma proporción se calcula el agua involucrada según kilos de concentrado.

No se cuenta con el valor de productividad ni evapotranspiración de los alimentos importados. Para solucionar esto se transforma el valor nutricional de estos alimentos en un cultivo producido en Chile y preferentemente en la zona de producción de cada predio.

Este procedimiento de equivalencia a través del valor nutricional está validado por el Waterfootprint Network según un comunicado publicado el 27 de Enero de 2011, donde se puntualiza que en el caso de hacer esta conversión se debe considerar el valor de WFP que aporta el alimento equivalente como el mínimo valor que podría aportar el alimento real.

La mayoría de los alimentos importados son clasificados como proteicos (Anrique et al., 2007), y por lo tanto se calcula la cantidad equivalente del cultivo raps, que también es clasificado como proteico, del cual se cuenta con la productividad y evapotranspiración. Se realiza la conversión con respecto al porcentaje de proteína cruda. Por ejemplo, si un kilogramo de afrecho de maní (importado) contiene 48% de proteína cruda, y un kilogramo de afrecho de raps contiene 36% de proteína cruda, entonces es necesario 1,3 kilogramos de afrecho de raps para entregar el mismo contenido proteínas que el que se entrega con el kilogramos de afrecho de maní. Este cálculo fue realizado con los alimentos importados del predio 6 y 7.

En el predio 6, las vacas consumen una cantidad importante de pulpa de achicoria (importado). Esto es un sustituto de ensilaje de maíz y su importancia radica en el aporte energético. Análogamente a lo anterior, se hizo la conversión de achicoria a ensilaje de maíz con respecto a la cantidad de energía metabolizable (Jahn & Vidal, 2008).

Los litros de leche producidos al año son los entregados a planta. En todos los predios existe una mayor producción a la entregada a la planta, la diferencia radica en la leche otorgada por los dueños a los trabajadores o la que se desechada por enfermedades como mastitis. Estas son pérdidas o ineficiencias en

la producción, pero la suma de leche que se pierde se considera como una necesidad para la producción de leche, por lo tanto no debe incluirse en el cálculo.

En el predio 5 no se tienen los valores de la cantidad de pasto producido en pradera. Para rellenar este dato se observó que en el predio 4 la composición de alimentos es similar, por lo que se utilizó una relación entre la cantidad de pasto que se les da a las vacas en el predio 4 con respecto a las vacas masa (no se hizo con las vacas en ordeña porque este dato en predio 4 no es confiable) y se utilizó esa relación para calcular el pasto que probablemente se comerían las vacas en el predio 5. Es muy probable que este valor se aleje mucho del real, pero es una primera aproximación.

En la Tabla 6 se tiene resumen los datos obtenidos.

**Tabla 6 Resumen de datos**

	Unidades	Predios						
		1	2	3	4	5	6	7
Vacas en ordeña (VO)	Nº	52	193	305	86	20	200	245
Vacas masa (VM)	Nº	60	271	350	324	24	230	305
Relación VO/VM	[%]	0,9	0,7	0,9	0,3	0,8	0,9	0,8
Peso promedio vacas	[kg]	550	550	500	550	500	550	550
Superficie productiva [há]	[há]	33	120	100	226	18	60	190
Densidad	[VO/ha]	1,6	1,6	3,1	0,4	1,1	3,3	1,3
Densidad	[VM/ha]	1,8	2,3	3,5	1,4	1,3	3,8	1,6
Alimento TCO <sup>(1)</sup>	[kg/vaca/día]	79,6	79,4	37,3	96,6	27,5	56,5	57,9
Alimento Ms	[kg/día/Vaca]	12,4	20,0	18,3	21,6	6,6	20,9	26,0
MS/TCO	[%]	0,2	0,3	0,5	0,2	0,2	0,4	0,4
Producción de leche	[l/vaca/día]	22,1	23,9	17,3	45,7	9,7	26,2	38,7
Eto <sup>(2)</sup>	[mm/año]	750	800	870	870	970	1300	1280
Producción total anual	[m³ leche/año]	419	1685	1930	1433	70	1910	3464

<sup>(1)</sup>Valor estimado por los productores

<sup>(2)</sup>Valor obtenido en mapas de la CNR.

Para el análisis de la Tabla 6 se presentan gráficos de las Figuras 9 a 15:

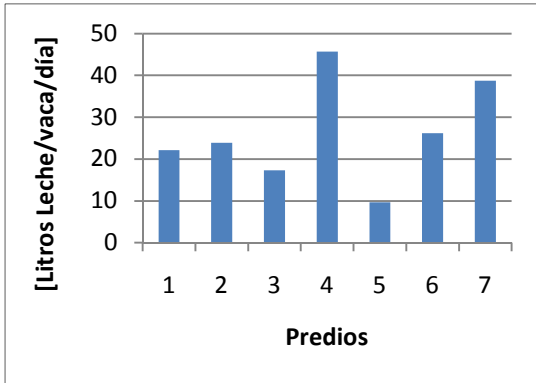


Figura 9 Gráfico de producción de leche por vaca al día

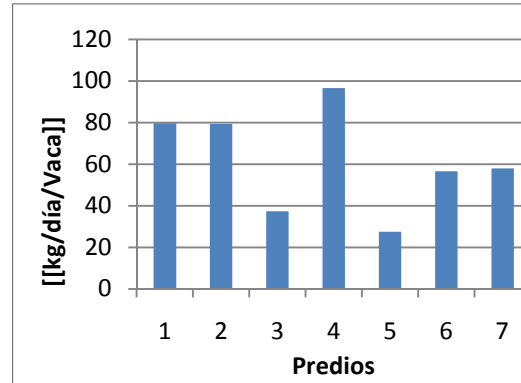


Figura 10 Gráfico de alimento TCO

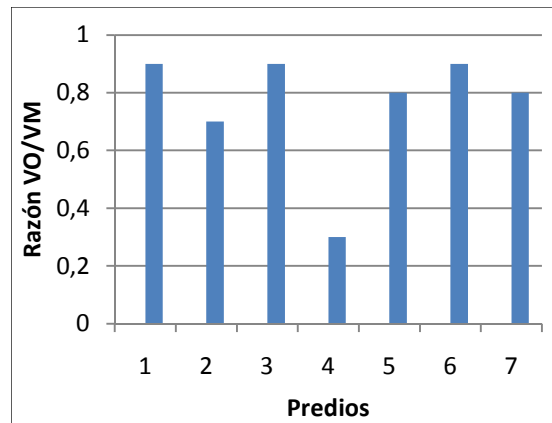


Figura 11 Gráfico de razón vaca ordeña/vaca masa

Observando la Figura 9 y 10 se presume un error en el valor de las vacas en ordeña (VO) del predio Máfil, ya que los litros producidos y el alimento TCO están fuera de los rangos generales. En la Figura 11 se corrobora este hecho, se observa que el valor de 0,3 de VO/VM del predio Máfil es bajo con respecto al de los otros predios. Esto significa que se las vacas que están en ordeña son considerablemente menos que las vacas masa, situación que llama la atención porque habrían una gran cantidad de vacas fuera de la producción. Con el objetivo de ilustrar tendencias en los siguientes gráficos se omiten los valores de Máfil.

Así también Pitrufoquén se omitirá en los gráficos porque el valor de pradera que no fue entregado y es relevante para los cálculos de alimentación, a pesar de que se realizó una estimación en la Figura 9 y 10 se

aleja de la tendencia. La Figura 13 muestra lo mismo que la Figura 9, considerando los predios omitidos, con el objetivo de graficar la tendencia de este valor.

Por otra parte, en la Figura 9 y 10 se observa que la producción de leche está directamente relacionada con el consumo de alimento de la vaca, ya que a medida que las vacas consumen más alimento, producen más leche.

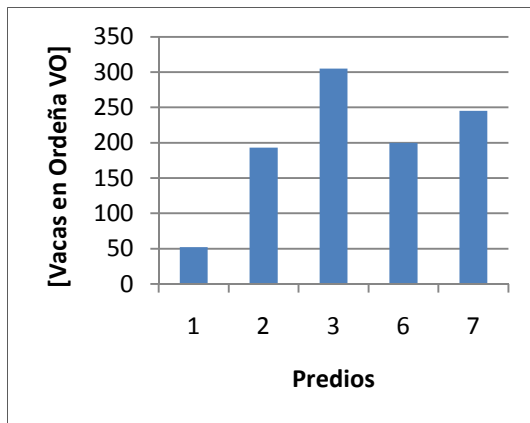


Figura 12 Gráfico de tamaño planteles

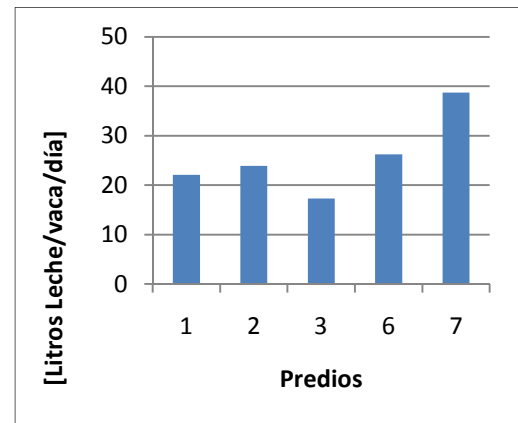


Figura 13 Gráfico de producción lechera por vaca

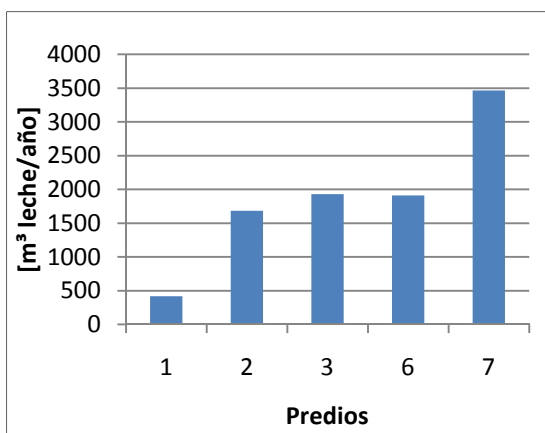


Figura 14 Gráfico de producción de leche anual por predio

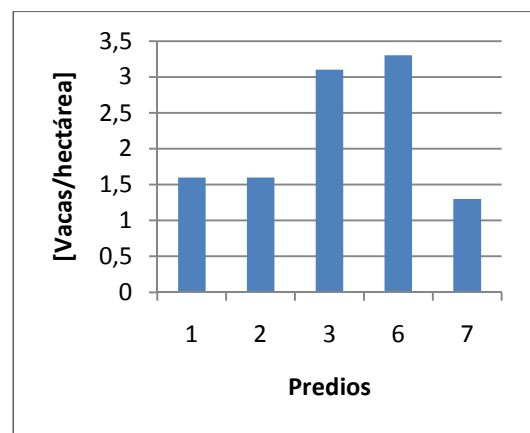


Figura 15 Gráfico de densidad bovina [VO/hectárea]

Las Figuras 12, 13, 14 y 15 reflejan en hecho que los sistemas productivos de la zona norte son intensivos. En la Figura 12 se aprecia que los planteles tienden a ser de mayor tamaño hacia el norte y en la Figura 13 se ve que la producción de leche por vaca tiene el mismo comportamiento, lo que se traduce en una producción anual de leche significativamente creciente en este sentido que se observa en la Figura 14.

En la Figura 13 se observa que la producción es más eficiente en Valparaíso; un promedio de 38 litros de leche por vaca, en cambio, en INIA Remehue se producen 17 litros de leche promedio por vaca al día, es decir, son 56% más productivas en Valparaíso, lo que se fundamenta con la estabulación permanente, ya que las vacas enfocan su energía en producir leche.

En la Figura 15 se observa que la densidad bovina tiende a ser mayor hacia el norte, Valparaíso no sigue esta regla, pero esto se justifica porque la superficie productiva no es utilizada únicamente para los animales en lechería. De hecho, a pesar de la densidad (en producción intensiva es superior a tres animales por hectárea) este es el plantel más representativo de producción intensiva.

---

## CAPÍTULO V: FORMULACIÓN DEL MODELO Y DESARROLLO DE PLANILLA

---

### 5.1. Formulación del modelo

De acuerdo con lo expuesto en el punto 2.1. de este trabajo, y de acuerdo con la Figura 7 se determinan en este punto los efectivos aportes a la WFP de un litro de leche cruda.

En términos de los aportes de WFP del sistema tienen como origen:

La dieta de las vacas lecheras. Se compone de pasto fresco, forraje, silo o fardos de maíz, semillas, entre otros. El alimento se mide en kilogramos de peso seco al año. Para obtener las hectáreas consumidas al año por todas las vacas se divide por la producción de cultivos en kilogramos por hectárea, como se indica en la Ec. (4). Para calcular la cantidad de agua consumida se multiplica la superficie obtenida por la evapotranspiración de una hectárea del correspondiente cultivo, como se indica en la Ec. (5), después se divide por la cantidad de litros producidos al año.

$$APC = \frac{F}{P} \quad (4)$$

Donde:

- APC: Área equivalente de cultivo, en hectáreas al año.
- F: Kilogramos de peso seco consumido al año de alimento para vacas lecheras.
- P: productividad del cultivo o pasto en kilogramos de peso seco por hectárea.

Se calcula la evapotranspiración de cada cultivo en metros cúbicos al año en la Ec. (5).

$$ET_{APC} = APC \cdot ET_c \cdot \frac{1}{10} \quad (5)$$

Donde:

- $ET_{APC}$ : Evapotranspiración del área equivalente de cultivo, en m<sup>3</sup> al año.
- $ET_c$ : Evapotranspiración de una hectárea del cultivo correspondiente, en milímetros.

Para obtener la evapotranspiración del cultivo se multiplica la evapotranspiración de referencia medida o calculada en la zona específica por el coeficiente  $k_c$  teórico (FAO 56, 2006) del cultivo correspondiente. Se debe ajustar el  $k_c$  dependiendo de la fecha de plantación, desarrollo y crecimiento del cultivo. Se



asume una evapotranspiración uniforme durante el mes y se multiplica por el correspondiente  $k_c$  de acuerdo al desarrollo de cada cultivo. Para mayor detalle ver las tablas de  $ET_c$  en el Anexo 3. Luego se suma las evapotranspiraciones durante el desarrollo de cada cultivo hasta la cosecha, como se puede observar la Ec. (6).

$$ET_c = \sum_{i=\text{inicio}}^{\text{Cosecha}} ET_{0i} * K_{ci} \quad (6)$$

Donde:

- $ET_{0i}$ : Evapotranspiración de referencia en milímetros en el día de cultivo  $i$ .
- $K_{ci}$ : Coeficiente de cultivo en el día de cultivo  $i$ .

La descripción de las fechas consideradas de inicio o plantación, etapas de desarrollo y cosecha están descritas en el FAO 56 de 2006, ver Anexo 3.

Se suma la  $ET_c$  de todos los cultivos y se divide por la cantidad de litros producidos. En la Ec. (7) se muestra el cálculo de  $WFP_f$  en metros cúbicos de agua por litro de leche.

$$WFP_f = \left( \sum_{\text{Alimento}} ET_c \right) / Ll \quad (7)$$

Donde:

- $WFP_f$ : WFP correspondiente al alimento que come la vaca,  $m^3$  agua por litro de leche al año.
- $Ll$ : Litros de leche producidos por todas las vacas al año.

El concentrado no tiene una evapotranspiración asociada ya que llega al predio en forma procesada, por lo que se puede añadir al sistema con la WFP que aporta como se indicó en el punto 4.6. de este trabajo. En caso que no se cuente con la  $ET_c$  o productividad de los alimentos, se transformarán a una cantidad de alimento nutricionalmente equivalente del que sí se tenga información que se explicará más adelante.

El agua que bebe la vaca, Figura 7, se puede calcular haciendo una estimación de cuánto bebe una vaca al día, incluyendo la humedad del pasto (el pasto se consideró como materia seca), de acuerdo a la Ec. (8).

Se debe aplicar un factor de eficiencia indicado en la Ec. (9) que corresponde al agua consumida y no devuelta en purines. La  $WFP_d$  se obtiene mediante la Ec. (10).

$$Efd = \frac{Lb - Q_w}{Lb} \quad (8)$$

$$Wd = Lb * Va * \frac{365}{1000} \quad (9)$$

$$WFP_d = \frac{Wd \cdot Efd}{Ll} \quad (10)$$

Donde:

- Efd: Eficiencia de agua.
- $Q_w$ : Litros de agua que defeca y orina la vaca al día.
- $Wd$ : agua que beben todas las vacas en al año, en  $m^3$ .
- $Va$ : número de vacas promedio al año en lechería.
- $Lb$ : Litros de agua que bebe una vaca promedio al día.
- $WFP_d$ : WFP correspondiente al agua que ingiere a la vaca, en  $m^3$  de agua por litro de leche.

La vaca ingiere alimento y agua, por lo tanto definiendo  $WFP$  como la WFP en metros cúbicos asociada a la producción de un litro de leche, se tiene la Ec. (11):

$$WFP = WFP_f + WFP_d = WFP_{(azul + verde)} \quad (11)$$

$WFP_f$  se descompone en azul o verde dependiendo si el pasto se ha regado o toma el agua desde las precipitaciones indicado en la Ec. (12). Se hace el supuesto que el riego está bien planificado, por lo tanto toda el agua se aprovecha, considerando la eficiencia correspondiente a cada tipo de riego (lo que no aprovecha la planta se devuelve al medioambiente), y se cumple con los requerimientos del cultivo.

$$WFP_f = WFP_{Azul f} + WFP_{Verde f} \quad (12)$$

$$WFP_{Azul f} = R * ef_{riego} \quad (13)$$

$$WFP_{verde f} = WFP_f + WFP_{Azul f} = WFP_{Verde} \quad (14)$$

Donde:

- $WFP_{azul\ f}$  : la parte azul de  $WFP_f$ , todo lo regado, en  $m^3$  al año.
- $Ef_{riego}$ : Eficiencia del sistema de riego.
- $R$ : volumen anual de agua regada en cultivos que ingieren las vacas lecheras, en  $m^3$ .
- $WFP_{verde\ f}$  : la parte verde  $WFP_f$ , lo que proviene de las precipitaciones, en  $m^3$  al año.
- $WFP_{verde}$  : Huella de agua verde en  $m^3$  al año.

Para la  $WFP_{azul}$  se considera el riego ( $WFP_{azul\ f}$ ) y lo que bebe ( $WFP_d$ ).

$$WFP_{azul} = WFP_{azul\ f} + WFP_d \quad (15)$$

Para el cálculo de la  $WFP_{gris}$  se debe tomar la calidad de los efluentes. De la concentración con la que se arrojan los purines a pradera se calcula la carga que efectivamente llega a la napa. Teóricamente, se volatiliza el 25% del nitrógeno y el 10% del resto se percola a la napa (EIA Inversiones Araucanía LTDA, 2010). Sin embargo, dado que los purines son dispuestos en pradera son considerados como abono y no como emisión de un desecho, por lo tanto no deben cumplir ninguna norma, y la  $WFP_{gris}$  es cero. Esta consideración se discutirá más adelante.

Sin embargo la planilla desarrollada está planteada para un caso general en que los purines pueden ser dispuestos en cursos de agua.

## 5.2. Planilla Excel

El detalle de planillas para cada predio se presenta en el Anexo 5, a continuación se presenta el formato de la planilla:

**Tabla 7 Cálculo de WFP**

Alimento										
WFP del alimento	Tipo de alimento	Cantidad por vaca(F)			Productividad (P)	APC	ETc	ET <sub>APC</sub>		
	(para vacas en lactancia)	TCO	MS	Masa seca					Todas las vacas	
		$\frac{\text{Kg}}{\text{Vaca/año}}$	%	$\frac{\text{Kg MS}}{\text{Vaca/año}}$	$\frac{\text{Kg Ms}}{\text{Año}}$	$\frac{\text{Kg MS}}{\text{há}}$	$\frac{\text{Kg.}}{\text{año}}$	$\frac{\text{mm}}{\text{año}}$	$\frac{\text{m}^3}{\text{Año}}$	
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	Total									
	Litros de leche (LL)	[litros]								
	<b>WFPf</b>	$\frac{\text{m}^3 \text{agua}}{\text{Litro leche}}$								
Bebida										
WFP del agua de beber	Número de vacas		n°							
	Bebida(Lb)		Litros/día							
	Agua devuelta (Qw)		Litros/día							
	Eficiencia agua (Efa)		[ ]							
	Agua total entra (Wd) todas las vacas		[m <sup>3</sup> agua/litro leche]							
	<b>WFPd</b>		[m <sup>3</sup> agua/litro leche]							
WFP total	<b>WFPtotal</b>		[m <sup>3</sup> agua/litro leche]							
	WFP dividida por color	Tipo de riego								
R		[m <sup>3</sup> agua/litro leche]								
Ef riego		[-]								
<b>WFP azul f</b>		[m <sup>3</sup> agua/litro leche]								
<b>WFP verde</b>		[m <sup>3</sup> agua/litro leche]								
<b>WFP azul</b>		[m <sup>3</sup> agua/litro leche]								
Higiene y purines										
WFP gris	Forma disposición de desechos									
	Cnat		g/año							
	Vulnerabilidad acuífero									
	Cuerpo de agua									
	Cmax		g/año							
	Prn		g/año							
	Cpurines		g/año							
	L		g/año							
<b>WFP gris</b>		[m <sup>3</sup> agua/litro leche]								

La Tabla 7 se divide en cuatro partes horizontales, el cálculo del agua proveniente de los alimentos en verde, el cálculo del agua proveniente del agua de beber en azul y el cálculo del agua ocupada para la higiene y purines en gris. Además, hay una franja donde se diferencia los colores del agua consumida en naranja.

#### a) Alimento

La primera columna es el *tipo de alimento*, esto es, el nombre específico del cultivo, concentrado o todo con lo que se alimente a las vacas lecheras. La columna a la derecha es *TCO*, el peso del alimento *Tal Cual Ofrecido* que se le da a una vaca en un año. La siguiente columna es el *porcentaje* de materia seca que compone a cada alimento, un valor teórico (Anrique et al., 2007). Se calcula la cuarta columna, que es la *materia seca* que consume una vaca en un año. La quinta columna es la multiplicación por la cantidad de vacas, es decir, son los kilogramos de materia seca que comen todas las vacas lecheras en un año.

La siguiente columna es la *productividad* de los cultivos, en kilogramos de materia seca por hectárea. La columna de *APC* corresponde a la Ec. (4) explicada anteriormente, los datos necesarios fueron descritos en las columnas anteriores.

La columna *ETc* corresponde a la evapotranspiración de una hectárea del cultivo. Esto se calculó en otra planilla Excel con la *ETo* y al coeficiente de cultivo, ver Anexo 3.

Por último la columna  $ET_{APC}$  corresponde a la Ec. (5).

Bajo las columnas se escriben los *litros de leche producidos* y la  $WFP_f$ , calculada con la Ec. (7).

#### b) Bebida

Para el cálculo de la  $WFP_d$  se necesitan el *número de vacas*. Con la Ec. (8) se calcula el factor de eficiencia y con la Ec. (10) la  $WFP_d$ .

#### c) Agua consumida

Se calcula la WFP de acuerdo a la Ec. (11). Para la WFP gris se elige de una lista desplegable el tipo de riego, con lo que automáticamente se rellena el espacio de eficiencia. Después anota el volumen de agua administrada y se calcula el aporte azul de la alimentación de acuerdo a la Ec. (13), el aporte verde con la Ec. (14) y finalmente la WFP azul con la Ec. (15).

#### d) Higiene y purines

Para el cálculo de la WFP gris se elige de una lista desplegable la *forma de disposición de purines* entre *Abono*, *infiltración a acuífero* o *cuerpo de agua*. En el caso que sea como abono la WFP gris es automáticamente cero y no se debe rellenar nada.

En el caso que sea infiltración a acuífero se debe elegir la *vulnerabilidad del acuífero* desde una lista desplegable. Automáticamente se rellena el espacio de concentración máxima permitida por la norma.

En caso que la disposición sea a un cuerpo de agua se debe elegir de una lista desplegable el *tipo de cuerpo de agua*, con eso se rellena automáticamente la concentración máxima.

Además se debe anotar la *concentración natural* del medio otorgado por la DGA.

Luego se anota el volumen de purines y la concentración de nitrógeno de estos con lo que se obtiene la carga y el valor de WFP gris.

## CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN Y RESULTADOS

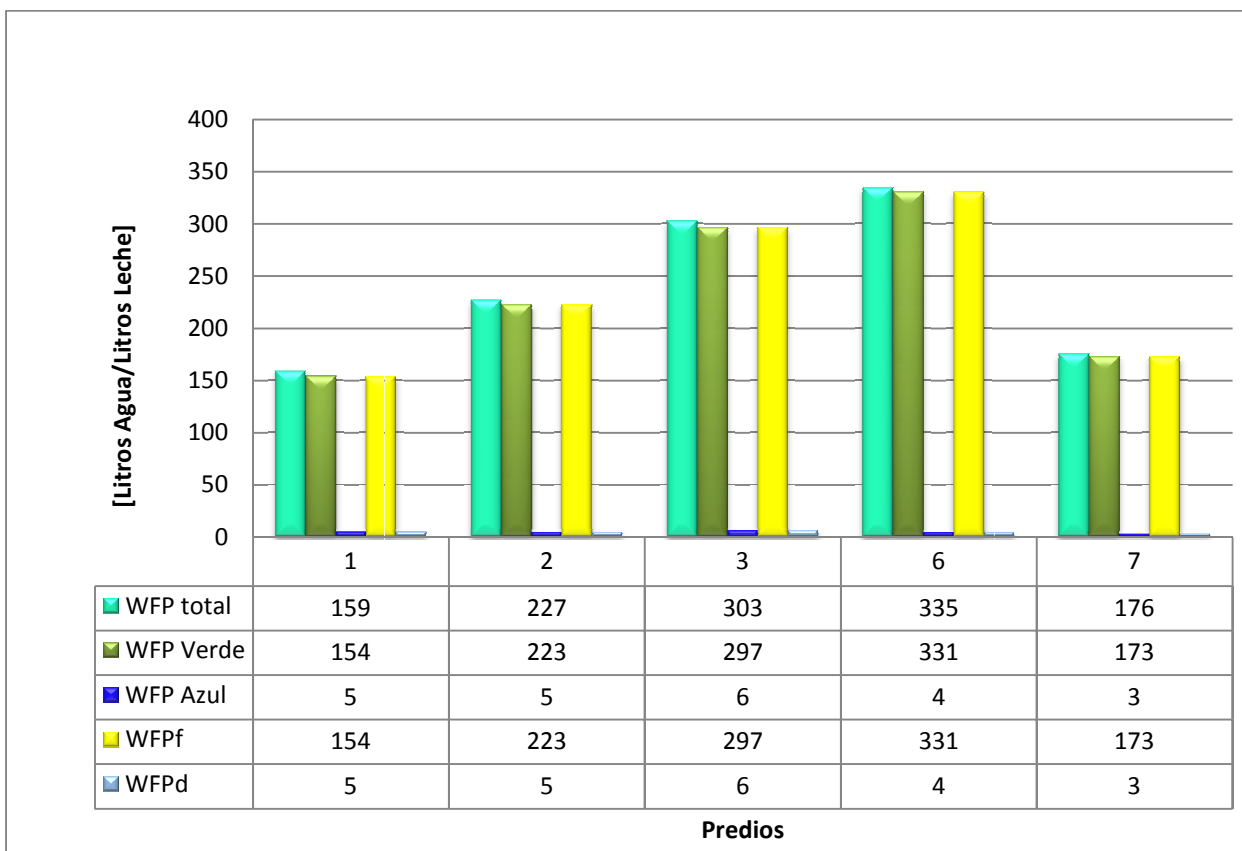
### 6.1. Comparación del indicador WFP en distintos predios

El resumen de los resultados obtenidos a partir de la planilla del capítulo V se observa en la Tabla 8.

**Tabla 8 Resumen de datos y resultados**

	Unidad	Predios						
		1	2	3	4	5	6	7
WFPf	litros agua litro leche	154	223	297	331	173	154	223
WFPd	litros agua litro leche	5	5	6	4	3	5	5
WFP	litros agua litro leche	159	227	303	335	176	159	227
WFP Verde	litros agua litro leche	154	223	297	331	173	154	223
WFP Azul	litros agua litro leche	5	5	6	4	3	5	5
WFP gris	litros agua litro leche	0	0	0	0	0	0	0
<u>WFP</u> l. leche/Vaca/Día		124	111	162	158	66	124	111

Los resultados para la WFP se presentan la Figura 16.



*Figura 16 Gráfico de WFP total, diferenciada por color según el origen del agua*

La Figura 16 muestra los resultados de WFP de un litro de leche a nivel predial, de los cinco predios que cuentan con datos confiables de manera que se reflejen tendencias, se omiten los valores los predios 4 y 5. Se observa en barras verdes oscuro la  $WFP_{verde}$ , calculada con la Ec. (14), en barras azules, con un valor muy bajo, la  $WFP_{azul}$  calculada con la Ec. (15), en barras calipso la WFP total calculada con la Ec. (11), en barras amarillas la  $WFP_f$  calculada con la Ec. (12) y en barras celestes, con un valor muy bajo, la  $WFP_d$  calculada con la Ec. (10).

Se observa que la WFP total observada en los predios varía entre 159 y 335 litros de agua por litro de leche.

Dado que no hay riego o en los casos que existe, ya que los purines se pueden considerar como riego, no hay valores de la cantidad de agua utilizada para regar los cultivos consumidos por las vacas, se asume que toda el agua evapotranspirada por éstos proviene de las precipitaciones, por lo tanto, la  $WFP_f$  es igual a la  $WFP_{verde}$ , y la  $WFP_{azul f}$  calculada con la Ec. (13) es cero. De esta forma la  $WFP_{azul}$  sólo incluye la  $WFP_d$ .

Cabe destacar que los valores de los predios 6 y 7 están subvalorados por la transformación realizada con los alimentos importados como se mencionó en el Capítulo IV de este trabajo.

En la Figura 16 se muestra un incremento de la WFP hacia el norte, con excepción en el predio 7, donde la producción de leche es muy eficiente, con 38 litros por vaca al día. La WFP depende de la cantidad de agua consumida y de la producción de leche, por lo tanto a mayor producción (para un mismo consumo) hay menor WFP. Asimismo, el cambio que se produce en el  $WFP_d$  es fundamentado únicamente por la variación en la cantidad de litros de leche producidos ya que se asumió que la cantidad de litros consumidos por las vacas es uniforme.

Se realizó un análisis de sensibilidad de la WFP con respecto a la alimentación normalizando por este parámetro. La Figura 17 refleja la dependencia de la WFP con respecto a la cantidad de alimento para las vacas, si es que existe dependencia los valores deberían mantenerse constantes.



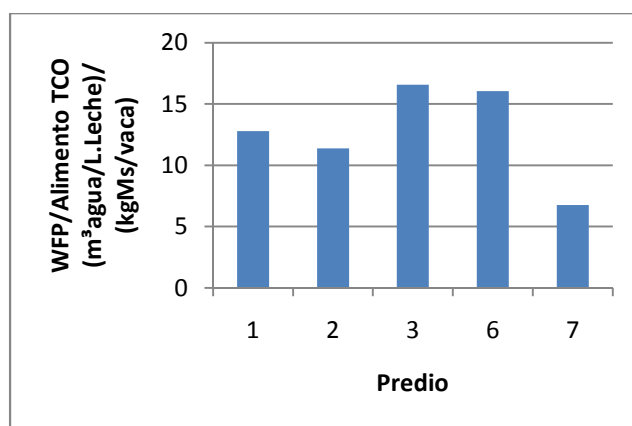


Figura 17 Gráfico de sensibilidad con respecto al alimento TCO

En el Figura 17 se observa ésta tendencia excepto en el predio 7, pero la WFP de éste está subestimada debido a que dentro de sus cálculos se adoptaron valores mínimos del aporte de WFP, procedimiento que se detalla en el Capítulo IV. Por lo tanto es probable que el valor de este punto aumente, conservando la relación.

Durante el cálculo de la WFP se observó que el indicador cambia notablemente con la productividad de los cultivos. La productividad posee una variabilidad intrínseca debido a que depende de las condiciones del cultivo, tales como enfermedades y estrés hídrico. Existe variación con respecto a la evapotranspiración de los cultivos, pero no es tan significativa como con la productividad. Sería importante para nuevos trabajos tener datos de la productividad específica del alimento que se suministró a las vacas y la evapotranspiración de éste.

## 6.2. Críticas y limitaciones al indicador

Al realizar este estudio se encontraron ciertas limitaciones prácticas con respecto a la obtención y calidad de los datos, y a su vez, algunas referidas a la aplicación de la metodología.

Dentro de las limitaciones prácticas, se encuentran los problemas relacionados con la obtención de los datos y la propia variabilidad de éstos, lo que hace muy difíciles precisar los resultados.

Existe una falta de información y registros a nivel predial. En la práctica, los predios son manejados de una manera intuitiva de acuerdo a la experiencia de sus propietarios. No poseen un esquema riguroso de trabajo, no siguen una planificación estructurada de procedimientos y no existe seguimiento o monitoreo para analizar variables y consecuencias. Con el fin de revertir esta situación, agrónomos trabajan como consultores en mejorar la producción de predios y en incentivar a agricultores y dueños de predios a

generar registros de variables y resultados (Broussain, 2010). Los predios monitoreados por INIA cuentan con un nivel de registros importante. Sin embargo, la mayoría de los predios no manejan su producción desde un punto de vista científico, es decir, no siguen un método científico, razón por la cual se hace difícil conseguir datos precisos, por ejemplo, de productividad.

Dada la variación de manejo y alimentación de los distintos sistemas productivos, no existe homogeneidad y homologación entre los predios estudiados. En consecuencia, ante la falta de datos, es difícil extrapolar los valores desde un predio a otro. Esto, sumado a la falta de registros, constituye un problema real sobre la precisión de los resultados obtenidos.

Los datos solicitados sobre los insumos para las vacas que se indican en la Figura 6 podrían ser reemplazados con la WFP de cada insumo, tal como se explicó en la definición del sistema, y sumarse para determinar la WFP del producto final leche. Se espera que, a medida que se desarrolle el indicador, se cuente con estos valores y se afinen los cálculos para la determinación de la WFP de un litro de leche o de los subproductos de ésta. Además, podría ser una forma de suplir la falta de registros sobre alimentos extraprediales o importados.

No existe una metodología uniformada para la medición de los datos. Esto provoca que los datos otorgados por los predios pueden no ser comparables, y por lo tanto, tampoco los resultados obtenidos. Sin embargo, para esta primera aproximación de la WFP, la disposición de datos es suficiente, ya que la precisión otorgada por la metodología no requiere una mayor precisión de datos.

Dentro de las limitaciones metodológicas, se encuentra el fundamento del por qué la  $WFP_{gris}$  es cero en todos los predios. La  $WFP_{gris}$  depende de la norma de calidad ambiental que rija en el lugar en que se realicen las descargas, y producto que en Chile estas normas solo existen a nivel de anteproyecto, se podrían aplicar en su lugar las normas de emisión, en donde se establecen concentraciones máximas permitidas a descargar, según el tipo de acuífero y las concentraciones naturales de éste. Ambos valores determinados por la Dirección General de Aguas (DS 46, 2010; DS 90, 2010). Sin embargo, estas normas de emisión no son aplicadas a la disposición de purines, por lo que tampoco son utilizadas para medir el aporte de la  $WFP_{gris}$  a la WFP total.

Existe una directa relación entre el valor del indicador y la normativa ambiental de donde se aplique, de esta forma, si la normativa es más exigente, la  $WFP_{gris}$  aumenta. Esta relación podría ser útil en caso que las exigencias de las normativas estuvieran de acuerdo a la sensibilidad de los ecosistemas. Sin embargo, las exigencias de las normativas está más relacionado con el nivel de desarrollo de los países que con la

vulnerabilidad de los sistemas ambientales. Esta dependencia es una desventaja para el indicador ya que no revela el nivel de contaminación real existente, y por lo tanto no cumpliría con el propósito de la  $WFP_{gris}$ . No obstante, este problema podría ser atribuido a la normativa y no propiamente al indicador.

---

## **CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

Este estudio representa el primer trabajo realizado en Chile sobre el uso de la WFP en lechería. Además, es parte de los pocos estudios que existen de este indicador a nivel internacional.

El estudio de la WFP consta de tres pasos: la contabilidad, la evaluación de impactos y la toma de decisiones con respecto a los impactos evaluados. En este trabajo se realizó el primero de estos pasos, y se desarrolló una planilla de cálculo como una herramienta útil, sencilla y aplicable si se desea realizar futuros trabajos sobre WFP en lechería.

Con respecto a la aplicación de la metodología de la WFP en la producción lechera, se definió la unidad de producción lechera como límite del sistema. La unidad de producción lechera puede ser considerada como el conjunto entre el predio y los insumos de éste, calculando la WFP de todo, o considerar que la unidad que producción lechera corresponde sólo al predio, y en este caso, se debe sumar de manera directa la WFP de sus insumos. En cualquiera de los dos casos el valor de la WFP es el mismo. Debido a la disponibilidad de datos con que se contaba, y a lo incipiente del indicador WFP, se optó por calcular la WFP del sistema que incluía tanto al predio como a sus insumos.

El agua utilizada en la lechería es tomada desde el medio ambiente, y se retorna a través de los purines a su origen. Al retornar a la fuente, el agua encuentra su calidad natural alterada, por consiguiente deberían aportar a la WFP gris. Sin embargo, no existe una norma ambiental que regule la disposición de los purines, provocando que este potencial consumo de agua no sea considerado.

Los valores obtenidos de la WFP de la producción lechera varían entre 160 y 335 litros de agua por litro de leche, dependiendo del predio analizado. De este valor, la WFP verde corresponde a cerca de un 98% del total, mientras que el aporte de la WFP azul sólo es de un 2%.

Se observó una tendencia a aumentar el valor de la WFP desde la zona sur hacia la zona central de Chile. Esto puede justificarse dado que la evapotranspiración potencial aumenta hacia la zona central del país, generando que los cultivos consuman más agua para producir una misma cantidad de materia seca.

Además, en base a los gráficos de producción lechera y WFP, se infiere que la producción de leche de una vaca es directamente proporcional al consumo de alimento por parte del animal. En caso de existir dos vacas que coman la misma cantidad de alimento, pero que produzcan diferente cantidad de leche, la de mayor producción inmediatamente tendrá un menor valor de la WFP.

Otra importante observación es que una mejora en la eficiencia del uso de agua en la lechería no genera cambios en el valor de la WFP. Esto se debe a que el agua que se retira del medio ambiente para ser utilizada en la lechería es devuelta en el mismo lugar, en consecuencia, no se consume, y a pesar que se altera su calidad no se contabiliza como WFP gris por las razones previamente descritas.

Se observó, a su vez, que los resultados obtenidos son muy sensibles al valor de productividad de cultivos por parte de praderas, razón por la cual se sugiere aumentar la precisión de las mediciones asociadas a los valores específicos del alimento que efectivamente ingiere la vaca lechera.

Es importante destacar que los valores obtenidos están subestimados. Esto se debe a que se omitieron una serie de consumos de agua, que a pesar de ser aportes menores, generarían un incremento de la WFP. Entre los valores omitidos se encuentran principalmente el consumo de agua de la vaca antes de entrar en lactancia, además del consumo de agua de los insumos no considerados de la cadena de producción, y la evaporación de estanques de acumulación de purines, pisos y canales.

En el caso de requerir aplicar el método en nuevos estudios, se debe tener en cuenta la precisión que se desea obtener. Si se desean realizar primeras aproximaciones de los consumos de agua en otros predios lecheros, se pueden estimar los valores basándose en lo realizado en este trabajo. Sin embargo, si se desea obtener una mayor precisión, se recomienda mejorar la medición de los consumos de alimento por parte de la vaca, y el valor de la evapotranspiración del período en estudio. Para que los valores de la WFP que se obtengan a futuro sean comparables entre predios, o con otros rubros, se recomienda estandarizar el método de cálculo y la forma de obtención de los datos que se utilicen. A modo de ejemplo, una buena práctica es utilizar los datos de evapotranspiración de la CNR, ya que son confiables, son de fácil acceso y se encuentran calculados para todo el territorio nacional.

Otra medida de estandarización sugerida, es la utilización de la planilla de cálculo desarrollada como herramienta de trabajo, ya que es efectiva y de simple aplicación para el cálculo de la WFP.

Además, se sugiere realizar estudios sobre la calidad del agua que efectivamente se infiltra hacia la napa subterránea, producto de la disposición de purines a pradera, y analizar la necesidad de contar con una norma que regule estas emisiones.

Se recomienda continuar con los esfuerzos de promover metodologías para el registro de datos por parte de los sistemas lecheros de manera metódica y esporádica. En lo posible, se debe instruir a los agricultores sobre nociones acerca del método científico con el fin de analizar, por ejemplo, variables de alimentación

y sus consecuencias en la producción de leche. De esta forma se podrían estudiar escenarios en los que en un mismo predio se obtenga una mayor o menor WFP.

Con respecto a los valores encontrados en la literatura acerca del consumo de agua en la producción de leche, existe una diferencia entre el valor obtenido en este trabajo y el hallado en literatura. Mientras en el caso de Chile, la WFP de la leche varía entre los 160 y los 335 litros de agua por litro de leche calculado en este trabajo, la literatura menciona variaciones que varían entre los 760 y los 1800 litros de agua por litro de leche (Hoekstra & Chapagain, 2003). Tal diferencia se asocia a las consideraciones en el cálculo y la forma de realizarlo. En los trabajos revisados, se contabiliza el consumo de agua a lo largo de toda la vida del animal, estimándose en siete años. Este trabajo se realizó en base a ciclos anuales, debido a que la vida del animal en Chile es variable, y puede fluctuar entre los dos y los nueve años de vida, dependiendo de la eficiencia de producción del animal.

Por otra parte, la producción de leche de las vacas descritas en los estudios previos es, para el caso de producción intensiva, cercano a los 20 litro de leche al día, lo cual es bastante bajo en comparación a los 38 litros de leche al día que existe en la lechería 7. Para el caso de pastoreo, los valores expresados en la literatura son de 6,8 litros día, número también bastante inferior a los 17 litros día de la lechería 3. Esta diferencia de producción genera que la WFP de la producción lechera en Chile sea menor a la obtenida en estudios previos.

Con el fin de que los valores obtenidos puedan ser un real aporte al desarrollo sustentable del sector, se recomienda continuar con el estudio de la WFP, y realizar la evaluación de los impactos, superponiendo los valores obtenidos sobre un mapa de estrés hídrico. Con esta evaluación se podrán tomar decisiones de acuerdo al nivel de consumo. Además, para que la incorporación de la WFP como herramienta de gestión ambiental en predios lecheros en Chile sea realmente útil para la medición de impactos, es necesario contar con un mayor desarrollo respecto a la WFP de los insumos y el registro de datos sobre consumo de los animales, de modo de continuar con las etapas del estudio de WFP y pensar en mitigar los posibles impactos generados.

Finalmente, se concluye que el indicador WFP es efectivo cuando el enfoque del estudio a realizar es el consumo de agua por parte de un proceso productivo. Sin embargo, en términos de contaminación, esta herramienta debe seguir perfeccionándose. A medida que se desarrollen más trabajos acerca de consumos de agua y WFP, se realizarán más y mejores mediciones de los usos de agua, se cuantificará el agua consumida con mayor precisión, y se tomarán decisiones objetivas sobre el uso eficiente del agua, con el trascendental fin de crear conciencia sobre este preciado recurso en nuestro planeta.

---

## BIBLIOGRAFÍA

---

1. ABARZUA, A., Adwandter, V., Balocchi, O., Canseco, C., Demanet, R., Lopetegui, J.. Manejo de Pastoreo, Osorno, Chile. Fundación Para la Innovacion Agraria (FIA), UACH, UFRO. 2007.
2. ANRIQUE, Latrille, Balocchi, Alomar, Moreira, Smith. Competitividad producción lechera nacional. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile, Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias. 1999.
3. ANRIQUE, R., Fuchslocher, R., Iraira, S., & Saldaña, R.. Composicion de los alimentos para ganado en el sur de Chile. Osorno: Centro Regional de Investigación, INIA, Remehue. Universidad Austral de Chile, Facultad de Cs. Agrarias. 2007.
4. AWAS, Australian Water Accouting Standard. Water Accouting method [en linea] <<http://www.bom.gov.au/water/about/consultation/document/FAQ.pdf>. >[Consulta, Enero 2011].
5. BORNSCHEUER, P. Contacto personal. Productividad típica de cultivos. Osorno, Chile. 15 de Noviembre de 2010.
6. BREWER, CUMBY, & DIMMOCK. Dirty water from dairy farms II: tratment and disposal options. Bioresource Techology (67). Pp: 161-169. 1999.
7. BROUSSAIN, C. J. Contacto personal. Productividad de cultivos. Osorno, Chile. 22 de Noviembre de 2010.
8. CHAPAGAIN & HOEKSTRA, Virtual Water flows between Nations in relation to trade in livestock and livestock products. Value of water research report series (13). Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE. Agosto, 2003.
9. DS 46, DECRETO SUPREMO 46. Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas. CONAMA. Santiago, Chile. 2010.
10. DS 60, DECRETO SUPREMO 60. Reglamento Sanitario de Alimentos. Santiago, Chile.1984.
11. DS 90, DECRETO SUPREMO 90. Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales. CONAMA. Santiago, Chile. 2010.
12. DGA, DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. Balance Hídrico de Chile. DGA. Santiago de Chile. 1987. Líneas de isoevapotranspiración.

13. DUMONT. Praderas permanentes para producción de leche en el sur de Chile. En II Seminario Aspectos Técnicos y perspectivas de producción de leche. INIA Estación Experimental Remehue, Osorno. Serie Remehue N° 33. 1993.
14. EIA INVERSIONES ARAUCANIA LTDA. Balance de nitrógeno y Balance Hídrico en Declaración de Impacto Ambiental FERIA Ganadera Freire. Freire, Chile. 2010.
15. ESPINOZA, M. Químico laboratorista de Concentrados Cisternas. Santiago, Chile. Diciembre de 2010.
16. FAO 56, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION N° 56. Evapotranspiración del cultivo. Roma, Italia, 2006.
17. GARRIDO, A. La huella Hidrológica en la Agricultura Española. Fundación Marcelino Botín, Pedruca, 1. Papeles de Agua Virtual Número (2). Madrid, España. Octubre 2008.
18. GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. Trabajos de Huella de Carbono y Ecológica. [En línea] 2009.  
<[http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/carbon\\_footprint/](http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/carbon_footprint/)> [Consulta: Enero 2011]
19. GONZÁLEZ, VALEIRA, CATRACCHIA (2005). Cantidad de agua utilizada en instalaciones de Ordeño. Simposio Uso del agua, manejo de efluentes e impacto ambiental. Asociación pro calidad de la leche y sus derivados APROCAL. Buenos Aires, Argentina. 2005.
20. HARGRESVES, & Adsme. Manejo Ganado Lechero, La Agenda del Salitre. Soquimich S.A. SQM. Chile. 2001.
21. HEATLEY. Dairing and the environmental: Managing Farm Dairy Effluent. Dairing and the environmental Committee. 1996.
22. HOEKSTRA, Chapagain, Aldaya, Mekonnen. Water Footprint Manual. Water Footprint Network. Enschede, The Netherlands. 2009a.
23. HOEKSTRA, Gerbens-leenes, & Meer, V. d.. Reply to Pfischer and Hellweg: WFP accounting, impact assessment, and life cycle assessment. PNAS. 6 Octubre 2009b.
24. HOSPITO, MOREIRA, FEIJOO. Simplified life cycle Assessment of Galician Milk Production. International Dairy Journal (13) El Servier Science. Santiago de Compostela, España. Pp: 783-796. 2003.



25. IRAMIN, M. Nosetti, Herrero, May, Flores, Carbó. Evaluación del uso y manejo del agua en establecimientos lecheros de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Veterinarias. 2001.
26. ISO 14046, INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. 2010.
27. ISO 14064, INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. 2006.
28. JAHN, E., & VIDAL, A. Conservación y utilización de pulpa de Achicoria en alimentación de bovinos de leche y carne. INIA-Quilamapu .Región del Bio Bio, Chile. Pp: 23-26. 2008.
29. KLEIN, F. Utilización de praderas y Nutrición de vacas a Pastoreo, Seminario Hagamos de la Lechería un Mejor Negocio. INIA-Remehue Seria Acta n°24. Osorno, Chile. Pp: 43-55. 2003.
30. LLAMAS. Los colores del agua, agua virtual y los conflictos Hídricos. Discurso Inaugural del curso 2006/2006. Real Academia de Ciencias Exactas, Madrid, España. 2005.
31. LONGHURST, ROBERTS, & O'CONNOR. Farm dairy effluent: A review of published data on chemical and physical characteristics in New Zealand. New Zealand Journal of Agriculture Research Vol 43. The royal Society of New Zealand. New Zealand. Pp 7-14. 2000.
32. LORIMAN. Separation distances for bovine operation units under Iowa's New Manure Law. Departament of agriculture and biosystems Engenieering, Iowa state University. 2p. 1997.
33. MADANI. An assesment of the impact of manure application on water quality. Final report to: Canada/Nova Scotia Agreement on the Agricultural Component of the Green Plan. Pp: 11. <[http://www\\_pi.nsic.ns.ca/-piinfo/greenplan/waste/034.html](http://www_pi.nsic.ns.ca/-piinfo/greenplan/waste/034.html)>. 1996.
34. MAFF, MINISTRY OF AGRICULTURE, FISHERIES AND FOOD. Code of Agricultural practice of the protection of Water Air an soil. London, UK. Pp: 80, 74, 74. 1991, 1992, 1993.
35. MAGARIÑOS. Producción Higiénica de la Leche cruda Producción y Servicios incorporados S.A.. Guatemala. 2001.
36. NOSETTI, L. Cuantificación y caracterización de agua y efluentes en establecimientos lecheros. Buenos Aires, Argentina, 2002.
37. OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS, Boletín de la leche. Ministerio de Agricultura. Chile. P. 51. 2000.
38. OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS. Boletín Pecuário. Ministerio de Agricultura. Chile. P:113. Junio 2000.

39. PAIN. Improving the utilization of slurry and farm effluent. Management Issue for the Grassland Farmer in the 1990's. BGS Occasional Symposium N° 25. Pp: 121-133. 1990.
40. PAS, PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION 2050. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. British Standards Institution. London, UK. 2008.
41. ROSAS, M. Comunicación personal. Pre Encuesta Predial, Fundo Tres Esteros. Rio Negro, X Región, Chile. 14 de Septiembre de 2010.
42. SALAZAR, DUMONT, SANTANA, PAIN, CHADWICK, & OWEN. Prospección del Manejo y utilización de efluentes de lechería en el Sur de Chile. Archivos de medicina Veterinaria. Osorno, Chile. 2003.
43. SALAZAR, F. Prácticas de manejo, leyes y normas para la utilización de purines y efluentes de lechería. INIA-Remehue. Osorno, Chile. 1997.
44. URIBE, C. Comunicación personal. Pre encuesta Predial- INIA Remehue. Osorno, X Región, Chile. 13 de Septiembre de 2010.
45. VERGARA, M. A. Trabajo de Título. Efecto de la localización en el impacto ambiental de un proceso: Evaluación mediante el análisis de ciclo de vida. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Ingeniería Química. Santiago, Chile. 2002.
46. WACKERNAGEL. Nuestra huella Ecológica, reduciendo el impacto humano sobre la tierra. New society Publishers. Canada. 1996.
47. Water footprint Network. Publicaciones de Waterfootprint. [en línea] <<http://www.waterfootprint.org/?page=files/Publications>> [Consultado 2011].
48. [www.scienceinthebox.co](http://www.scienceinthebox.co), Análisis de Ciclo de Vida (LCA) [en línea] <[http://www.scienceinthebox.com/es\\_ES/sustainability/lifecycleassessment\\_es.html#seven](http://www.scienceinthebox.com/es_ES/sustainability/lifecycleassessment_es.html#seven)> [Consultado: 9 de Marzo de 2011].
49. [www.virtual-water.org](http://www.virtual-water.org), Publicaciones de Agua Virtual. [en línea] <[www.virtual-water.org](http://www.virtual-water.org)> [Consultado 9 de marzo de 2011].

---

## ANEXOS

---

---

## Anexo 1 Evapotranspiración

---

Como se describió anteriormente, la base de la alimentación para las vacas es pasto y cultivos forrajeros. Esto es lo que genera un mayor aporte a la WFP de la leche en la parte predial (Hoekstra et al., 2009a), como insumo para la vaca, a través de la evapotranspiración.

Existen dos fenómenos involucrados en el proceso de evapotranspiración, la evaporación y la transpiración. La Evaporación es el proceso en el que el agua líquida se convierte en vapor de agua (vaporización) y se retira de la superficie evaporante (remoción de vapor). El agua se evapora de una variedad de superficies tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación húmeda.

Cuando la superficie evaporante es la superficie del suelo, existen otros factores que afectan el proceso de la evaporación, como el grado de cobertura del suelo por parte del cultivo y la cantidad de agua disponible en la superficie evaporante. Estos factores son determinados por lluvias frecuentes, el riego y el ascenso capilar en un suelo, lo que mantiene mojada la superficie del suelo. Por lo tanto, este proceso está determinado solamente por las condiciones meteorológicas.

La transpiración consiste en la vaporización del agua contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de las estomas. El agua, junto con algunos nutrientes, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta. La vaporización ocurre dentro de la hoja, en los espacios intercelulares, y el intercambio del vapor con la atmósfera es controlado por la abertura estomática. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales. La transpiración, igual que la evaporación directa, depende del aporte de energía, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento, que también deben ser considerados en su determinación. El contenido de agua del suelo y la capacidad del suelo de conducir el agua a las raíces también determinan la tasa de transpiración, así como la salinidad del suelo y del agua de riego. La tasa de transpiración también es influenciada por las características del cultivo, el medio donde se produce y las prácticas de cultivo. Diversas clases de plantas pueden tener diversas tasas de transpiración (FAO 56, 2006). A medida que crece la planta se genera una variación característica de cada cultivo con respecto a estos fenómenos.

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Además de la disponibilidad de agua en la superficie, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a ésta superficie. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que las hojas del cultivo proyectan más

sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal.

Evapotranspiración depende de las condiciones físicas, climática, del cultivo y de las condiciones de manejo del cultivo.

i. La evapotranspiración de referencia ETo:

La tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia y se denomina ETo. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. Los únicos factores que afectan ETo son los parámetros climáticos, por lo tanto, ETo es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. ETo expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas y no considera ni las características del cultivo ni los factores del suelo. Desde este punto de vista, el método FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método de determinación de ETo con parámetros climáticos (FAO 56, 2006). Este método ha sido seleccionado debido a que aproxima de una manera cercana la ETo de cualquier localidad evaluada, tiene bases físicas sólidas e incorpora explícitamente parámetros fisiológicos y aerodinámicos. Además, se han desarrollado procedimientos para la estimación de los parámetros climáticos faltantes.

ii. La evapotranspiración del cultivo ETc:

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar se denomina ETc y se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes.

La evapotranspiración del cultivo puede ser calculada a partir de datos climáticos e integrando directamente los factores de la resistencia del cultivo, el albedo y la resistencia del aire en el enfoque de Penman-Monteith. Debido a que todavía existe una considerable falta de información para los diferentes cultivos el método de Penman-Monteith se utiliza sólo para la estimación de la tasa de evapotranspiración del cultivo estándar de referencia (ETo). La relación ETc/ETo puede ser determinada experimentalmente para diferentes cultivos y es conocida como Coeficiente del Cultivo (Kc), y se utiliza para relacionar ETc con ETo de manera que  $ETc = Kc \times ETo$ .

iii. La evapotranspiración según las condiciones del cultivo:

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ETc aj) se refiere a la evapotranspiración de cultivos que crecen bajo condiciones ambientales y de manejo diferentes de las condiciones estándar. Bajo condiciones de campo, la evapotranspiración real del cultivo puede desviarse de ETc debido a condiciones no óptimas como son la presencia de plagas y enfermedades, salinidad del suelo, baja fertilidad del suelo y limitación o exceso de agua. Esto puede resultar en un reducido crecimiento de las plantas, menor densidad de plantas y así reducir la tasa de evapotranspiración por debajo de los valores de ETc.

La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar se calcula utilizando un coeficiente de estrés hídrico  $K_s$  o ajustando  $K_c$  a todos los otros tipos de condiciones de estrés y limitaciones ambientales en la evapotranspiración del cultivo.

En el presente estudio se asumirá que el cultivo está en condiciones óptimas, así se considera el peor escenario, cuando la WFP es mayor, es decir, cuando se evapotranspira más agua.

---

## **Anexo 2 Pre-Encuesta Predial:**

---

### **Introducción:**

El Objetivo de esta encuesta es dar un marco de referencia del ciclo productivo en un fundo. Con los resultados que se obtengan se espera completar la falta de información sobre el tema y entender el funcionamiento de un fundo. Luego se podrá establecer una encuesta más formal y pulida, con la solicitud de los datos que se estimen necesarios. Se estudiará el fundo Tres Esteros, de don Carlos Cornelius, en el sector de Rio Negro y otro establecido por INIA.

Más sobre los Fundos: Un poco de Historia, Sistema productivo, qué insumos tienen, qué producen en el mismo campo, qué salidas tienen.

De donde obtienen el agua

De qué manera les afecta los consumos de agua.

13 de Septiembre de 2010

<b><u>Encuesta</u></b>
<b>Datos Generales:</b>
Nombre del Fundo:
Ubicación:
Dueño:
Administrador:
Fecha:
Número y Tipo de animales:
<b>Datos Específicos:</b>
Ciclo diario: Cómo es el día a día del Campo
A qué hora empieza el día?
Cuál es el estado inicial?
Procesos y tiempo, notar * si se ocupa agua, destino final del agua:
Ciclo semanal: Cambia algo entre una semana y otra?
Ciclo Mensual: Diferencias entre distintas estaciones del año
Ciclo Anual: Pariciones, continuidad del lechería
Ciclo Multianual: Recambio de vacas
Pesebreras:
Alimentos:
Observaciones:



## Anexo 3 Evapotranspiración de cultivos de cada predio

Las tablas de la multiplicación del  $ET_c = K_c \cdot ET_0$ , donde  $i$  son los días del año, se encuentran en el formato digital del presente trabajo, a continuación se presenta la información relevante para hacer tal cálculo:

INIA-Remehue

Promedio de $ET_0$ 1970-2009												
FECHA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	148	112	83	46	25	17	20	33	54	83	109	141

Días de duración de los periodos de siembra						
Especie	Inicial	Desarrollo	Medio	Final	Siembra	Cosecha
Nabo	25	30,000	30	Cosechado	Noviembre	Febrero
Pasto (para pasto seco)	Anual				marzo	
Pradera	Anual				Septiembre	
Ensilaje Maíz	30	50,000	60	Cosechado	Noviembre	marzo
Maíz Grano	30	50,000	60	40	Noviembre	Mayo

Kc			
Especie	Inicial	Medio	Final
Nabo	0,5	1,1	0,95
Pasto (para pasto seco)	0,4	0,85	0,85
Pradera	0,3	1,05	0,75
Ensilaje Maíz	0,3	1,2	0,6
Maíz Grano	0,3	1,2	0,6

Puerto Varas

Promedio de $ET$ 1970-2009												
FECHA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	128	96	72	40	22	14	17	28	46	72	94	122

Días de duración de los periodos de siembra						
Especie	Inicial	Desarrollo	Medio	Final	Siembra	Cosecha
Pradera pastoreo:	Anual				Septiembre	
Ensilaje Pradera	Anual				marzo	
Ensilaje Maíz	30	50	60	Cosechado	octubre	marzo
Heno pradera	Anual				marzo	
Afrecho Raps	20	35,000	45	25	octubre	febrero
Maíz Roleado	30	50	60	10	octubre	marzo

<b>Kc</b>			
<b>Especie</b>	<b>Inicial</b>	<b>Medio</b>	<b>Final</b>
Pradera pastoreo:	0,4	0,85	0,85
Ensilaje Pradera	0,3	1,05	0,75
Ensilaje Maíz	0,3	1,2	0,6
Heno pradera	0,3	1,05	0,75
Afrecho Raps	0,35	1	0,35
Maíz Roleado	0,3	1,2	0,6

**Cascadas**

Promedio de ET 1970-2009												
<b>FECHA</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
Promedio	136	103	77	43	23	15	18	30	49	77	100	130

<b>Días de duración de los periodos de siembra</b>						
<b>Especie</b>	<b>Inicial</b>	<b>Desarrollo</b>	<b>Medio</b>	<b>Final</b>	<b>Siembra</b>	<b>Cosecha</b>
Pradera pastoreo:	Anual				Septiembre	
Ensilaje Pradera	Anual				Septiembre	
Ensilaje Maíz	30	50	60	Cosechado	octubre	marzo
Heno pradera	Anual				marzo	
Afrecho Raps	20	35,000	45	25	octubre	febrero
Maíz Roleado	30	50	60	10	octubre	marzo
Trigo Chancado	20	50	60	30	agosto	febrero

<b>Kc</b>			
<b>Especie</b>	<b>Inicial</b>	<b>Medio</b>	<b>Final</b>
Pradera pastoreo:	0,4	0,85	0,85
Ensilaje Pradera	0,3	1,05	0,75
Ensilaje Maíz	0,3	1,2	0,6
Heno pradera	0,3	1,05	0,75
Afrecho Raps	0,35	1	0,35
Maíz Roleado	0,3	1,2	0,6
Trigo Chancado	0,3	1,15	0,25

**Máfil**

Promedio de ET 1970-2009												
<b>FECHA</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
Promedio	148	112	83	46	25	17	20	33	54	83	109	141

Días de duración de los periodos de siembra						
Especie	Inicial	Desarrollo	Medio	Final	Siembra	Cosecha
Pradera	Anual				Septiembre	
Pasto Ensilaje	Anual					
Ensilaje Maíz	30	50	60	Cosechado	Octubre	Marzo
Heno	Anual					
Maíz Roleado	30	50	60	40	Noviembre	Mayo
Nabo	25	30	30	Cosechado	Noviembre	Enero 2da 15na

Kc			
Especie	Inicial	Medio	Final
Pradera	0,3	1,05	0,75
Ensilaje	0,4	0,85	0,85
Ensilaje Maíz	0,3	1,2	0,6
Heno	0,4	0,85	0,85
Maíz Roleado	0,3	1,2	0,6
Nabo	0,5	1,1	0,95

Pitrufquén

Promedio de ET 1970-2009												
FECHA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	165	124	93	52	28	19	22	36	60	93	122	157

Días de duración de los periodos de siembra						
Especie	Inicial	Desarrollo	Medio	Final	Siembra	Cosecha
Pradera	Anual				Septiembre	
Avena Remojada	20	50	60	30	agosto	febrero
Ensilaje Pradera	Anual				marzo	
Heno	Anual				marzo	
Trigo Chancado	20	50	60	30	agosto	febrero
Nabo	25	30	30	Cosecha	Noviembre	Enero (2da 15na)

Kc			
Especie	Inicial	Medio	Final
Pradera	0,3	1,05	0,75
Avena	0,3	1,15	0,25
Ensilaje pradera	0,4	0,85	0,85
Heno	0,4	0,85	0,85
Trigo	0,3	1,15	0,25
Nabo	0,5	1,1	0,95

Los Ángeles

Promedio de ET 1970-2009												
FECHA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Promedio	212	166	129	77	46	31	35	51	78	119	156	200

Días de duración de los periodos de siembra						
Pradera	Anual				Septiembre	
Ensilaje Maíz	30	50	60	Cosechado	Noviembre	marzo
Pulpa Achicoria						
Maíz Grano	30	50	60	40	Noviembre	Mayo
Heno Alfalfa	Anual				marzo	
expeler de maní	35	45,000	35	25	noviembre	
pellet de girasol	25	35	45	25	octubre	
Pepa de algodón	45	90	45	45	Septiembre	
heno de ballica	Anual				marzo	
mezcla de soya	20	35	60	25	Noviembre	

Kc			
Especie	Inicial	Medio	Final
Pradera	0,3	1,05	0,75
Ensilaje Maíz	0,3	1,2	0,6
Pulpa Achicoria	0,7	1	0,95
Maíz Grano	0,3	1,2	0,6
Heno Alfalfa	0,4	0,85	0,85
expeler de maní	0	1,15	0,6
pellet de girasol	0,35	1,1	0,25
Pepa de algodón	0,35	1,18	0,6
heno de ballica	0,4	1,05	0,85
mezcla de soya	0	1,15	0,5

Valparaíso

Promedio de ET 1970-2009													
FECHA	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Dic
Promedio	209	164	127	76	45	30	34	51	77	117	154	196	196

Días de duración de los periodos de siembra						
Especie	Inicial	Desarrollo	Medio	Final	Siembra	Cosecha
Soiling Alfalfa	5	20,000	10	10	sept	
Soiling Avena	20	50	60	30	agosto	febrero
Ensilaje Maíz	30	50	60	Cosechado	Noviembre	marzo
Heno Alfalfa	Anual				marzo	
Orujo Cebada	20	50	60	30	agosto	febrero
Sorgo Molido	20	50	60	30	agosto	febrero
Afrecho Trigo	20	50	60	30	agosto	febrero
Orujo Cerveza	25	40	80	10	Octubre	
Harina Soya	20	35	60	25	Noviembre	

Kc			
Especie	Inicial	Medio	Final
Soiling Alfalfa	0,4	1,200	1,15
Soiling Avena	0,3	1,15	1
Ensilaje Maíz	0,3	1,2	0,6
Heno Alfalfa	0,4	0,85	0,85
Orujo Cebada	0,3	1,15	0,25
Sorgo Molido	0,3	1	0,55
Afrecho Trigo	0,3	1,15	0,25
Orujo Cerveza	0,3	1,05	0,85
Harina Soya	0	1,15	0,5

## Anexo 4 Encuesta de datos



GOBIERNO DE  
**CHILE**  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
AGROPECUARIAS



**Identificación del predio o actividad**

Fecha

Encuestador

Nombre del predio  ROL

Razón Social  RUT

Representante Legal  RUT

Dirección  Dirección Postal

Comuna  Provincia  Región

Teléfono  Celular  Fax

Informante  Correo Electrónico

Ubicación UTM (Datum: WGS 84) 18 G  Norte  Este

**Caracterización del predio**

**Superficie predial**

(Ha)

		Usa riego	Periodo crecimiento
	Detalle de variedades utilizadas para cada uso de suelo	(Si/No)	(meses del año)
<input style="width: 50px;" type="text"/>	Total		
<input style="width: 50px;" type="text"/>	Productiva		
<input style="width: 50px;" type="text"/>	Cultivo		
<input style="width: 50px;" type="text"/>	Cultivo		
<input style="width: 50px;" type="text"/>	Cultivo		
<input style="width: 50px;" type="text"/>	Praderas permanente		
<input style="width: 50px;" type="text"/>	Praderas permanente		
<input style="width: 50px;" type="text"/>	Praderas permanente		
<input style="width: 50px;" type="text"/>	Praderas anuales		
<input style="width: 50px;" type="text"/>	Praderas anuales		
<input style="width: 50px;" type="text"/>	Praderas anuales		
<input style="width: 50px;" type="text"/>	Plantaciones		
<input style="width: 50px;" type="text"/>	Bosque nativo		



**Purines y aguas sucias**

Genera  Purines con aguas sucias  Purines separado de aguas sucias  Estiércol

Conoce el volúmen de purines generados en el predio  SI  NO  (m<sup>3</sup>/año)

Unidades equipo ordeña 


 (Nº) Capacidad estanque leche 


 (m<sup>3</sup>)

Tipo de pre enfriador  Tipo lavado eq. ordeña  Manual  Automático

Tipo lavado estanque leche  Manual  Automático  Otro

Frecuencia lavado estanque Primavera-verano 


 Diario  Cada 2 días  Otro  Otoño-invierno 


 Diario  Cada 2 días  Otro

Conoce volúmen generado de:				(litros/día)	Destino
Fecas y orina	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> No aplica	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> 1 Curso de agua superficial
Lavado equipo ordeña	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> No aplica	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> 2 Acumulación suelo
Lavado de estanque	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> No aplica	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> 3 Pozo purinero
Pre enfriador	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> No aplica	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> 4 Pozo exclusivo
Lavado de ubres	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> No aplica	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> 5 Canal o acequia
Lavado de sala ordeña	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> No aplica	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> 6 Otra <input type="text"/>
Lavado de patios	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> No aplica	<input type="text"/>	
Otros	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> No aplica	<input type="text"/>	

Existe sistema corte automático flujo agua para

Lavado ubres	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> No aplica	Frecuencia lavado <input type="text"/>
Limpieza sala ordeña	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> No aplica	
Limpieza patio alimentación/estabulación	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> No aplica	
Pre-enfriador	<input type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> No aplica	

Existe un registro de generación purines  SI  NO Aguas sucias  SI  NO

Existe plan manejo predial de purines  SI  NO Existe registro uso de purines  SI  NO

Limpeza pisos	Sala ordeña	Patio espera	Plataforma o patio estabulación
<input type="checkbox"/>	Solo agua	<input type="checkbox"/>	Solo agua
<input type="checkbox"/>	Agua y raspador	<input type="checkbox"/>	Agua y raspador
<input type="checkbox"/>	Solo raspador	<input type="checkbox"/>	Solo raspador
<input type="checkbox"/>	No limpia	<input type="checkbox"/>	No limpia

<b>Alimento para vacas Lecheras</b>			
Tipo de Alimento:	Cantidad por Vaca(F)		
	TCO	MS	Masa Seca
	[kg/año/vaca]	[%]	kg MS/año/vaca]
Pradera pastoreo:			
Ensilaje Pradera			
Ensilaje Maíz			
Heno pradera			
Nabo forrajero			
Maíz Grano Húmedo			
Concentrado			

<b>Producción de Praderas :</b>	
Tipo de Alimento:	Productividad (P)
	[kg MS/há]
Pradera pastoreo:	
Ensilaje Pradera	
Ensilaje Maíz	
Heno pradera	
Nabo forrajero	
Maíz Grano Húmedo	

<b>Evapotranspiración de Referencia (Eto)</b>	
Promedio Mensual de los años registrados [mm]	
Ene	
Feb	
Mar	
Abr	
May	
Jun	
Jul	
Ago	
Sep	
Oct	
Nov	
Dic	

<b>Días de duración de los periodos de siembra</b>						
Especie	Inicial	Desarrollo	Medio	Final	Siembra	Cosecha
Nabo						
Pasto (para pasto seco)						
Pradera						
Ensilaje Maíz						
Maíz Grano						

<b>Kc</b>					
Especie	Inicial	Desarrollo	Medio	Final	
Nabo					
Pasto (para pasto seco)					
Pradera					
Ensilaje Maíz					
Maíz Grano					



## Anexo 5 Cálculo de WFP de cada predio

INIA-Remehue

Alimento								
Pasto conservado:	Cantidad por Vaca(F)							
Tipo								
Alimentos (vacas en lactancia)	TCO	MS	Masa Seca	Todas las Vacas	Productividad (P)	APC	Etc	ETAPC
	[kg/año/vaca]	[%]	[kg MS/año/vaca]	[kg MS/año]	[kg MS/há]	[há/año]	[mm/año]	[m³/año]
Pradera pastoreo:			2072	631960	15500	40.77	536	218635
Ensilaje Pradera	4545	0.2	909	277245	15500	17.89	475	84925
Ensilaje Maíz	3520	0.33	1161.6	354288	18000	19.68	405	79782
Heno pradera	290	0.82	237.8	72529	15500	4.68	475	22217
Nabo forrajero	2915	0.11	320.65	97798.25	12500	7.82	238	18593
Maíz Grano Húmedo	430	0.71	305.3	93116.5	87000	1.07	473	5065
Concentrado	1900	0.88	1672	509960				0
<b>Total</b>	<b>13600</b>		<b>6678.4</b>	<b>2036896.8</b>	<b>164000</b>	<b>91.91</b>		<b>429218</b>
Al día por Vaca	<b>37.3</b>	<b>0.0</b>	<b>18.3</b>					
<b>Litros de Leche (LL)</b>			[Litros]	1,930,430	6329	17		
<b>WFPf</b>			[m³/litro]	0.2223				
<b>Peso Vaca Promedio</b>								
Bebida								
Numero de vacas	[n°]	305						
Bebida(Lb)	[litros/día]	150						
Agua devuelta (Qw)	[litros/día]	40						
Eficiencia Agua (Efa)	[-]	0.74						
Agua total entra (Wd) todas las vacas	[m³/año]	16699						
WFPd[m³/LL]	[m³agua/L.leche]	0.0064						
WFPvacas	[m³agua/L.leche]	0.2287						
Tipo de Riego		no hay						
R	[m³/año]							
Ef riego	[-]	0						
WFP azul f	[m³agua/L.leche]	0						
WFP verde	[m³agua/L.leche]	0.2223						
WFP azul	[m³agua/L.leche]	0.0064						
Higiene								
Forma Disposición de desechos		Abono						
Cnat	[g/m³]							
Vulnerabilidad Acuífero								
Cuerpo de agua								
Cmax	[g/m³]							
Prn	[m³/año]							
Cpurines	[g/m³]							
L	[g/m³]							
WFP gris								

## Puerto Varas

Alimento									
Pasto conservado:									
Tipo	Cantidad por Vaca(F)				Todas las Vacas	Productividad (P)	APC	Etc	ETAPC
Alimentos (vacas en lactancia)	TCO	MS	Masa Seca						
	[kg/año/vaca]	[%]	[kg MS/año/vaca]	[kg MS/año]	[kg MS/há]	[há/año]	[mm/año]	[m³/año]	
Pradera pastoreo:	25826	12.1%	3125	162500	15500	10.48	462.28	48465	
Ensilaje Pradera	1035	28%	289.8	15069.6	15500	0.97	452.41	4398	
Ensilaje Maiz	1395	31%	432.45	22487.4	18000	1.25	436.85	5458	
Heno pradera	60	84%	50.4	2620.8	15500	0.17	452.41	765	
Afrecho raps	60	90%	54	2808	21750	0.13	262.79	339	
Maiz Roleado	333	87%	289.71	15064.92	87000	0.17	466.66	808	
Concentrado	335	90%	301.5	15678					
<b>Total</b>	<b>29044</b>	<b>4</b>	<b>4543</b>	<b>236229</b>	<b>173250</b>	<b>13</b>	<b>2533</b>	<b>60233</b>	
Por vaca al Día	79.6			12					
Litros de Leche (LL)	[Litros]	418,951							
WFPf	[m³/litroleche]	0.1438							
Peso Vacas Promedio	kg	550							
Bebida									
Numero de vacas	[n°]	52							
Bebida(Lb)	[litros/día]	150							
Agua devuelta (Qw)	[litros/día]	39							
Eficiencia Agua (Efa)	[-]	0.740							
Agua total entra (Wd) todas las vacas	[m³/año]	2847							
WFPd[m³/L]	[m³agua/L.leche]	0.005							
Peso Vacas	kg	550							
WFPvacas	[m³agua/L.leche]	0.1488							
Tipo de Riego		no hay							
R	[m³/año]								
Ef riego	[-]	0							
WFP azul f	[m³agua/L.leche]	0							
WFP verde	[m³agua/L.leche]	0.1438							
WFP azul	[m³agua/L.leche]	0.0050							
Higiene y Purines									
Forma Disposición de desechos		Abono							
Cnat	[g/m³]								
Vulnerabilidad Acuífero									
Cuerpo de agua									
Cmax	[g/m³]								
Prn	[m³/año]								
Cpurines	[g/m³]								
L	[g/m³]								
WFP gris	[m³agua/litroleche]								

## Cascadas

Alimento								
Pasto conservado:								
Tipo	Cantidad por Vaca(F)				Productividad (P)	APC	Etc	ETAPC
Alimentos (vacas en lactancia)	TCO	MS	Masa Seca	Todas las Vacas				
	[kg/año/vaca]	[%]	[kg MS/año/vaca]	[kg MS/año]	[kg MS/há]	[há/año]	[mm/año]	[m³/año]
Pradera pastoreo:	22167	15%	3325	641725	15500	41.40	493	204150
Ensilaje Pradera	2130	28%	596.4	115105	15500	7.43	483	35837
Ensilaje Maíz	1395	31%	432.45	83463	18000	4.64	465	21571
Heno pradera	81	84%	68.04	13132	15500	0.85	483	4088
Afrecho Raps	1800	90%	1620	312660	21750	14.38	282	40609
Maíz Roleado	333	87%	289.71	55914	87000	0.64	493	3168
Trigo Chancado	213	85%	181.05	34943	6090	5.74	441	25322
Concentrado	872	90%	784.8	151466				
<b>Total</b>	<b>28991</b>		<b>7297</b>	<b>1408408</b>	<b>179340</b>	<b>75</b>	<b>3140</b>	<b>334745</b>
<b>Al día por Vaca</b>	<b>79.4</b>		<b>20</b>					
Litros de Leche (LL)	[Litros]	1,685,013	8731	24				
WFPf	[m³/litroleche]	0.1987						
Peso Promedio Vacas	[kg]	550						
Bebida								
Numero de vacas	[n°]	193						
Bebida(Lb)	[litros/día]	150						
Agua devuelta (Qw)	[litros/día]	39.008						
Eficiencia Agua (Efa)	[-]	0.740						
Agua total entra (Wd) todas las vacas	[m³/año]	10566.75						
WFPd[m³/L]	[m³agua/L.leche]	0.0046						
WFPvacas	[m³agua/L.leche]	0.2033						
Tipo de Riego		no hay						
R	[m³/año]							
Ef riego	[-]	0						
WFP azul f	[m³agua/L.leche]	0						
WFP verde	[m³agua/L.leche]	0.1987						
WFP azul	[m³agua/L.leche]	0.0046						
Higiene y Purines								
Forma Disposición de desechos		Abono						
Cnat	[g/m³]							
Vulnerabilidad Acuífero								
Cuerpo de agua								
Cmax	[g/m³]							
Pm	[m³/año]							
Cpurines	[g/m³]							
L	[g/m³]							
WFP gris	[m³agua/litroleche]							

# Máfil

Alimento								
Pasto conservado:	Cantidad por Vaca(F)							
Tipo	Cantidad por Vaca(F)							
Alimentos (vacas en lactancia)	TCO	MS	Masa Seca	Todas las Vacas	Productividad (P)	APC	Etc	ETAPC
	[kg/año/vaca]	[%]	[kg MS/año/vaca]	[kg MS/año]	[kg MS/há]	[há/año]	[mm/año]	[m <sup>3</sup> /año]
Pradera pastoreo:	22,070	12.80%	2,824.96	242946.56	13000	18.69	536.24	100214.19
Ensilaje Pradera	4950	25%	1,237.50	106425	15500	6.87	865.30	59412.55
Ensilaje Maíz	3480	29%	1,009.20	86791.2	18000	4.82	473.25	22819.00
Heno pradera	750	90%	675.00	58050	15500	3.75	865.30	32406.84
Maíz Roleado	510	87%	443.70	38158.2	87000	0.44	541.18	2373.61
Nabo	1836	11%	201.96	17368.56	13700	1.27	313.74	3977.56
Concentrado	1650	90%	1,485.00	127710				0
<b>Total</b>	<b>35246</b>		<b>7877.32</b>	<b>677449.52</b>	<b>162700</b>	<b>35.83</b>		<b>221203.75</b>
<b>Al día por Vaca</b>	<b>96.6</b>		<b>22</b>					
<b>Litros de Leche (LL)</b>			[Litros]	1,433,119	16,664	46		
<b>WFPf</b>			[m <sup>3</sup> /litroleche]	0.1544				
<b>Peso VACAS</b>			[kg]	550				
Bebida								
<b>Numero de vacas</b>	[n°]	86						
<b>Bebida(Lb)</b>	[litros/día]	150						
<b>Agua devuelta (Qw)</b>	[litros/día]	39						
<b>Eficiencia Agua (Efa)</b>	[-]	0.740						
<b>Agua total entra (Wd) todas las vacas</b>	[m <sup>3</sup> /año]	4709						
<b>WFPd[m<sup>3</sup>/LI]</b>	[m <sup>3</sup> agua/L.leche]	0.0024						
<b>WFPvacas</b>	[m <sup>3</sup> agua/L.leche]	0.157						
<b>Tipo de Riego</b>		no hay						
<b>R</b>	[m <sup>3</sup> /año]							
<b>Ef riego</b>	[-]	0						
<b>WFP azul f</b>	[m <sup>3</sup> agua/L.leche]	0						
<b>WFP verde</b>	[m <sup>3</sup> agua/L.leche]	0.1544						
<b>WFP azul</b>	[m <sup>3</sup> agua/L.leche]	0.0024						
Higiene y Purines								
<b>Forma Disposición de desechos</b>		Abono						
<b>Cnat</b>	[g/m <sup>3</sup> ]							
<b>Vulnerabilidad Acuífero</b>								
<b>Cuerpo de agua</b>								
<b>Cmax</b>	[g/m <sup>3</sup> ]							
<b>Prn</b>	[m <sup>3</sup> /año]							
<b>Cpurines</b>	[g/m <sup>3</sup> ]							
<b>L</b>	[g/m <sup>3</sup> ]							
<b>WFP gris</b>	[m <sup>3</sup> agua/litroleche]							

**Pitrufuén:**

Alimento								
Pasto conservado:								
Tipo	Cantidad por Vaca(F)				Productividad (P)	APC	Etc	ETAPC
Alimentos (vacas en lactancia)	TCO	MS	Masa Seca	Todas las Vacas				
	[kg/año/vaca]	[%]	[kg MS/año/vaca]	[kg MS/año]	[kg MS/há]	[há/año]	[mm/año]	[m³/año]
Pradera pastoreo:	1635	0.128	209	4185	7000	0.6	597.9	3575
avena remojada	60	0.88	52.8	1056	5220	0.2	352.2	712
Ensilaje	5355	0.14	749.7	14994	7000	2.1	529.4	11339
heno	735	0.88	646.8	12936	7000	1.8	529.4	9783
Chancado de Trigo	90	0.86	77.4	1548	15500	0.1	352.2	352
nabos	1620	0.1	162	3240	12500	0.3	347.8	901
concentrado	552	0.9	496.8	9936				
Total	10047	4	2395	47895	54220	0.9	2708.8	26662.0
Por vaca al día	28		7					
Litros de Leche (LL)			[Litros]	70497	3524.9	9.7		
WFPf			[m³/litroleche]	0.378				
Peso vacas				500				
Bebida								
Numero de vacas	[n°]		20					
Bebida(Lb)	[litros/día]		150					
Agua devuelta (Qw)	[litros/día]		39.008					
Eficiencia Agua (Efa)	[-]		0.7					
Agua total entra (Wd) todas las vacas	[m³/año]		1095					
WFPd[m³/LI]	[m³agua/L.leche]		0.0115					
WFPvacas	[m³agua/L.leche]		0.390					
Tipo de Riego			no hay					
R	[m³/año]							
Ef riego	[-]		0					
WFP azul f	[m³agua/L.leche]		0					
WFP verde	[m³agua/L.leche]		0.378					
WFP azul	[m³agua/L.leche]		0.011					
Higiene y Purines								
Forma Disposición de desechos			Abono					
Cnat	[g/m³]							
Vulnerabilidad Acuifero								
Cuerpo de agua								
Cmax	[g/m³]							
Pm	[m²/año]							
Cpurines	[g/m³]							
L	[g/m³]							
WFP gris	[m³agua/litroleche]							

# Los Ángeles

Alimento									
Pasto conservado:									
Tipo	Cantidad por Vaca(F)								
Alimentos (vacas en lactancia)	TCO	MS	Masa Seca	Todas las Vacas	Productividad (P)	APC	Etc	ETAPC	
	[kg/año/vaca]	[%]	[kg MS/año/vaca]	[kg MS/año]	[kg MS/há]	[há/año]	[mm/año]	[m³/año]	
Pradera pastoreo:	9,789	19%	1,860	371982	15500	24	784	188127	
Ensilaje de maíz	7,866	40%	3,146	629291.3386	15500	41	691	280447	
Pulpa de achicoria	Añadido al maíz	12%		0	15500	0	0	0	
maíz grano humedo	720	88%	634	126720	18000	7	806	56725	
Heno de alfalfa	390	91%	355	70980	15500	5	618	28314	
heno de ballica	240	85%	204	40800	15500	3	784	20634	
expeler de mani	476.75	87%	415	82955	21750	4	437	16662	
pellet de girasol	481.28	87%	419	83742	21750	4	437	16821	
pepa de algodón	188.93	87%	164	32875	21750	2	437	6603	
mezcla de soya	483.25	87%	420	84085	21750	4	437	16889	
<b>Total</b>	<b>20635</b>		<b>7617</b>	<b>1523430</b>	<b>182500</b>	<b>92</b>	<b>5430</b>	<b>631222</b>	
<b>Al día por Vaca</b>	<b>56.5</b>		<b>21</b>						
<b>Litros de Leche (LL)</b>			[Litros]	<b>1,909,558</b>	<b>9,548</b>	<b>26</b>			
<b>WFPf</b>			[m³/litroleche]	<b>0.331</b>					
<b>Peso Promedio de las Vacas</b>			[kg]	<b>550</b>					
Bebida									
Numero de vacas	[n°]	200							
Bebida(Lb)	[litros/día]	150							
Agua devuelta (Qw)	[litros/día]	39.008							
Eficiencia Agua (Efa)	[-]	0.740							
Agua total entra (Wd) todas las vacas	[m³/año]	10950							
WFPd[m³/LI]	[m³agua/L.leche]	0.0042							
WFPvacas	[m³agua/L.leche]	0.335							
Tipo de Riego		no hay							
R	[m³/año]								
Ef riego	[-]	0							
WFP azul f	[m³agua/L.leche]	0							
WFP verde	[m³agua/L.leche]	0.331							
WFP azul	[m³agua/L.leche]	0.0042							
Higiene y Purines									
Forma Disposición de desechos		Abono							
Cnat	[g/m³]								
Vulnerabilidad Acuífero									
Cuerpo de agua									
Cmax	[g/m³]								
Prn	[m³/año]								
Cpurines	[g/m³]								
L	[g/m³]								
WFP gris	[m³agua/litroleche]								

# Valparaíso

Alimento									
Pasto conservado:									
Tipo	Cantidad por Vaca(F)								
Alimentos (vacas en lactancia)	TCO	MS	Masa Seca	Todas las Vacas	Productividad (P)	APC	Etc	ETAPC	
	[kg/año/vaca]	[%]	[kg MS/año/vaca]	[kg MS/año]	[kg MS/há]	[há/año]	[mm/año]	[m³/año]	
Soiling Alfalfa	6808	20.2	1375	336928	36000	9	923	86392	
Soiling Avena	1926	15.0	289	70781	15500	5	446	20380	
Ensilaje Maiz	7191	35.4	2546	623675	24000	26	746	193910	
Heno Alfalfa	1125	79.4	893	218846	15500	14	614	86625	
Orujo Cebada	2384	87.0	2074	508095	21750	23	427	99721	
Sorgo Molido	82	87.0	72	17565	21750	1	427	3447	
Afrecho Trigo	186	87.0	162	39698	21750	2	427	7791	
Harina Pescado	113	87.0	98	24064	21750	1	427	4723	
Orujo Cerveza	142	87.0	123	30186	21750	1	427	5924	
Harina Soya	1178	87.0	1025	251083	21750	12	427	49279	
DDGS	0	88.2	845	207025	21750	10	427	40632	
<b>Total</b>	<b>21135</b>		<b>9502</b>	<b>2327946</b>	<b>243250</b>	<b>104</b>	<b>5717</b>	<b>598824</b>	
<b>Al día por Vaca</b>	<b>57.9</b>		<b>26</b>						
<b>Litros de Leche (LL)</b>			[Litros]	<b>3,464,135</b>	<b>14,139</b>	<b>39</b>			
<b>WFPf</b>			[m³/litroleche]	0.173					
<b>Peso Vacas Promedio</b>			[kg]	550					
Bebida									
Numero de vacas	[n°]	245							
Bebida(Lb)	[litros/día]	150							
Agua devuelta (Qw)	[litros/día]	39							
Eficiencia Agua (Efa)	[-]	0.740							
Agua total entra (Wd) todas las vacas	[m³/año]	13414							
WFPd[m³/LI]	[m³agua/litroleche]	0.0029							
WFPvacas	[m³agua/L.leche]	0.1757							
Tipo de Riego		Surco							
R	[m³/año]	0	no hay dato						
Ef riego	[-]								
WFP azul f	[m³agua/L.leche]	0							
WFP verde	[m³agua/L.leche]	0.1729							
WFP azul	[m³agua/L.leche]	0.0029							
Higiene y Purines									
Forma Disposición de desechos		Abono							
Cnat	[g/m³]								
Vulnerabilidad Acuífero									
Cuerpo de agua									
Cmax	[g/m³]								
Prn	[m³/año]								
Cpurines	[g/m³]								
L	[g/m³]								
WFP gris	[m³agua/litroleche]								

---

## Anexo 6 Uso de agua en lechería

---

El agua es un elemento fundamental en la ordeña. Las explotaciones lecheras modernas utilizan diariamente grandes cantidades de agua, para el refrescado de leche y enjuague, lavado y desinfección de pezones de las vacas. Por otra parte, las cantidades de efluentes generados están directamente relacionados a la utilización del agua en lecherías (González, 2005) y depende en gran medida del manejo que se realice en el predio.

En salas de Ordeña se utiliza agua principalmente de enfriamiento de la leche, lavado de pisos y corrales, lavado de equipos de ordeña y tanque de enfriamiento, y preparación de la ubre.

Hay distintos autores que plantean la cantidad de agua que se utiliza para enfriar la leche varía entre 2,5 y 7,3 litros de agua por litro de leche, lo que es aproximadamente 75% del agua utilizada en lechería (Magariños, 2001). Las variaciones se producen de acuerdo a la duración de la ordeña, velocidad y producción de leche. Dado que esta agua conserva su calidad y sólo varía la temperatura, puede ser reutilizada en limpieza de corrales o devuelta al medio ambiente. El volumen utilizado para el lavado del equipo de ordeña está relacionado con el tamaño de la maquina, y generalmente está determinado por el fabricante (Magariños, 2001).

Para la preparación de la ubre se utilizan entre 0,5 y 1,4 litros por vaca ordeñada, varía según la tecnología. (Nosetti, 2002)

A continuación se presenta un análisis típico de las aguas residuales de predios:

**Tabla A6.1: Producción y composición de algunas descargas diarias en predios holandeses**

Fuente	Descarga	Unidad	COD[mg/l]	Nkj[mg/l]	P Total[mg/l]	pH
Casa	0,135	m <sup>3</sup> /persona.d	925	88	8	7.0
Equipamientos de lechería	78-451	m <sup>3</sup> /yr	625-4390	14-110	11-20	2,6-11,8
Estanque de leche	25-44	m <sup>3</sup> /yr	580-1330	7-36	26-110	9,5-10,5
Lechería	15-200	m <sup>3</sup> /yr	2800-12000	122-268	31-54	3.0-4.5