



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA DEL ROSARIO

Proyecto Final

APORTES A LA GESTIÓN DE LA HUELLA HIDRICA EN LA PRODUCCIÓN DE CARNES
DE CERDO: EVALUACIÓN DEL USO DEL AGUA EN UN CRIADERO INTENSIVO.

Autoras: Di Rienzo Ma. Belén.
Fogolin Gisel N.

Directores: Ing. Andretich Stella Maris.
Ing. Huerga Ignacio.
Ing. Aradas Ma. Elena
Ing. Giunti Roberto

Contenido	
Resumen.....	4
Abstract	5
Alcance	6
Introducción	7
Producción porcina en argentina	7
Producción Porcina en Santa fe	8
Sistema de producción.....	10
A campo.....	10
Confinamiento.....	10
Generación de residuos y efluentes porcinos.....	11
Huella Hídrica	14
Concepto Huella Hídrica.....	14
Clasificación Huella Hídrica Azul, Verde y Gris.....	15
Planteo del problema.....	16
Objetivos	19
Objetivo general.....	19
Objetivo específico:.....	19
Metodología.....	20
Selección del sitio de estudio.....	20
Caracterización del Establecimiento Agropecuario	22
Relevamiento de datos	28
Datos requeridos para el cálculo de la huella azul.....	28
Datos requeridos para el cálculo de la huella verde	33
Datos requeridos para el cálculo de la huella Gris.....	35
Diagrama de flujos de agua en el criadero.....	39
Resultados	42
Huella Azul.....	42
Huella Verde:.....	46
Huella Gris	48
Resultados del monitoreo	48
Cálculos de la Huella Gris	48

Huella Hídrica Total	50
Discusión	54
Aportes de la Ingeniería Ambiental.....	56
Conclusión	64
glosario	66
ANEXO I – Características de las fosas de los galpones	67
ANEXO II – Construcción del recipiente para la toma de muestras.....	70
ANEXO III – Elementos utilizados en la toma de muestras y envío a análisis de laboratorio	72
ANEXO IV- Cálculos para la Planta de Tratamiento.....	77
Bibliografía	80

RESUMEN

En la Argentina, tanto el consumo como la producción de carne porcina va en aumento y los pronósticos para el sector son optimistas a que se mantenga esta tendencia en los próximos años¹. Una consecuencia de esto es que los pequeños y medianos productores transformen el manejo del criadero a fin de mejorar su eficiencia, confinando alguna de las etapas de su ciclo productivo, que incluye la Gestación, Maternidad, Destete y/o Engorde. Como contraparte a la intensificación, toma relevancia la generación de residuos y efluentes, que de no ser tratados, pueden provocar un impacto negativo sobre el medio ambiente.

Mediante un estudio de caso en un establecimiento agropecuario ubicado en la zona rural de Oliveros (Provincia de Santa Fe), que combina la actividad agrícola con la producción porcina, se realiza la medición del uso de agua (directo e indirecto) en todo el sistema, con el fin de proponer acciones que tiendan a hacer eficiente el uso del recurso desde la perspectiva de la Ingeniería Ambiental.

Tomando como referencia los lineamientos de la evaluación de la huella hídrica, el consumo de agua se divide en tres corrientes: el agua de bebida de los animales y utilizada para limpieza de las instalaciones, conocida como azul, cuyo valor es 10,86m³/día; el agua que queda incorporada al alimento y proviene del cultivo, caracterizada como verde, cuyo valor es de 0,38m³/día; y el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes presente en los efluentes generados por el sistema, medida en 82m³/día.

Con la finalidad de gestionar de manera sustentable el recurso, a partir de un adecuado tratamiento al efluente y su posterior propuesta de reutilización, se puede minimizar los valores anteriormente mostrados a 9,29 m³/día, y la huella gris adoptando un valor nulo; de esta manera contribuir a la disminución de la Huella Hídrica del sistema productivo.²

Palabras claves: Producción porcina, confinamiento, Huella Hídrica, gestión sustentable.

¹ Anuario- Porcino 2014, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación.

²<http://waterfootprint.org/media/downloads/Mekonnen-Hoekstra-2012-WaterFootprintFarmAnimalProducts.pdf>

ABSTRACT

In Argentina, both the consumption and the production of pork meat are increasing, and experts believe these results will continue doing so in the following years. As a consequence to this, small and medium-sized producers might change the breeding ground management to improve their efficiency, confining some of their productive cycle steps, which include the Pregnancy, Maternity, Weaning Process, and/or Fattening Process. Contrary to intensification, producing waste and effluents becomes important. And if not treated, it can have a negative impact on the environment.

A recent case study was carried out in a farming establishment placed in a rural area in Oliveros (Santa Fe, Argentina). The direct and indirect water usage was measured in the system to provide possible solutions that would make efficient the use of this resource from an environmental engineering perspective.

Considering the evaluation guidelines of the water footprint, water consumption is divided into three categories: the water drunk by the animals and used to clean the premises — known as blue water— whose value is 10,86 m³/day; the water incorporated to the food which comes from the crops —known as green water— whose value is 0,38 m³/day; and the volume of fresh water required to assimilate the polluting load present in the effluents generated by the system, measured in 82 m³/day.

In order to sustainably manage this resource, starting from an adequate treatment of the effluent and its later reuse, the values stated hereinabove can be reduced to 9,29 m³/day, and the grey footprint can decrease to a null value. This would significantly contribute to the decrease of the productive system water footprint.

Key words: Pork Production, Confinement, Water Footprint, Sustainable Management

ALCANCE

El presente proyecto consiste en cuantificar el uso de agua en un criadero intensivo de cerdos, en función de los siguientes usos, a saber:

- Medir el agua que se utiliza para el lavado de las instalaciones.
- Estimar el agua de bebida que demandan los animales.
- Analizar el requerimiento hídrico de los cultivos que se utilizan como alimentos.
- Cuantificar volumen de agua dulce que necesitan los efluentes para asimilar la carga orgánica.

Se discutirán algunos lineamientos técnicos desde el marco de la Ingeniería Ambiental en el manejo de los efluentes líquidos, a fin de realizar una mejor gestión de la huella hídrica del establecimiento agropecuario. Notar que para realizar otros aportes, será necesario llevar a cabo un trabajo interdisciplinario, involucrando a ingenieros agrónomos, médicos veterinarios, genetistas, entre otras profesiones.

INTRODUCCIÓN

PRODUCCIÓN PORCINA EN ARGENTINA

La cadena porcina está conformada por dos eslabones determinantes: por un lado, se encuentran los productores primarios, responsables de la producción del animal en pie; y por otro, los establecimientos industriales, cuyas actividades centrales pueden subdividirse en: faena y producción de carne fresca, congelada o refrigerada; y transformación de la misma en chacinados y salazones.

Así, los productores primarios se nutren de insumos provistos por el sector agrícola (entre los que se destacan alimentos balanceados en base a maíz, soja y sorgo), mientras que los frigoríficos y mataderos tienen como insumo fundamental al animal en pie.

La Argentina presenta un total de 65.000 establecimientos porcinos –entre pequeños, medianos y grandes– que, en general, destinan su producción de carne para consumo y fabricación de elaborados (SENASA, 2015). La producción porcina se expande a todas las regiones del país gracias a los pequeños y medianos productores que crecen con asociativismo y que representan más del 90% de los establecimientos agropecuarios dedicados a esta actividad. Con más del 70% de los cerdos del país, la producción nacional se concentra en las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos.

Las proyecciones del sector para los próximos años son positivas tanto en lo que respecta a la exportación de productos elaborados como en el incremento del consumo interno. Este último se duplicó en los últimos diez años: de 5,8 kg por habitante en 2004 a 10,7 kg/habitante en 2014. En el Plan Estratégico Agroalimentario y Agroindustrial (PEA2) se proyecta un consumo de 12,9 kg/hab/año para el 2020, lo cual genera una visión positiva para el sector.

En lo que hace a los sistemas de producción, el sector vivió en los últimos años un proceso de transformación. Si bien los sistemas de pequeña y mediana escala (10 a 200 madres) son los que prevalecen en el país, se ha generado un importante aumento en el número de productores que a partir de estratos de 100 madres han confinado en parte o totalmente sus animales. También se ha observado en estos últimos años la instalación

de megaempresas altamente tecnificadas y con índices de eficiencia productiva equiparable a los sistemas más eficientes a nivel mundial.

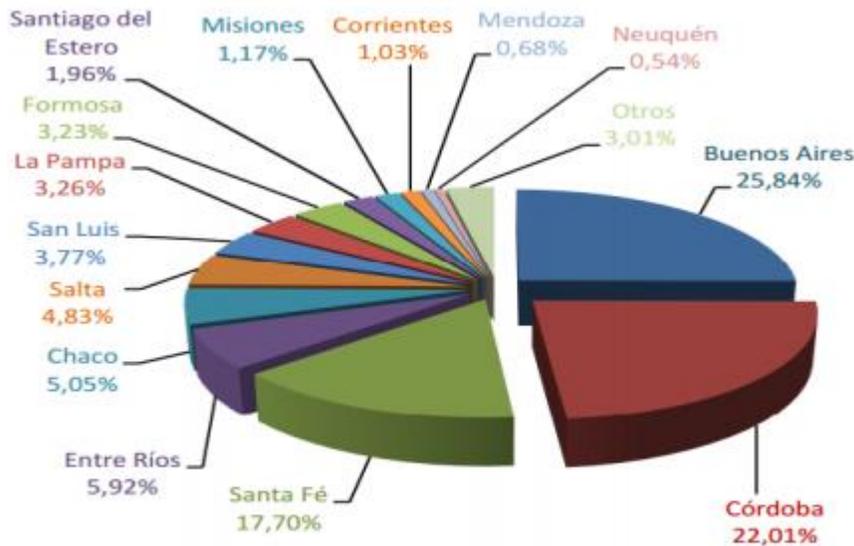


Gráfico 1- Distribución de la Producción porcina en Argentina-Área porcinos- Dirección de porcinos, Aves de granja y No tradicionales, con datos del SENASA.

PRODUCCIÓN PORCINA EN SANTA FE

Según Censo Nacional Agropecuario (CNA) del año 2002, la Provincia de Santa Fe cuenta con un total de 33.762 Establecimientos Agropecuarios (EAPs), de las cuales 1.962 (5.8%) tienen como actividad principal o secundaria la cría de porcinos. En 2007 se contabilizaron un total de 598.599 cabezas de porcinos, lo que equivale al 21,6 % del país.

La zona sur concentra el 64,5 % de los establecimientos porcinos con el 69.5 % de las cabezas totales. En el departamento Iriondo, en el cual se encuentra ubicado el establecimiento donde se desarrolló el presente trabajo se registraron un total de 29.640 cabezas totales distribuidas en 205 granjas. El siguiente mapa, muestra la distribución de cabeza en el territorio Santafesino.

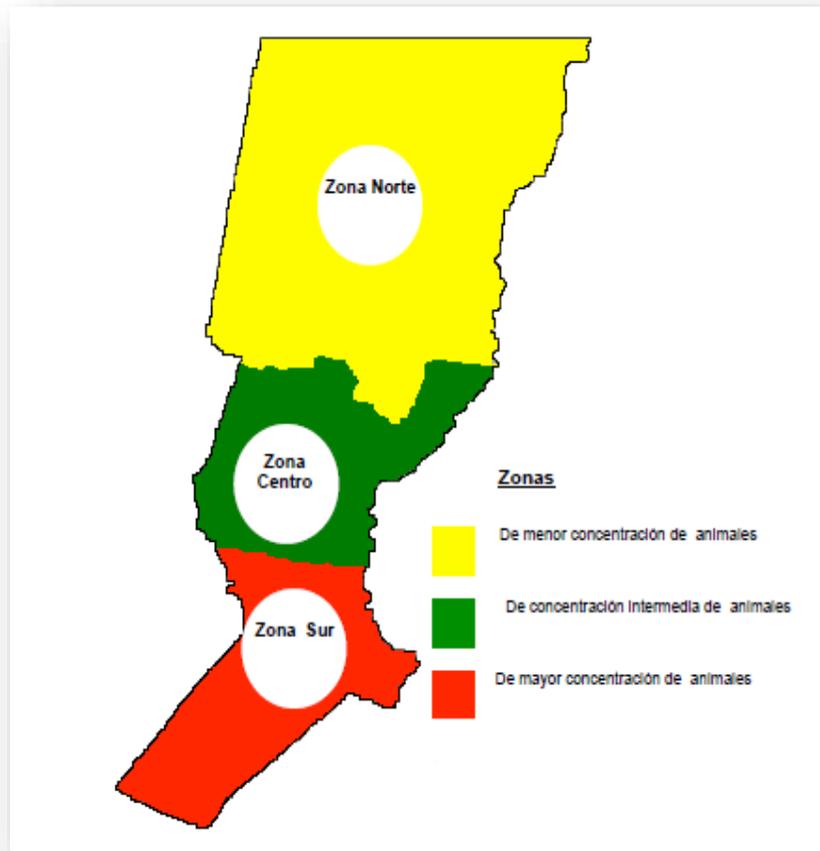


Figura 1. Distribución de granjas porcinas en la Provincia de Santa Fe

Es importante destacar que actualmente, la actividad porcina es complementaria de la agricultura, y que los nuevos emprendimientos (o bien aquellos productores que priorizan la actividad) apuestan a una mayor incorporación de tecnología en lo nutricional, genética, sanidad y gestión empresarial. Esto fomenta la expansión de nuevas actividades que aportan mano de obra directa e indirecta al sector.

SISTEMA DE PRODUCCIÓN

Los sistemas de producción se pueden clasificar en base al tipo de las instalaciones utilizadas que deben estar diseñadas de acuerdo al manejo que se esté dispuesto a hacer en cada sistema, que se distinguen a continuación:

A campo

Son sistemas donde los animales transitan todas las etapas de reproducción y cría en grandes superficies cuya carga animal es 10 cerdas/ha. Se caracteriza por una baja inversión, y costo de alimentación ya que el animal se encuentra alimentándose de pasturas y rastrojos en los lotes del campo. Las cerdas reproductoras pueden permanecer a la intemperie durante su período de gestación para luego instalarlas en un lugar cerrado durante el parto. Las instalaciones de estos sistemas deben permitir el fácil traslado (desarmables o móviles) para agilizar la rotación de las parcelas.

Además del bajo costo operativo y reducida inversión, este sistema cuenta con la ventaja de generar un menor impacto ambiental, el bienestar animal se encuentra favorecido, los lechones tienen mayor vitalidad al destete y se generan menos cantidad de roedores. Por otro lado las desventajas que presenta la cría a campo son una mayor mortandad de lechones recién nacidos, el tamaño de la explotación se encuentra limitado a un correcto control sanitario, y la demanda de energía por parte de los animales es mayor.

Confinamiento

Son sistemas donde existe una mayor densidad de animales por superficie. Cuando todas sus etapas se encuentran en ambiente controlado (naves, galpones o corrales) se lo considera de confinamiento total, mientras que cuando algunas de estas se realiza a campo el sistema se considera mixto.

Los sistemas confinados pueden clasificarse en dos tipos: abierto y cerrados. Los de tipo abierto son aquellos que están expuestos a las condiciones climáticas, siendo empleados generalmente para las categorías de gestación, desarrollo y engorde. Los de tipo cerrado pueden ser las maternidades y recrias, donde se utilizan generalmente sistemas de ventilación forzada y es imprescindible mantener aclimatado el lugar.

En Argentina existe la tecnología necesaria para la construcción de sistemas confinados de alto desempeño. Es fundamental considerar que el diseño de las instalaciones a

proyectar se deriva de la interacción entre el bienestar animal, cuidado medioambiental y, de los criterios económicos que se planteen en cada situación.

Las principales ventajas que presenta el confinamiento son: una mayor convertibilidad de proteína vegetal en proteína animal respecto al sistema a campo y no existe una limitante en el número animales que puede tener un establecimiento. Las desventajas son: alta inversión de capital para las estructuras del criadero, dependencia de los insumos (alimento y agua), elevada generación de efluentes proveniente de la limpieza de galpones y la necesidad de tratarlos para evitar un impacto adverso al ambiente.

El bienestar animal pasa a ser uno de los puntos críticos a tener en cuenta en cerdos en confinamiento, ya que deben conocerse y respetarse cifras de densidad animal, número de bocas por comedero y bebedero, calidad del aire, temperaturas, etc. cuyo control redunda en mayor inversión.

GENERACIÓN DE RESIDUOS Y EFLUENTES PORCINOS

Los residuos de las explotaciones ganaderas están constituidos por una parte seca, formada por el estiércol de los animales y restos de alimentos, y otra líquida que se denomina purín, que es una mezcla de deyecciones sólidas y líquidas de los animales; junto con el resto de ellos contiene remanentes de agua de los bebederos, agua de lavado (fosa).

En la siguiente imagen se observa la dinámica del proceso de convertibilidad de la proteína consumida, ya que tan solo el 33% es utilizado para la formación de tejido (carne) en el animal y el resto se elimina en forma de deyecciones (orina y heces), los porcentajes que se pueden observar son característicos de un cerdo (108 kg) en proceso de producción.

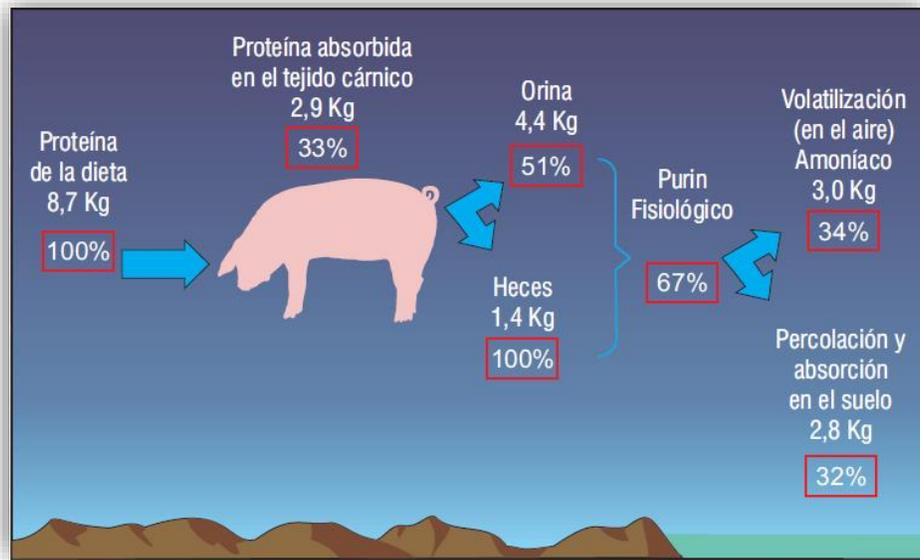


Figura 2. Distribución de las proteínas en sistema digestivo de los cerdos. Manual de buenas prácticas pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar. FAO-INTA, 2012.

Cabe destacar que la concentración de elementos que constituyen el purín y la generación por día del mismo son variables, dependiendo de diversos factores como: la raza, el estado fisiológico, la dieta suministrada, época del año, como así también la cantidad de agua utilizada para limpieza.

A continuación se puede observar el volumen de deyecciones (estiércol y orín) que se produce por animal de acuerdo a su etapa fisiológica.

Etapa productiva	Peso vivo (kg)	Volumen : l/día		% MS
		Intervalo	Media	
Lechones hasta 3 semana	5		1.0	10
Lechones destetados	12	1.5-2.5	2.0	10
Cerdos de engorde	50	4.0-9.0	7.0	6.0
Cerda con camada de 3 semanas	150		15.0	10

Tabla 1 – Volumen de deyecciones por etapa fisiológica. Manual de Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar. FAO-INTA, 2012.

En la siguiente tabla se muestran se muestran los valores orientativos de alguno de los parámetros más significativos de los purines de cerdos:

Parámetro	Concentración
Materia seca	5-7%
Demanda biológica de oxígeno (DBO)	15000 - 25000 mg/l
Demanda química de oxígeno (DQO)	35000 - 60000 mg/l
N amoniacal	3000-5000 mg/l
Sodio	1000-2000 mg/l
Fósforo	1000-3000 mg/l
Potasio	1000-3000 mg/l
Cobre	20-40 mg/l
Zinc	20-40 mg/l
Hierro	50-150 mg/l

Tabla 2 – Concentraciones de los efluentes generados por la actividad porcina. Manual de Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar. FAO-INTA, 2012.

El purín, es un material no estéril, generalmente básico y bastante salino. Posee cantidades importantes de hidratos de carbono, lípidos, aminoácidos, proteínas, urea y compuestos azufrados, así como contenidos elevados de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), Magnesio (Mg) y sodio (Na). También contiene nutrientes como hierro (Fe), cinc (Zn), cobre (Cu) y manganeso (Mn).

La cantidad de agua utilizada para la limpieza es uno de los factores responsables de la baja concentración de nutrientes. Dado que esto conlleva a concentraciones más diluidas de los contaminantes presentes en los efluentes generadas por las actividades porcinas.

HUELLA HÍDRICA

Las actividades humanas contaminan o consumen una gran cantidad de agua. A escala mundial, la mayoría del uso del agua se produce en la producción agrícola, pero también hay grandes volúmenes de agua consumida y contaminada en los sectores industriales y domésticos (WWAP, 2009). El consumo de agua y su contaminación pueden estar asociados a actividades específicas, tales como el riego, baño, lavado, la limpieza, refrigeración y otros procesos. El consumo total de agua y su contaminación son generalmente considerados como la suma de una multitud de actividades contaminantes del agua. Se ha prestado poca atención al hecho de que, al final, el consumo total de agua y su contaminación son una función directa de lo que consumen las comunidades al igual que de la estructura de la economía mundial que proporciona esos bienes de consumo y servicios diversos. Hasta hace muy poco tiempo, sólo existían unas cuantas nociones científicas sobre la práctica de la gestión del agua acerca del consumo de agua y su contaminación a lo largo de toda la producción y las cadenas de suministro. De ello se desprende que no haya mucha concientización sobre el hecho de que la organización y características de una cadena de producción y suministro, sean de gran influencia en los volúmenes (y la distribución temporal y espacial) del consumo de agua y su contaminación; y que puedan asociarse a un producto de consumo. Hoekstra y Chapagain (2008) han demostrado que la visualización del uso del agua utilizada en el procesamiento de los productos puede ayudar a una mejor comprensión del carácter global del agua dulce y la cuantificación de los efectos de consumo y el comercio en el uso de los recursos de agua.

El agua dulce se está convirtiendo en un recurso global, impulsado por el creciente comercio internacional de productos que requieren agua en abundancia. Aparte de los mercados regionales, también hay mercados mundiales de bienes intensivos en agua, como los productos agrícolas y ganaderos, las fibras naturales y la bioenergía.

Concepto Huella Hídrica

La huella hídrica es un indicador de uso de agua dulce que es palpable no sólo en el uso de agua directo de un consumidor o productor, sino también en su uso indirecto, puede

ser considerada como un indicador global de apropiación de los recursos de agua dulce, por encima de la medida tradicional y restringida de la extracción de agua. La huella hídrica de un producto es el volumen de agua utilizada para producir el producto, medidos a lo largo de la cadena de suministro. La huella hídrica es un indicador multidimensional, que muestra el volumen, al igual que hace explícito el tipo de uso del agua (uso consuntivo del agua de lluvia, aguas superficiales o subterráneas, o la contaminación del agua) y la ubicación y el periodo de uso del agua.

La huella hídrica muestra apropiación humana de los recursos mundiales de agua dulce limitados y por lo tanto proporciona una base para la discusión de la asignación del agua y las cuestiones que se relacionan con el uso del agua sostenible, equitativo y eficiente. Además, la huella hídrica forma una base para evaluar los impactos de bienes y servicios a nivel de cuenca y la formulación de estrategias para reducir esos impactos.

Clasificación Huella Hídrica Azul, Verde y Gris

HH. Azul: La huella hídrica azul se refiere al consumo de los recursos de agua azul (agua superficial y subterránea) a lo largo de la cadena de suministro de un producto. “El consumo” se refiere a la pérdida de agua de la masa de agua disponible del suelo de la superficie en un área de captación. Las pérdidas se producen cuando el agua se evapora, vuelve a otra zona de captación o al mar o se incorporan al producto.

HH. Verde: Se refiere al consumo de recursos de agua verdes (agua de lluvia que no se convierte en escorrentía sino que se incorpora en productos agrícolas).

HH. Gris: La huella hídrica gris se refiere a la contaminación y se define como el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes más allá de las concentraciones naturales del lugar y la calidad del agua.

La HH. Indirecta que engloba dentro de su evaluación a los tres tipos de huella mencionados con anterioridad; se refiere al volumen de agua incorporada o contaminada en toda la cadena de producción de un producto.

PLANTEO DEL PROBLEMA

El agua es un recurso imprescindible para la vida. La necesitan tanto los animales y las plantas silvestres, como la agricultura, la ganadería y la industria. Si bien la superficie de la Tierra está cubierta en un 71% por agua, alrededor del 97% de ella es salada y se encuentra principalmente en los océanos y mares. Del 3% representado por el agua dulce, solo el 1% se encuentra en estado líquido; el 2% restante corresponde al hielo de los casquetes polares (Groenlandia y la Antártida), y las aguas subterráneas.

Si bien el agua dulce es un recurso renovable, no significa que su disponibilidad es ilimitada. En un determinado período, las precipitaciones se limitan siempre a una cierta cantidad. Lo mismo ocurre con la cantidad de agua que recarga las reservas de aguas subterráneas y que fluye a través de un río. El agua de lluvia se puede utilizar en la producción agrícola, y el agua en los ríos y acuíferos se pueden utilizar para el riego o para fines industriales o domésticos. Pero no podemos usar más agua que la que está disponible. No se puede extraer más allá del límite de un río en un determinado período y a largo plazo no se puede sacar más agua de los lagos y de los embalses de agua subterránea que la tasa con la que se recargan.

Antecedentes de estudios realizados de evaluación de Huella Hídrica en sistemas de producción agrícola han mostrado que la huella de agua azul y gris de productos de origen animal son los valores más altos para los sistemas industriales (con una excepción para los productos de pollo). La huella hídrica de cualquier producto de origen animal es mayor que la huella hídrica de productos con valor nutricional equivalente. Finalmente, el 29% de la huella hídrica total del sector agrícola en el mundo se relaciona con la producción de productos de origen animal; una tercera parte de la huella hídrica mundial de producción animal se relaciona con ganado de carne. La producción mundial de carne casi se ha duplicado en el periodo 1980 – 2004 (FAO 2005) y esta tendencia seguirá en aumento dado la duplicación prevista para el periodo 2000 – 2050 (Steinfeld y otros 2006). Tanto el consumo, como la producción animal juegan un papel importante en el agotamiento y contaminación de recursos escasos de agua dulce del mundo. Toda información sobre la huella hídrica de los productos de origen animal nos ayudará a comprender cómo podemos utilizar sosteniblemente los recursos escasos de agua dulce.

El sector agrario es el que demanda o utiliza la mayor cantidad de agua, ya que absorbe el 79.4% del uso consuntivo total, desagregado en 70.6% para las actividades agrícolas (riego) y 8.8% para las pecuarias. Otros sectores importantes, que representan el consumo poblacional e industrial, registran porcentajes muchos menores. El agua subterránea representa el 30% del abastecimiento para usos consuntivos, siendo especialmente importante para las actividades pecuarias e industriales.³

Sumado a lo descripto anteriormente, la zona que abarca el estudio en cuestión es donde prevalece mayoritariamente la actividad pecuaria de la provincia. Cabe destacar que existe legislación aplicable a estas actividades como ser:

-  Ley 11.717 de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable.
-  Decreto 101/03 de Impacto Ambiental.
-  Resolución 1089/82 Efluentes líquidos.

No obstante es necesaria una mayor incentivación al sector para el cumplimiento de las mismas a través de mecanismos de difusión de estas leyes y la asistencia pública y privada para enmarcarse dentro de las mismas.

Visto que es necesario realizar un manejo adecuado del recurso agua en los establecimientos agropecuarios y que existe un marco legal aplicable a los mismos realizar una gestión eficiente de la Huella Hídrica es uno de los retos más importantes para su sostenibilidad.

³Informe Nacional Sobre La Gestión del Agua En Argentina. Elaborado en base al documento "Informe sobre la Gestión del Agua en la República Argentina", preparado por los señores Alberto Calcagno, Nora Mendbuero y Marcelo Gaviño Novillo, para el Proyecto World Water Vision, en Enero 2000.

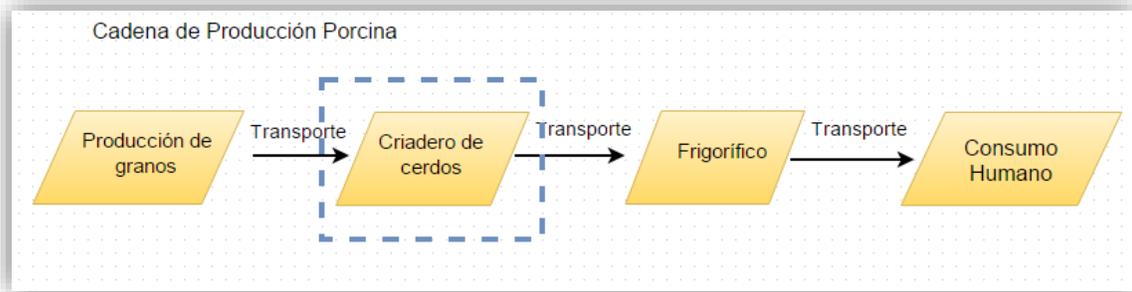


Figura 3. Diagrama de bloques de los sistemas de producción de carne de cerdo.

El periodo de estudio del presente trabajo es desde septiembre-noviembre. En estos meses se puede observar que las condiciones climáticas son moderadas, para un consumo medio de agua del criadero.

Por lo dicho anteriormente las limitaciones del presente estudio son evaluar dentro de toda la cadena de la producción porcina, solo su ciclo en el criadero.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Obtener datos que contribuyan al cálculo de la Huella Hídrica en un criadero intensivo de cerdos ubicado en la zona rural de Oliveros, provincia de Santa Fe.

OBJETIVO ESPECÍFICO:

-  Cuantificar el uso de agua para el lavado de las instalaciones en las distintas etapas del sistema de producción.
-  Llevar a cabo un monitoreo cualitativo in situ de los efluentes generados por la actividad.
-  Estimar el agua consumida por los cerdos en sus distintas etapas y requerida por los cultivos utilizados en la alimentación.
-  Formular una propuesta desde la Ingeniería Ambiental para optimizar el uso del agua en los sistemas de cría intensiva de cerdos.

METODOLOGÍA

SELECCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

Para seleccionar el sitio en el cual se lleva a cabo el presente trabajo, se consideraron ciertos criterios que en una primera instancia fueron reconocidos como factores importantes en base a la demanda de agua en el sistema productivo.

- 💧 Confinamiento. ¿Qué grado de intensificación tiene el productor?
- 💧 Producción de alimento. ¿Se provee de su propio alimento?
- 💧 Desarrollo de la actividad agrícola. ¿Qué otras actividades agrícolas realiza?
¿Cómo se vinculan estas con la producción porcina?
- 💧 Generación de efluentes. ¿Dónde dispone sus líquidos residuales?

Considerando que la zona rural de las localidades Oliveros, Carrizales, Díaz, Maciel y Gaboto hay productores que integran la actividad agrícola con la porcina, previo a la selección del campo en estudio se realizaron visitas a cuatro establecimientos agropecuarios.

El primer establecimiento visitado se encuentra cercano a la localidad de Díaz, cuenta con 120 madres, el sistema de producción es mixto, confinamiento de las etapas de recría y engorde, teniendo a campo las etapas restantes. El productor tiene la particularidad de fabricar su propio alimento y en miras de llevar la etapa de engorde a cama profunda. Los efluentes que se producen en el establecimiento son derivados mediante una canaleta a un conducto pluvial abierto (zanja).

El segundo establecimiento se encuentra ubicado en Carrizales. El mismo se caracteriza por tener la mayoría de sus etapas en sistema a campo menos la de engorde que se encuentra confinada. Cuenta con 70 madres, y parte del alimento que el criadero demanda es producido en el mismo campo. Los efluentes generados en la etapa de engorde son derivados a una cava aledaña al mismo.

El tercer establecimiento se encuentra ubicado en Gaboto. Todas las etapas se encuentran confinadas, cuenta con 105 madres, no se fabrica el alimento en este establecimiento ya que el productor sólo se dedica a la actividad porcina. No cuenta con

superficies cultivables en este lugar. Los efluentes generados son volcados directamente al río Carcarañá.

El cuarto productor se encuentran en Oliveros. Cuenta con un total de 151 madres, con todas sus etapas en confinamiento. El alimento consumido por los cerdos es producido en el mismo campo. Los efluentes generados son derivados a una cava. Al intensificar todas sus etapas esto demandaría un mayor volumen de agua. Por otro lado el productor combina la producción porcina con la agrícola, donde parte de la misma es utilizada como alimento para los animales. En cuanto a los efluentes, el productor mostró interés en revertir su situación actual dando un uso a las corrientes generadas. En base a lo descrito anteriormente se seleccionó como campo de estudio el productor de Oliveros.

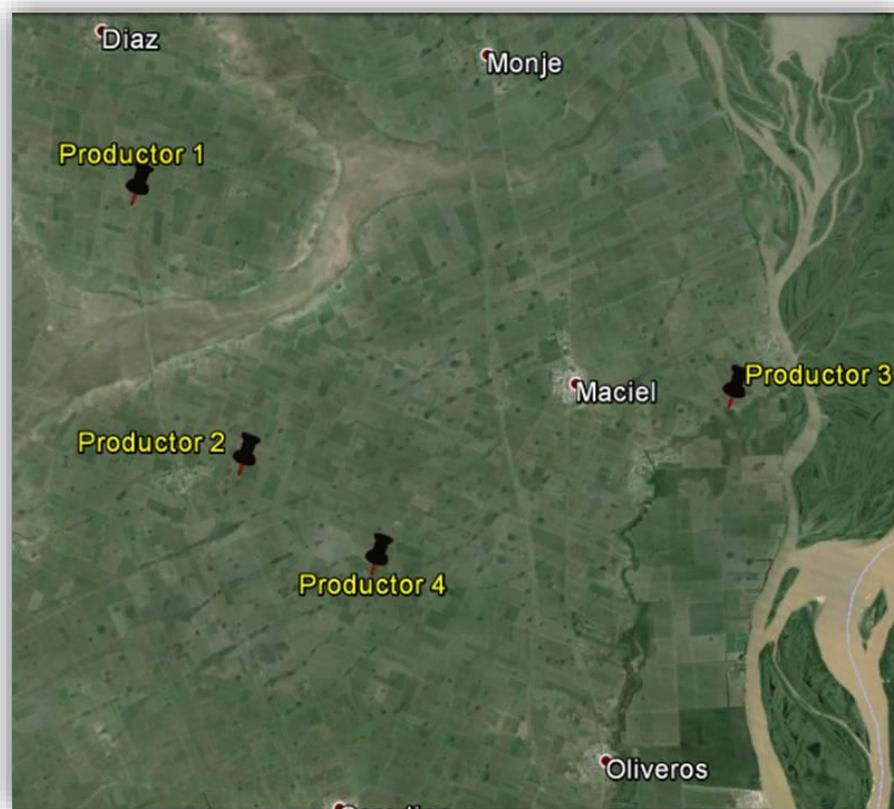


Figura 4. Ubicación de los criaderos de cerdos visitados en la Zona Rural de Oliveros, Maciel, Carrizales y Díaz.

	Grado de confinamiento	Produce su alimento	Combina actividad porcina con agrícola	Problema con los efluentes
Productor 1	Medio	SI	SI	Medio
Productor 2	Bajo	En parte	SI	Medio
Productor 3	Alto	NO	NO	Alto
Productor 4	Alto	SI	SI	Alto

Tabla 3 – Resumen de los productores visitados y los distintos criterios llevados a cabo para seleccionar el caso de estudio

CARACTERIZACIÓN DEL ESTABLECIMIENTO AGROPECUARIO

El establecimiento agropecuario abarca 154 hectáreas, de las cuales 2,5 hectáreas están destinadas a la cría de cerdos. También se desarrollan otras actividades como ser feedlot, con 1,5 hectáreas, teniendo un total de 60-300 Vacunos en engorde dispuestos en dos corrales en paralelo, estos animales son alimentados en base a maíz. Como actividad complementaria se realiza la cría de cordero a campo.

En cuanto a la producción agrícola el productor cuenta con 150 hectáreas de las cuales un 60% de la superficie es destinado a producción de soja y el 40% es destinado al maíz.

El criadero cuenta con total de 1635 animales (151 madres, 4 padrillos, 720 lechones destetados, 220 cerdos en lactancia y 540 cerdos en engorde).

En la etapa de gestación se encuentran las cerdas madres las cuales son inseminadas artificialmente por bandas de 11 cerdas. Cada banda permanece en el corral de gestación durante 3 meses, 3 semanas y 3 días. Posee un total de 124 jaulas individuales. Cumplido este periodo las cerdas inseminadas pasan al galpón de maternidad.

En el galpón de maternidad existe un total de 22 jaulas, dispuestas en dos hileras, cada una dispone de una lámpara de calor, agua y alimento sin discreción. Permanecen allí hasta 21 días, luego la madre vuelve a gestación y los lechones pasan a recría.

Una vez allí los lechones se encuentran en grupos de entre 40-50 animales por corral, existiendo un total de 16 corrales con suministro de agua y alimento a discreción en todo

el galpón. Cuando alcanzan los 30 kilogramos pasan al corral de engorde donde se alojan hasta alcanzar los 110 kilogramos para despacho a frigorífico.



Figura 5. Galpón de Gestación.



Figura 6. Cerda en galpón de Maternidad.

Si bien los cerdos son alimentados a base de soja y maíz, cada una de las etapas requiere de un suministro de complemento balanceado apropiado para cada etapa.

En cuanto a las razas, los animales existentes en el criadero pertenecen a las siguientes:

- Madres: Son de la raza *Landrance*, que se destaca por englobar animales de buen comportamiento que responden satisfactoriamente ante condiciones adversas. Presentan buena ganancia media diaria en peso y conversión alimentaría, con bajo nivel de engrasamiento, considerándose por ello una raza de tipo magro. Padrillos: de la raza *Yorkshire*, originaria de Inglaterra. Su cuerpo es largo, ancho y profundo con apariencia maciza. Son totalmente blancos, sin manchas con orejas erectas. Tiene buena rusticidad, su carácter es prolífero y buena aptitud lechera y materna.

El criadero consta de cuatro galpones, uno por etapa. El galpón de gestación, recría y maternidad dispone de un sistema con pisos con rejilla (conocido como full-slats), donde las heces generadas por los animales pasan a través de la ranura almacenándose temporariamente en la fosa debajo de los mismos. Esta fosa se vacía semanalmente en el galpón de maternidad, y quincenalmente en el galpón de gestación y recría.

El engorde se realiza en piso de cemento donde las heces son removidas a través del lavado de los corrales. El purín es conducido a una canaleta donde circula el efluente hasta una cámara de inspección que intercepta con el conducto que va directo a la cava donde se disponen los mismos.

El abastecimiento de agua en el criadero es de origen subterráneo, la misma se extrae por medio de un molino. Cabe destacar que también se extrae agua mediante una bomba que alimenta a la casa de campo.



Figura 7. Imagen satelital del establecimiento agropecuario.



Figura 8. Pisos con rejilla. Galpones de recría.



Figura 9. Piso de cemento. Galpón de Engorde.



Figura 10. Cava donde se disponen los efluentes líquidos generados en el sistema de producción.

Climatología del lugar

El clima es templado y cálido. Hay precipitaciones durante todo el año. Hasta el mes más seco aún tiene mucha lluvia. La temperatura media anual se encuentra a 17.5 °C. La precipitación es de 999mm al año.

Climograma

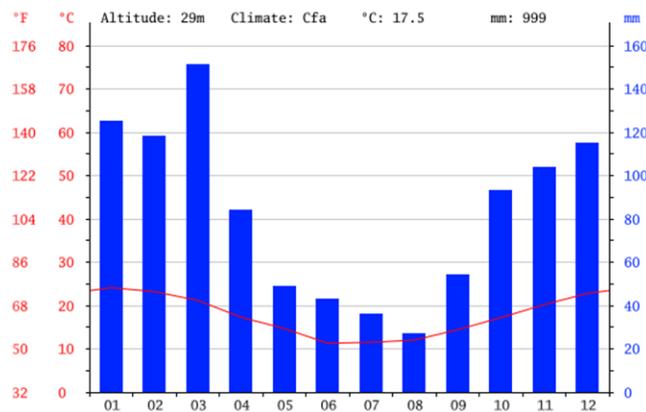


Gráfico 2. Distribución de precipitaciones según mes del año.

El mes más seco es agosto, con 27 mm., mientras que Marzo tiene las mayores precipitaciones del año, 151 mm.

La diferencia en la precipitación entre el mes más seco y el mes más lluvioso es de 124mm. Las temperaturas medias varían durante el año en un 12.8 °C.

RELEVAMIENTO DE DATOS

La Metodología llevada a cabo para relevar la Huella Hídrica es la desarrollada por Hoekstra y Chapagain (2008).

Datos requeridos para el cálculo de la huella azul

La Huella Hídrica Azul de todo el proceso se calculó según la metodología mencionada anteriormente de la siguiente manera:

$$HHA = \text{Agua consumo} + \text{Agua de lavado} + \text{Agua de retorno}$$

Consideramos que el agua tanto de consumo como de lavado son directas, y que si bien existe un factor importante denominado flujo de retorno (el volumen de agua que retorna a un curso de agua superficial o subterráneo) no lo consideramos debido a que no retorna a ningún curso superficial por no contener ninguno cerca del criadero. No obstante, este lixivia a través del terreno hasta el agua subterránea, pero su volumen es considerado ínfimo, debido a la profundidad que se encuentra la napa, el tiempo de infiltración y a la gran reserva del acuífero.

Por lo que la ecuación quedaría:

$$HHA = \text{Agua consumo} + \text{Agua de lavado}$$

Estimación del agua de consumo

Se utilizaron para este fin datos propios del criadero, provistos por el veterinario a cargo del mismo. Estos son los siguientes:

-  Gestación: 9-18 litros/día (caudal 2litros/minuto).
-  Maternidad: 18-36 litros/día (caudal 2litros/minutos)
-  Destete: 1litro/día (caudal 1 litro/minuto)
-  Engorde 9 litros/día (caudal 1,7 litros/minuto)

Estimación del agua de lavado

En una primera instancia se midieron las fosas de los respectivos galpones. Para tal fin, se utilizó una cinta métrica de 50 metros y se procedió a calcular la capacidad de las fosas. Vista las dimensiones de los galpones, se relevaron la cantidad de animales existentes en cada uno de ellos, la periodicidad de limpieza y los conductos por los cuales son evacuados los efluentes. Las fosas se consideraron como un prisma rectangular, definiendo su volumen a través de la siguiente fórmula:

$$V = A \times B \times C$$

Siendo: A = largo (mts.)

B = ancho (mts)

C = Profundidad (mts), considerada como el nivel de agua al momento del vaciado de la fosa.

En las etapas de gestación, destete y maternidad, al presentar un sistema full-slat se calculó el volumen de agua dispuesto en la fosa después del vaciado de la misma, considerada como agua de lavado. La misma se determinó de la siguiente manera:

$$\text{Vol. de agua de lavado} = \sum(\text{Vol. de agua antes del vaciado de la fosa} - \text{Vol. de purín})$$

- ✿ Volumen de agua antes del vaciado: es el volumen de agua a fosa llena (agua + purín) de cada etapa; para obtener dicho volumen se realizaron mediciones del nivel de agua en la fosa.
- ✿ Volumen de purín: es la cantidad de purín generado por los cerdos que se disponen en la fosa.

Cabe destacar que las mediciones del nivel de agua en la fosa fueron realizadas con una varilla de madera de 1,6 m de alto, 1cm de espesor y 5 cm de ancho, a la cual se le inscribió el sistema de medida CGS; como se muestra a continuación:



Figura 11. Regla utilizada para medir el nivel de agua de la fosa.

El volumen de purín generado por cerdo en cada etapa del mismo se obtuvo del producto de la cantidad diaria de purín en cada etapa fisiológica, la cantidad de animales existentes en cada galpón y el período de permanencia en la fosa antes de ser vaciada. Nota que en la etapa de gestación, del volumen de purín total generado se consideró en un 50% del total, debido a que una cantidad del mismo es extraído por barrido. Esto pudo ser observado en las visitas realizadas al criadero.

Etapas	Volumen de purín por animal (m³/ día)
Gestación	0,0045
Maternidad	0,015
Destete	0,002

Tabla 4 – Generación de purín en las distintas etapas fisiológicas en cerdos.

La etapa de engorde cuenta con doce corrales de piso hormigonado con leve pendiente hacia una única canaleta abierta. Los corrales se lavan manualmente mediante manguera, que se conecta a cuatro conductos de provisión de agua. La canilla número 1 es la que se encuentra más alejado de la cámara de recolección de efluentes. Es una práctica habitual dejar correr el agua para que circule por la canaleta, para su limpieza y como agua de bebida del animal. La canilla número 4 (aledaña a la cámara de efluentes), suele dejarse abierta durante un determinado período de tiempo para facilitar la circulación del efluente a través del conducto hacia la cava, Las canillas 2 y 3 solo se usan para el lavado de los corrales.

Para conocer la cantidad de agua que se utiliza en el lavado se instalaron caudalímetros en las cañerías utilizadas para el lavado de los corrales. Para su instalación, se interrumpió el paso de agua, se cortó parte de la cañería superior de la canilla para luego realizar sobre el ducto una rosca por medio de una terraja. Para conectar este a la canilla se lo unió por medio de un codo.



Figura 12. Vista de los caudalímetros colocados en las cañerías de lavado del galpón de engorde.

Como cada medidor cuenta con un registro mecánico, esto permitió relevar los datos arrojados con una periodicidad semanal, en los meses septiembre-noviembre.

Datos requeridos para el cálculo de la huella verde

La huella hídrica verde es el volumen de agua de lluvia consumida durante un proceso de producción.

El productor cuenta con 150 hectáreas destinadas a la producción agropecuaria, de las cuales 60 hectáreas dedica a maíz y 90 hectáreas a soja.

Para cuantificar la demanda de agua de estos cultivos es necesario considerar la cantidad de alimento que consume el cerdo en cada etapa, y los requerimientos hídricos de los cultivos en la zona donde se encuentra radicado el productor. Los datos que se utilizaron para estimar la huella hídrica verde son los siguientes:

Ración del alimento según la etapa del cerdo

Inicialmente, se determinó la cantidad (kg) de alimento que ingiere el animal diariamente según su etapa, en función de la misma se estableció el porcentaje de maíz y de soja que conforman el alimento, obteniendo la cantidad de ambos cultivos que se requieren diariamente para abastecer todo el criadero.

Etapa	KG/DÍA	%MAIZ	Kg maíz animal/día	%SOJA	Kg soja animal/día
GESTACION	3	0,7	2,1	0,3	0,9
MATERNIDAD	6,5	0,7	4,55	0,3	1,95
DESTETE	1,5	0,58	0,87	0,33	0,495
ENGORDE	3	0,72	2,16	0,25	0,75

Tabla 5 – Demanda de alimento por etapa fisiológica de los cerdos.

Consumo hídrico para la producción de los cultivos.

El consumo hídrico es definido como el resultado de la sumatoria de, la evapotranspiración diaria (ETP) multiplicada por el coeficiente de cada cultivo (Kc soja y Kc maíz) determinados para un ciclo de cultivo.

Los valores del consumo hídrico y el ciclo de cultivo para el cual se determinó el consumo fueron provistos por la sección de Dinámica del Agua, de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA Oliveros, y se muestran a continuación:

- Soja de Primera, sembrada en los primeros días de noviembre y madurez fisiológica para los primeros días de marzo: 540 mm
- Maíz de primera, sembrado en los primeros días de octubre, y madurez fisiológica para los primeros días de febrero: 537 mm

En Madurez fisiológica se detiene el consumo de agua por parte del cultivo. La unidad de medida de los valores es en milímetros de agua / m^2 , las mismas serán expresadas en m^3/m^2

Los valores expresados anteriormente son considerados para un período de producción de un año.

Consumo hídrico directo en la producción porcina

Los granos ingeridos como alimento por parte de los animales contienen un porcentaje de humedad, que debe considerarse a la hora del cálculo de la huella verde. Dicha humedad adopta un valor de 14% de la demanda de alimento del criadero, considerándose ésta última como la huella hídrica directa. Este porcentaje de humedad es condición necesaria para almacenarlo en silo, caso se humedece dentro del mismo y pierde calidad.⁴

Debido a que no toda el agua que demanda el cultivo(huella hídrica indirecta), queda almacenada en el grano sino que gran parte permanece en la planta, se pierde por evapotranspiración, o infiltración se puede decir que se toma como un consumo directo el porcentaje de humedad almacenado en el grano, que es ingerido como alimento por los animales.

El volumen de agua obtenido a partir de la humedad es un factor que impacta directamente en la evaluación de la Huella Hídrica Total.

⁴ <http://www.cosechaypostcosecha.org/data/articulos/postcosecha/AlmacenamientoSoja.asp>.

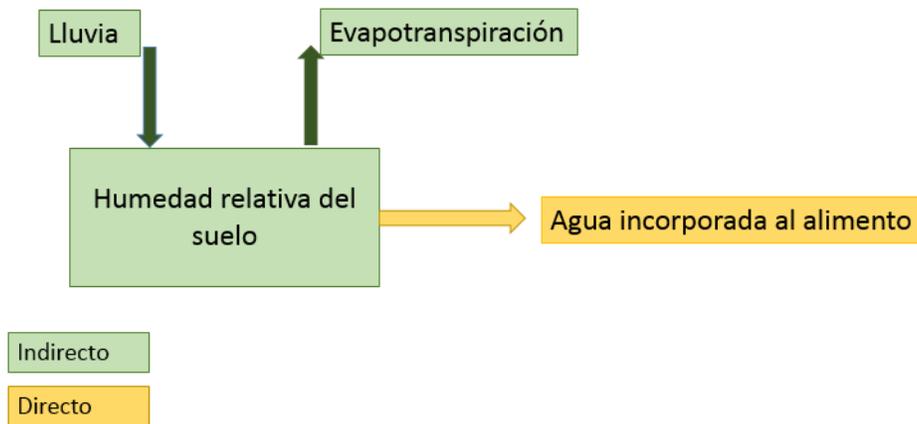


Gráfico 3. Balance Hídrico de los cultivos.

Rendimiento para el cultivo de maíz y soja.

Se toman los datos propiciados por el mismo productor, que corresponden a los promedios de campañas de los últimos 10 años.

- Rendimiento del maíz 10 Ton/Ha. Equivalente a 1 kg/m²
- Rendimiento de soja 4 Ton/Ha. Equivalente a 0.4 kg/m²

Datos requeridos para el cálculo de la huella Gris

Para determinar la Huella gris, de acuerdo a la metodología de referencia, se calcula dividiendo la carga contaminante (L) por la diferencia entre el estándar de calidad de agua de este contaminante (C_{MAX} , la concentración máxima aceptable) y su concentración natural en el cuerpo receptor (C_{nat}). La concentración natural es la concentración en el cuerpo de agua que se produciría si no hubiera perturbaciones humanas en la cuenca. Para las sustancias artificiales que, naturalmente, no se producen en el agua, $C_{nat} = 0$. Cuando las concentraciones naturales no se conocen con precisión pero se estiman ser bajas, por simplicidad se puede suponer $C_{nat} = 0$.

$$HHG = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}}$$

Indica la gravedad de la contaminación del agua, expresada en términos del volumen de agua dulce necesaria para asimilar la carga de contaminantes existentes.

Para obtener la carga contaminante existente se realizó un muestreo de la cantidad de

efluentes generados en cada una de las etapas y de las características fisicoquímicas de los mismos.

La generación de efluentes en el sistema de producción es discontinua, ya que solo se producen corrientes líquidas en las operaciones de limpieza. No obstante, se pudo observar que, en ciertas oportunidades, las fosas quedan llenas, y al superar el nivel, hay una corriente mínima que se dirige hacia la cava.

Lo relevado en bibliografía de referencia, los efluentes generados por las explotaciones porcinas cuentan con una fase correspondiente a los sólidos sedimentables, y un sobrenadante, con alto contenido de sólidos suspendidos. Considerando que para llevar a cabo un tratamiento adecuado de estos será necesario separar esta fase sólida y darle un uso apropiado a la misma, se analizaron por separado las características de estas dos corrientes;

- Parámetros determinados sobre la fase líquida: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos suspendidos volátiles (SSV), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Nitrógeno Total (N_t)
- Parámetros determinados sobre la fase sólida: Nitratos (NO_3), Nitrógeno Total (N_t), Fósforo Total (Pt)

Considerando que la generación de efluente se da en forma discontinua (durante el lavado de corrales y/o lavado de fosas) se busca tomar una muestra compuesta de manera que sea representativa. Esto implica la colecta de una serie de muestras individuales, recogidas en un mismo punto en distintos momentos. Para ello es necesario contar con un recipiente de un volumen tal que permita almacenar temporalmente las muestras individuales.

Por este motivo se llevó a cabo la construcción de un colector de 60 litros al cual se le añadieron dos canillas a distintas alturas en un mismo eje vertical, una de ellas ubicada en la parte inferior (para obtener una muestra representativa de la fase sólida; y la canilla restante en la zona media superior (para tomar la muestra puntual de la fase líquida). En el ANEXO II se puede observar los pasos para construir el mismo.



Figura 13. Vista del colector de efluentes terminado.

Al momento de realizarse la descarga de los efluentes, con un recipiente de 5 litros de capacidad se iba llenando el colector, tomando las muestras en relación al tiempo total del vaciado de la fosa o lavado de las pistas. Una vez llenado este recipiente, se agita el mismo y se toma 1 litro de muestra que es colocado en el CONO IMOHFF, a fin de determinar el contenido de Sólidos Sedimentables durante 2 horas.

Finalizado este período, se toma el valor del pH mediante pHmetro portátil ALTRONIX modelo TPA-V, y se registra el volumen de sólidos decantados, junto con la temperatura de la muestra. Luego se procede a tomar la muestra de la fase líquida, abriendo la válvula superior, llenando una cuarta parte de una botella de 1 litro color caramelo. Se agita la botella y se descarta el líquido. Esta operación se repite 2 veces, hasta que por último se completa la botella en su totalidad, sin dejar burbujas de aire.

Para la muestra de la fase sólida se lleva adelante el mismo procedimiento, sólo que la muestra se toma abriendo la válvula inferior del colector.

Las muestras son enviadas al laboratorio en el mismo día de su extracción. En cuanto a la cronología de la toma de muestras, estas fueron programadas en conjunto con el encargado del criadero para coordinar los días de vaciado de fosas, siempre por la

mañana, de manera que inmediatamente puedan ser llevados al laboratorio. A continuación se detallan los días en que se muestrearon cada una de las etapas.

Gestación	• Muestreo: 9/09/15
Destete	• Muestreo: 15/09/15
Maternidad	• Muestreo: 21/09/15
Engorde	• Muestreo: 29/09/15

Las técnicas utilizadas para el análisis de los parámetros se detallan a continuación:

Matriz líquida:

- **DBO₅**: ASTM⁵ D 1252-78
- **DQO**: S.M.⁶ 5210 B
- **SST**: S.M. 2540 D
- **SSV**: S.M. 2540 D/E
- **Nitrógeno Amoniacal**: SM 4500-NH₃
- **Nitrógeno total**: SM 4500- NH₃/N_{ORG}

Matriz Sólida:

- **Nitrógeno Total**: SM 4500- NH₃/N_{ORG}
- **Nitrógeno Amoniacal**: SM 4500- NH₃
- **Fósforo Total**: SM 4500-P D
- **Nitratos**: OSN-N^o 47⁷

⁵ ASTM, American Stándard Testing Materials;

⁶ S.M. Standard Methods.

⁷ OSN, Obras Sanitarias de la Nación.

Una vez obtenido los resultados de laboratorio, seleccionamos la DBO_5 como parámetro para su cálculo. Debido a que es un indicador de la cantidad de materia orgánica biodegradable, se considera como una variable crítica a la hora de evaluar la gestión de la Huella Hídrica.

La carga orgánica del efluente, resulta del producto entre el volumen de efluente, (fase líquida) y la concentración de DBO_5 obtenida en laboratorio, dividido la concentración establecida por la Resolución Provincial N°1089/82 Reglamento para el control de vertimiento de líquidos residuales a campo de drenaje.

Parámetros de vuelco que exige la resolución:

Ph: 5,5-10

DBO_5 : < 200mg/lit

DQO: < 350 mg/lit

Sulfuro <1mg/lit

Sólidos sedimentables en 2 horas: < 1ml/lit

Temperatura: no se exige la corrección de este parámetro en el efluente.

Diagrama de flujos de agua en el criadero.

En el siguiente diagrama se resumen los diferentes flujos de agua en el criadero, pudiéndose observar el agua azul considerada como agua de consumo para bebida de los animales, más el agua destinada al lavado; el agua gris representada por los efluente generados en cada etapa y finalmente el agua verde que en forma de agua indirecta es consumida por el animal a través del alimento.

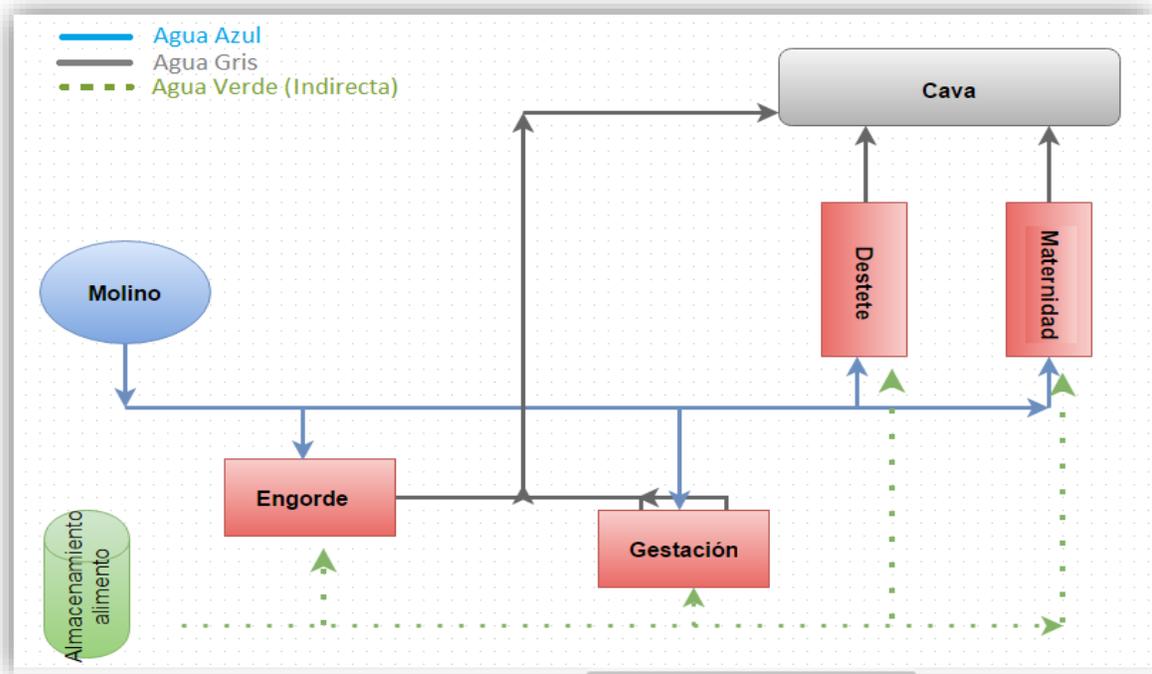


Figura 14. Diagrama de flujo de las corrientes de agua en el criadero.

Los puntos de monitoreo se detallan en el siguiente croquis.

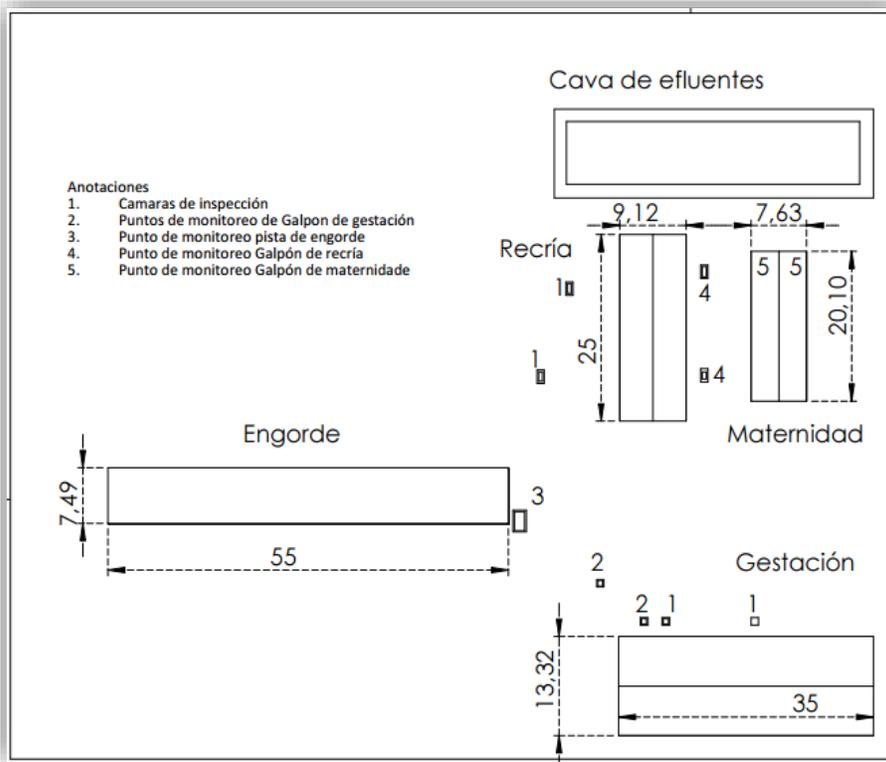
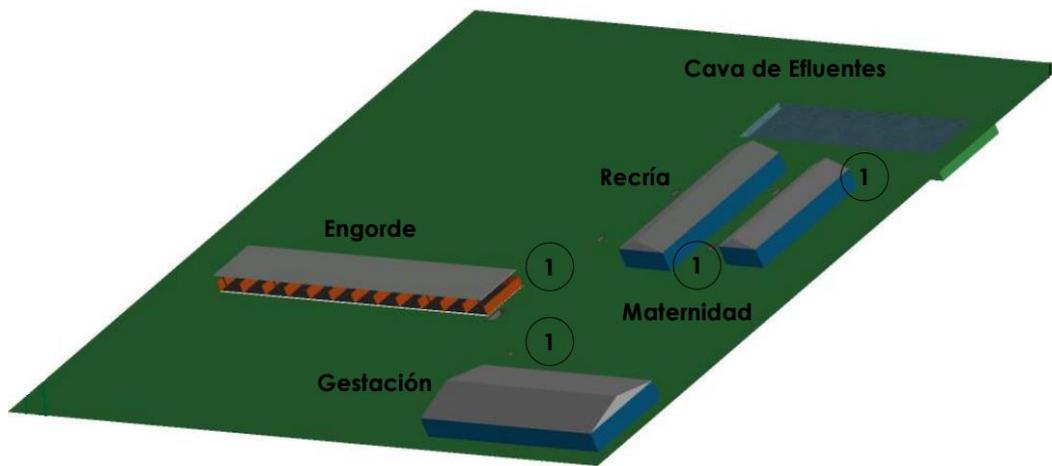


Figura 15. Identificación de los puntos de muestreo en las distintas etapas.



RESULTADOS

HUELLA AZUL

Volumen de agua de bebida

En base al número de animales por etapa y al consumo del mismo se obtuvo el consumo total por día del criadero.

$$N^{\circ} \text{ de animales} \times \text{Consumo lt} \times \text{animal/día} = \text{litros/día}$$

	Maternida d	Gestación			Destete	Engord e
		Madres en gestación	Madres en reposición	Padrillos		
Cantidad de animales	22	122	29	4	560	480
Consumo litros por animal/día	27	12	9	12,5	1	9
Consumo litros por día	594	1464	261	50	560	4320
Total (lt/día)	7249					

Tabla 6. Consumo de agua de los animales según etapa de producción.

Volumen de agua para bebida: 7,25 m³ /día

Volumen de agua de lavado

Para cuantificar el consumo de agua de lavado, a partir del sistema utilizado según cada etapa, se aplicaron dos metodologías distintas. En el caso de los galpones de gestación, maternidad y destete, se mide el nivel de la fosa previo a su vaciado. Para los corrales de engorde, se realiza la diferencia entre el valor medido de los caudalímetros entre las fechas que se tomaron los datos.

Gestación, Maternidad y destete

Dado que estas tres etapas presentan un sistema full-slat se procedió al cálculo del agua de lavado de la siguiente manera:

$$\text{Purín generado por fosa} = \text{purín animal/día} \times \text{cantidad de animales/etapa}$$

Etapa		Volumen de purín animal (m ³ /día)	Cantidad de animales	Volumen de purín (m ³ /día)
Gestación	Fosa 1 (cerdas en gestación)	0,0045	122	0,55
	Fosa 2 (cerdas en reposición)	0,0045	29	0,13
	Fosa 3 (padrillo)	0,0045	4	0,02
Total Gestación				0,35
Maternidad	cerdas madres	0,015	22	0,33
Destete	Lechones	0,002	560	1,12

Tabla 7. Volumen generado de Purín por día de los animales según etapa de producción.

$$\text{Volumen de la fosa} = (\text{Nivel de agua} \times \text{longitud} \times \text{ancho})/15\text{días}$$

			Nivel de agua (m)/15 días	Longitud (m)	Ancho (m)	Volumen (m3)/día
Gestación	sala 1	Fosa 1	0,08	18,1	2,6	0,25
			0,147	18,1	2,6	0,46
		Fosa 2	0,11	11,7	1,9	0,16
	Sal a 2		0,06	11,57	2,08	0,10
Total						0,97
Maternidad		Fosa 1	0,095	13	2,36	0,19
		Fosa 2	0,165	13	2,36	0,34
Total						0,53
Destete		Fosa Individual	0,17	7,8	2,6	0,23
Total						1,839

Tabla 8. Volumen de la fosa según etapa.

Etapa	Capacidad de la fosa(purín + agua)m3/día	Volumen de purín m3/día	Volumen de agua agregado m3/día
Gestación	1,00	0,35	0,65
Maternidad	0,53	0,33	0,20
Destete	1,84	1,12	0,72

Tabla 9. Volumen de agua agregado a la fosa.

Vol. de agua de lavado = Vol. de agua antes del vaciado – Vol. de purin

$$Vol. de agua de lavado = 1,57 \frac{m^3}{día}$$

Volumen de agua de lavado para las etapas de Gestación, maternidad y destete:
1,57 m³/día

Engorde

Engorde	Lectura 1	Lectura 2	lectura 3	Promedio
Caudalímetro 1	462,10	530,00	641,60	544,57
Caudalímetro 2	123,60	498,70	2295,70	311,15
Caudalímetro 3	911,40	735,00	969,10	871,83
Total de litros de agua por día:				2038,7

Tabla 10. Volumen de agua de Lavado en Engorde.

Se define como lectura a la diferencia entre dos registros de datos de un medidor dividido el periodo de tiempo transcurrido entre los mismos.

Volumen de agua de lavado etapa Engorde: 2,04 m³/día

Por lo tanto, el volumen total de agua de lavado para todo el sistema productivo es:

Volumen de agua de lavado total: 3,61 m³/día

La Huella Hídrica Azul de todo el proceso es:

$$HHA = Agua consumo + Agua de lavado$$

$$HHA = 7,25 \frac{m^3}{día} + 3,61 \frac{m^3}{día}$$

HHA=10,86m³/día

HUELLA VERDE:

A partir de los datos obtenidos se procedió a determinar la demanda de agua en base al rendimiento de ambos cultivos y la cantidad de alimento requerido, tanto del maíz como de la soja para abastecer diariamente al criadero.

	Maíz	Soja
Abastecimiento (kg/día)	1949,6	819,6
Consumo Hídrico (m3/m2)	0,537	0,54
Rendimiento (kg/m2)	1	0,4

Tabla 11. Especificaciones de los cultivos.

Huella Hídrica Verde Maíz:

El valor de huella hídrica total se obtiene a partir de la demanda diaria de alimento, el consumo hídrico y el rendimiento.

$$HHV_T = \frac{1949,6 \frac{kg}{dia} \times 0,537 \frac{m3}{m2}}{1 \frac{kg}{m2}}$$

$$HHV_T = 1047 \frac{m3}{dia}$$

El valor de huella hídrica directa se obtiene a partir de la demanda diaria de alimento y su porcentaje de humedad:

$$HHV_D = 1946,60 \times 0,14 = 272,52 \frac{l}{dia} = 0,27m^3/dia$$

La huella hídrica verde indirecta se aproxima al valor de la huella hídrica total.

Huella Hídrica verde Soja

$$HHV_S = \frac{819,6 \frac{kg}{dia} \times 0,54 \frac{m3}{m2}}{0,4 \frac{kg}{m2}}$$

$$HHVs = 1106,46 \frac{m^3}{dia}$$

El valor de huella hídrica directa se obtiene a partir de la demanda diaria de alimento y su porcentaje de humedad:

$$HHV_D = 819,6 \times 0,14 = 114,74 \frac{l}{dia} = 0,11 m^3 / dia$$

La huella hídrica verde indirecta se aproxima al valor de la huella hídrica total, siendo este valor:

$$HHV_T = HHV_D + HHV_I$$

$$HHVT = 0,38 \frac{m^3}{dia} + 2153,08 \frac{m^3}{dia}$$

$$HHVT = 2153,46 m^3 / día$$

Huella Hídrica verde:

$$HHV = HHVm + HHVs$$

$$HHV = 0,27 \frac{m^3}{dia} + 0,11 \frac{m^3}{dia}$$

HHV= 0,38m³/día

HUELLA GRIS

Resultados del monitoreo

MATRIZ LIQUIDA					
Parámetro	Unidad	Etapas			
		Gestación	Maternidad	Destete	Engorde
DQO	mg/l O ₂	2806	10207	40799	44576
DBO	mg/l O ₂	1142	6533	9791	10757
SST	mg/l	1300	3241	22200	26300
SSV	mg/l	2134	1250	11799	25595
NITROGENO AMONICAL	mg/l	336	276	442	641
NITROGENO TOTAL	mg/l	439	322	474	1196
MATRIZ SEMISOLIDA					
NITROGENO TOTAL	mg/l	2581	732	572	1323
NITROGENO AMONICAL	mg/l	2295	627	523	619
FOSFORO TOTAL	mg/l	29	11	18	22
NITRATOS	mg/l	15	6,6	17	20

Tabla 12. Resultados del análisis de Laboratorio de los efluentes según etapa del criadero.

Cálculos de la Huella Gris

Como se mencionó en la metodología, el cálculo de huella gris se realiza sin tener en cuenta el volumen de sólidos sedimentables, ya que estos quedarían retenidos por algún medio de separación física previo al vuelco del efluente. Además por las características de estos sólidos, pueden utilizarse para otros fines, como por ejemplo, nutrición de suelos.

La carga contaminante (L) se obtuvo en función del volumen del efluente en cada etapa, la carga orgánica (DBO₅) y el volumen de la fase líquida. La misma se determinó a través

de la diferencia entre, 1 litro de muestra representada mediante un Cono Imhoff y el volumen de sólidos sedimentables en el mismo al cabo de 2 hs.

Teniendo en cuenta que la concentración máxima permisible de DBO₅ según la Resolución 1089/82 para vuelco a un campo de drenaje es de 200 mg/lt. y considerando que la concentración natural de DBO₅ es cero, se procedió al cálculo de la Huella Hídrica Gris:

$$HHG = \frac{L}{C_{max} - C_{nat}}$$

$$HHG = \frac{DBO \text{ kg/día}}{200 \text{ mg/lt} - 0}$$

ETAPA	Volumen Efluente m ³ /día	DBO ₅ mg/lt	Solidos Sedimentables	Carga de DBO kg/día (L)	HHG m ³ /día
GESTACIÓN	1,00	1.142	0,451	0,63	3,13
MATERNIDAD	0,53	6.533	0,200	2,77	13,85
DESTETE	1,84	9.791	0,700	5,40	27,02
ENGORDE	2,04	10.757	0,650	7,68	38,40
Total	5,41			16,48	82,41

Tabla 13. Determinación de la Huella Hídrica Gris.

Sumando las cargas de DBO₅ en cada una de las etapas se obtuvo un total de:

$$HHG = \frac{16,48 \text{ kg/día}}{200 \text{ mg/lt} - 0} * 1000$$

HHG= 82,41 m³/día

HUELLA HÍDRICA TOTAL

En la siguiente tabla y gráfico se presentan los valores de la Huella Hídrica Total, y el porcentaje que representan cada uno de las distintos tipos de huella. Además, como los sistemas de producción porcina se caracterizan en función de la cantidad de cerdas madres, se obtuvo el valor de la huella hídrica por unidad de producto (N° madre), arrojando los siguientes resultados.

HUELLA AZUL m ³ /día	HUELLA VERDE m ³ /día	HUELLA GRIS m ³ /día	HUELLA HIDRICA TOTAL m ³ /día	HH. TOTAL m ³ /N° Madre
10,86	0,39	82,41	93,66	0,62

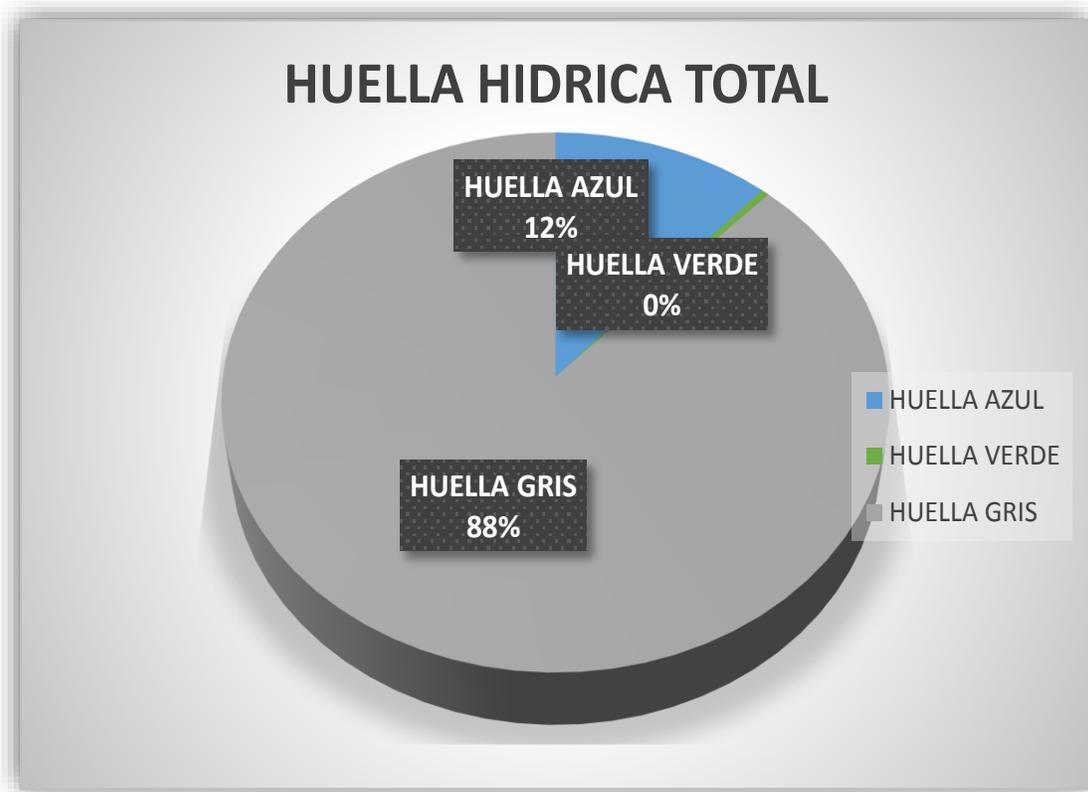


Gráfico 4. Huella Hídrica Total

Del análisis y evaluación de la huella hídrica total, el mayor impacto se genera por medio de los efluentes del establecimiento, demandando un volumen considerado de agua dulce

para asimilar las cargas contaminantes que este conlleva. Comparando este valor con el de agua azul que abarca solo un 12% del total podemos concluir que la demanda de agua necesaria para consumo y lavado del criadero no es un factor predominante a la hora de gestionar la huella como así tampoco el valor de huella verde directa ya que su efecto es casi nulo.

Al analizar la huella hídrica verde Total (directa más indirecta) la demanda del cultivo de maíz es de 537 mm de lluvia y la de soja 540 mm de lluvia, si lo relacionamos con el rendimiento de producción obtenido por el establecimiento agropecuario (10 tn/ha. De maíz y 4tn/ha. De soja) y la ración de estos cultivos provista a los cerdos, el total cuantificado por la huella verde sería de 2153,46 m³/día.

Si tomaríamos este dato la huella verde representaría el 96% de la Huella Hídrica total.

Debido a que en este trabajo el sistema de estudio se limita a cuantificar el agua en el criadero, se considera solo el agua incorporada al grano (directa).

En el siguiente grafico se observa que la mayor generación de carga contaminante se da en las etapas de crecimiento del cerdo que involucra a destete y engorde. En este caso en particular, se caracterizan por tener mayor densidad de animales, a los cuales se les provee alimento y agua sin discreción, lo que en conjunto con las heces que generan y el agua de lavado producen un efluente con una alta carga orgánica.

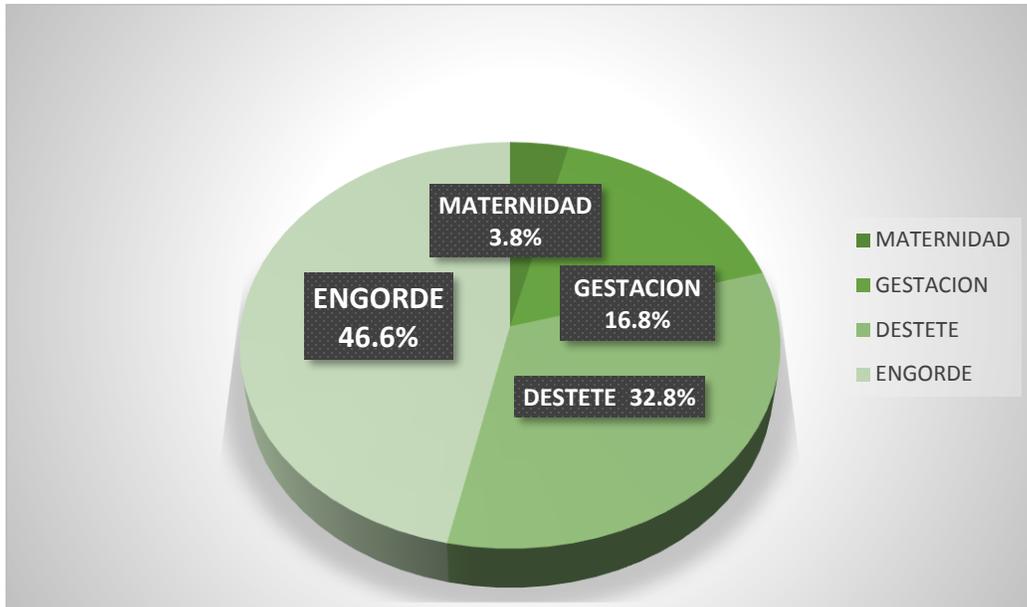


Gráfico 5. Huella Hídrica Gris según etapa del criadero.

Haciendo referencia a la explicación referida al párrafo anterior, la representación gráfica en función de los distintos tipos de huella queda plasmado de la siguiente manera:

Etapa	HH AZUL	HH VERDE	HH GRIS	TOTAL m ³ /día
Engorde	6,34	0,2	38,4	44,94

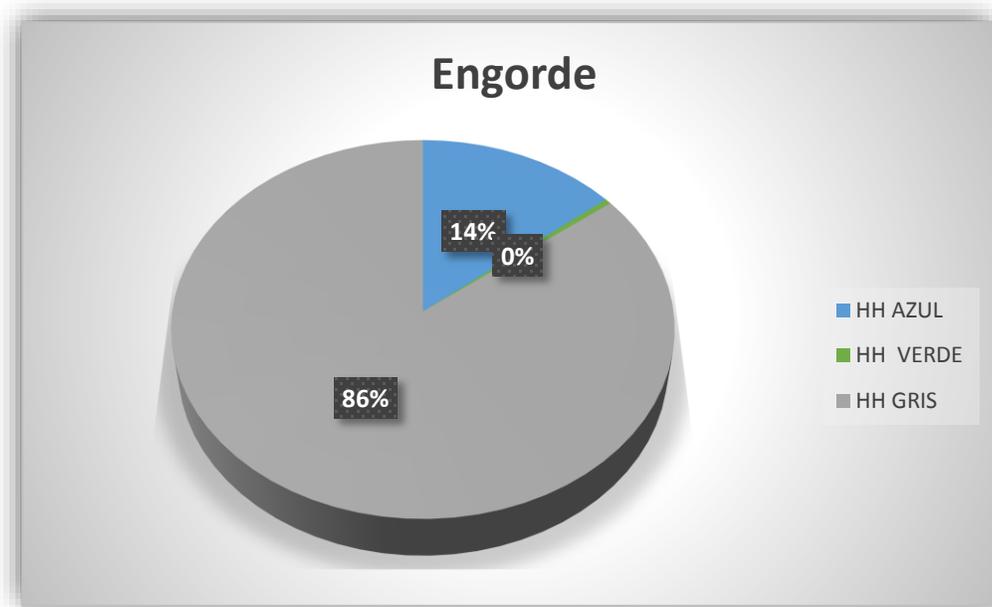


Gráfico 6. Distribución de las huellas en la etapa de Engorde.

La evaluación de la huella hídrica es por tanto una herramienta parcial, para ser utilizada en combinación con otros medios analíticos, con el fin de facilitar la comprensión de toda una gama de temas relevantes antes de tomar decisiones.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente trabajo pueden ser comparados con resultados citados en otros trabajos de referencia, siendo los mismos pertenecientes a estudios realizados de otros países, debido a los pocos trabajos publicados sobre Huella Hídrica.

Se destaca que la metodología empleada de los tres estudios a comparar, es similar a la utilizada en el presente trabajo, nota que en los mismos evalúan la Huella hídrica total en los tres sistemas de producción (extensivo, mixto e intensivo) basándose en la composición de los alimentos que consumen los animales. Derivando este factor a una mayor relevancia al cálculo de huella verde.

El impacto de la huella hídrica verde es mayor en la producción de leche, que en la producción de carne de cerdos en sistemas intensivos, ya que en un manejo tradicional de tambo el animal se alimenta de pasturas (en mayor proporción) y la generación de residuos es más difusa. (Gerberns, 2011).

En el trabajo de Gerberns (2011), el valor de la huella hídrica global para la producción de cerdos es 5.224 L/Kg de carne al año; similar al obtenido por Pérez Espejo, Rosario y cols. (2012) 4.997 L / Kg de carne al año⁸. En el presente trabajo considerando la huella hídrica verde total (directa más indirecta) adopta un valor de 2.765L / Kg. de carne al año. La diferencia en los valores puede deberse a que la eficiencia del rendimiento de los cultivos son mayores en Argentina, en comparación con otros países. Además este resultado se aproxima al obtenido por Mekonnen (2012) a la producción de carne aviar (2,873 L / Kg de carne) y es aproximadamente cuatro veces inferior al de carne vacuno (10,244 L / Kg de carne)

Se puede apreciar que en los trabajos de referencia citados anteriormente, la huella gris contempla solo el agua de descarte asociada al exceso de fertilizantes en la producción de los cultivos, sin tener en cuenta la generación de efluentes en la cría de los animales. De esta manera, las huellas de aguas grises se subestiman, en particular en los sistemas intensivos. No obstante, analizando los valores de los tipos de huellas hídricas a nivel global se puede observar que los valores de la huella gris son mayores que la huella azul (Mekonnen, 2012).

⁸ El trabajo de Rosario Perez y cols. No contempla la huella gris.

Por otro lado, si se desea comparar dos formas distintas de sistemas de producción de carne de cerdo se puede hacer foco en los sistemas intensivos en galpón con uno a cama profunda.

Esta forma de producir de cerdos incluye la construcción de un túnel de viento (abierto dispuesto de norte a sur) donde ingresa el animal en una determinada etapa y sale cumplido el ciclo de la misma. En la superficie del túnel se incorpora un determinado volumen de cama siendo ésta de rollos de paja de trigo, rastrojo de maíz, viruta de madera y otros materiales de origen vegetal absorbente y aislante. A diferencia de otros sistemas intensivos como los que utilizan pisos de cemento o rejilla, y en su limpieza se genera una corriente líquida, en este caso una vez cumplido el período de permanencia de los animales se retira la cama para disponerla en compostaje y su posterior uso como compost.

Posiblemente en este último disminuya el valor de la huella gris (no hay una generación constante de efluentes) y la huella verde tenga un menor impacto debido a que en la dieta del animal se incorporan pasturas y rastrojos (como material de la cama profunda). Según Gerberns 2011, para producir 1 tonelada de este material se necesitan 200 m³ de agua mientras que para los alimentos se requieren 1.000 m³.

APORTES DE LA INGENIERÍA AMBIENTAL

Desde el punto de vista de la Ingeniería Ambiental se pueden realizar una serie de recomendaciones técnicas para el tratamiento de los efluentes de la producción porcina, a fin de reducir el valor de la Huella Gris como vimos en párrafos anteriores es significativo en el valor de la Huella Hídrica Total. Algunas de estas pueden ser, el uso como fertilizantes de toda la corriente generada, su tratamiento para disponer la fase líquida para riego y uso como abono de la fase sólida o tratamiento de la fase líquida para recircularla nuevamente al criadero (reciclaje).

Para decidir la solución más idónea se tuvo en cuenta:

- 💧 El volumen de deyecciones producido anualmente.
- 💧 La cantidad de Nitrógeno y Fósforo producido
- 💧 La superficie agrícola disponible y su demanda de nutrientes.

En función de los análisis realizados, se propone llevar adelante el tratamiento de la fase líquida destinada en parte para riego y otra parte como agua de servicio; y la disposición de la fase sólida como abono, ya que se considera un mejor aprovechamiento de los nutrientes existentes en los sólidos, y facilitaría el tratamiento de la fase líquida. Para ello, será necesario tener en cuenta los parámetros de vuelco propuestos por la Resolución 1089/82 de la provincia de Santa Fe. En la misma, se detalla que para vuelco en “campos de drenaje” (como lo que actualmente se realiza en el establecimiento agropecuario) los límites superiores de DBO y DQO deben ser de 200 y 350 mg/l respectivamente.

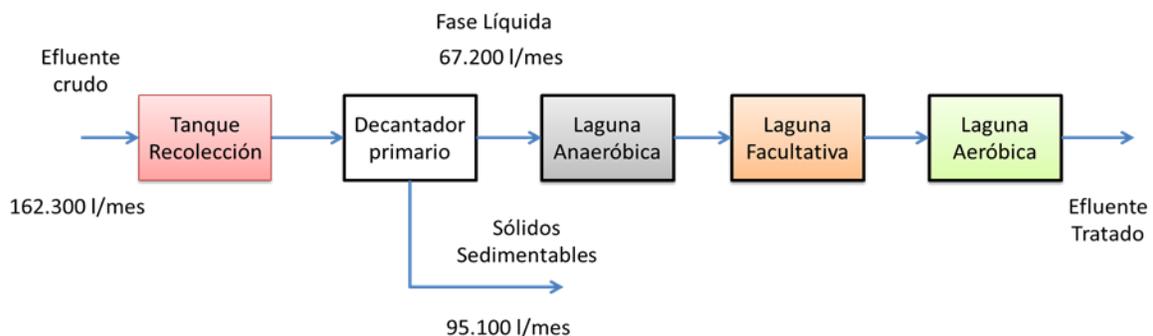
A partir del volumen de los efluentes generados mensualmente en cada etapa se realizó una distinción del volumen de la fase superior (fase líquida) y volumen de la fase inferior (fase sólida), que se muestra en la siguiente tabla.

Etapa	Volumen total (litros por mes)	Sólidos sedimentables (litros por litro de efluente)	Volumen fase superior (litros por mes)	Volumen Fase inferior (litros por mes)
Gestación	30.000	0.45	16.500	13.500
Maternidad	15.900	0.2	12.720	3.180
Recría	55.200	0.7	16.560	38.640
Engorde	61.200	0.65	21.420	39.780
TOTAL	162.300		67.200	95.100

Tabla 14- Generación de efluentes para cada una de las etapas de producción.

Es importante destacar que se distingue con claridad la separación de la fase superior e inferior en la muestra de gestación y maternidad; mientras que en recría y engorde se aprecia una homogeneidad entre ambas, producto de la gran cantidad de sólidos que poseen ambas muestras.

Se propone como tratamiento el siguiente esquema: Tanque de recolección de efluentes, un decantador primario para separar los sólidos “pesados”, y tres lagunas en serie: anaeróbica, facultativa y aeróbica.



Tanque de Homogeneización

La homogeneización del efluente reduce las variaciones del mismo, con objeto de conseguir una carga constante o casi constante, que el líquido sea más homogéneo al reducir la concentración de algunos constituyentes (reduce picos de caudales, que pueden entorpecer el funcionamiento de la planta de tratamiento). El mismo se dispone como una unidad en línea, es decir por delante de la sedimentación primaria y tratamiento biológico, se le hace un mezclado suficiente para prevenir la sedimentación de sólidos.

Separación de sólidos

Sedimentador Primario

Su objetivo es reducir la cantidad de sólidos en suspensión presente en el agua, a través de la decantación de los sólidos con mayor peso específico que el agua (por acción de la gravedad) y la flotación de los de menor peso específico.

Se trata de reducir la velocidad de circulación hasta 1 o 2 cm/s para que precipiten los sólidos orgánicos. Se usa como tratamiento previo al tratamiento biológico porque eliminan gran parte de la carga orgánica.

Se obtiene un barro concentrado.

Se propone para este caso un tanque circular.

Tratamiento biológico

El objetivo consiste en la descomposición de la materia orgánica (DBO_5) por organismos vivos, a partir del cual se obtiene un efluente clarificado. Para el mismo se determinó un sistema de estanques integrado por una laguna anaerobia seguido por la laguna facultativa y finalizando con un laguna de maduración o aerobia. Son estanques excavados en el terreno.

Ventajas:

-  Bajo consumo de energía y costo de operación.
-  Bajo capital de inversión, especialmente en los costos de construcción.
-  Esquemas sencillos de flujo.

- Equipo y accesorios simples y de uso común (número mínimo de tuberías, bombas y aireadores).
- Operación y mantenimiento, simple. No requieren equipos de alta tecnología y, por tanto, no es necesario personal calificado para estas labores.
- Remoción eficiente de bacterias patógenas, protozoarios y huevos de helmintos.
- Disposición del efluente por evaporación, infiltración en suelo o riego.
- En algunos casos, remoción de nutrientes.
- Posibilidad de establecer un sistema de cultivo de algas proteicas para la producción de animales (empleando lagunas de alta tasa).
- Empleo como tanque de regulación de agua de lluvia o de almacenamiento del efluente para reuso.

Las cargas a asimilar por el tratamiento propuesto son las que se muestra en la Tabla 13.

Laguna Anaerobia

Se caracteriza por ser un proceso en ausencia de oxígeno, son anaerobios en toda su profundidad excepto en una estrecha franja cerca de la superficie. Pueden recibir alto contenido orgánico. Pueden tener una profundidad de 3 a 4 mts., presentan una eficiencia del 85%.

Laguna Facultativa

La materia orgánica sólida y coloidal se oxida por acción de las bacterias aerobias y facultativas empleando oxígeno. Presenta una eficiencia de remoción del 70 %.

Laguna Aerobia

Las condiciones aerobias se mantienen en toda su profundidad. Se caracterizan por la presencias de bacterias y algas, estas últimas liberan el oxígeno que es utilizado por las bacterias en la degradación de la materia orgánica. Son de poca profundidad con una eficiencia del 95 %.

Las lagunas se deben impermeabilizar para evitar la posible contaminación de acuíferos. Del estudio de suelo se podrá conocer la impermeabilidad del terreno, de tener un suelo permeable se procederá a impermeabilizarlo, mediante arcillas o láminas de polietileno.

Propuesta para la fase Líquida.

Considerando el tratamiento propuesto, de acuerdo a las eficiencias descritas de cada laguna en particular, la huella gris se reduciría un 99%, por lo tanto el volumen de agua dulce que se requeriría para asimilar la carga contaminante sería casi nulo, adoptando un valor final de DBO₅ de 16,55 mg/l apto para vuelco a campo de drenaje, ya que el máximo permisible de acuerdo a la Resolución 1089/82 es de 200 mg/l.

Comparando el valor de la huella hídrica total sin tratamiento y con el mismo, se puede observar una disminución de 93,66 m³/día a 11,22 m³/día, en función de la huella gris.

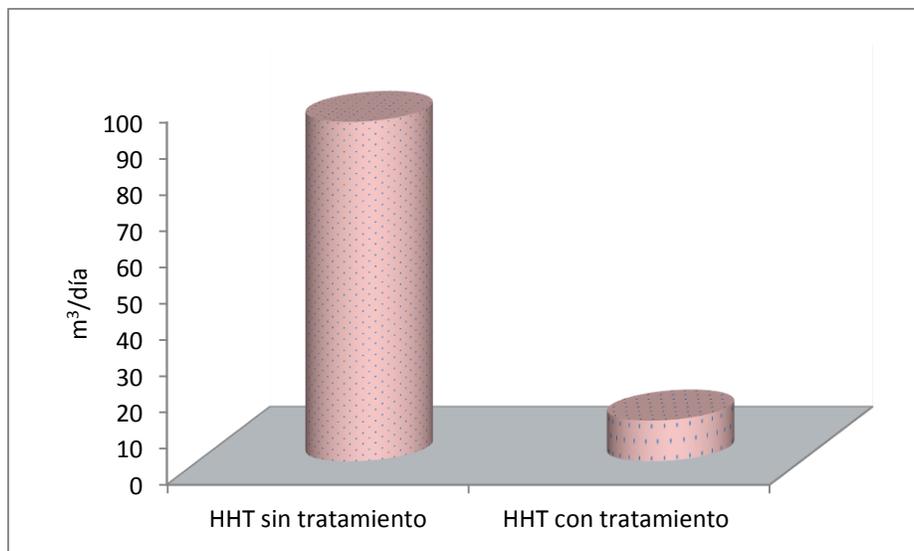


Gráfico 7- Comparación de Huella hídrica total sin tratamiento y post tratamiento.

A partir del volumen de líquido clarificado 2,24 m³/día obtenido del tratamiento, se propone reciclar un cierto porcentaje del mismo, destinado para el llenado de fosas en las etapas de gestación, maternidad y destete y el resto reutilizándose para riego.

No se incluye el reciclaje de agua para el lavado del galpón de engorde debido a que este requiere un mayor volumen de agua que el disponible y adaptar la infraestructura para esta etapa no es redituable económicamente.

Para el llenado diario de las fosas se necesita 1,57 m³ de agua, disminuyendo de esta manera la huella azul y por consiguiente a la huella hídrica total.



Considerando que 1,57 m³ se destinan para el llenado de las fosas, 0,57 m³ es utilizada para riego en un total de 150 ha., el cual no influye en la variación del valor de la huella verde.

Se puede concluir que la mayor reducción de la Huella Hídrica Total se debe al tratamiento del efluente, esto permite utilizar la Huella hídrica como indicador en la evaluación de Impacto ambiental.

Propuesta para el manejo de Sólidos

Dada la elevada concentración de nutrientes que presenta el sólido, se estudió la posibilidad de utilizarlo como abono, sustituyendo el uso de fertilizantes para distribuir en las hectáreas de cosecha del maíz y soja.

Los valores de cada uno de los nutrientes evaluados en las etapas son:

Etapa	Nitrógeno Total (kg/mes)	Fósforo Total (kg/mes)
Gestación	34,9	0.39
Maternidad	2,3	0.03
Destete	22,1	0.7
Engorde	52,6	0.88
Total	112	2.00

El volumen total de sólidos sedimentables generados al año asciende a 1.157 kg, que poseen una humedad del 85% lo que aportaría también algo de agua a los suelos que se utilizarían para agricultura. Si bien el volumen de agua es poco significativo respecto a la demanda total del cultivo y en toda la superficie utilizada por el productor, forma parte de la reutilización de dicho recurso.

En los sólidos sedimentables se encuentra el 71.42% del nitrógeno, generándose por mes 112 kg. Para ello será necesario contar con un almacenamiento temporario, a fin de estabilizar el producto previo a su disposición. El mismo deberá estar impermeabilizado para evitar contaminación de napas, con polietileno de alta densidad y cubierto a fin de evitar la dilución con agua de lluvia.

En este tipo de almacenamiento, las pérdidas oscilan en el orden del 10% de nitrógeno, muy inferiores al 30% que pueden suceder si el efluente se almacena en lagunas abiertas (por la oxigenación) o bien si se aplica directamente al suelo. Por lo tanto, de almacenarlo en estas fosas, podrían estar disponible para su aplicación cerca de 1.210 kg anuales de nitrógeno. Si se estima una demanda de 50 kg N/ha, este producto serviría para fertilizar

24,2 Ha anuales. La aplicación del mismo se realizaría con un camión estercolero de chorro.

Por otro lado, es necesario recomendar que se establezcan puntos de monitoreo en el lote donde se utilicen estas enmiendas, a fin de conocer la calidad del agua subterránea y verificar que esta práctica no modifique las características de dicho recurso. Caso contrario, se estaría generando un efecto contrario al buscado con la reutilización de los nutrientes presentes en dicha corriente.

CONCLUSIÓN

Al evaluar la huella hídrica total en sus tres perspectivas, se pudieron generar datos que aportan al cálculo de la misma. En estudios de referencia que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de este proyecto, se pudo apreciar la carencia de datos sobre las características de los efluentes, (dado que se analiza desde otro punto de vista, teniendo en cuenta el aporte de fertilizantes que se utiliza en la cosecha del grano) que tienen una alta significancia en el cálculo de la huella gris. Es por eso que consideramos de vital importancia el aporte de la ingeniería ambiental a la evaluación de la gestión de la huella hídrica.

Como se pudo observar a lo largo de todo el proyecto en la actividad de intensificación del proceso productivo el mayor impacto se presenta en la generación de efluentes, de manera que una buena gestión sustentable se reduce la huella hídrica gris a un valor casi nulo.

Eventualmente podemos definir al sistema productivo como un sistema “insostenible”, es decir que la huella hídrica se puede reducir o evitar por completo. No solo en función de la huella gris, cuya generación es evitable como se pudo demostrar a través del tratamiento propuesto sino además en función de la huella azul; reciclando un porcentaje del efluente tratado, disminuyendo así el uso consuntivo del agua.

La huella azul a diferencia de la huella gris no puede evitarse por completo, es decir reducirse del todo a cero, debido a que una parte de la misma se incorpora al producto.

Si bien, al definir el proceso como un sistema insostenible, no necesariamente es causantes de problemas inmediatos de escasez de agua o de contaminación en la cuenca de captación (agua subterránea); pero sin embargo no son sostenibles ya que consumen agua innecesariamente y disminuyen la capacidad de asimilación de los contaminantes

Esto implica que las huellas hídricas deben reducirse también en áreas de abundante agua siempre que sea razonablemente posible, no para resolver los problemas locales de agua en estas zonas, sino para contribuir a un uso del agua más sostenible, justo y eficiente.

Teniendo en cuenta el hecho de que los recursos mundiales de agua dulce son limitados, la huella hídrica es un indicador muy útil, ya que muestra cuándo, dónde y cómo sobrecargan la demanda de este recurso limitado los consumidores, productores, y los

procesos individuales. La evaluación de la huella hídrica es una herramienta útil para cuantificar y localizar las huellas hídricas, para evaluar si las huellas son sostenibles e identificar opciones para reducir las huellas hídricas en caso necesario.

GLOSARIO

HH: Huella hídrica, es un indicador de uso de agua dulce que es palpable no sólo en el uso de agua directo de un consumidor o productor, sino también en su uso indirecto.

HH. Azul: es un indicador de uso consuntivo de agua llamada azul, es decir, agua dulce de superficie o subterránea

HH. Verde: La huella hídrica verde es el volumen de agua de lluvia consumida durante un proceso de producción

HH. Gris: el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes comparado con las concentraciones normales y las normas de calidad de agua.

Uso consuntivo del agua: se refiere a el agua que se incorpora a un producto; el agua que no vuelve a la misma zona de flujo.

Reciclaje del agua: la reutilización in situ del agua para la misma finalidad.

Reutilización del agua: la reutilización de agua en otro lugar, posiblemente para otro propósito.

C máx: Concentración máxima permisible.

Cnat: concentración natural en la recepción agua en el cuerpo

L: Carga contaminante.

Efluente: Son los líquidos residuales que han sido sometidos o no al tratamiento de corrección y que escuren desde la salida del establecimiento hasta el cuerpo receptor.

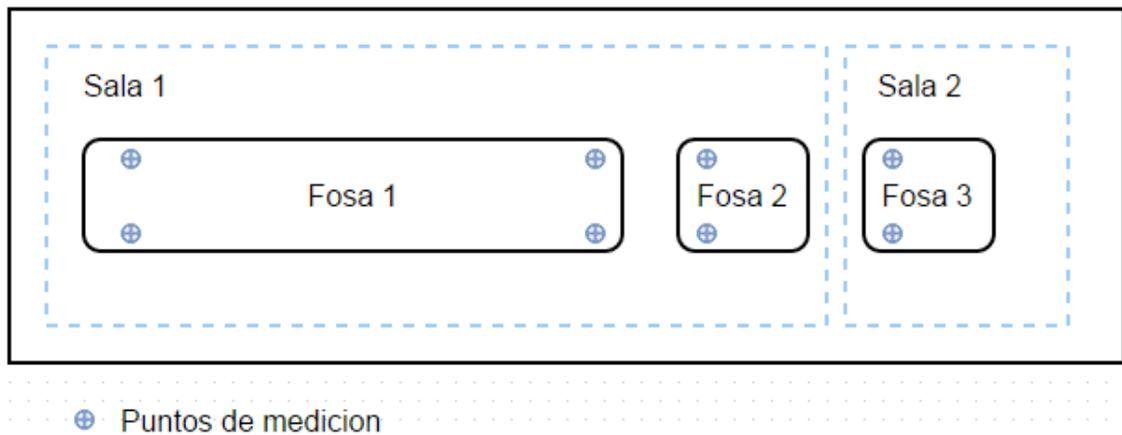
Actividad pecuaria:

Confinamiento: Son sistemas donde los animales transitan todas las etapas de reproducción y cría totalmente dentro de galpones.

ANEXO I – CARACTERÍSTICAS DE LAS FOSAS DE LOS GALPONES

Fosas de Gestación

El galpón de gestación se encuentra conformado por dos salas, en la sala 1 hay dos fosas y la sala 2 una fosa.



Sala 1

Fosa 1

La fosa 1 está constituida por dos fosas A y B interconectada las cuales presentan una pendiente, de manera que se tomaron mediciones del nivel de agua en dos puntos de cada fosa individual como se puede apreciar en el diagrama anterior. Para determinar la altura del nivel de agua se obtuvo un promedio de ambos valores de cada fosa individual, sumándose ambas para obtener un volumen total.

Fosa 2

Es una sola unidad, al igual que la fosa 1 presenta una pendiente por lo que se tomaron dos medidas en dos puntos distintos y se tomó un valor promedio utilizándolo como el nivel agua.

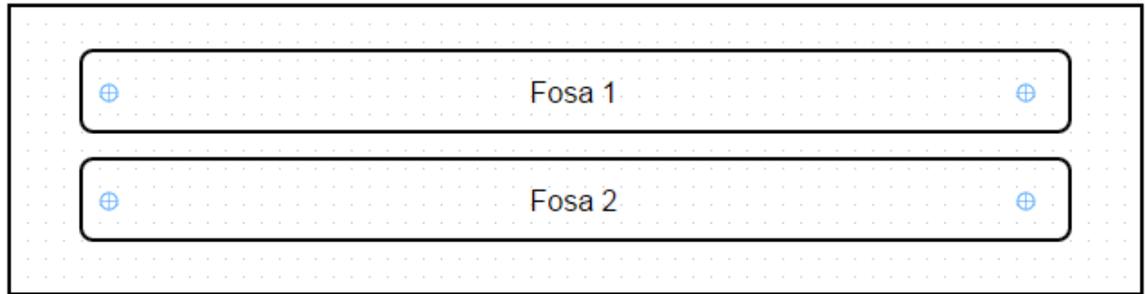
Sala 2

Fosa 3

Una característica particular de esta fosa es que no presenta pendiente, por lo que se realizó la medición en un solo punto de toda la fosa.

Fosas de Maternidad

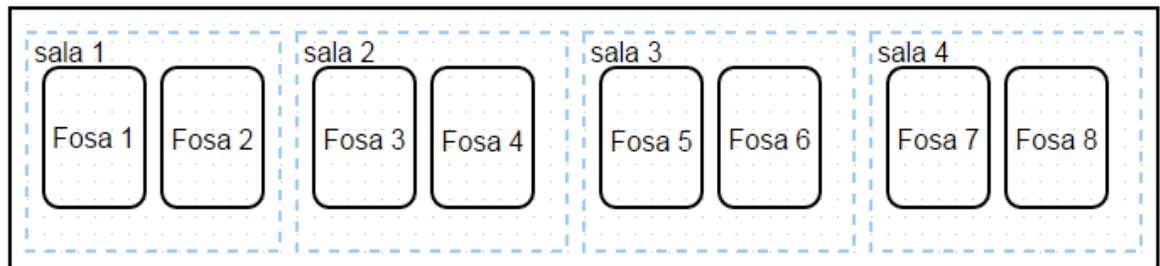
Ésta nave presenta un total de dos fosas individuales, ambas tienen una leve pendiente por lo que se procedió obtener un valor promedio a ambas mediciones de cada fosa.



 Puntos de Medición

Fosas de Destete

La nave presenta 4 salas con 2 fosas en cada una, las cuales descargan a una misma cámara, poseen las mismas dimensiones, sin pendiente. Se tomó el nivel de agua en cada fosa y seleccionamos el valor más alto como nivel de agua total.



		Caracterización de las etapas		
Estado Fisiológico		N° Animales	Limpieza/Vaciado	Observaciones
Maternidad		22 cerdas madres(bandas de 11-11)	Vaciado de fosa cada 7 días. Sistemas full-slat.	Dos fosas individuales: de 13m de largoy 2,36mt de ancho. Estas desagotan directamente a la cava.
Gestación	SALA 1 Contiene dos fosas, que descargan a dos cámara.	Fosa1: 124 cerdas(31 jaulas individuales por hilera).	Vaciado de las fosas cada 15 días. Sistema full-slat.	Fosa1(F1): 18,1mt de largo-2,60 mt de ancho y profundidad: inclinación de 46-36cm.
		Fosa2: 4 corrales formando una hilera con 6 cerdas aprox. por corral	Vaciado de las fosas cada 15 días. Sistema full-slat.	Fosa2(F2): 11,70mt de largo-1,90mt de ancho y profundidad con una inclinacion de 67-58cm.
	SALA 2 Contiene dos fosas, que descargan a dos cámara.	Fosa 1: 3 jaulas con	Vaciado de las fosas cada 15 días. Sistema full-slat.	Fosa 1: 11,57mt de largo-2,05 mt de ancho y profundidad con inclinacion de 61-57cm
		Fosa 2:	Vaciado de las fosas cada 15 días. Sistema full-slat.	Fosa 2: 4,5mt de largo-2,05mt de ancho y profundidad 48cm.
Destete	SALA 1 Contiene dos fosas, que descargan a una cámara.	35 cerdos por corral, 4 corrales por sala	Vaciado de las fosas cada 15 días. Sistema full-slat.	Fosas: 7,8mt delargo-2,60mt de ancho y 49cm de profundidad. Cada fosa abarca dos corrales
	SALA 2 Contiene dos fosas, que descargan a una cámara.	35 cerdos por corral, 4 corrales por sala	Vaciado de las fosas cada 15 días. Sistema full-slat.	Fosas: 7,8mt delargo-2,60mt de ancho y 49cm de profundidad. Cada fosa abarca dos corrales
	SALA 3 Contiene dos fosas, que descargan a una cámara.	35 cerdos por corral, 4 corrales por sala	Vaciado de las fosas cada 15 días. Sistema full-slat.	Fosas: 7,8mt delargo-2,60mt de ancho y 49cm de profundidad. Cada fosa abarca dos corrales
	SALA 4 Contiene dos fosas, que descargan a una cámara.	35 cerdos por corral, 4 corrales por sala	Vaciado de las fosas cada 15 días. Sistema full-slat.	Fosas: 7,8mt delargo-2,60mt de ancho y 49cm de profundidad. Cada fosa abarca dos corrales
Engorde	12 CORRALES	40 animales por corral	No posee fosa, limpieza diaria.	Posee cuatro canillas para lavado, el agua de limpieza circula por una canaleta que descarga a una camara.

Tabla 15. Instalaciones del sistema intensivo del criadero de cerdos.

ANEXO II – CONSTRUCCIÓN DEL RECIPIENTE PARA LA TOMA DE MUESTRAS

Los pasos para su construcción fueron:

Como primera instancia se seleccionó el balde de 20 litros (color azul) y se utilizó un taladro para la perforación de sus orificios.



Posteriormente se cubrieron las uniones con teflón y a través de bridas fueron adheridas las canillas al balde, cabe destacar que las mismas fueron ajustadas por picos de loros.



Una vez colocadas las canillas, se realizó una prueba piloto llenando el balde hasta su rebalse para constatar que no hubiera pérdida alguna.



ANEXO III – ELEMENTOS UTILIZADOS EN LA TOMA DE MUESTRAS Y ENVÍO A ANÁLISIS DE LABORATORIO

- Para la recolección de muestras se utilizó un balde de 9 litros, las mismas se tomaron de las cámaras de inspección característica de cada etapa.



🔹 Para determinar el volumen de los Sólidos Sedimentables se utilizó en cono imhoff.



 Planilla de registro

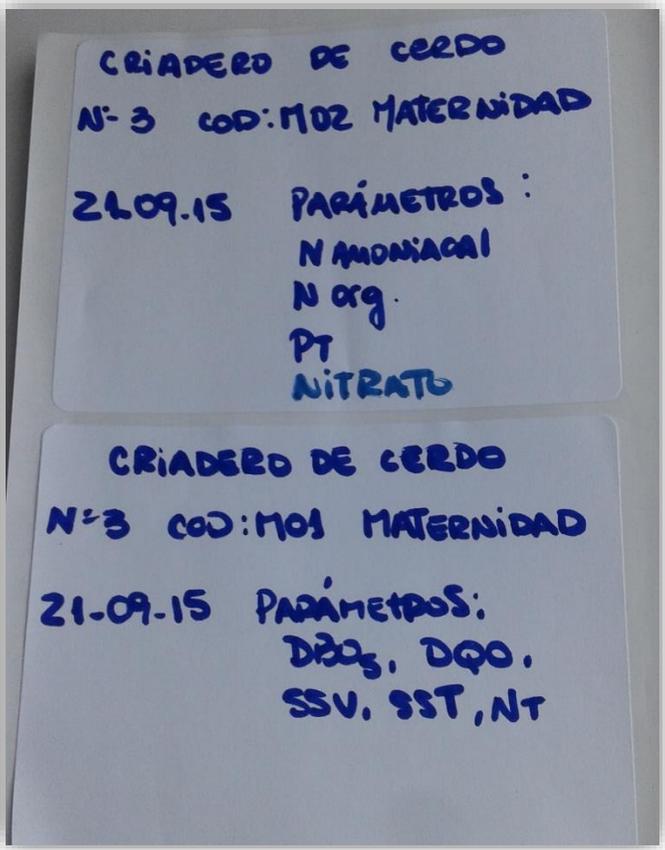
Se realizaron ocho formularios de registro cada uno acompañó una de las muestras. En la misma se hace una caracterización del sitio de muestreo y se plasman datos informativos de la muestra.

Formulario de registro
Criadero de Cerdo
Sitio de muestreo:
Designación codificada:
Método de muestreo:
Equipamiento usado:
Intervalo entre dos extracciones:
Volumen de la muestra puntual:
Comienzo de la extracción (Fecha y hora):
Fin de la extracción (Fecha y hora):
Hora de la toma de muestra puntual:
Método de conservación :
Parámetros a analizar en el laboratorio:
Mediciones "in situ":
Observaciones realizadas al muestreo:
Recibimiento por parte del laboratorio (Fecha y hora):
Nombre y firma del responsable del recibimiento:
Nombre y firma del responsable del muestreo:

 Etiquetas

Para la identificación o el rotulado de las muestras se realizaron etiquetas informativas autoadhesivas para cada botella, colocadas antes de la toma de las mismas.

Criadero de cerdos		
Nº	Cod. de muestra	Etapas:
Fecha:	Hora del muestreo:	Parámetros:



Luego se las coloco en una conserva con hielo para su protección contra la exposición a la luz, hasta su llegada al laboratorio, para posteriormente analizarlas.



ANEXO IV- CÁLCULOS PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO⁹

Datos para el cálculo del Tanque de Homogenización:

Caudal medio: 162, 3 m³/mes

Caudal pico: 27,5 m³/hora. Corresponde al vaciado total de la fosa del galpón de recría.

Pozo de Homogeneización: 27,5 m³/hora-15m³/hora= 12,5 m³/hora.

Bomba propuesta: Eje de 1,5 HP

Q_{max}: 15m³/hora.

Volumen adoptado: 15m³

Sedimentador primario

El sedimentador es de forma de circular con un diámetro de 4 metros y una altura de 2,4 metros.

Tiempo de retención Hidráulico: 2 horas

Como el caudal que entra al sedimentador viene del pozo de homogeneización, se toma 15m³/hora.

Volumen del Sedimentador: 15m³/hr *2hr= 30m³

Sistema de lagunas

El líquido clarificado en el sedimentador pasa al sistema de lagunas.

Laguna Anaeróbica

Volumen de la laguna: COT/T_A

$$V = \frac{16,5 \text{ Kg/día}}{0,1 \text{ Kg/m}^3 \cdot \text{día}} = 165 \text{ m}^3$$

V=Volumen de la laguna m³

COT= Carga orgánica total que se aplica a la laguna Kg de DBO₅/día= Co*Q

Co= Carga de DBO₅ del líquido que entra a la laguna Kg de DBO₅*m³.

⁹ Los criterios de calculados se basaron en los apuntes pertinentes al tema.

Q=Volumen diario de líquido entrante.

TA= Carga volumétrica o tasa de aplicación aceptable para un buen funcionamiento de la laguna.

Profundidad de la laguna: 3m

Superficie: 55m²

Porcentaje de eficiencia de remoción de DBO₅= 85%

Carga de DBO₅ entrante a la laguna= $\frac{16,5 \text{ Kg/día}}{2,24 \text{ m}^3/\text{día}} = 7,35 \text{ Kg/m}^3$

Concentración de DBO₅= 7,35 Kg/m³*1000= 7350mg/l

7350mg/l*0,15= 1102.5mg/l

Se llega a una concentración de DBO₅ de 1102,5 mg/l, no admisible para vuelvo.

Laguna Facultativa

A= COT/TAS= $\frac{2,47 \text{ kg/día}}{150 \text{ KgDBO5/HA día}}$

A= 164.6 m²

A: Superficie necesaria de la laguna

COT: Carga orgánica total que se aplica a la laguna Kg de DBO₅/día

TAS: Tasa de aplicación superficial aceptable para un buen funcionamiento de la laguna.

Dimensiones:

Profundidad de la laguna1, 5 m

Volumen: 246,9 m³

Reducción de DBO₅, con 70% de eficiencia: $2.47 \text{ kg/ día} / 2.24 \text{ m}^3/\text{día} = 1.1026 \text{ kg / m}^3$
=1102 mg/l

Reducción de DBO = 1102,6 * 0.30 =330.78 mg/l

Se llega a una concentración de DBO₅ de 330,78 mg/l, no admisible para vuelco.

Laguna Aerobia

$$A = COT / T$$

A: Area necesaria de la laguna

COT: Carga orgánica total que se aplica a la laguna Kg de DBO5/día

T: Tasa de aplicación superficial aceptable para un buen funcionamiento de la laguna.

$$A = \frac{0,741 \text{ Kg/día}}{50 \frac{\text{Kg}}{\text{HA} \cdot \text{día}}} = 148,2 \text{ m}^2$$

Dimensiones:

Profundidad de la laguna: 0.5 m

Reducción de la DBO₅, con una eficiencia 95%:

Carga de DBO₅ 0,741 kg. Día /2,24 m³/ día= 0.3308 kg/ m³ *1000 = 330,8 mg/l *0.05 = 16,54 mg/l.

Se llega a una concentración de salida de la planta de tratamiento, admisible para vuelco según Resolución 1089/92 de DBO₅ de 16,54 mg/l.

BIBLIOGRAFÍA

Manual Huella Hídrica;

<http://waterfootprint.org/media/downloads/ManualEvaluacionHH.pdf>

A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products;

http://waterfootprint.org/media/downloads/Mekonnen-Hoekstra-2012-WaterFootprintFarmAnimalProducts_1.pdf

<http://www.huellahidrica.org/?page=files/home>.

Red Argentina de Huella Hídrica;

<https://redargentinadehuellahidrica.wordpress.com/>.

A comparative study on the water footprint of poultry, pork and beef in different countries and production systems;

http://production.wfp.fabriquehq.nl/media/downloads/Report55_1.pdf

La Huella Hídrica;

http://www.alimentosargentinos.gob.ar/contenido/revista/ediciones/55/articulos/R55_08_huella_hidrica.pdf

http://www.inta.gov.ar/mjuarez/info/indices/tematica/porcinos_manejo.htm

Cadena de la carne porcina Santafesina;

<https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/download/66091/320769/file/descargar.pdf>

Manual Porcino; http://www.produccion-animal.com.ar/libros_on_line/51-manual_porcino/06-BuenasPracticasCap6.pdf

Aqua, alimentación y bienestar: La huella hídrica como enfoque complementario de gestión integral del agua en México.- Pérez Espejo, Rosario H.

Cama profunda en la producción porcina

http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/cama_profunda_en_la_produccion_porcina.html

Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción y comercialización porcina familiar.

http://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_porcinos_pres_capi.pdf

Globalización del Agua;

<https://www.marcialpons.es/static/pdf/100880180.pdf>

Cama profunda o túnel de viento

<http://www.ciap.org.ar/ciap/Sitio/Materiales/Produccion/Instalaciones/IMPRIMIR%20CAMA-PROFUNDA-INTA.pdf>

Plan estratégico Agroalimentario y Agroindustrial, Participativo y Federal 2010-2020;

http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_000001-libro_pea_argentina_lider_agroalimentario.pdf