

económicas, técnicas y de legislación. Por lo general se sigue una metodología, como la expuesta en la figura 2.

El primer paso será caracterizar el purín, para luego seleccionar un sistema de tratamiento que satisfaga los estándares de calidad requeridos y que, a priori, se considere adecuado a la realidad local. Posteriormente se realiza un diseño conceptual, donde se calculan las dimensiones y estructuras generales del sistema seleccionado, utilizando información como tipo de suelo, superficie, topografía, geomorfología del terreno, la incidencia de condiciones climáticas de la zona en el tratamiento, y la profundidad mínima a que se encuentra la napa. Se identifica el eventual sitio de emplazamiento y luego se verifica si sus características territoriales satisfacen los requerimientos del sistema. De existir incompatibilidad, será necesario una reformulación del sitio de emplazamiento o bien del sistema de tratamiento. Si el sitio predeterminado cumple con las

especificaciones técnicas para el sistema seleccionado, se procede a realizar un análisis económico del proyecto, identificando y evaluando la inversión inicial total, costos de mantenimiento y operación asociados al sistema que se analiza. Si el análisis previo, tanto técnico como económico, resulta desfavorable, se deberá replantear la situación, optar por un nuevo sistema de tratamiento y hacer un nuevo análisis. Cuando finalmente se decide el sistema que se implementará, se procede a elaborar el estudio de ingeniería de detalle, para lo cual se usa los antecedentes de caracterización del purín, estándares de calidad esperados y características del sitio de emplazamiento.

Paralelamente a lo anterior, el productor debe comenzar la gestión de permisos sectoriales involucrados en su proyecto. A la vez hay que iniciar la tramitación en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental para ver si su proyecto ingresa como estudio o



Prensa para eliminar parte de los sólidos de los purines.

declaración de impacto ambiental, dependiendo de la situación. La declaración o estudio, según sea el caso, tiene que ser desarrollado por un profesional o una consultora reconocida en el tema.

En el artículo siguiente profundizaremos sobre el sistema de tratamiento de tasa lenta, similar al riego agrícola y de fácil implementación. 📄

TRATAMIENTOS NATURALES DE PURINES

Sistemas de tasa lenta aplicados a la producción porcina

El procedimiento de tasa lenta (TL) es uno de los más usados para realizar el tratamiento de efluentes. Su tecnología es muy similar al riego agrícola tradicional. Entre los productores chilenos corresponde al sistema mayoritario, aunque sin los controles ni los diseños requeridos para que sea eficiente en sus propósitos.

Las tasas de aplicación son las más bajas de los tres procedimientos presentados en el artículo anterior, o sea que necesita de mayor superficie para el mismo volumen de purines en un tiempo dado. A su vez, los requerimientos del sistema son

menos exigentes en lo que a suelos se refiere, ya que acepta un amplio rango de tipos de suelo y permeabilidades (conductividad hidráulica). Consiste básicamente en la aplicación de un caudal controlado de agua residual o purín sobre la superficie del terreno, donde previamente se ha instalado una masa forestal o cultivo. Con ello se consigue, además de la depuración del efluente, el crecimiento de especies vegetales y la recarga artificial del acuífero (aporte a las aguas subterráneas).

La depuración se realiza mediante la acción conjunta del suelo, microorganismos y plantas por medio de una triple acción:

física (filtración), química (intercambio iónico, precipitación y co-precipitación, fenómenos de óxido-reducción) y biológica (degradación de materia orgánica). Tiene lugar en los horizontes o niveles superiores del terreno, donde se encuentra la capa biológica activa.

Objetivos del diseño

Existen dos tipos de sistemas de tasa lenta.

El Tipo I, está dimensionado sobre la base de un factor limitante del diseño (FLD), que conduce a aplicar la tasa máxi-

José María Peralta A.
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
jperalta@carillanca.inia.cl
INIA Carillanca

Francisco Tapia F.
Ingeniero Agrónomo M.S.
INIA La Platina

ma posible de efluente al mínimo de área de suelo. El parámetro crítico que determina la tasa de aplicación es específico del sitio y tipo de efluente. En algunos casos puede ser la capacidad de infiltración del perfil del suelo, el contenido de nitrógeno del efluente, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la presencia de metales pesados, etcétera.

El Tipo II está diseñado para optimizar el potencial de reutilización del agua. Ocupa una cantidad de agua justa para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos del área. El área que se consiga cubrir con una determinada tasa de aplicación dependerá del clima, tipo de suelo, cultivo, requerimientos de lixiviación y método de riego. El objetivo básico del Tipo II es regar la máxima superficie de suelo.

Requerimientos de preaplicación

La forma de llevar a cabo el sistema de tasa lenta depende fundamentalmente del tipo de efluente, tipo de cultivo, grado de acceso público al lugar de aplicación y exigencias ambientales de lixiviación. En general para efluentes provenientes de plantales de producción animal se requiere un tratamiento primario y, adicionalmente, un tratamiento biológico en lagunas, más un control extra de coliformes si se va a regar cultivos de consumo fresco (si es que esto es permitido por la legislación). Cuando la aplicación se realiza en un lugar aislado, con cultivos que no son directamente consumidos por seres humanos, sólo es necesario un tratamiento primario de filtración.

En este sentido, las lagunas son particularmente efectivas para la remoción de nitrógeno y coliformes fecales, pero no al nivel que se requiere para aplicar a cultivos de consumo fresco. Por ejemplo, si existe un efluente con 1×10^7 unidades formadoras de colonias y se controla el 95%, quedan 500.000 unidades formadoras de colonias, lo cual es claramente un exceso. Se convierten, entonces, en solu-



ciones de preaplicación adecuada para muchos sistemas de TL donde el factor limitante del diseño es el nitrógeno.

Selección del cultivo

El cultivo cumple tres funciones fundamentales en TL: 1) extrae nitrógeno, elemento por lo común crítico desde el punto de vista del diseño; 2) produce un aumento en la velocidad de infiltración del efluente y 3) a veces en forma marginal, y otras en forma importante, genera ingresos adicionales para la explotación pecuaria. Esta última característica es relevante en aquellos sistemas de Tipo II. La selección del cultivo en ambos tipos debe considerar, entre otros aspectos, la demanda de nitrógeno de cada especie o variedad. En general, la demanda depende fundamentalmente del rendimiento esperado, resultado de una combinación de

factores agronómicos y ambientales. Sin embargo, existen ciertos rangos publicados en la literatura que pueden ser usados como referencia al tema.

Los cultivos también pueden ser elegidos por otras características, como su demanda de agua o evapotranspiración, resistencia a la salinidad o exceso de humedad, y por su potencial para generar ingresos. La selección de cultivos para los TL de Tipo I debe estar basada en la demanda de nitrógeno, tolerancia al exceso de humedad (dado que se aplican altas cargas de agua) y facilidad en su manejo, reflejado esto en pocas prácticas de cultivo y cosecha.

Los criterios de selección para los TL de Tipo II incluyen requerimientos de agua, rentabilidad potencial, compatibilidad con el suelo, clima local y tolerancia a la salinidad. Normalmente se seleccionan



El sistema de tasa lenta consiste básicamente en la aplicación de un caudal de agua residual o purín sobre un terreno donde se ha instalado una masa forestal o cultivo. La selección del cultivo debe considerar, entre otros aspectos, su demanda de nitrógeno.

cultivos tradicionales de alta demanda de nitrógeno, aunque podrían seleccionarse según su resistencia a la salinidad. No es conveniente escoger cultivos no tradicionales, los cuales, por lo general, son frutales de baja demanda de nitrógeno y la calidad del producto disminuye si se aplica nitrógeno en abundancia, afectando su comercialización. Valores de sólidos suspendidos sobre los 700 mg/l son a veces restrictivos para algunos cultivos.

Tasa de aplicación

A continuación entregamos las fórmulas para determinar la tasa de aplicación. Aunque se ha hecho un esfuerzo de simplificación máxima, ellas pueden requerir algún grado de conocimientos técnicos previos del lector.

La mayoría de los TL están limitados por las tasas de carga hidráulica o de

nitrógeno (hay que hacer una analítica del purín para el diseño).

Para los TL de Tipo I, la tasa hidráulica se encuentra determinada por la permeabilidad del suelo, expresada en unidades de aplicación (cm/semana o metros/año). La tasa hidráulica incluye períodos de tiempo con aplicación y sin aplicación (tasa promedio), necesarios para controlar debidamente el nitrógeno del efluente.

Para los TL de Tipo II, la tasa hidráulica de aplicación se basa en los requerimientos de evapotranspiración del cultivo o cultivos seleccionados, la cual incluye la fracción normal de lavado o necesidades de lixiviación, que previene la posibilidad de salinización del suelo.

Tasa hidráulica de aplicación para TL de Tipo I: lo básico para calcular esta tasa hidráulica de aplicación es un balance hídrico, es decir:

$$L_{ef} = ETR - Pp - Ppr$$

Donde:

L_{ef} : Tasa hidráulica de aplicación, en mm de purines/mes.

ETR : Evapotranspiración del predio, en mm/mes.

Pp : Precipitación mensual, en mm/mes.

Ppr : Tasa de percolación profunda, en mm/mes.

El valor de ETR se deberá determinar a partir de datos de bandeja de evaporación, registros históricos de la localidad, datos que generalmente se encuentran en las oficinas de INIA, Universidades y otros organismos relacionados con el riego.

El escurrimiento superficial no se incluye en la ecuación, suponiéndose que es interceptado y reaplicado. El cálculo normalmente se hace en términos mensuales y basado en el estrato del suelo que presenta la conductividad hidráulica (percolación) más limitante. En términos de valores de precipitación mensual (Pp), por lo general se utiliza el mes más húmedo en una secuencia de 10 años.

La permeabilidad puede determinarse con pruebas de campo, utilizando infiltrómetros, permeámetros o piscinas de infil-

tración. La permeabilidad medida o calculada se usa en la ecuación considerando un 4 al 10% de su valor, como criterio conservador, dado que lo que se está infiltrando no es agua pura, sino efluente.

Tasa hidráulica de aplicación basada en nitrógeno como elemento limitante para TL de Tipo I: cuando el objetivo del proyecto sea la protección de los recursos hídricos subterráneos para consumo humano, la limitación será no obtener valores superiores al estándar en el agua subterránea que rodea los límites del área de aplicación. Este estándar es variable, pero internacionalmente se reconoce válido el de 10 mg de nitrógeno por litro de agua.

Para asegurar un diseño conservador, se utiliza este mismo criterio para el percolado obtenido bajo el área de aplicación, antes de que se mezcle con el agua subterránea. Similarmente al cálculo anterior, en este caso se utiliza un balance de nitrógeno:

$$L_N = N_{Abs} - f(L_N) - 0,1(Ppr) (C_N)$$

Donde:

L_N : Carga de N aplicado en kg/ha/año.

N_{Abs} : Nitrógeno absorbido por el cultivo.

$f(L_N)$: Fracción del nitrógeno aplicado que se pierde por volatilización, desnitrificación, o inmovilización.

C_N : Concentración de nitrógeno del percolado (usualmente el estándar de 10 mg de N/l).

Los valores de nitrógeno absorbido por el o los cultivos se obtienen de experiencias locales o tablas aceptadas para el área donde se está desarrollando la aplicación. El factor de volatilización, desnitrificación o inmovilización varía de acuerdo al clima y efluente. Si el efluente tiene una relación DBO/N de 5 ó más, f puede oscilar entre 0,5 y 0,8. Valores menores se esperan para climas fríos, y mayores para climas más cálidos.

La ecuación de balance hídrico puede combinarse con la de balance de nitrógeno para obtener una carga hidráulica que considere ambos aspectos.

Tasa hidráulica de aplicación para TL de Tipo II: cuando los sistemas están

ubicados en zonas áridas o semiáridas, el diseño se basa en necesidades de agua de los cultivos más que en la permeabilidad del suelo, ya que existe un incentivo para economizar agua y maximizar el riego.

Entonces, el análisis simplificado sólo considera requerimientos de riego y precipitación, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$L_{ef} = \text{Riego} - Pp$$

El término *Riego* en esta ecuación considera los requerimientos para cubrir la evapotranspiración del cultivo (descontada la precipitación), necesidades de lavado (que fluctúan entre 5 y 30%, dependiendo de la calidad del efluente) y eficiencia del método de riego (30% para tendido, 40% para surcos, 70% para aspersión).

Tasas de carga orgánica

En general, la carga orgánica no es un factor demasiado limitante para los sistemas TL. Cuando se utilizan efluentes que poseen un alto contenido de compuestos orgánicos, normalmente la situación se maneja alternando períodos de aplicación

Cuando la aplicación se realiza en un lugar aislado, con cultivos que no son directamente consumidos por seres humanos, sólo es necesario un tratamiento primario de filtración.

con períodos de no aplicación. Un valor considerado límite es evitar utilizar los sistemas de TL cuando la carga orgánica supere los 500 kg/ha/día, ya que podrían presentar problemas por generar olores.

Requerimientos de superficie

Los requerimientos de superficie para realizar los tratamientos de aplicación al suelo son significativamente mayores que los necesarios para aquellos métodos convencionales de tratamiento. De manera adicional, se requiere superficie para caminos, áreas donde se realiza preaplicación, áreas tampón, etc.

La superficie se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Q + V_n}{C \times L_{ef}}$$

Donde:

A: Superficie requerida, en ha.

Q: Flujo anual de la aplicación, en m³/año.

V_n: Volumen neto de almacenamiento, en m³/año.

C: Constante para cambiar unidades, en este caso igual a 100.

L_{ef}: Tasa hidráulica de aplicación, en cm/año.

Distribución de las aplicaciones

Para los TL de Tipo I, las aplicaciones son generalmente semanales al utilizar riego por aspersión o cada quince días cuando se emplea riego superficial. La superficie se distribuye de la misma forma que cuando se hace acuartelamiento para el riego, donde la aplicación de agua se realiza en forma rotativa entre potreros, calculando una superficie mínima de riego diario, que en este caso es función del caudal disponible y de la carga orgánica máxima permitida.

Para los TL de Tipo II, o para los TL limitados por la cantidad de N, las aplicaciones son función del clima y el cultivo. El objetivo es mantener el cultivo en óptimas condiciones de crecimiento y que la humedad del suelo no disminuya más allá del umbral de riego (porcentaje de diferencia entre Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente) establecido para dicho cultivo.

Técnicas de distribución de las aplicaciones y de control del escurrimiento

Estos sistemas de tratamiento utilizan cualquier método de riego disponible, desde presurizado —como aspersión y goteo— a riego superficial —como surcos, bordes o tendido—. Lo importante es que las características del método no limiten la aplicación. Por ejemplo, al utilizar riego por goteo para distribuir los efluentes, se presentan dificultades de taponamiento de los emisores. Asimismo, un método de riego tendido tradicional puede presentar un mal escurrimiento del efluente. En general, cualquier escurrimiento debe ser interceptado y reaplicado si es necesario. De la misma forma, debe establecerse un sistema de manejo de suelos apropiado, para evitar la erosión en períodos de lluvias intensas. 🌧️

