

# EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE AGUA

Caso de estudio:  
quesos de pasta  
semidura

PROGRAMA DESARROLLO REGIONAL  
Y CALIDAD DE ALIMENTOS



Instituto  
Nacional  
de Tecnología  
Industrial

Suma valor  
a un país de ideas



Ministerio de Producción  
Presidencia de la Nación



# Evaluación de la huella de agua

CASO DE ESTUDIO: QUESOS DE PASTA SEMIDURA

---

## **Autores**

Ing. Claudia Falabella – INTI Agroalimentos

Ing. Justina Garro – INTI Ambiente

Lic. Mariel Korb – INTI San Luis

Lic. Mariano Minaglia – INTI Entre Ríos

Ing. Leticia Tuninetti – INTI Córdoba

Evaluación de la huella de agua : caso de estudio : quesos de pasta semidura / Claudia Falabella ... [et al.]. - 1a ed. - San Martín: Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI, 2018.  
Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online  
ISBN: 978-950-532-356-2

1. Alimentos. 2. Ecología. 3. Impacto Ambiental. I. Falabella, Claudia  
CDD 664.07

### **Edición y diagramación**

Dirección de Comunicación del INTI  
Áreas de Publicaciones y Diseño Gráfico y Multimedia

Se terminó de imprimir en los talleres del Departamento de Imprenta del INTI en el partido de San Martín en el mes de mayo y cuya tirada consta de 100 ejemplares.

Esta publicación no podrá ser reproducida o transmitida en forma alguna por ningún medio sin permiso previo del Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

Hecho el depósito que establece la ley 11 723. Derechos reservados.

# Índice

---

<b>1· Resumen Ejecutivo</b>	<b>8</b>
<b>2· Introducción</b>	<b>10</b>
<b>3· Objetivos</b>	<b>12</b>
<b>4· Herramientas y métodos</b>	<b>13</b>
4.1 Herramientas	13
4.2 Métodos	14
4.2.1 Impacto sobre la disponibilidad de agua (huella de agua por escasez)	
4.2.2 Impacto por degradación de la calidad del agua	
<b>5· Desarrollo del trabajo</b>	<b>18</b>
5.1 Unidad funcional y flujo de referencia	18
5.2 Alcance	18
5.3 Obtención y sistematización de datos	19
5.4 Asignación de cargas	19
5.5 Descripción de las fases productivas	20
<b>6· Resultados y discusión</b>	<b>25</b>
6.1 Impactos sobre la disponibilidad de agua	25
6.1.1 Huella de agua por escasez - Índice de estrés hídrico Pfister 2009	
6.1.2 Huella de agua por escasez - Extracción para consumo sobre disponibilidad (Hoekstra)	
6.1.3 Huella de agua por escasez - Indicador de disponibilidad de agua remanente Aware 2017	
6.2 Impactos por degradación del agua	28
6.2.1 Huella de agua por eutrofización, acidificación, ecotoxicidad y toxicidad humana	28
<b>7· Conclusiones</b>	<b>36</b>
7.1 Específicas de los casos de estudio	36
7.2 Sobre la metodología	36
7.3 Generales sobre el proceso de aprendizaje	37
<b>8· Bibliografía</b>	<b>38</b>
<b>9· Anexo inventarios</b>	<b>40</b>



# Presentación

---

La Comisión de Huella Hídrica de Alimentos (COHHAL), es un grupo de trabajo del Programa Desarrollo Regional y Calidad de Alimentos. Está integrada por profesionales de los siguientes Centros, Subgerencias y Áreas de la Institución:

Agroalimentos

Ambiente y Subgerencia de Ambiente

Carnes

Comunicación

Córdoba

Diseño Industrial

Entre Ríos

Lácteos sede Rafaela

Lácteos sede Parque Tecnológico Miguelete

Mar del Plata

Mendoza

Salta

San Luis

Este trabajo contó con la asistencia profesional de los siguientes referentes nacionales e internacionales: Dra. Ing. Bárbara Civit y Dr. Ing. Alejandro Pablo Arena, del grupo CLIOPE de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza; Dr. Joan Colón Jordà de la Universidad de Vic, Barcelona, España.

Los autores agradecen la colaboración de las empresas participantes en Tandil (Buenos Aires), Nogoyá (Entre Ríos) y La Punilla (San Luis) así como los aportes profesionales de personal de INTA, Ing. Agr. Alicia Anschau, Verónica Charlón, Silvina Butarelli, Rodolfo Bongiovanni, María Laura Guzmán, Adriana Begole, Enrique Guillermo Más, Juan Cruz Colazo y Claudio Alejandro Sáenz.

# 1- Resumen Ejecutivo

---

El cálculo de la Huella de Agua brinda información ambiental de los productos facilitando a los consumidores al momento de la compra, la toma de decisiones basada en la sustentabilidad. Este indicador va ganando importancia en el mundo de los agronegocios, donde el tema del agua y su gestión resultan primordiales desde la perspectiva de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU. La Comisión de Huella Hídrica de Alimentos (COHHAL) conformada en febrero de 2015 en el marco del Programa de Alimentos, de la Gerencia de Asistencia Regional del INTI, comenzó trabajando en el cálculo de la **Huella Hídrica** de productos alimenticios, con referencia al volumen de agua total utilizado para su fabricación, teniendo en cuenta toda la cadena de suministros. No obstante, con el transcurso del tiempo se concluyó que ese indicador resultaba insuficiente por no hacer referencia a la calidad del agua. Por ese motivo, la metodología fue evolucionando hacia el concepto de **Huella de Agua**, que incluye el análisis de los potenciales impactos por consumo y degradación del recurso hídrico.

Con esta comprensión más amplia, la COHHAL decidió llevar adelante un caso piloto de cálculo de Huella de Agua de un producto agroalimentario de consumo masivo, con el objetivo de crear solvencia en la temática e incluir este servicio en la oferta tecnológica del INTI para otros productos o procesos del sector.

Considerando como unidad funcional (UF) a un kilogramo de queso de pasta semidura tipo "Gouda" en la puerta de la fábrica, se estudiaron tres niveles productivos diferentes en empresas localizadas en Tandil (Buenos Aires), Nogoyá (Entre Ríos) y La Punilla (San Luis). Se incluyeron en el alcance del trabajo las etapas de producción animal, teniendo en cuenta la alimentación y el agua que consumen las vacas lecheras y sus crías, al igual que las emisiones derivadas de la fermentación entérica y de las deposiciones de los rumiantes; el tambo, donde se obtiene la leche y se generan efluentes; completando el análisis con la etapa de producción de quesos durante la cual la leche atraviesa una serie de operaciones que emplean energía y materiales, con la correspondiente generación de efluentes y subproductos.

Para obtener la información que conforma el inventario ambiental, se realizaron relevamientos en cada empresa durante los años 2015-2016, averiguaciones en diversas fuentes de referencia nacionales y ajustes de perfiles ambientales de la base de datos *Ecoinvent*, regionalizados para Argentina. Se evaluó la Huella de Agua según su disponibilidad (Huella de Agua por escasez) por tres métodos: el índice de estrés hídrico WSI - Pfister 2009, la relación consumo a disponibilidad CTA - Hoekstra 2012 y la disponibilidad de agua remanente - AWARE 2016. Completando el análisis con Huella de Agua por degradación de su calidad en las categorías de impacto acidificación, eutrofización, ecotoxicidad y toxicidad humana.

El consumo de agua en cada nivel productivo, expresado en litros de agua/kg de queso, en Tandil evidenció mayor valor con 201 l/kg, seguido de Nogoyá, con 76 l/kg y La Punilla, con 65 l/kg. Así, el caso de mayor complejidad en la cadena de valor (Tandil) contribuye con mayor impacto para otros usos dentro de la misma cuenca hidrográfica.



Los resultados de los diferentes impactos según disponibilidad y por degradación de la calidad se presentan y fundamentan en detalle en la sección 6 de este trabajo.

En alguno de los caso estudiados es posible identificar puntos críticos para dar recomendaciones a partir de las cuales se reducirían los impactos, sobre todo en la etapa productiva de la cadena. El nivel de detalle de los datos de las etapas productivas permite obtener recomendaciones más específicas, mientras que el acceso a datos de calidad da lugar a recomendaciones más precisas orientadas hacia la mejora de la gestión del agua.

A nivel de Gestión Integrada del Recurso Hídrico en una cuenca, es necesario contar con métodos más sensibles, datos regionalizados y mayor número de estudios para poder evaluar la sinergia de los impactos en ella.

## 2· Introducción

---

El cálculo de la Huella de Agua de alimentos, resulta de interés en un contexto mundial donde existe una tendencia creciente de consumidores que demandan cada vez más información sobre los productos y servicios que adquieren, prefiriendo aquéllos que demuestren ser sustentables. El proceso de toma de decisiones de compra se basa, muchas veces, en la información ambiental de los productos. Ésta es una de las preocupaciones actuales del sector productivo, en general, y de las empresas de agronegocios, en particular.

En el mundo ya se han instalado las expresiones Análisis de Ciclo de Vida (ACV), Huella de Carbono y Huella de Agua como métodos frecuentes en las evaluaciones de impacto (Bongiovanni, R., Tuninetti, L. 2017). Contribuir con una evaluación de la Huella de Agua es, en tal sentido, el aporte de este trabajo en el marco señalado.

La Comisión de Huella Hídrica de Alimentos (COHHAL) se conformó en el mes de febrero de 2015, como grupo de estudio y trabajo del Programa de Alimentos de la Gerencia de Asistencia Regional del INTI y está integrada por técnicos de distintas disciplinas, en particular de Ambiente y Alimentos, de varios Centros de la Institución distribuidos en todo el país.

La Comisión comenzó trabajando en el cálculo de la **“Huella Hídrica”** de productos alimenticios, como herramienta de diagnóstico ambiental, con foco en los volúmenes de agua utilizados. Con el transcurso del tiempo dicha metodología ha ido evolucionando al concepto de **“Huella de Agua”** que tiene en cuenta los potenciales impactos debidos a los consumos y a la degradación del agua.

El sector alimenticio de nuestro país tiene amplio reconocimiento y tradición en materia de producción, industrialización y comercialización; posee una gran diversidad en su interior, donde cada región presenta climas y tradiciones alimentarias propias, dando forma a una gran riqueza cultural agroalimentaria.

La importancia de la industria de Alimentos y Bebidas se verifica también a través de su participación en la generación de valor del sector manufacturero argentino: alcanzando valores próximos al 25%, liderando dicho sector y el de las industrias desarrolladas en nuestro país (Vilar, 2016).

Con referencia al sector lácteo, la producción de leche en el año 2016 fue de 9 895 millones de litros de los cuales se destinó el 50,7% para la elaboración de quesos. En particular los quesos de pasta semidura, motivo de este estudio, fueron los de mayor producción (21,4%) según información del Observatorio de la Cadena Láctea Argentina (OCLA).<sup>1</sup>

Así, el tema del agua y su gestión se ha convertido de manera progresiva en un punto primordial en el debate sobre el desarrollo sostenible. Ese interés parte de la base del crecimiento mundial de la demanda de agua, el incremento de su escasez en muchas áreas y/o la degradación de la calidad del recurso. Como una base para mejorar la gestión a nivel local, regional, nacional y global, es necesario lograr un mejor entendimiento de los impactos relacionados con el agua

Dentro de los indicadores ambientales asociados a la producción de alimentos se destaca, como se señaló antes, el de la Huella de Agua que, en particular en el presente estudio se basa en el enfoque de Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

---

<sup>1</sup> <http://www.ocla.org.ar/>

Según la norma ISO 14 040:1998, (ISO 14 040: Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco, 1998) el ACV es una metodología de evaluación del impacto ambiental potencial y del uso de recursos de un producto, a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la obtención de las materias primas, hasta el descarte o fin de vida de dicho producto, pasando por todas las etapas de transformación de materiales, elaboración de productos, distribución, uso o consumo y fin de vida, incluyendo transportes.

Esta metodología se compone de cuatro fases: definición de objetivo y alcance, análisis del inventario, evaluación del impacto e interpretación de resultados.

El inventario consiste en la identificación, descripción y cuantificación de los ingresos al sistema (energía e insumos materiales), y de las emisiones al ambiente relacionadas con la creación del producto y su uso, es decir, todas las salidas (productos, subproductos, residuos, emisiones). Este inventario está compuesto por diferentes perfiles de productos y procesos que intervienen en el sistema a estudiar.

Los impactos se evalúan mediante un método de cálculo que asocia las emisiones y el consumo de recursos con impactos al ambiente. Los resultados se expresan e interpretan en términos de efectos potenciales provocados en las áreas de salud humana, ambiente natural y recursos naturales.

Conforme a la norma ISO 14 046:2014 (ISO 14046: Gestion Ambiental. Huella de Agua. Principios, requisitos y directrices, 2014), los indicadores de impacto asociados a los usos consuntivos y degradativos del agua pueden ser de dos tipos: de punto medio y de punto final.

En los impactos de punto medio (corto plazo), los potenciales efectos del consumo/ uso/generación de materia y/o energía, se producen por mecanismos comunes en una misma categoría, por ejemplo: eutrofización, acidificación, ecotoxicidad, toxicidad humana, entre otros.

Asimismo, en las categorías de impacto de punto final (consideradas a largo plazo, donde se produce el efecto ambiental), se evalúan los impactos potenciales en la salud humana y en la calidad de los ecosistemas, ambos generados por una reducción en la disponibilidad y/o calidad del agua.

## 3. Objetivos

---

El objetivo del presente trabajo es llevar adelante un caso piloto de cálculo de Huella de Agua de un producto agroalimentario de consumo masivo, teniendo en cuenta todas las etapas enumeradas en la norma de referencia **ISO 14 046:2014 Gestión ambiental – Huella de Agua – Principios, requisitos y directrices**: definición de objetivos y alcance, análisis del inventario, evaluación de impactos e interpretación de los resultados.

El cálculo se lleva a cabo en tres establecimientos, con diferentes niveles productivos y distribuidos geográficamente en distintas zonas del país, localizados en Tandil (Buenos Aires), Nogoyá (Entre Ríos) y La Punilla (San Luis).

Además, se pretende crear solvencia por parte del equipo interdisciplinario de trabajo, en las metodologías de cálculo y diagnóstico ambiental relacionadas con el recurso hídrico como lo es el cálculo de la Huella de Agua, con el objetivo de incluir este servicio a futuro, dentro de la oferta tecnológica del INTI para otros productos o procesos del sector alimenticio.

Desde el punto de vista de la cadena láctea, nos interesa la potencialidad de esta metodología para determinar puntos críticos y poder plantear alternativas tecnológicas que permitan mejorar la eficiencia, bajo la mirada de la sustentabilidad.

## 4- Herramientas y métodos

### 4.1 Herramientas

#### – CropWat 8.0 (FAO)<sup>2</sup>

Se trata de una herramienta de apoyo a las decisiones provista por la División de Desarrollo de la Tierra y el Agua de la FAO. CropWat 8.0 para Windows es un programa informático para el cálculo de requerimientos de agua de cultivos y de riego basados en datos de suelo, clima y cultivo. Además, permite el desarrollo de calendarios de riego para diferentes condiciones de manejo y el cálculo del abastecimiento de agua del esquema para patrones variables.

CropWat 8.0 también puede usarse para evaluar las prácticas de riego de los agricultores y estimar el rendimiento de los cultivos tanto en condiciones de secano como de riego. Todos los procedimientos de cálculo utilizados en CropWat 8.0 se basan en las dos publicaciones FAO de la Serie de Riego y Drenaje. (Allen, R.P. 2006 y Steduto, P.H. 2014).

#### – CLIMWAT 2.0<sup>3</sup>

Es una base de datos climática que se utiliza en combinación con el programa informático CROPWAT y permite el cálculo de las necesidades de agua de los cultivos, el suministro de riego y la programación del riego en diversos cultivos para una serie de estaciones climatológicas de todo el mundo.

CLIMWAT es una publicación conjunta de la Unidad de Desarrollo y Gestión del Agua y la Unidad de Cambio Climático y Bioenergía de la FAO que ofrece datos agroclimáticos observados en más de 5 000 estaciones distribuidas en todo el mundo.

#### – SimaPro<sup>®</sup> 8.2 (SimaPro, 2016)<sup>4</sup> versión académica para fines de investigación.

Software de origen holandés desarrollado por PRé Consultants B.V., bajo el concepto de ACV empleado desde hace 25 años en más de 80 países. Diseñado para procesar los potenciales impactos ambientales relacionados con cada proceso dentro de un sistema. Dispone de métodos de cálculo de impacto, conforme a las directrices de las normas internacionales, como ISO. Este software cuenta con numerosas bases de datos integradas, de diferente origen: europeo, americano, entre otras, las que se describen brevemente a continuación:

#### – Ecoinvent Version 3 (para SimaPro)<sup>5</sup>

Es una base de datos compatible con estudios y evaluaciones, basada en las normas ISO 14 040:1998 y 14 044:2008 (ISO 14 040: Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco, 1998; ISO 14 044: Environmental Management, Life Cycle Assessment Requirements and Guidelines, 2008). Con más de 12.800 conjuntos de datos en las áreas de suministro de energía, agricultura, transporte, biocombustibles y biomateriales, productos químicos a granel y especiales, materiales de construcción, materiales de envasado, metales básicos y preciosos, procesamiento de metales, TIC y electrónica, lechería, madera y tratamiento de residuos. Ecoinvent V3 es una de las más extensas y más consistentes bases de datos internacionales.

#### – Agri-footprint V2 (para SimaPro)<sup>6</sup>

Es una base de datos con acceso a una amplia gama de categorías de impacto específicas de la agricultura, tales como agua y uso de la tierra, cambio de uso de la tierra, fertilizantes y contenido de carbono en el suelo.

Agri-footprint contiene cerca de 3.500 productos y procesos específicos para ACV agrícola: cultivos, productos y productos intermedios, compuestos alimenticios, productos alimenticios, sistemas de producción animal y procesos de fondo tales

<sup>2</sup> <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es/> (Consultado 20/09/2017)

<sup>3</sup> <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/es/> (Consultado 20/09/2017)

<sup>4</sup> <https://simapro.com/about/> (Consultado 20/09/2017)

<sup>5</sup> <https://simapro.com/databases/ecoinvent/> (Consultado 20/09/2017)

<sup>6</sup> <https://simapro.com/databases/agri-footprint> (Consultado 20/09/2017)

como transporte, insumos auxiliares para procesamiento y fertilizantes. Muchos de estos productos tienen tres opciones de asignación predefinidas - masa, energía y económico - y tienen entradas para diferentes ubicaciones en el mundo.

#### – Herramienta de Cálculo de Efluentes Versión Beta 2 (INTA, AACREA)

Es una herramienta de cálculo de efluentes en tambos, diseñada por técnicos del INTA y del Grupo de Asesores Lecheros CREA, para estimar los volúmenes de efluentes generados (tanto líquidos como sólidos) por el rodeo activo, ingresando el promedio de leche producida por cabeza diariamente, considerando el alcance temporal del estudio y el tiempo que los animales permanecen en ordeño sobre el piso del tambo y en campo abierto.

La fecha de publicación de la herramienta en la Biblioteca Virtual del INTA es 24 de agosto de 2015.

Está basada en series de boletines técnicos para los purines del Departamento de Extensión de la Universidad de Davis, California © 2010 (Pettygrove G. H., 2010).

## 4.2 Métodos

### 4.2.1 Impacto sobre la disponibilidad de agua (Huella de Agua por escasez)

#### – 4.2.1.1 Método WSI (Índice de estrés hídrico - Pfister, 2009)<sup>7</sup>

El WSI es un método que se basa en la relación de la extracción de agua dulce (no de consumo) para uso humano y la disponibilidad total de agua en cierta región.

El WSI indica la porción de agua de uso consuntivo que priva a otros usuarios de agua dulce. Para calcular ese índice, se utiliza el modelo global WaterGAP2, describiendo el cociente uso/disponibilidad (WTA Water use To Availability) de más de 10.000 cuencas individuales. El modelo consta de una parte hidrológica y otra socioeconómica, cuantificando la disponibilidad anual de agua dulce y los retiros para diferentes usuarios (industria, agricultura y hogares) en cada cuenca.

Este Indicador de Escasez tiene como unidad los m<sup>3</sup> equivalentes.

El WSI presenta valores continuos entre 0,01 y 1, y se sugiere su empleo como factor de caracterización de punto medio indicativo de la "privación de agua".

Estos factores de caracterización regional pueden descargarse para Google Earth de manera de relativizar los valores hallados a la región adonde se produce el consumo de agua.

#### – 4.2.1.2 Método Huella Hídrica. Hoekstra et.al. (Hoekstra AY, 2012)

En este método, multiplica al volumen de agua consumida, es decir, aquella no devuelta a la cuenca de drenaje, por un factor de caracterización que está representado por el índice de escasez de agua azul (Blue Water Scarcity BWS por sus siglas en inglés). Este índice de escasez de agua azul se define para una determinada cuenca hidrográfica como la relación consumo-disponibilidad (CTA por sus siglas en inglés Consume to Availability), calculada como la fracción entre el agua consumida (referenciada como Huella Hídrica azul de esa cuenca) y la disponibilidad de agua azul. La disponibilidad de agua azul considera todas las aguas de escorrentía natural, de las cuales el 80% se resta para tener en cuenta las necesidades ambientales de agua destinadas a sostener las funciones ecológicas críticas, denominado caudal ecológico. Luego, la disponibilidad de agua azul es el volumen de agua que puede ser consumida en esa cuenca sin que se esperen efectos ecológicos adversos. El indicador es temporal, variando mensualmente dentro del año y de año a año.

Los datos que utiliza el índice de escasez de agua azul son de Fekete (Fekete et al. 2002) para la escorrentía natural del agua, y de Mekonnen (Mekonnen et al., 2010, 2011, 2012) para el consumo de agua azul. Los resultados están disponibles para las

<sup>7</sup> <https://www.ethz.ch/content/specialinterest/baug/institute-ifu/esd/en/downloads/monthly-water-scarcity-assessment---water-footprinting.html> (consultado 25/08/2017)

principales cuencas del mundo, y al ser mensuales, puede observarse la variación estacional de la escasez del agua.

Los índices de escasez de agua azul para cada país se clasifican en cuatro niveles:

- » Escasez de agua azul baja (<100%): la Huella Hídrica azul es menor al 20% de la escorrentía natural y no excede al agua azul disponible; la escorrentía natural no es modificada o es levemente modificada; las necesidades de caudal ecológico no son afectadas.
- » Escasez de agua azul moderada (100-150%): la Huella Hídrica azul está entre el 20 y 30% de la escorrentía natural; la escorrentía es levemente modificada; no se alcanzan las necesidades de caudal ecológico.
- » Escasez de agua azul significativa (150-200%): la Huella Hídrica azul está entre el 30 y 40% de la escorrentía natural; la escorrentía es significativamente modificada; no se alcanzan las necesidades de caudal ecológico.
- » Escasez de agua azul severa (>200%): la Huella Hídrica azul excede el 40% de la escorrentía natural; la escorrentía es seriamente modificada; no se alcanzan las necesidades de caudal ecológico.

El índice de escasez de agua azul para la Argentina es de 0,236 m<sup>3</sup> de agua azul consumida/m<sup>3</sup> de agua azul disponible (23,6%). Esto indica que el país posee un indicador de escasez de agua azul baja (<100%).

– **4.2.1.3 Método AWARE V 1.2 (Abril 2016).** AWARE (Available WAter REmaining - agua remanente disponible) Boulay et. al. 2017. WULCA<sup>8</sup>

AWARE es un método utilizado como un indicador del punto medio del uso del agua que representa el remanente de agua disponible por área en una cuenca hidrográfica, después que se haya satisfecho la demanda de los seres humanos y de los ecosistemas acuáticos. Se evalúa el potencial de privación de agua, tanto para los seres humanos como para los ecosistemas, basándose en la suposición que cuanto menos agua restante esté disponible por área, más probable será que otro usuario sea privado del uso de la misma (Boulay et al., 2016). Este Indicador de Escasez tiene como unidad los m<sup>3</sup> equivalentes de agua.

El indicador está limitado a un rango de 0,1 a 100 con un valor de 1 correspondiente al promedio mundial, y un valor de 10 para, por ejemplo, representar a una región donde hay 10 veces menos remanente de agua disponible, por unidad de superficie, que el promedio mundial.

Los factores de caracterización son proporcionados para el uso agrícola y no agrícola, así como los de incumplimiento ("desconocidos"), si no se conoce la actividad. Los mismos son importados al Google Earth para la visualización por regiones.

**4.2.2 Impacto por degradación de la calidad del agua**

– **4.2.2.1 Huella de Agua por acidificación por método Impact 2002+ Punto Medio<sup>9</sup>.**

La acidificación es la pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra en forma de ácidos de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera por fuentes antropogénicas. La acidificación de los cuerpos de agua supone una alteración del equilibrio que rige en los diferentes ecosistemas acuáticos, uno de cuyos efectos es la reducción de la calcificación. La presencia de mayor cantidad de iones bicarbonato en disolución hace que la solubilidad del carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) aumente, dificultando que los organismos acuáticos conserven sus conchas calcáreas. Esto tiene un efecto particularmente notable sobre la fauna acuática, en particular sobre la

<sup>8</sup> <http://wulca-waterica.org/aware.html> (consultado 26/08/2017)

<sup>9</sup> <http://www.impactmodeling.org> (consultado 30/07/2017)

que requiere de esta sustancia para fabricar sus conchas, cáscaras, exoesqueletos y demás estructuras protectoras o de soporte.

Otro efecto, puede verse en la reducción de la concentración de plancton, que, a su vez, afectará a especies que de él dependen para alimentarse. Caso contrario, hay especies que se verán beneficiadas por la acidificación, como aquellas especies oportunistas que aprovechan los nichos dejados por sus competidores. Es esperable que se desarrollen cambios en las cadenas tróficas de prácticamente todos los ecosistemas. La acidificación también puede provocar el incremento del contenido de iones metálicos, como aluminio (Al), cadmio (Cd), zinc (Zn) y plomo (Pb), causando efectos nocivos en los ecosistemas.

Uno de los métodos posibles para cuantificar estos impactos es el IMPACT 2002+, que convierte en kg de dióxido de azufre equivalente por kg de unidad estudiada ( $\text{kg SO}_2 \text{ eq/kg}$ ), a través de factores de caracterización, a sustancias como amonio, cloruro de hidrógeno, fluoruro de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, nitratos, nitritos, ácido nítrico, óxido nítrico, dióxido de nitrógeno, ácido fosfórico, dióxido de azufre, monóxido de azufre, trióxido de azufre y ácido sulfúrico.

#### – 4.2.2.2 Huella de Agua por eutrofización por método Europe ReCiPe H. (Goedkoop et. al. 2008)<sup>10</sup>.

Esta categoría toma diversos nombres dependiendo de la metodología: enriquecimiento de nutrientes, eutrofización de agua dulce y eutrofización marina. La eutrofización puede ser definida como el enriquecimiento de nutrientes en el ambiente acuático (Struijs et al., 2011). Ese enriquecimiento de nutrientes, ya sea a través del aire o de los ríos, implica que las aguas subterráneas y las aguas marinas son susceptibles a esta forma de contaminación, aún con sus diversas fuentes y sustancias, y con efectos diferentes. Las principales causas de eutrofización son la contaminación agropecuaria con fertilizantes inorgánicos y la contaminación por efluentes urbanos.

El enriquecimiento de nutrientes produce, de manera general, un aumento de la biomasa y un empobrecimiento de la diversidad. El proceso consiste en la dispersión excesiva de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que provocan floraciones algales nocivas (FAN). La explosión de algas que acompaña a la primera fase de la eutrofización provoca un enturbiamiento que impide que la luz penetre hasta el fondo del ecosistema. Como consecuencia en el fondo se hace imposible la fotosíntesis, productora de oxígeno libre, a la vez que aumenta la actividad metabólica consumidora de oxígeno (respiración aeróbica) de los descomponedores, que empiezan a recibir los excedentes de materia orgánica producidos cerca de la superficie. De esta manera en el fondo se agota rápidamente el oxígeno por la actividad aerobia y el ambiente se vuelve anóxico. La alteración radical del ambiente que suponen estos cambios hace inviable la existencia de la mayoría de las especies que previamente formaban el ecosistema.

Uno de los métodos utilizados para medir este impacto es el ReCiPe, creado por RIVM, CML, Consultores PRé, Radboud iversiteit Nijmegen y CE Delft. En él, a través de factores de caracterización, se convierte en kg de fósforo equivalente en agua ( $\text{kgP}_{\text{eq}}$  por unidad estudiada) a las sustancias que contienen fósforo, como fertilizantes, estiércol, fosfatos, ácido fosfórico, pentóxido de fósforo, entre otras. La sustancia de referencia en el Potencial de Eutrofización es el fósforo. En agua dulce se considera el nutriente limitante y aquí los factores de caracterización para nitrógeno son ignorados. La dimensión del impacto se describe como:  $\text{t algas/t P}$  ( $\text{año/km}^3$ ). Estos factores estiman los mecanismos de transporte simples del aire al

<sup>10</sup> [http://www.rivm.nl/en/Topics/L/Life\\_Cycle\\_Assessment\\_LCA/ReCiPe](http://www.rivm.nl/en/Topics/L/Life_Cycle_Assessment_LCA/ReCiPe) (consultado 30/08/2017)



suelo, del suelo al aire, y del suelo al agua, debido a la lixiviación y escurrimiento, y analizan la fracción que alcanza el ambiente. Finalmente, los factores de efecto sobre el ecosistema determinan la relación dosis-respuesta para estimar la ocurrencia de especies en ambientes eutrofizados.

– **4.2.2.3 Huella de Agua por ecotoxicidad por método Europe ReCiPe H**

La categoría de ecotoxicidad, que incluye ecotoxicidad acuática, marina y terrestre, estima los efectos escatológico de las mezclas de productos químicos en conjuntos de especies, asumiendo la independencia de los modos de acción de los diferentes tóxicos. (Goedkoop et al., 2008).

El factor de caracterización para la ecotoxicidad considera la persistencia ambiental (destino), la acumulación en la cadena trófica (exposición) y la toxicidad (efecto) de un producto químico. El destino y los factores de exposición pueden calcularse mediante el modelo de exposición y destino "evaluativo", mientras que los factores de efecto pueden derivarse de los datos de toxicidad en animales de laboratorio (Hertwich et al., 2000).

El producto químico 1,4-diclorobenceno se utiliza como sustancia de referencia en los cálculos de los puntos medios, y se expresa como kg 1,4-DB eq.

– **4.2.2.4 Huella de Agua por toxicidad humana por método Europe ReCiPe H**

Para el análisis de los impactos de toxicidad en la salud humana de las sustancias químicas tóxicas (carcinogénicas y no carcinogénicas), la evaluación comprende un paso de análisis del destino, en el que el incremento marginal en la ingesta humana se calcula a partir del aumento en la liberación; un paso de análisis de efecto, en el que se evalúa el aumento del efecto por unidad de aumento de dosis; y un paso de análisis de daños, en el que se incluye el aumento en el daño por unidad de efecto (Huijbregts, M.A.J. et al., 2005).

El factor de caracterización de la toxicidad humana explica la persistencia (destino), la acumulación en la cadena alimentaria humana (exposición) y la toxicidad (efecto) de un producto químico.

El producto químico 1,4-diclorobenceno se utiliza como sustancia de referencia en los cálculos de los puntos medios, y se expresa como kg 1,4-DB eq.

## 5- Desarrollo del trabajo

### 5.1 Unidad funcional y flujo de referencia

La unidad funcional es la cantidad de producto para la cual se recolectan datos y se calcula el impacto ambiental. En este estudio se definió como unidad funcional: un kilogramo de queso de pasta semidura, tipo "Gouda" de 45 días de maduración, en la puerta de la industria quesera, en cada una de las localizaciones donde se desarrolló el trabajo.

Partiendo de la Unidad Funcional definida, y haciendo el recorrido "aguas arriba" de la cadena se determina el flujo de referencia de cada establecimiento para llegar a producir un kilogramo de queso de pasta semidura tipo "Gouda".

En este caso el flujo de referencia es la cantidad de leche que se necesita obtener en el tambo, teniendo en cuenta mermas, pérdidas y subproductos a lo largo de las diferentes etapas de la cadena. Se llega a un valor de 9,73 litros para Tandil, 11,43 para Nogoyá y 9,70 para La Punilla.

### 5.2 Alcance

Se incluyeron en el alcance del estudio todas las etapas, desde el cultivo de los granos y pasturas que alimentan a las vacas lecheras y sus crías, pasando por el ordeño en el tambo y la industrialización de la leche en la unidad productiva, hasta transformarse en el producto final queso (véase Figura 1).

Quedan fuera de los límites del estudio las etapas posteriores a la producción del queso, transportes, distribución, venta, consumo, y disposición final de embalajes; esto se debe a que cada sistema varía notoriamente de los demás y se llegaría a diferencias significativas en los resultados, no por divergencias en la gestión del agua, sino justamente por tener cada establecimiento un modelo de distribución y venta particular de acuerdo a su entorno y a su realidad tecnológica.

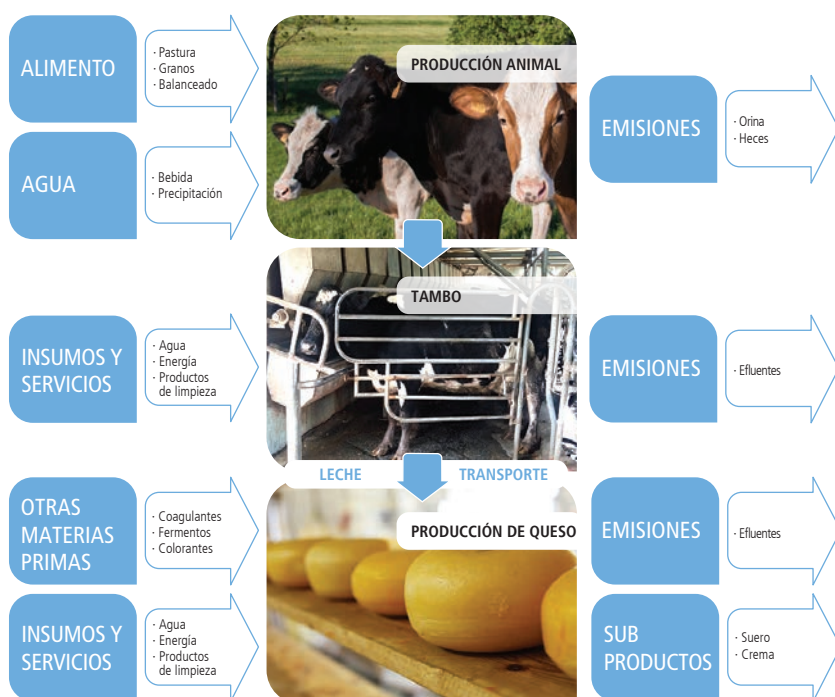


FIGURA 1:  
Entradas y salidas en la  
producción de un queso  
de pasta semidura

Por otro lado, algunos elementos constituyentes de la cadena en estudio fueron excluidos del alcance debido a su baja incidencia, principalmente por su peso en relación al sistema total. Es el caso de la mano de obra, el uso de insumos para uso del personal, la infraestructura de maquinarias y edificación.

Tampoco se incluyeron las materias primas constituyentes del queso, usadas en baja cantidad, como por ejemplo los coagulantes, fermentos y colorantes, así como sus envases, embalajes y etiquetas; se excluyeron por su baja incidencia en el peso total del producto, y por no contar con información detallada.

En materia de alcance temporal, el estudio corresponde a los años 2015 y 2016.

### 5.3 Obtención y sistematización de datos

En Argentina existen diferentes niveles de desarrollo tecnológico para obtener leche en los tambos y quesos en las fábricas, coexistiendo sistemas con alto desarrollo y nivel de industrialización, con otros casi artesanales. Para que este estudio tuviera representación geográfica y para contar con mayor cantidad de técnicos del INTI especializados en la temática de la Huella Hídrica se definió modelar tres sistemas productivos con niveles tecnológicos diferentes y geográficamente distribuidos en el país.

Los sistemas relevados ubicados en Tandil (Buenos Aires), Nogoyá (Entre Ríos) y La Punilla (San Luis) fueron visitados entre dos y tres veces entre los años 2015-2016, obteniendo información variada y con distinto grado de exactitud.

La toma de datos de todas las fases consistió en relevar el uso de insumos y materias primas; fuentes energéticas por tipo; productos químicos usados; emisiones; uso de agua; productos, subproductos y desechos obtenidos.

Los inventarios ambientales se completaron con averiguaciones en diversas fuentes de referencia nacionales y ajustes de perfiles ambientales de la base de datos Ecoinvent, regionalizados para Argentina. En el Anexo Inventarios se brinda un resumen de la información relevada (página 40).

### 5.4 Asignación de cargas

Cuando una fase productiva da origen a más de una salida valorizable, las cargas ambientales que se van generando a lo largo del ciclo de vida, deben "asignarse" a los diferentes productos y subproductos que se obtienen en dichas fases. Esta asignación puede realizarse de acuerdo con diferentes criterios: basados en la masa (cuanto más pesado el producto, mayor la carga), basados en el valor económico (distribuir la carga ambiental según aportes monetarios) u otros criterios.

En la etapa de producción animal se utilizó el criterio económico para asignar las cargas a las salidas "leche", "carne" y "ternero". Consistió en calcular el valor económico (es decir, precio por cantidad) de cada corriente de producto y subproducto. Luego la carga ambiental fue asignada de acuerdo a ese valor. Para el cálculo se tuvieron en cuenta las "salidas" para un año de producción.

En el caso Tandil, se consideró un animal (bovino) que produce 4 753 litros de leche anuales (teniendo en cuenta rodeo activo y rodeo no activo), con un valor de \$4/litro; 500 kg de carne por ciclo productivo de 6 años, lo que arroja un valor de 83 kg anuales, con un valor de \$17/kg y la obtención de un ternero por año con un peso de 120 kg, y un valor de \$23/kg.

El resultado concede a la leche el 82% del impacto, a la carne el 6,1% y al ternero el 11,9%.

En la etapa industrial la asignación a "queso", "suero" y "otros productos derivados" se realizó de acuerdo al contenido de grasa y proteína de cada fracción.

El resultado concede al queso el 84,5%, al suero el 13,1% y a la crema, que es el subproducto obtenido sólo en el caso de Tandil, con el 2,4%

En el caso Nogoyá se consideró un animal (bovino) que produce 3 823 litros de leche anuales (teniendo en cuenta rodeo activo y rodeo no activo), con un valor de \$4/litro; 500 kg de carne por ciclo productivo de 6 años, lo que arroja un valor de 83 kg anuales, con un valor de \$17/kg y la obtención de un ternero por año con un peso de 120 kg, y un valor de \$23/kg.

El resultado concede a la leche el 78,5% del impacto, a la carne el 7,3% y al ternero el 14,2%.

En la etapa industrial la asignación a “queso”, “suero” y “otros productos derivados” se realizó de acuerdo al contenido de grasa y proteína de cada fracción. El resultado concede al queso el 86,6% y al suero el 13,4%.

En el caso La Punilla se consideró un animal (bovino) que produce 3 194 litros de leche anuales (teniendo en cuenta rodeo activo y no activo), con un valor de \$4/litro; 500 kg de carne por ciclo productivo de 6 años, lo que arroja un valor de 83 kg anuales, con un valor de \$17/kg y la obtención de un ternero por año con un peso de 120 kg, y un valor de \$23/kg.

El resultado concede a la leche el 75,4% del impacto, a la carne el 8,4% y al ternero el 16,3%.

En la etapa industrial la asignación a “queso” y “suero” se realizó de acuerdo al contenido de grasa y proteína de cada fracción. El resultado concede al queso el 86,6% y al suero el 13,4%.

## 5.5 Descripción de las fases productivas

### ASPECTOS COMUNES A LOS TRES CASOS

En la etapa de producción animal se tuvo en cuenta la alimentación y crianza de las vacas lecheras y sus crías.

Las emisiones atmosféricas en esta etapa derivan de la fermentación entérica de los rumiantes. Se trata de metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). Los cálculos se hicieron de acuerdo a factores de emisión extraídos de IPCC Tier 1 y 2 methodology. También se calcularon las emisiones al agua de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y de fósforo (P) por el estiércol. Los cálculos se hicieron de acuerdo a las fórmulas expresadas en el Manual 15 de la base de datos Ecoinvent, Punto 2.2.2, página 12 (Nemecek, 2011).

Para los cultivos que constituyen la alimentación de los animales (descrita de manera particular a continuación en cada caso), se consideró la fabricación, el transporte y el uso de todos los insumos y productos requeridos, desde la siembra hasta la cosecha, incluyendo semillas, agroquímicos, fertilizantes (en los casos en que se aplican), combustibles requeridos para las operaciones de preparación de suelos, siembra, pulverización, fertilización y cosecha.

También se tuvo en cuenta el consumo de agua relacionado con los cultivos utilizando el CropWat 8.0 de la FAO, con la carga de datos suministrados por agencias locales de instituciones como INTA, Cámara de Cereales, entre otras, comprendiendo los regímenes de lluvias (con datos meteorológicos de las estaciones más cercanas a cada región de estudio: Balcarce para el caso de Tandil, Gualaguay para el caso de Nogoyá y Villa Reynolds para el caso de La Punilla), las características de los suelos y de los cultivos de las zonas.

Se calcularon además las emisiones a la atmósfera de sustancias como amoníaco y óxido nitroso emitidos a partir del estiércol y el uso de fertilizantes, dióxido de carbono del uso de fertilizantes y metano biogénico proveniente de la fermentación entérica de los rumiantes. Por otro lado, se calcularon las emisiones al suelo derivadas del uso de agroquímicos (Ecoinvent, 2007).

Para el tambo se incluyó una emisión al aire por evaporación del 1% del agua total utilizada en el tambo y emisiones al agua, de todo el efluente líquido que no evapora (99%) que confluye a un canal cercano y luego a un arroyo, suponiendo despreciable la infiltración en el suelo. El efluente se considera que contiene nitrógeno (N), fósforo (P) y carga orgánica, expresada como Demanda Química de Oxígeno (DQO). La cantidad contenida de estas sustancias en el efluente no se midió, sino que se estimó de acuerdo a información extraída de la herramienta de cálculo de INTA antes mencionada. Para la etapa de producción de quesos se incluyó una emisión al aire de agua por evaporación del 1% del total de agua de pozo extraída, y emisiones al agua del efluente líquido con contenido de fósforo, nitrógeno y carga orgánica, medida a través de la demanda biológica de oxígeno (DBO). Los valores de estas cargas contaminantes surgen de elaboración propia y promedios tomados de guías internacionales.

#### ASPECTOS PARTICULARES

##### » Caso Tandil

El campo relevado cuenta con 370 vacas, de las cuales 320 son productivas. La obtención de leche ronda los 17,4 litros/cabeza considerando el rodeo activo y 13 litros/cabeza considerando el rodeo total. El tambo cuenta con una superficie de 398 hectáreas, donde también se encuentran los terneros, en cantidad estimada en 370 cabezas (mitad hembras y mitad machos).

La alimentación expresada en kg/cabeza/día, incluye pasturas con un valor de 8,5, maíz con 4,65 (grano y silaje), alimento balanceado con 4,32, heno con 2 y agua de pozo, con 60 litros/cabeza/día. También se tiene en cuenta la alimentación de los terneros exclusivamente hasta los seis meses de vida, con 5 l/cabeza/día de leche de vaca pasteurizada hasta los 2 meses de vida; luego se suman 1,5 kg de balanceado entre los 2 y 3 meses y finalmente se adicionan 6 l/cabeza/día de suero hasta los 6 meses. A partir de los 6 meses los terneros machos son vendidos, y los terneros hembra comienzan a recibir la misma alimentación de la vaca adulta hasta el año (límite temporal de estudio).

Se considera que hay tantos terneros como vacas totales (370), y que la mitad de ellos son hembras y la otra mitad machos. Los últimos son improductivos para leche y salen del sistema a los 6 meses para venta. De allí que, entre los 6 meses y el año, la alimentación de terneros hembra representa un 25% de la alimentación de las vacas adultas.

El alimento balanceado incluye un transporte desde la fábrica que lo produce hasta el campo, unos 40 km recorridos en camión (considerando tramos ida y vuelta).

Para considerar el régimen de lluvias de la zona se investigó la base ClimWat 2.0® seleccionando los datos meteorológicos de la estación de Balcarce como localización más cercana a Tandil dentro de las existentes.

Para la etapa Tambo, donde se obtiene la leche, se relevaron consumos de agua para limpieza de instalaciones (6,2 m<sup>3</sup>/h) durante el ordeño, a lo largo de 3 horas, dos veces al día (medición realizada durante una producción de 6 700 litros/día); consumos de energía eléctrica para el funcionamiento de los equipos de ordeño y calor de Gas Licuado de Petróleo (GLP), productos de limpieza como detergentes alcalinos, limpiadores ácidos y cloro en polvo.

Durante la etapa de Producción de quesos la leche atraviesa una serie de operaciones que derivan en el producto objeto de estudio. Estas son recepción, estandarización, pasteurización, amasado, fermentación, coagulación, corte, cocción, lavado de masa, pre-prensado, moldeo, salado, inmersión en sorbato de potasio, maduración, pintado, embalado y refrigeración.

Para concretar esta instancia se requiere el transporte de la leche del tambo a la industria. En el caso de Tandil, se recibe leche de diez tambos circundantes, distantes a no más de 60 km de la fábrica, estando algunos de ellos muy cercanos a la misma. Se hizo un promedio ponderado de los recorridos, teniendo en cuenta el volumen de leche que provee cada tambo y su distancia. Se consideró los tramos de ida y vuelta, ya que los camiones retornan vacíos al origen.

En la fábrica que procesa diariamente 2 250 litros de leche, se utiliza energía eléctrica para la producción, calor obtenido de la quema de leña, agua de pozo (aproximadamente 2,3 litros de agua por cada litro de leche que ingresa) y productos químicos para limpieza, como ácido nítrico y soda cáustica.

También se consideró el transporte del queso hasta el centro de distribución, distante a 15 km de la quesería (trayecto ida y vuelta), donde se utiliza energía eléctrica para la maduración de los quesos (el queso Gouda ocupa el 15% de la cámara). Los datos de energía eléctrica se obtuvieron de facturas del servicio, y los datos de consumo de agua, leña y productos químicos a partir de declaraciones de la empresa.

Se asignaron todos los consumos proporcionalmente a la cantidad de leche procesada que es destinada a queso Gouda (6 % de la leche que ingresa a fábrica).

La descarga del efluente líquido se produce a una desengrasadora de  $(8 \times 3) \text{ m}^2$  y luego a dos lagunas de  $(1 \times 0,6) \text{ m}^2$  y  $(1,30 \times 0,40) \text{ m}^2$  con una profundidad aproximada de 1,5 m, sin impermeabilización ni desnivel. Debido a las dimensiones de las lagunas, se calcula un tiempo de residencia muy bajo (menor a 1 día), por lo cual se asumió que no se produce tratamiento del efluente líquido. Por lo tanto, todo el efluente generado menos lo evaporado (99%) va al canal cercano y luego al arroyo. Se supuso despreciable la infiltración en el suelo. También se obtienen subproductos de gran importancia por su volumen, uno de los cuales, es el suero de quesería, cuyo destino es principalmente la venta a terceros y la elaboración de ricota; en menor medida la alimentación animal. También se genera crema cuyo destino es la venta a terceros.

Con respecto a la leña utilizada en la caldera, la misma proviene de bosques nativos (86% eucalipto y 14% pino) de la zona (Baldi, Nosetto, & Jobbagy, 2008).

#### » Caso Nogoyá

El campo relevado cuenta con 175 vacas, de las cuales 94 se encontraron en producción activa. La obtención de leche ronda los 19,5 litros/cabeza considerando el rodeo activo y 10,5 litros/cabeza teniendo en cuenta el rodeo total. El tambo presenta una superficie de 111 ha, donde también se encuentran los terneros hembra, en cantidad de 100 (mitad hembras y mitad machos) siendo en este caso un dato relevado.

La alimentación expresada en kg/cabeza/día, incluye pasturas con un valor de 1,35, rollo de alfalfa 8, maíz con 1,5, silaje de maíz 5,25, silaje de sorgo 2,88, alimento balanceado 3 y agua de pozo, con 58,5 litros/cabeza/día.

También se tiene en cuenta la alimentación del ternero hasta los seis meses de vida, con 1 l/cabeza/día de leche de vaca exclusivamente hasta los 2 meses de vida; luego se adicionan 1,6 l/cabeza/día de suero hasta los 6 meses y se complementa con 1 Kg /cabeza/día de alimento balanceado. A partir de los 6 meses los terneros machos son vendidos, y los terneros hembra comienzan a recibir la misma alimentación de la vaca adulta hasta el año (límite temporal de estudio).

Se considera que los terneros se presentan en igual número de hembras que machos. Los últimos son improductivos para leche y salen del sistema a los 6 meses para venta. De allí que, entre los 6 meses y el año, la alimentación de terneros hembra representa un 25% de la alimentación de las vacas adultas.

Para considerar el régimen de lluvias de la zona se investigó la base CLIMWAT

ClimWat 2.0® seleccionando los datos meteorológicos de la estación de Gualeguay como localización más cercana a Nogoyá, dentro de las existentes.

Para la etapa Tambo, donde se obtiene la leche, se relevaron consumos de agua para limpieza de instalaciones (230 litros) durante el ordeño, por un lapso de 2 horas, dos veces al día (medición realizada durante una producción de 460 litros/día), lo que representa un consumo de 0,35 litros de agua por litro de leche; consumos de energía eléctrica para el funcionamiento de los equipos de ordeño y calor de Gas Licuado de Petróleo (GLP), productos de limpieza como detergentes alcalinos, limpiadores ácidos y cloro en polvo.

Durante la etapa de Producción de quesos la leche atraviesa una serie de operaciones como la pasteurización, cuajada, amasado, moldeo, prensado, inmersión en salmuera y maduración, que derivan en el producto objeto de estudio.

En la fábrica que procesa 1 210 litros por día de leche se utiliza energía eléctrica para los motores de bombas, iluminación y refrigeración, la producción calor obtenido proviene de una caldera abastecida con GLP, agua de pozo (aproximadamente 5,1 litros de agua por cada kg de queso producido) y productos químicos para limpieza, como ácido nítrico y soda cáustica.

Los datos de energía eléctrica se obtuvieron de lectura de medidores de energía, mientras que los datos de consumo de agua fueron relevados in situ durante el proceso y los consumos de productos químicos se obtuvieron a partir de declaraciones de la empresa.

La descarga del efluente líquido se produce al campo donde el mismo es evaporado o infiltrado en el suelo. También se obtienen subproductos de gran importancia por su volumen, uno de los cuales, es el suero de quesería, cuyo destino es principalmente la alimentación animal.

#### » Caso La Punilla

El campo relevado cuenta con 80 vacas, de las cuales 60 son productivas. La obtención de leche ronda los 11,7 litros/cabeza considerando el rodeo activo y 8,8 litros/cabeza considerando el rodeo total. El tambo cuenta con una superficie de 150 ha, donde también se encuentran los terneros en cantidad estimada en 80 cabezas (mitad hembra y mitad machos).

En la etapa Producción animal, se consideró la alimentación expresada en kg/cabeza/día, incluye maíz con un valor de 8,25, sorgo 3,08 y agua de pozo con 60 litros/cabeza/día. También se tiene en cuenta la alimentación de los terneros hasta los seis meses de vida que suman 2,06 kg de maíz y 0,7 kg de sorgo. A partir de los 6 meses los terneros machos son vendidos, y los terneros hembra comienzan a recibir la misma alimentación de la vaca adulta hasta el año (límite temporal de estudio). Se considera que hay tantos terneros como vacas totales (80), y que la mitad de ellos son hembras y la otra mitad machos. Los últimos son improproductivos para leche y salen del sistema a los 6 meses para venta. De allí que, entre los 6 meses y el año, la alimentación de terneros hembra representa un 25% de la alimentación de las vacas adultas.

Para considerar el régimen de lluvias de la zona, se investigó la base ClimWat 2.0® seleccionando los datos meteorológicos de la estación de Villa Reynolds, como localización más cercana a La Punilla dentro de las existentes.

Para la etapa Tambo, donde se obtiene la leche, se relevaron consumos de agua de 500 litros por día para limpieza de las instalaciones; consumos de energía eléctrica de 2,237 kW para el funcionamiento de la bomba de agua 3 HP durante 1 h/día.

Además, se tuvo en cuenta el consumo de 3,75 kW para uso de bomba de ordeño de 5 HP durante 2 1/2 hs/día. Y productos de limpieza como detergentes alcalinos, limpiadores ácidos y cloro en polvo.

En la etapa de Producción de quesos la leche atraviesa una serie de operaciones como coagulación, desuerado, corte y molde, prensado y volteo y maduración que derivan en el producto objeto del estudio.

En la fábrica que procesa en forma artesanal 700 litros de leche por día, se utiliza energía eléctrica para el funcionamiento de la bomba de agua para limpieza del área, y productos químicos para limpieza, como ácido nítrico y soda cáustica. Se consideró la utilización de energía eléctrica para el funcionamiento de un aire acondicionado en la sala de maduración. Los datos de energía eléctrica se calcularon en función a la potencia de la bomba y el aire acondicionado y el tiempo de funcionamiento, y la información sobre el consumo de agua y productos químicos se reunió a partir de declaraciones del productor. Se asignaron todos los consumos proporcionalmente a la cantidad de leche procesada. Se consideró el uso de 2 tubos de GLP de 45 kg cada uno por mes, para el procesamiento de la leche.

No se considera transporte, ya que todas las etapas se llevan a cabo en el mismo predio, hasta la propia venta.

El efluente generado menos lo evaporado (99%) va al suelo. También se obtiene el subproducto "suero", cuyo principal destino es la alimentación animal.



## 6. Resultados y discusión

Analizando los tres niveles productivos que van desde la producción de queso de manera artesanal en La Punilla, semi industrial en Nogoyá e industrial en Tandil, y su relación con el consumo de agua en litros por unidad funcional (1 kg de queso de pasta semidura), resulta que el caso de Tandil es el que tiene mayor valor con 201 l/kg, seguido de Nogoyá con 76 l/kg y La Punilla con 65 l/kg.

### 6.1 Impactos sobre la disponibilidad de agua

Frente a esta categoría de impacto, se buscó utilizar métodos que identifican indicadores de presión sobre la disponibilidad hídrica en la región. Al encontrarse actualmente en construcción y consenso esta categoría, se decidió utilizar tres métodos: el de Pfister, reconocido por la comunidad científica en el análisis de ciclo de vida, la modificación del método de Huella Hídrica descrito por Hoekstra y el método emergente de AWARE.

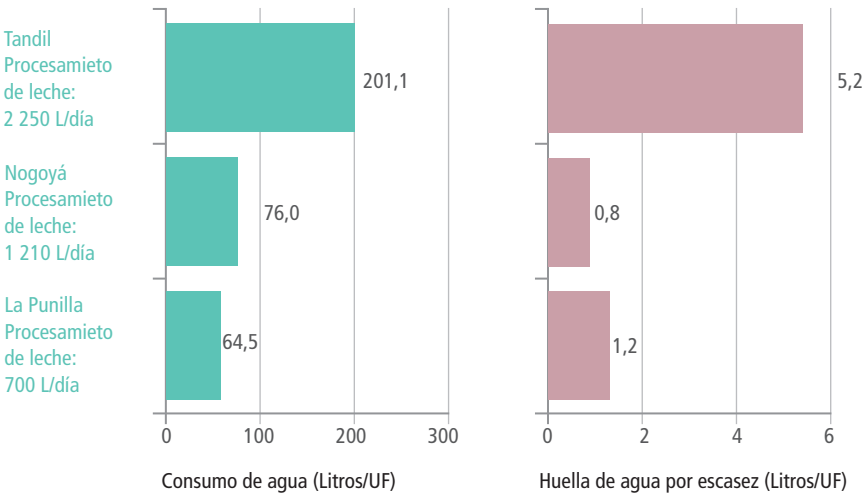
#### 6.1.1 Huella de Agua por escasez - Índice de estrés hídrico Pfister 2009

Cuando afectamos los consumos de agua por unidad funcional por los factores de caracterización de Pfister, obtenemos el indicador de escasez de agua, WSI por sus siglas en inglés. Estos factores de caracterización, tal como se explica anteriormente en la sección 4.2 Métodos, varían regional y temporalmente para cada caso de estudio. Por ejemplo, el caso de Nogoyá se sitúa en la cuenca hidrográfica con mayor disponibilidad de agua dentro de los tres casos; por lo tanto, presenta el factor más bajo. Los resultados se muestran en la Tabla 1 y se representan en el Gráfico 1.

Tabla 1 ›  
Huella de Agua por escasez  
(Método Pfister)

	Consumo de Agua (Litros/UF)	Factor de caracterización WSI	Huella de Agua por escasez (Litros/UF)	Procesamiento de leche (Litros/día)
► Tandil	201,1	0,0260	5,2326	2 250
► Nogoyá	76,0	0,0107	0,8119	1210
► La Punilla	64,5	0,0190	1, 2280	700

Gráfico 1 ›  
Huella de Agua por escasez  
(Método Pfister)



Se observa que el caso con mayor complejidad en la cadena de valor (Tandil) contribuye, por su consumo de agua, con mayor impacto sobre la disponibilidad para otros usos dentro de la misma cuenca hidrográfica; luego sigue el caso de La Punilla, y por último Nogoyá. En este sentido, en el caso de Tandil, no sólo se utiliza más agua durante el proceso productivo de la unidad funcional, sino que, además, el factor de caracterización de la región es el más alto comparándolo con los otros dos casos. Esto significa que, su disponibilidad hídrica territorial y temporal es menor que en las demás regiones estudiadas.

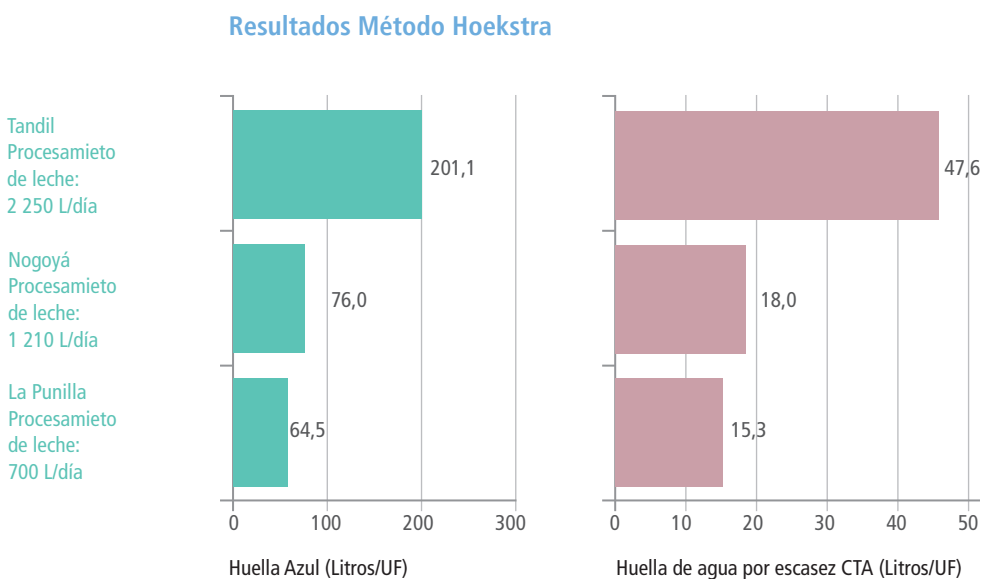
En el caso de Nogoyá, por el contrario, se da la particularidad que, si bien consume más agua en el proceso comparándolo con el de La Punilla, su factor de caracterización es bastante menor, debido a la buena disponibilidad de agua de la región entrerriana donde se sitúa el estudio. Esto conlleva a que el indicador de escasez resulte menor en Nogoyá, aunque utilice mayor volumen de agua que en La Punilla.

#### 6.1.2 Huella de Agua por escasez - Extracción para consumo sobre disponibilidad (Hoekstra)

Cuando afectamos los consumos de agua azul por unidad funcional, por los factores de caracterización del método Hoekstra, obtenemos el indicador de consumo sobre disponibilidad de agua CTA, o Huella de Agua por escasez.

El factor de caracterización que utiliza este método no distingue regiones ni temporalidad, sino que presenta un solo valor característico del país.

Los resultados se muestran representados en el Gráfico 2.



◀ Gráfico 2  
Huella de Agua por escasez (Método Hoekstra)

Para este método, se repiten los guarismos de los métodos precedentes. El caso con mayor complejidad en la cadena de valor (Tandil) contribuye con mayor impacto a la Huella de Agua por escasez, de manera que esa cantidad de agua/UF no está disponible para otros usos dentro de la misma cuenca hidrográfica; luego sigue el caso de Nogoyá y por último La Punilla. Se debe a que el caso de Tandil utiliza más agua durante el proceso productivo, seguido de Nogoyá y por último La Punilla. Al no poder diferenciarse las disponibilidades hídricas regionales para cada caso (factores diferenciados), el consumo de agua de los procesos será el que defina qué caso es el de mayor impacto.

6.1.3 Huella de Agua por escasez - Indicador de disponibilidad de agua remanente AWARE 2017

Cuando afectamos los consumos de agua por unidad funcional, por los factores de caracterización del método AWARE, obtenemos el indicador de disponibilidad de agua remanente. Estos factores de caracterización, tal como se explicó en la sección 4.2 Métodos, varían regional y temporalmente y distinguen si se trata o no de regiones agrícolas.

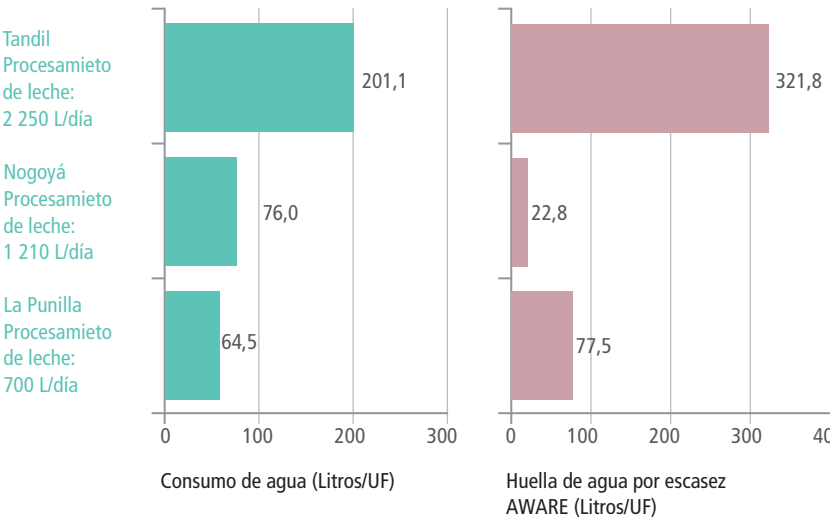
El caso de Nogoyá se sitúa en la cuenca hidrográfica con mayor disponibilidad de agua, de allí que presenta el menor factor.

Los resultados se muestran en la Tabla 2 y se representan en el Gráfico 3.

Tabla 2 ›  
Huella de Agua por escasez  
(Método AWARE)

	Consumo de Agua (Litros/UF)	Factor de caracterización	Huella de Agua por escasez AWARE (Litros/UF)	Procesamiento de leche (Litros/día)
▶ Tandil	201,1	1,6000	321,8	2 250
▶ Nogoyá	76,0	0,3000	22,8	1 210
▶ La Punilla	64,5	1,2000	77,5	700

Gráfico 3 ›  
Huella de Agua por escasez  
(Método AWARE)



Al igual que en el análisis anterior, el caso con mayor complejidad en la cadena de valor (Tandil) contribuye con mayor impacto a la “Huella de Agua por escasez” de manera que esa cantidad de agua/UF no está disponible para otros usos dentro de la misma cuenca hidrográfica; luego sigue el caso de La Punilla, y por último Nogoyá. Esto se debe a que el caso de Tandil utiliza más agua durante el proceso productivo y el factor de caracterización de la región es el más alto comparándolo con los otros dos casos.

En el caso de Nogoyá, por el contrario, se da la particularidad, que si bien consume más agua en el proceso, comparándolo con el de La Punilla, su factor de caracterización es bastante menor debido a la buena disponibilidad de agua de la región entrerriana adonde se sitúa el estudio. Esto lleva a que el indicador de escasez resulte menor en Nogoyá, aunque utilice mayor volumen de agua que La Punilla.

Existe una mayor diferencia entre los resultados de los casos La Punilla y Nogoyá, que en el método de Pfister, debido tal vez, a que los factores de caracterización son más sensibles en este método.

## 6.2 Impactos por degradación del agua

En esta categoría, se buscó utilizar indicadores que representen los impactos de punto medio (a corto plazo), que estén relacionados al agua como vía para el mecanismo de afectación al ecosistema. Los métodos para evaluar los distintos escenarios de impactos fueron seleccionados en base a trabajos científicos y opiniones de expertos consultados.

### 6.2.1 Huella de Agua por eutrofización, acidificación, ecotoxicidad y toxicidad humana

#### » Caso Tandil

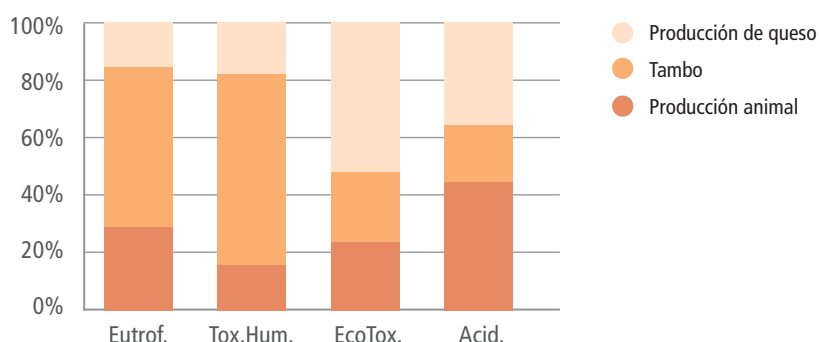
Los resultados obtenidos para las diferentes categorías de impactos, en relación con la degradación del agua se muestran a continuación, en la Tabla 3.

CASO TANDIL (Buenos Aires)		
Categoría de impacto	Unidad/kg de queso	Valor obtenido
Eutrofización	kg P eq	0,013
Toxicidad Humana	kg 1,4-DB eq	13,705
Ecotoxicidad	kg 1,4-DB eq	0,314
Acidificación	Kg SO <sub>2</sub> eq	0,230

« Tabla 3  
Resultados de degradación de agua (Caso Tandil)

Si llevamos cada valor total de impacto a 100%, y abrimos cada categoría en las tres etapas principales del sistema: producción animal, tambo y fabricación de queso, los resultados se observan en el Gráfico 4:

Gráfico 4 ›  
Impactos por degradación de  
agua por etapa (Caso Tandil)



En la categoría de impacto **eutrofización** se aprecia una alta influencia de las etapas producción animal y tambo. En el caso de producción animal, los mayores aportes derivan del uso de leche pasteurizada para alimentar a los terneros que tiene asociadas las mismas operaciones que la producción de la leche, más algunas específicas de la pasteurización. En el caso del tambo se genera un efluente con alta carga orgánica, nitrógeno y fósforo, principalmente por el aporte de las deposiciones de las vacas durante el ordeño.

En la categoría de impacto **toxicidad humana** se destaca el tambo por el uso de gas licuado de petróleo (GLP) para calentar agua para la limpieza. Se emiten sustancias que aportan a esta categoría de impacto en las etapas de extracción del crudo en el yacimiento.

Se revierte la tendencia en la categoría de impacto **ecotoxicidad**, donde la etapa industrial de producción de quesos tiene la mayor influencia. Esto se debe a la producción de la leña usada como combustible, que implica la emisión de cobre en el uso de maquinaria, combustible diesel para su funcionamiento y transporte en operaciones de desmonte y en el traslado de la leña al lugar de consumo.

En la categoría **acidificación** se destaca el aporte de la etapa producción animal, principalmente por las deposiciones de los animales (orina y estiércol) con contenido de amoníaco, y por el uso y la quema de diesel en los transportes y en las labores del campo para producir los alimentos de los animales.

La etapa de producción del queso también aporta a esta categoría, fundamentalmente por las operaciones que consumen diesel en la extracción de leña, que emiten óxidos de azufre y de nitrógeno.

A continuación, se presentan los gráficos de cada etapa del sistema en estudio, abierto en sus distintas entradas y salidas. En ellos se puede observar el aporte a las diferentes categorías de impacto ambiental de cada componente de las etapas, tal como se mencionó en el desarrollo anterior.

Producción animal - Tandil

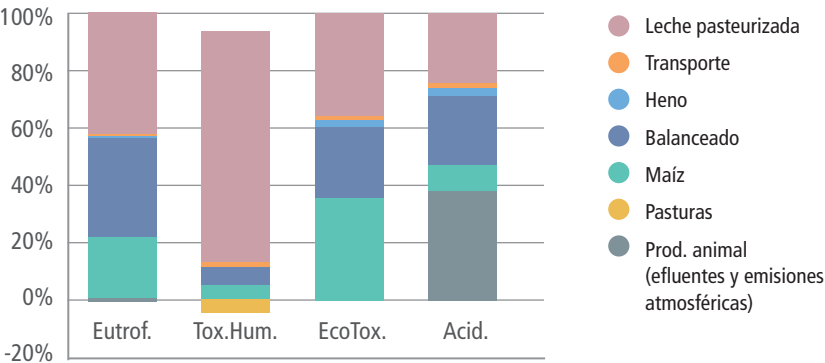


Gráfico 5  
Impactos por degradación de agua en la producción animal (Caso Tandil)

Tambo Tandil

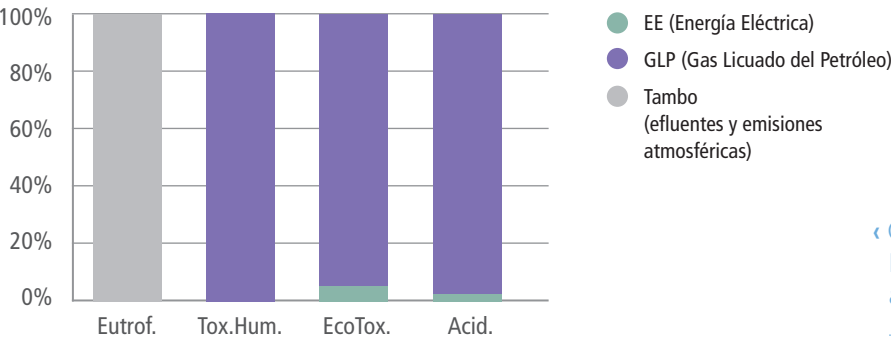


Gráfico 6  
Impactos por degradación de agua en el tambo (Caso Tandil)

Producción de Queso - Tandil

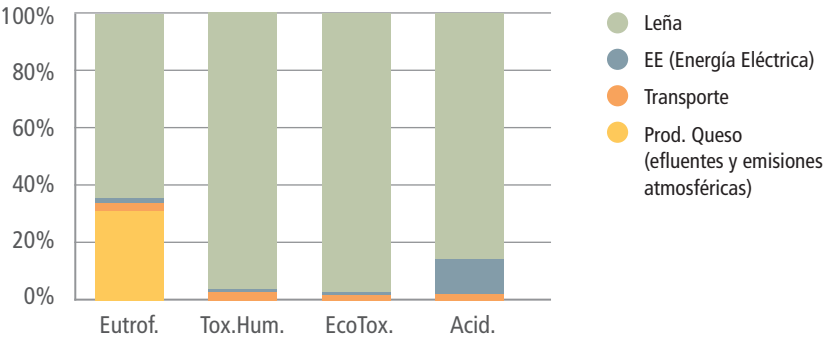


Gráfico 7  
Impactos por degradación de agua en la producción de queso (Caso Tandil)

» **Caso Nogoyá**

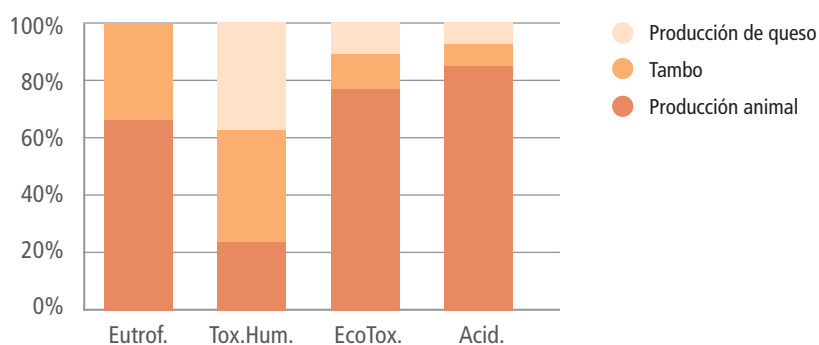
Los resultados obtenidos para las diferentes categorías de impactos en relación con la degradación del agua se muestran a continuación, en la Tabla 4.

Tabla 4 ›  
**Resultados de degradación de agua (Caso Nogoyá)**

CASO NOGOYÁ (Entre Ríos)		
Categoría de impacto	Unidad/kg de queso	Valor obtenido
Eutrofización	kg P eq	0,009
Toxicidad Humana	kg 1,4-DB eq	6,577
Ecotoxicidad	kg 1,4-DB eq	0,173
Acidificación	Kg SO <sub>2</sub> eq	0,202

Si llevamos cada valor total de impacto a 100%, y abrimos cada categoría en las tres etapas principales del sistema: producción animal, tambo y fabricación de queso, los resultados se observan en el gráfico que sigue:

Gráfico 8 ›  
**Impactos por degradación de agua por etapa (Caso Nogoyá)**



En la categoría de impacto **eutrofización** se aprecia alta influencia de las etapas producción animal y tambo, con aportes derivados del uso de fertilizantes en el cultivo de los alimentos de la vaca lechera (maíz, componentes del alimento balanceado, alfalfa, sorgo). En el caso del tambo se genera efluente con alta carga orgánica (nitrógeno y fósforo).

En la categoría de impacto **toxicidad humana** las tres etapas tienen un aporte significativo. En la producción primaria se utilizan agroquímicos (herbicidas) en la producción de los componentes del balanceado y en la alfalfa.

En las etapas tambo y producción de queso el aporte a la toxicidad humana se debe al uso de combustible GLP. Se emiten sustancias que aportan a esta categoría de impacto en las etapas de extracción de crudo en yacimiento.

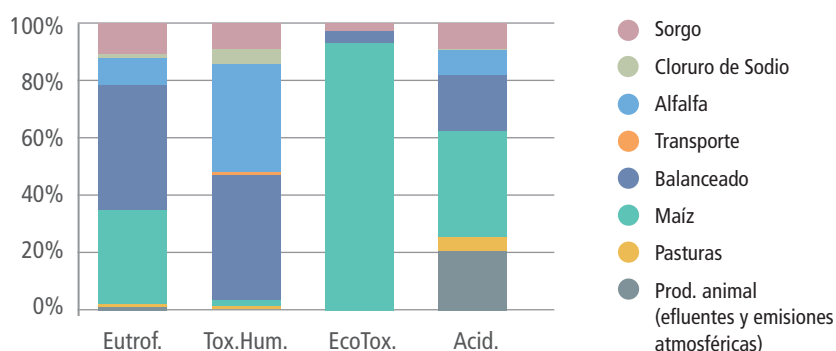
En la categoría de impacto **ecotoxicidad** se destaca el aporte de la etapa primaria de la cadena. Las emisiones provienen del maíz debido al uso de herbicidas y resi-

duos de fertilización. En las etapas de tambo y producción de quesos, con aportes menores, los mismos se deben, al igual que en la categoría toxicidad humana, a la producción y uso de GLP.

En la categoría **acidificación** se destaca aún con mayor peso la etapa primaria de producción, por la fertilización de los cultivos de maíz, componentes del alimento balanceado, alfalfa y sorgo, y también debido a las deposiciones de los animales (orina y estiércol).

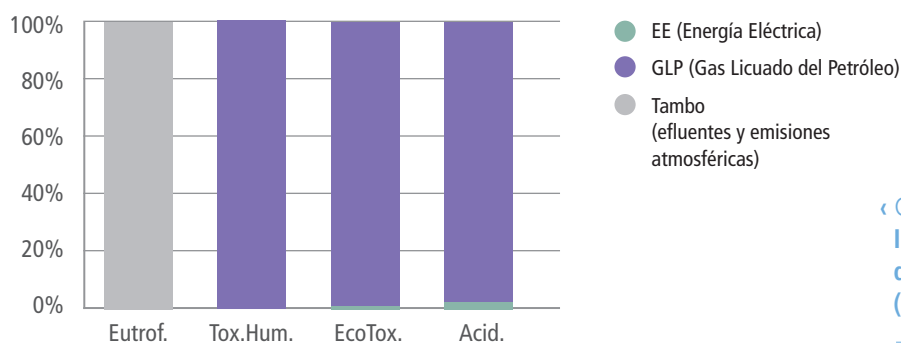
A continuación, se presentan los gráficos de cada etapa del sistema en estudio, abierto en sus distintas entradas y salidas. En ellos se puede observar el aporte a cada categoría de impacto ambiental de cada componente de las etapas, tal como se mencionó en el desarrollo anterior.

### Producción animal - Nogoyá



« Gráfico 9  
Impactos por degradación de agua en la producción animal (Caso Nogoyá)

### Tambo Nogoyá

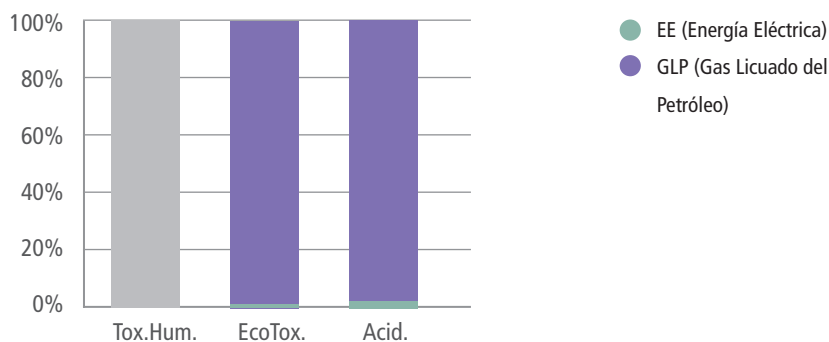


« Gráfico 10  
Impactos por degradación de agua en el tambo (Caso Nogoyá)



Gráfico 11 ›  
Impactos por degradación  
de agua en la producción de  
queso (Caso Nogoyá) \*

#### Producción de queso Nogoyá



(\*) En este gráfico la categoría de impacto eutrofización no se grafica porque la etapa "producción de quesos" no contribuye al impacto total de la categoría.

#### » Caso La Punilla

Los resultados obtenidos para las diferentes categorías de impactos en relación con la degradación del agua se muestran a continuación, en la Tabla 5.

Tabla 5 ›  
Resultados por degradación de  
agua (Caso La Punilla)

CASO LA PUNILLA (San Luis)		
Categoría de impacto	Unidad/kg de queso	Valor obtenido
Eutrofización	kg P eq	0,007
Toxicidad Humana	kg 1,4-DB eq	0,574
Ecotoxicidad	kg 1,4-DB eq	0,101
Acidificación	Kg SO <sub>2</sub> eq	0,073

Si llevamos cada valor total de impacto a 100%, y abrimos cada categoría en las tres etapas principales del sistema: producción animal, tambo y fabricación de queso, los resultados se observan en el siguiente gráfico:

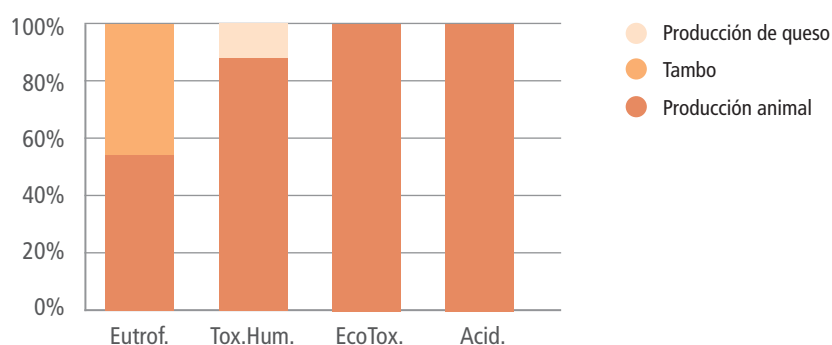


Gráfico 12 ›  
Impactos por degradación de  
agua por etapa (Caso La Punilla)

En la categoría de impacto **eutrofización**, se aprecia alta influencia de las etapas producción animal y tambo, con aportes derivados del uso de fertilizantes en el cultivo de los alimentos (maíz y sorgo) que consumen las vacas lecheras. En el caso del tambo se genera efluente con alta carga orgánica (nitrógeno y fósforo).

En la categoría de impacto **toxicidad humana**, se destaca notoriamente la etapa de producción animal, debido al uso de agroquímicos (herbicidas) en el cultivo de maíz y sorgo que alimentan a las vacas lecheras.

En la categoría de impacto **ecotoxicidad**, el impacto total de la cadena se debe 100% a la etapa primaria, por el uso de los agroquímicos (herbicidas) en los cultivos de maíz y sorgo.

En la categoría **acidificación**, el impacto total de la cadena se debe 100% a la etapa primaria por las deposiciones de los animales (orina y estiércol), con contenido de amoníaco, y a los fertilizantes usados en los cultivos de maíz y sorgo.

A continuación, se presentan los gráficos de cada etapa del sistema en estudio, abierto en sus distintas entradas y salidas. En ellos se puede observar el aporte a cada categoría de impacto ambiental de cada componente de las etapas, tal como se mencionó en el desarrollo anterior.

### Producción animal - La Punilla

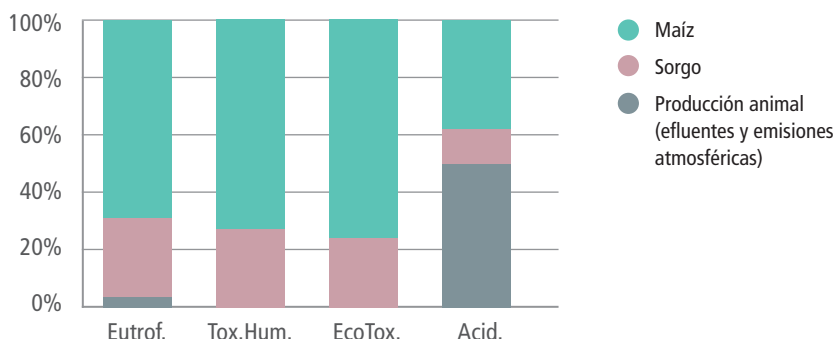


Gráfico 13  
Impactos por degradación de agua en la producción animal (Caso La Punilla)

### Tambo La Punilla

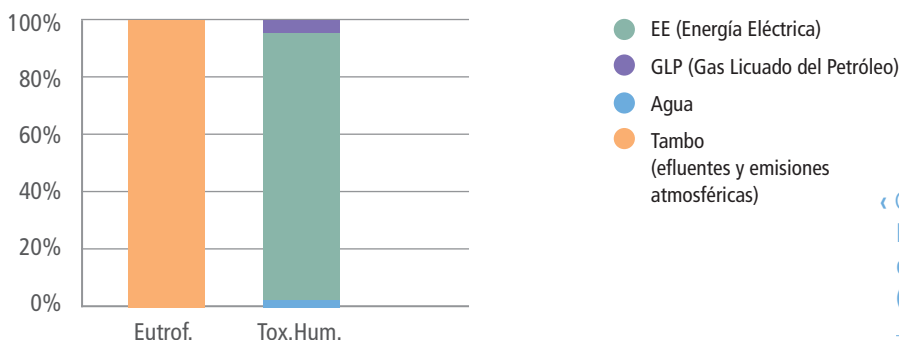
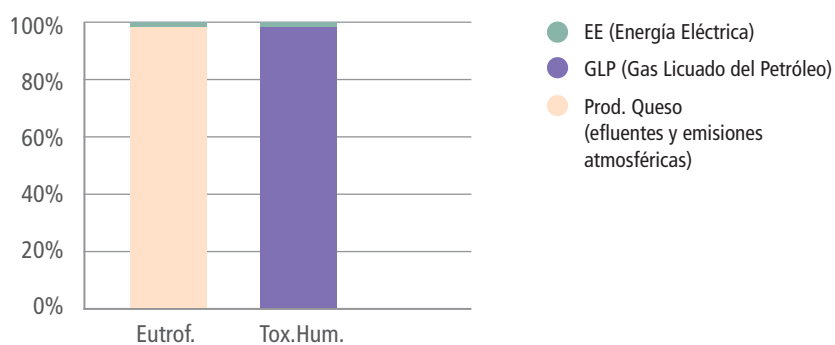


Gráfico 14  
Impactos por degradación de agua en el tambo (Caso La Punilla) \*

(\*) En este gráfico las categorías de impacto ecotoxicidad y acidificación no se grafican porque la etapa "tambo" no contribuye al impacto total de las categorías.

Gráfico 15 ›  
**Impactos por degradación  
de agua en la producción de  
queso (Caso La Punilla) \***

#### Producción de Queso La Punilla



(\*) En este gráfico las categorías de impacto ecotoxicidad y acidificación no se grafican porque la etapa "producción de quesos" no contribuye al impacto total de las categorías.

## 7. Conclusiones

---

### 7.1 Específicas de los casos de estudio

Del estudio surgen algunos puntos críticos en cada caso que requieren principal atención para disminuir los impactos asociados al agua. Los mismos pueden ser gestionados como oportunidades de mejora para contribuir a la sustentabilidad de los sistemas productivos.

Cabe destacar, que además de las mejoras en la gestión del uso consuntivo del agua, se deben garantizar cuestiones de higiene y seguridad contempladas en las buenas prácticas de manufactura, independientemente de los niveles tecnológicos estudiados. Por otra parte, contar con datos más detallados, por ejemplo, de entradas de agua, materiales y energía, diferenciados para cada proceso unitario dentro de la industria, permitiría poder abordar recomendaciones específicas orientadas a la mejora de la gestión del agua.

En las etapas iniciales de la cadena productiva referidas a la obtención de los granos y pasturas para alimentación, es imprescindible la aplicación de buenas prácticas en el manejo de los cultivos, del suelo y de los insumos utilizados.

El caso de mayor complejidad tecnológica (Tandil), es el que presenta mayores consumos de agua en sus procesos en comparación con los demás casos estudiados.

Para este caso, se podría analizar el cambio del combustible “leña” por un combustible líquido o gaseoso en la caldera, que reduciría los impactos en la producción industrial y en la cadena productiva como un todo.

Para minimizar los impactos por degradación es fundamental atender el aspecto de generación y tratamiento de efluentes líquidos tanto en el tambo como en el procesamiento del queso. Este punto es recomendable para los casos de Nogoyá y La Punilla, así como la optimización para el caso de Tandil.

Por último, implementar tecnologías para la recuperación energética de los residuos orgánicos, como así también el aprovechamiento de otras fuentes renovables de energía (solar, por ejemplo) disminuiría los impactos asociados a la extracción de fuentes de energía tradicionales, no renovables.

Es recomendable continuar con el estudio ampliando los casos de representación como así también evaluar los impactos según métodos de punto final (largo plazo).

### 7.2 Sobre la metodología

La evaluación de la Huella de Agua es una herramienta poderosa y compleja que permite diagnosticar impactos potenciales al ambiente y a la salud humana. La precisión y calidad de los datos del estudio (entradas y salidas de los sistemas analizados), son fundamentales para garantizar un inventario confiable que sea la base para un análisis coherente y la obtención de resultados robustos, que deriven en la generación de recomendaciones válidas.

Una evaluación de la Huella de Agua en particular es insuficiente, si no se utiliza en forma complementaria a la evaluación de otros impactos ambientales potenciales de los productos, procesos u organizaciones de manera de analizar en conjunto las afectaciones posibles a los recursos naturales en forma sistematizada y holística, donde lo que suceda en el agua, aire, suelo, fauna y flora, repercute en varios factores ambientales y por ende en los seres humanos.

Es sumamente importante contar con información regionalizada, tanto para los factores que modelizan los impactos con características de disponibilidad y calidad propias de cada cuenca hidrográfica, como así también con información de cada inventario propio de la región o del país que represente las prácticas habituales, y las características técnicas y performance de cada proceso y/o producto (bases de datos de inventarios nacionales); también resulta esencial disponer de métodos sensibles

y robustos que permitan diagnosticar con el menor grado de incertidumbre los escenarios ambientales/sociales/productivos.

Contar con un número mayor de estudios normalizados por cada cuenca hidrográfica, permitiría evaluar los potenciales impactos por sinergismo, y dar una visión más amplia y completa de la posible presión al sistema natural, para mejorar las gestiones necesarias disminuyendo la vulnerabilidad del sistema.

Por último, y no menos importante, contar con un software específico, con sus prestaciones completas y bases de datos actualizadas, es clave para realizar las evaluaciones de estos indicadores ambientales, dar trazabilidad a los cálculos y compromiso con los resultados garantizando una toma de decisiones óptima.

### 7.3 Generales sobre el proceso de aprendizaje

Es fundamental llevar adelante este tipo de diagnósticos de manera interdisciplinaria para comprender cada detalle de la cadena estudiada y abordar los casos con la mayor solvencia posible. Así también, resulta imprescindible organizar el trabajo previamente a su inicio, detallando las fases que se estudiarán, los recursos requeridos (económicos, humanos y materiales) y fundamentalmente los plazos de ejecución.

Se ha comprobado durante la realización de este estudio, que existen numerosas formas de armar e interpretar inventarios y de calcular resultados. El proceso de aprendizaje permitió al grupo encontrar una relación entre el tiempo invertido y la calidad de los resultados obtenidos; experiencia que permitirá optimizar los plazos de realización de trabajos futuros.

Resulta de gran ayuda, para afrontar un estudio de análisis de ciclo de vida anclado en el recurso hídrico, o en cualquier otra categoría de impacto ambiental, contar con el involucramiento y acompañamiento de las industrias que brindan los datos; como así también de las autoridades de la institución con poder de decisión sobre los grupos de trabajo.

Por último, el camino de aprendizaje recorrido por los diferentes integrantes de la COHHA es un capital difícil de cuantificar, con una componente técnica robusta resultado del gran compromiso, voluntad, integridad y proactividad del capital humano tanto en la adquisición de los saberes para el manejo de las herramientas de cálculo (software), bases de datos, metodologías de evaluación, como así también en la conformación de un equipo de trabajo integrado, colaborativo y activo, que permitirá abordar con solvencia futuros estudios dentro de la oferta tecnológica al medio productivo.

## 8· Bibliografía

- Allan J.A. (1998). Virtual Water: A Strategic Resource Global Solutions to Regional Deficits. Ground Water.
- Allen, R. P. (FAO 2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO N° 56, E-ISBN 978-92-5-308564-4 (PDF), ISBN 92-5-304219-2.
- Arena, P., Civit, B. (2014). Water Footprint of the Tourism Sector in Chacras de Coria, Mendoza, Argentina. Mendoza: Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional.
- Baldi, G., Nasetto, M., & Jobbagy, E. (2008). El efecto de las plantaciones forestales sobre el funcionamiento de los ecosistemas sudamericanos . Ambiencia, V.4 – Edicao Especial, p 23 -34 ISSN 1808 - 0251.
- Bongiovanni, R., Tuninetti, L. (2017). Análisis del ciclo de vida de la cadena del algodón de Argentina. Revista LALCA- Revista Latino Americana em Avaliação do Ciclo de Vida. revista.ibict.br/lalca, 28.
- Ecoinvent. (2007). Ecoinvent Report N° 15. Obtenido de Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems Data v. 2.0: [https://db.ecoinvent.org/reports/15\\_Agriculture.pdf](https://db.ecoinvent.org/reports/15_Agriculture.pdf)
- Eggleston H.S., B. L. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. The National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan.
- FAO. (1999). CROPWAT for WINDOWS;. Roma, Italia: FAO.
- Field To Market. (2016). Field To Market: The Alliance for Sustainable Agriculture. Obtenido de <https://www.fieldtomarket.org/>
- Goedkoop, M.; Heijungs, R.; Huijbregts, M.; Schryver, A.D.; Struijs, J; van Zelm, R. ReCiPe 2008. A life cycle assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and endpoint level. First edition (version 1.08). Report I: Characterisation.
- Hoekstra A.Y. y Hung P.Q. (2002). A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. IHE Delft: Holanda.
- Hoekstra A.Y. (2003). Virtual Water. An Introduction. Virtual Water Trade. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Values of Water Research Report Series n° 12. Holanda: IHE, Delft.
- Hoekstra A.Y. (2003). Virtual water trade. Proceedings of the international expert meeting on virtual water trade. The Netherlands: IHE Delft.
- Hoekstra A.Y. y Chapagain A.K. (2003). Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. Holanda: IHE Delft.
- Hoekstra A.Y. y Chapain A.K. (2004). Water footprints of nations. Holanda: IHE Delft.
- Hoekstra A.; Chapagaing A.; Aldaya M. y Mekonnen M. (2011). The Water Footprint Assessment Manual. London-Washington, DC: earthscan.
- Hoekstra AY, M. M. (2012). Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability. PLoS ONE 7(2): e32688. doi:10.1371/journal.pone.0032688.
- Huijbregts, M. A.J., Rombouts, L. J.A., Ragas, A. M.J., van de Meent, D. (2005), Human-toxicological effect and damage factors of carcinogenic and noncarcinogenic chemicals for life cycle impact assessment. Integr Environ Assess Manag, 1: 181–244. doi:10.1897/2004-007R.1
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2017). Evaluación de la Huella Hídrica en cuencas hidrográficas: Experiencias piloto en Latinoamérica. San José, C.R: GSI-LAC S.A.S.
- ISO 14.040 (1998) Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco. International Organisation for Standardisation (ISO).
- ISO 14043 (2000). Environmental management -- Life cycle assessment -- Life cycle interpretation

- ISO 14.044 (2008) Environmental Management, Life Cycle Assessment Requirements and Guidelines. International Organisation for Standardisation (ISO).
- ISO 14.046 (2014) Gestion Ambiental. Huella de Agua. Principios, requisitos y directrices. International Organisation for Standardisation (ISO).
- Manazza, F. (2012). Cuantificación y valoración económica del uso consuntivo el agua en los principales productos de las Cadena Lácteas de la Pampa y San Luis. San Luis: INTA.
- Márgenes Agropecuarios (2016). Coeficientes UTA. 31(368). Buenos Aires: Margenes Agropecuarios.
- Mekonnen M., Hoekstra A. (2004). The water footprint of nations. Report N° 16. Volumen 1: Main Report. The Netherlands: UNESCO-IHE.
- Mekonnen M., Hoekstra A. (2010). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Report N° 47. Volumen 1: Main Report. The Netherlands: UNESCO-IHE.
- Mekonnen M., Hoekstra A. (2010). Report 48. National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of farm animal and animal products. Report N° 50. Volume 1: Main Report. The Netherlands: UNESCO-IHE.
- Mekonnen M., Hoekstra A. (2011). The green, blue and grey water footprint of production and consumption. Report N° 50. Volume 1: Main Report. The Netherlands: UNESCO-IHE.
- Mekonnen M., Hoekstra A. (2012). A global assessment of the water footprint of farm animal products. Ecosystems 15: 401-415.
- Nemecek, T. S. (2011). Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems. Data v3.0 (2012). Ecoinvent Report N° 15.
- Pettygrove, G. (2010). Dairy Manure Nutrient Content and Forms. 2009. University of California Cooperative Extension. Manure Technical Bulletin Series <http://manuremanagement.ucdavis.edu>.
- Pfister, S. (2009). Assessing the Environmental Impacts of Freshwater Consumption in LCA. Suiza: Environ. Sci. Technol.
- Simapro (2016). PRé Consultants. Life Cycle Assessment Software version 8.2. <http://www.pre-sustainability.com/>.
- Steduto, P. H. (FAO 2014). Riego y Drenaje. Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. Estudio FAO N° 66, E-ISBN 978-92-5-308564-4 (PDF).
- Universidad Nacional de Cuyo. CONICET. (2010). Índice de aridez climático para Argentina. Mendoza.
- Vilar, E. (Mayo 2016). Industria de Alimentos y Bebidas (AyB) Un sector estratégico para el crecimiento nacional. Alimentos Argentinos N° 69, 43-44.

## 9- Anexo Inventarios

### » CASO TANDIL

#### INVENTARIO ETAPA PRODUCCIÓN ANIMAL TANDIL

CANTIDAD UNIDAD COMENTARIOS

(Entradas y Salidas para 1 animal durante 1 año de producción)

#### ENTRADAS

##### RECURSOS DE LA NATURALEZA

Ocupación, pastura extensiva	8605	m²a	Densidad de
Transformación, desde pastura extensiva	8605	m²	ocupación
Transformación, hacia pastura extensiva	8605	m²	

##### MATERIALES/ENERGÍA

Pastura	3878	kg	
Maíz	2122	kg	
Balanceado	1973	kg	
Heno	913	kg	
Agua de pozo	27375	l	
Transporte balanceado	79	tkm	
Leche Pasteurizada	912,5	l	

#### SALIDAS

##### PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS

Leche	4753	l	Asignación 82%
Carne	83	kg	Asignación 6,1%
Ternero	120	kg	Asignación 11,9%

##### EMISIONES A LA ATMÓSFERA

Metano	121,35	kg	
Amoniaco	14,75	kg	
Monóxido de Dinitrógeno	2,97	kg	

##### EMISIONES AL AGUA

Nitrógeno total	41,11	kg	
Fósforo total	0,06	kg	



## INVENTARIO ETAPA TAMBO TANDIL

CANTIDAD UNIDAD COMENTARIOS

## ENTRADAS

## RECURSOS DE LA NATURALEZA

## MATERIALES/ENERGÍA

Bovino para leche	1	l	
Agua pozo {AR}	5,55	l	
Energía Eléctrica	0,05	kWh	
GLP	1,03	l	

## SALIDAS

## PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS

Leche a la salida del tambo	1	l	Evaporación 1%
Emisiones a la atmósfera			
Agua	6E-05	m³	
Emisiones al agua			
Agua	5E+00	l	

## INVENTARIO ETAPA PRODUCCIÓN DE QUESO TANDIL

## ENTRADAS

## RECURSOS DE LA NATURALEZA

## MATERIALES/ENERGÍA

Leche a la salida del tambo	9,73	l	Rendimiento
Agua pozo	22,06	l	del 10 %
Ácido Nítrico	0,01	kg	
Hidróxido de Sodio al 50%	0,03	kg	
Transporte liviano (leche a industria)	0,21	tkm	
Transporte liviano (industria a distribución)	0,03	tkm	Promedio
Energía eléctrica	0,48	kWh	10 tambos
Calor de leña quemada	49,66	MJ	
Energía Eléctrica	0,29	kWh	

## SALIDAS

## PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS

Queso Gouda	1	kg	Asignación 84,55%
Crema	0,04	kg	Asignación 2,4%
Suero	6,30	kg	Asignación 13,05%

## EMISIONES A LA ATMÓSFERA

Agua	0,00	m³	Evaporación 1%
------	------	----	----------------

## EMISIONES AL AGUA

Agua	22,06	m³	
Demanda bioquímica de Oxígeno	0,26	kg	

## » CASO NOGOYÁ

## INVENTARIO ETAPA PRODUCCIÓN ANIMAL NOGOYÁ

ELEMENTO	CANTIDAD	UNIDAD	COMENTARIOS
----------	----------	--------	-------------

(Entradas y Salidas para 1 animal durante 1 año de producción)

## ENTRADAS

## RECURSOS DE LA NATURALEZA

Ocupación, pastura extensiva	4933	m <sup>2</sup> a	Densidad de ocupación
Transformación, desde pastura extensiva	4933	m <sup>2</sup>	
Transformación, hacia pastura extensiva	4933	m <sup>2</sup>	

## MATERIALES/ENERGÍA

Pastura	616	kg	
Maíz (grano)	648	kg	12% de la planta
Balanceado	1369	kg	
Agua de pozo	26691	l	Considerando 58,5 l/día/vaca
Transporte	44	tkm	
Alfalfa Rollo	3650	kg	
Cloruro de Sodio	114	kg	
Maíz (silo)	2395	kg	
Sorgo	1314	kg	9,6*365

## SALIDAS

## PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS

Leche	3823	l	Asignación 84,1%
Carne	83	kg	Asignación 5,4%
Ternero	120	kg	Asignación 10,5%

## EMISIONES A LA ATMÓSFERA

Metano	97,06	kg	
Monóxido de Dinitrógeno	2,393	kg	
Amoníaco	11,864	kg	

## EMISIONES AL AGUA

Nitrógeno	27,69	kg	Estiércol (sólidos y líquidos)
Fósforo	0,0351	kg	Estiércol (sólidos y líquidos)

**INVENTARIO ETAPA TAMBO NOGOYÁ**

ELEMENTO	CANTIDAD	UNIDAD	COMENTARIOS
----------	----------	--------	-------------

**ENTRADAS****RECURSOS DE LA NATURALEZA****MATERIALES/ENERGÍA**

	1	l	
Bovino para leche	0,01	kWh	
Energía Eléctrica	0,35	l	
Agua pozo {AR}	0,23	l	
GLP	0,00	g	
Ácido Nítrico			

**SALIDAS****PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS**

Leche a la salida del tambo	1	l	Evaporación del 1%
-----------------------------	---	---	--------------------

**EMISIONES A LA ATMÓSFERA**

Agua	0,004	m <sup>3</sup>	Canal y luego al arroyo.
------	-------	----------------	--------------------------

**EMISIONES AL AGUA**

Agua	0,350	l	
Nitrógeno	0,002	kg	
Demanda química de Oxígeno	0,019	kg	

**INVENTARIO ETAPA PRODUCCIÓN DE QUESO NOGOYÁ****ENTRADAS****RECURSOS DE LA NATURALEZA****MATERIALES/ENERGÍA**

Leche a la salida del tambo	11,43	l	
Agua pozo	5,119	l	
Ácido Nítrico	0,003	g	
Hidróxido de Sodio al 50%	0,003	g	
Energía eléctrica	0,283	kWh	
GLP	2,514	l	

**SALIDAS****PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS**

Queso Gouda	1	kg	Asignación 86,6%
Suero	6,3	kg	Asignación 13,4%

**EMISIONES A LA ATMÓSFERA**

Agua	0,05119	l	Evaporación 1%
------	---------	---	----------------

**EMISIONES AL AGUA**

Agua	5,07	l	
Demanda bioquímica de Oxígeno	15204,00	mg	
Nitrógeno Total	44,34	mg	

## » CASO LA PUNILLA

## INVENTARIO ETAPA PRODUCCIÓN ANIMAL LA PUNILLA

ELEMENTO	CANTIDAD	UNIDAD	COMENTARIOS
----------	----------	--------	-------------

(Entradas y Salidas para 1 animal durante 1 año de producción)

## ENTRADAS

## RECURSOS DE LA NATURALEZA

Ocupación, pastura extensiva	15000	m <sup>2</sup> a	
Transformación, desde pastura extensiva	15000	m <sup>2</sup>	
Transformación, hacia pastura extensiva	15000	m <sup>2</sup>	

## MATERIALES/ENERGÍA

SORGO	1406,25	kg	
AGUA POZO	27375,00	l	
MAÍZ	3764,44	kg	

## SALIDAS

## PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS

Leche	3194	l	Asignación 75,4%
Carne	83	kg	Asignación 8,4%
Ternero	120	kg	Asignación 16,3%

## EMISIONES A LA ATMÓSFERA

Metano	81,54	kg	
Monóxido de Dinitrógeno	2,00	kg	
Amoníaco	9,91	kg	

## EMISIONES AL AGUA

Fósforo	0,10	kg	
Nitrógeno	64,31	kg	

**INVENTARIO ETAPA TAMBO LA PUNILLA**

ELEMENTO	CANTIDAD	UNIDAD	COMENTARIOS
----------	----------	--------	-------------

**ENTRADAS****RECURSOS DE LA NATURALEZA**

-

**MATERIALES/ENERGÍA**

BOVINO PARA LECHE

1

l

AGUA POZO

0,71

l

ENERGÍA ELÉCTRICA

0,01

kWh

**SALIDAS****PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS**

Leche a la salida del tambo

1,00

kg

**EMISIONES A LA ATMÓSFERA**

Agua

0,00

m³

**EMISIONES AL AGUA**

Agua

0,71

l

Demanda química de Oxígeno

0,02

kg

**INVENTARIO ETAPA PRODUCCIÓN DE QUESO LA PUNILLA****ENTRADAS****RECURSOS DE LA NATURALEZA****MATERIALES/ENERGÍA**

Leche a la salida del tambo

9,70

kg

GLP

0,08

l

Agua pozo

1,39

l

Energía eléctrica

0,12

kWh

**SALIDAS****PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS**

Queso Gouda

1,00

kg

Asignación 86,62%

Suero

6,30

kg

Asignación 13,38%

**EMISIONES A LA ATMÓSFERA**

Agua

0,00

m³

**EMISIONES AL AGUA**

Agua

1,37

l



**INTI**



Ministerio de Producción  
Presidencia de la Nación

**Instituto Nacional de Tecnología Industrial**

**Parque Tecnológico Miguelete**

Avenida General Paz 5445  
B1650KNA San Martín  
Buenos Aires, Argentina

Gerencia de Asistencia Regional  
Programa Desarrollo Regional  
y Calidad de Alimentos

**0800 444 4004**

**consultas@inti.gob.ar**

**www.inti.gob.ar**



INTIArg



@INTIArgentina



INTI