CARTILLA SOBRE CRITERIOS DE APLICACIÓN DE EFLUENTE A TERRENO Y SU IMPLICANCIA PRÁCTICA EN EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

inale
Instituto Nacional de la Leche

CRITERIOS DE APLICACIÓN DE EFLUENTE A TERRENO Y SU IMPLICANCIA PRÁCTICA EN EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Apoyan

TABLA DE CONTENIDOS

1. Marco Institucional 5

2. Introducción 6

3. Criterios de diseño del sistema de aplicación 7

3.1 Volumen generado y composición del efluente 7

3.2 Área de aplicación y su ubicación 8

3.3 Tasa de aplicación máxima 10

3.3 Lámina a aplicar 12

4. Implementación de los sistemas de aplicación 14

4.1 Estercolera 14

4.2 Sistemas de aspersión 17

4.3 Instalación de sistemas de aspersión presurizados 17

4.4 Operación del sistema 17

4.5 Plan de Aplicación 20

4.6 Resumen del Diseño 20

4.7 Mantenimiento del sistema 21

4.8 Evaluación y seguimiento del sistema 21

5. Recursos y referencias bibliográficas 23

5.1 Recursos 23

5.2 Referencias bibliográficas 23

Anexos 24

CRITERIOS DE APLICACIÓN DE EFLUENTE A TERRENO Y SU IMPLICANCIA PRÁCTICA EN EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

1. MARCO INSTITUCIONAL

Esta cartilla pretende ampliar información y brindar recomendaciones técnicas que permita a los profesionales vinculados al sector lechero y a los productores, maximizar las ventajas de utilizar el efluente generado en los tambos. Su elaboración se enmarca dentro de la convocatoria del llamado “Plan de lechería sostenible en la Cuenca del río Santa Lucía” dentro del Proyecto de Desarrollo y Adaptación al Cambio Climático del MGAP (BM 8099-UY).

El contenido de la misma es producto del intercambio y discusión entre las instituciones públicas y privadas relacionadas al sector: MGAP mediante la Dirección General de Recursos Naturales (DGRN), MVOTMA mediante la Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA), proyecto BIOVALOR (MGAP, MVOTMA Y MIEM), la Universidad de la República (UDELAR), Universidad Tecnológica del Uruguay (UTEC), Cooperativa Nacional de Productores de Leche (CONAPROLE), la Sociedad de Productores de Leche de Florida (SPLF), el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) y el Instituto Nacional de la Leche (INALE) quien actúa como órgano asesor y difusor.

2. INTRODUCCIÓN

Un correcto sistema de gestión de efluentes necesita el almacenamiento y la disposición final del efluente a terreno. Puede existir también tratamiento, por ejemplo con la presencia de más de una laguna; en este caso se debe asegurar que la última laguna cumpla con el cometido del volumen de almacenamiento adecuado.

El éxito de cualquier sistema será determinado por su capacidad de cumplir con el objetivo de poder gestionar los efluentes correctamente, lo cual requiere cierto nivel de practicidad operativa y de mantenimiento que permitan que el Sistema de Gestión perdure en el tiempo. Dicho de otra manera, los sistemas de gestión de efluentes deben ser sustentables desde el punto de vista humano. Este aspecto es fundamental al momento de diseñar el sistema.

El efluente generado en los tambos es una fuente de nutrientes y materia orgánica que puede ser re-valorizada al incorporarla en forma controlada al suelo. Esta actividad tendrá cierto impacto en el crecimiento vegetal y en las propiedades físico-químicas del suelo. Considerando esto, se debe buscar para cada tambo en particular, la forma más adecuada de aplicar los efluentes al terreno y al mismo tiempo maximizar la eficiencia de su utilización ajustando las cantidades y formas de aplicación. Cabe destacar que en esta cartilla se hará referencia únicamente al manejo del efluente y no al manejo de los sólidos generados si se realiza separación.

Los objetivos de la aplicación a terreno del efluente son los siguientes:

a. garantizar que el efluente sea completamente retenido en el suelo con el fin de evitar la contaminación de aguas superficiales mediante el escurrimiento o de napas subterráneas por percolación profunda

b. re-valorizar el efluente con fines agronómicos aprovechando el aporte de materia orgánica y nutrientes, y sus efectos en las propiedades fisicoquímicas del suelo.

De acuerdo a cómo se diseñe el sistema de gestión, por ejemplo, si existe separación de sólidos y cual sea su eficiencia, se determinarán las características del efluente líquido a disponer en términos de su composición y volumen. Estos datos junto a las características del suelo, topografía y del establecimiento en términos del manejo del rodeo y uso del agua, condicionan el tipo de sistema necesario para la distribución del efluente y su disposición a terreno.

3. CRITERIOS DE DISEÑO DEL SISTEMA DE APLICACIÓN

3.1 Volumen generado y composición del efluente

Calcular el volumen de efluente generado para la aplicación a terreno es el punto de partida para comenzar con el diseño del sistema de aplicación. Se debe considerar el volumen de excretas generadas en los corrales de espera y sala de ordeñe, agua limpia para el lavado de las instalaciones, las aguas pluviales contaminadas y los desperdicios en caso de existir camas o patios de alimentación asociados. Las aguas pluviales limpias deben desviarse del sistema.

Para realizar el cálculo de la estimación del volumen se recomienda considerar los componentes del siguiente cuadro:

Cuadro Nº1. Componentes del efluente generado en el tambo

Componente	Unidad	Criterios y consideraciones
Excreta diaria (orina + estiércol)	L/VO/día	Usar valores de referencia: 70 (55-85Lt/VO/día)[1]; 54 (20-90Lt/VO/día)[2]; Fórmula Nennich y Harrison, 2005[3].
Excreta corral de espera	L/VO/día	Se debe ponderar la generación diaria (punto anterior) en función del tiempo promedio de espera en el corral[4]. Considerar dinámica del manejo del rodeo (horas día para el cálculo: de 16 a 24).
Agua de lavado	L/VO/día	Realizar una estimación del volumen diario de agua considerando corral de espera, sala, máquina ordeñe, enfriamiento leche, lavado ubres. Se recomienda cuantificar este volumen en cada caso específico. En caso de desconocer el gasto de agua durante el ordeñe considerar valor de referencia promedio 50lt/VO/día[5], el mismo no considera el agua de reúso.
Pluviales contaminadas	m^3/año	Considerar área efectiva total de corrales de espera patio de alimentación (en caso de usarse) y unidades del sistema de gestión de efluentes (separador, desarenador, planchada de escurrimiento, etc.). Multiplicar este valor por los mm de precipitación anual para la ubicación del tambo (rango: 1.000 a 1.200mm). A partir del producto entre estas dos magnitudes se estima el volumen anual de pluviales contaminadas. Sugerencia: trabajar con una misma unidad, en metros o en milímetros.
Pluviales sobre áreas de lagunas	m^3/año	Considerar área efectiva total de espejo de agua de laguna realizando el balance hídrico entre precipitación y evaporación

Fuente: Elaboración propia

Tener presente que las características de los animales (peso, categoría, raza), cantidad y composición de la dieta también impactan en la composición y en el volumen de efluente generado, pero en una manera menos significativa.

La composición físico-química del efluente presenta una altísima variabilidad dependiendo el lugar y momento de recolección, así como del tipo y eficiencia en la separación de sólidos que se realice ya sea en forma pasiva o mecánica.

Se recomienda caracterizar el efluente a aplicar realizando un correcto muestreo según se indica en Manual Argentino INTA Rafaela[6]. Se sugiere, como mínimo, determinar la concentración de los siguientes parámetros:

- Sólidos totales (materia seca)
- Materia orgánica
- Nitrógeno (N total Kjeldahl y nitratos)
- Fósforo (P total)
- Potasio (K total)
- Sodio

A modo orientativo, se presentan en el siguiente cuadro valores nacionales referidos al contenido de sólidos totales, macronutrientes y materia orgánica, para materiales con un nivel de separación bajo, medio y alto de sólidos, según el grado de eficiencia de separación estimada. Es muy importante considerar que existe una altísima variación estacional de la composición.

Cuadro Nº2. Composición del efluente según sistema de separación de sólidos

Sistema de separación	Eficiencia estimada en la separación de sólidos	Grado de separación	Sólidos totales (mg/L)	N (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)
Sin separación	< 10%	Bajo	>20.000	350-800	80-120	300-400
Separación pasiva	10 - 30%	Medio	4.500-12.000	300-400	40-70	200-400
Separación mecánica	> 30%	Alto	3.000-6.000	250-350	25-36	200-350

Fuente: Tambo Sustentable-Conaprole, 2017

3.2 Área de aplicación y su ubicación

3.2.1 Determinación del área mínima de aplicación

Según la cantidad y características de efluente generado se debe definir un área mínima de aplicación teniendo en cuenta los niveles actuales de fosforo y nitrógeno en suelo, los requerimientos de/ los cultivos planificados, el aporte por fijación biológica si hubiera presencia de leguminosas y pérdidas a la atmósfera (nitrógeno), fertilización inorgánica y aporte por deyecciones en caso de chacras potenciales a ser pastoreadas.

En términos prácticos se deben fundamentar las cargas de N y P anual (kg/ha/año) aportadas por el efluente, conociendo el volumen generado y su composición. Para ello, se deben conocer las cargas de extracción de nutrientes anuales de los cultivos o pasturas proyectadas en los potreros destinados a la aplicación de los efluentes. Para esto último, se recomienda considerar lo señalado por International Plant Nutrition Institute (IPNI), ver ítem 5. Capítulo Recursos y Referencias bibliográficas.

Una vez realizados los cálculos, se debe utilizar la mayor superficie que resulte de los dos balances (P y N). Tener en cuenta las limitaciones dadas por el equipo de aplicación que pueden condicionar el tipo de cultivo a incluir en la rotación (por ejemplo, que cierto cultivo crezca y bloquee el movimiento del irrigador).

Se recomienda realizar un seguimiento de los niveles de nutrientes en el suelo en forma periódica (para poder realizar los ajustes necesarios en la fertilización).

3.2.2 Selección de la ubicación del área de aplicación

La selección de las chacras donde se aplican los efluentes debe realizarse teniendo en cuenta los criterios del "Manual de Medidas Exigibles para cultivos: Instructivo para la elaboración y presentación de Planes de Uso y Manejo Responsable de Suelos" del MGAP, que contempla la normativa vigente (Decreto 253/79 para la "Prevención de la contaminación de aguas", y RM 229-2015 MVOTMA, sobre áreas buffer de la CRSL), ver ítem 5: Capítulo Recursos y Referencias bibliográficas. Estos criterios son:

- Concentraciones de fósforo Bray I en el suelo menores a 31 ppm
- Distancias mínimas o perímetros especiales a cursos de agua: 50 m o mayor si corresponde
- Distancia mínima a pozos de extracción de agua: 50 m
- Distancia mínima a predios linderos y medianeras: 10 m
- Exclusión vacas preparto y categorías menores a 1 año

Se sugiere evitar áreas inundables y áreas con pendientes pronunciadas para minimizar episodios de escurrimiento superficial y sub-superficial.

3.3 Tasa de aplicación máxima

Para evitar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, y poder re-utilizar el efluente como fuente de materia orgánica y nutrientes, se debe lograr retener el efluente en el suelo en la zona de extracción radicular. Para esto, es de suma importancia establecer tasas de aplicación adecuadas para cada tipo de suelo y contemplar dichas tasas al momento de diseñar el sistema de aplicación. La tasa de aplicación del sistema debe procurar ser siempre menor o igual a la capacidad de infiltración del suelo.

Para determinar a campo la tasa de infiltración del suelo se sugiere utilizar el ensayo de infiltración con doble anillo. La fórmula referente para calcular la infiltración medida a campo es la de Kostiakov (1962):

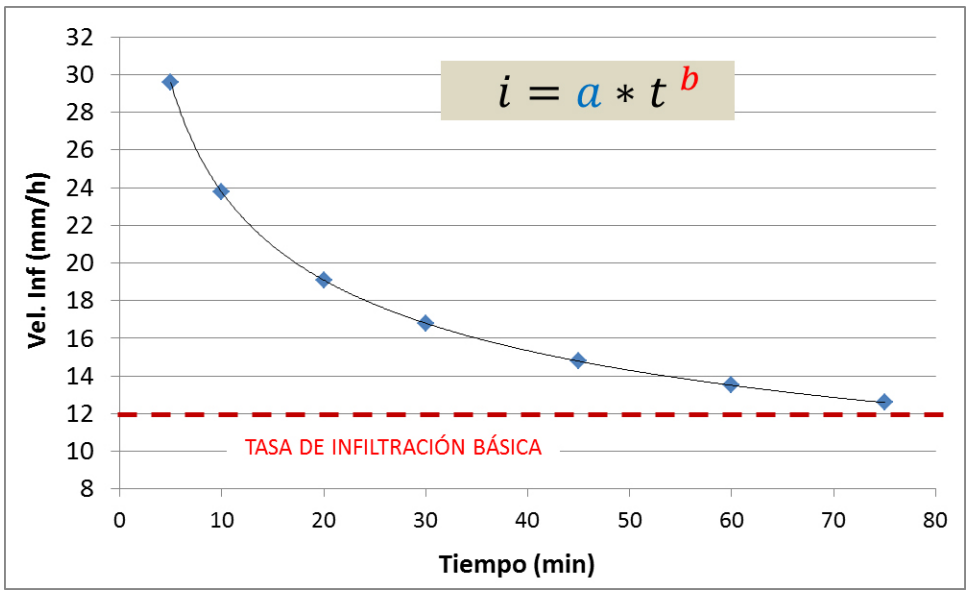
$$i = a * t^{b}$$

Donde:

i = tasa de infiltración instantánea (mm/h)
a = velocidad de infiltración en unidad de tiempo medida a campo
t = tiempo de infiltración
b = coeficiente adimensional que varía entre 0 y -1

En el siguiente gráfico se muestra un ejemplo de la evolución de la velocidad de infiltración según el tiempo, la cual disminuye hasta llegar a una constante, denominada tasa de infiltración básica.

Gráfico Nº1. Ejemplo de determinación de la tasa de infiltración y tasa de infiltración básica



Fuente: Adaptación de M. García Petillo, 2012- Tambo Sustentable-Conaprole, 2017

Es importante notar que la tasa de infiltración obtenida de ensayos de doble anillo no es estrictamente representativa de la tasa de infiltración resultante cuando se utiliza un método de aspersión en las condiciones de operación previstas. Además, la tasa de infiltración, por su dependencia de variables como contenido y distribución de agua en el suelo, tipo de suelo, textura (contenidos de arcilla, limo, arena), estructura, contenido de materia orgánica, compactación y densidad aparente, tiene una variabilidad espacial significativa que difícilmente pueda ser caracterizada con exactitud con estos ensayos.

En los sistemas de aplicación fijos funcionando durante un período cercano a las tres horas en una misma posición, la tasa de aplicación debe ser menor o igual a la tasa de infiltración básica del suelo. Por otro lado, en los sistemas de aplicación móviles (o autopropulsados) podrá permitirse una tasa de aplicación superior a la tasa de infiltración básica del suelo, siempre y cuando no se supere el tiempo de encharcamiento para la tasa de aplicación seleccionada, evitando episodios de anegamiento y escorrentía superficial del efluente. El tiempo de encharcamiento dependerá del tipo de suelo, el contenido inicial de agua en el suelo y de la tasa de aplicación del irrigador.

Los suelos que comprenden a la cuenca lechera al sur del Uruguay, en particular, son en general de texturas francas a arcillosas y presentan tasas de infiltración básica del orden de 5 a 15 mm/hora.

A continuación se presenta un cuadro con valores orientativos de tasas de infiltración básicas según composición textural predominante.

Cuadro Nº4. Tasas de infiltración básica según tipo textural predominante para suelos de Uruguay

Suelos	Tasa de infiltración básica (mm/hora)
Arenosos	19
Arenosos francos	12,7
Franco-arenosos	10,9
Franco	8,9
Franco-limosos	7,6
Franco-arcillosos	6,4
Arcillo-limosos	5
Arcillosos	3,8

Fuente: Rodriguez Suppo, F. “Riego por goteo”, 1982

El contenido de sólidos presente en el efluente afecta la tasa de infiltración del suelo. En términos generales para texturas livianas afectan en mayor medida que para texturas más finas. Si bien no existe información nacional, generada hasta el momento, se muestra en el cuadro Nº5 los coeficientes de corrección según el contenido de sólidos para cada tipo textural.

Cuadro Nº5. Coeficientes de corrección de la tasa de infiltración básica según contenido de sólidos de efluente medidos en porcentaje de peso.

	Porcentaje de sólidos (%)						
Textura del suelo	0,5	1	2	3	5	7	10
Arenoso	0,88	0,55	0,31	0,22	0,13	0,10	0,07
Franco arenoso	0,70	0,54	0,37	0,28	0,19	0,14	0,10
Franco	0,87	0,77	0,63	0,53	0,40	0,32	0,25
Franco limoso	0,97	0,93	0,88	0,83	0,74	0,67	0,59
Limoso	0,98	0,95	0,91	0,87	0,81	0,75	0,68
Franco arcilloso	0,99	0,97	0,95	0,92	0,87	0,83	0,78
Franco arenoso arcilloso	0,99	0,99	0,98	0,97	0,94	0,92	0,89
Franco limoso arcilloso	1,00	1,00	0,99	0,99	0,98	0,97	0,96
Arcilloso arenoso	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99	0,99
Arcilloso limoso	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Arcilloso	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fuente: USDA, 1997

3.4 Lámina a aplicar (mm)

La lámina anual a aplicar (LA) se determina en función del volumen anual de efluente generado y del área dimensionada a partir del balance de nutrientes.

La lámina diaria máxima (LMD) en cada posición es el valor más restrictivo de los siguientes:

- Lámina máxima diaria por nutrientes (LMD-N)
- Lámina máxima diaria según agua disponible en el suelo (LMD-AD)

La LMD-N se determina mediante la siguiente ecuación:

$$LMD\text{-}N=\frac{LA}{n*r}$$

Donde:

LMD-N: es la lámina máxima diaria limitada por el contenido de nutrientes
LA: es la lámina total anual definida por el balance de nutrientes
n: es el número de posiciones totales posibles del aspersor en el año
r: es el número de repeticiones posibles en el año en cada posición (días posibles para realizar las aplicaciones)

La LMD-AD se determina teniendo en cuenta el contenido de agua del suelo presente. Esto implicaría realizar análisis previo de composición textural, contenido de materia orgánica y densidad aparente del suelo. Sin embargo, puede estimarse con valores de agua disponible de referencia a partir de la Carta de Suelos 1:40.000 (ver ítem 6. Recursos) considerando una profundidad máxima de 20-30 cm según limitaciones físicas constatadas en sitio.

Considerando los diferentes tipos de suelos de la cuenca lechera, los volúmenes de agua disponible en la zona radicular (ver cuadro Nº3) y las tecnologías de aplicación disponibles, se recomienda no utilizar una lámina diaria máxima mayor de 30 mm.

Se debe tener presente que la lámina diaria a aplicar debe considerar la condición hídrica del suelo al momento de realizar la aplicación y el cultivo o pastura presente, por lo tanto su valor es variable (ver ítem 4.4). En un suelo saturado por la disposición previa de efluentes o bien por las lluvias antecedentes no se debe aplicar el efluente al terreno. A modo de ejemplo, para evitar el escurrimiento luego de una lluvia significativa (ej.: 20 mm), habría que esperar 4 días en invierno y 2 días en verano para realizar la aplicación.

En el mismo sentido, debe tenerse en cuenta que en los sistemas de aplicación fijos, la lámina de riego depende del caudal y del tiempo de riego. En sistemas de aplicación móviles la lámina depende del caudal y de la velocidad de avance del irrigador o estercolera.

Cuadro Nº6. Agua disponible (mm) en 50 cm de profundidad para las series que predominan en la cuenca lechera de Santa Lucía.

	Agua Disponible 50 cm (mm)	
Serie	**Mínima**	**Máxima**
Guaycurú	80	95
Carreta Quemada	85	100
Tala (f. sup.)	85	95
Rodriguez	80	98
San Gabriel	70	90
La Carolina (B)	80	95

Fuente: DGRN, 2018

4. IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE APLICACIÓN

Se recomienda utilizar métodos de aspersión de manera de asegurar la mayor uniformidad posible en la aplicación. Actualmente existen básicamente dos tecnologías disponibles: las estercoleras y los sistemas de aspersión (fijos y móviles). Se debe tener muy presente el balance de nutrientes, sobre todo el nivel actual de fósforo en el suelo para evitar su acumulación.

4.1 Estercolera

La aplicación con estercolera consiste en el mezclado del efluente contenido en la laguna de almacenamiento hasta lograr la mejor homogeneización posible y su carga en la cisterna para su posterior distribución a terreno. Debido a los costos del combustible, generalmente resulta un método costoso de operar, dada la cantidad de viajes necesaria para vaciar las lagunas. De todos modos, bajo un adecuado estudio de costos de operación puede resultar una alternativa viable para tambos pequeños y/o que realicen la limpieza del corral de espera mediante raspado en seco, dependiendo de las características estructurales del establecimiento y del período de almacenamiento del efluente.

Ventajas:

- Permite aplicar efluente sin previa separación de sólidos.
- Permite la aplicación en chacras que se encuentren lejos de la zona de ordeñe.
- Permite evadir interferencias locales (rutas, caminos, etc).
- No depende de la potencia contratada que tenga el establecimiento.

Desventajas:

- Altos costos operativos (combustible y mano de obra).
- Para escalas medianas y grandes alta necesidad de mano de obra. Se debe tener en buen estado la caminería y acceso a la pileta de almacenamiento.
- Dificultad de ingreso a potreros en determinados momentos del año.
- Requiere tractores con potencias mayores a 75 Hp.

4.2 Sistemas de aspersión

En general, estos sistemas resultan indicados desde el punto de vista ambiental y operativo, considerando la amplia escala actual de tambos. Debe tenerse en cuenta los requerimientos de potencia de los equipos (además de los ya existentes) así como el tipo de corriente disponible (monofásica o trifásica). Se recomienda que la instalación sea chequeada por un técnico electricista idóneo contemplando las protecciones correspondientes.

Ventajas:

- Bajos costos operativos.
- Ciertos componentes del sistema se pueden automatizar.
- Mayor uniformidad en la aplicación
- Los costos fijos disminuyen a medida que se agranda la escala productiva.
- Soluciones escalables y adaptables a diferentes establecimientos.

Desventajas:

- Se requiere tener una potencia mínima contratada.
- Requiere instalaciones e infraestructura permanente por lo que un diseño hidráulico inadecuado puede causar problemas operativos.

4.2.1 Componentes del sistema de aspersión

Los principales componentes del sistema de aplicación por aspersión son los siguientes:

1) Sistema de bombeo
2) Tuberías de conducción y de distribución
3) Irrigador

Es fundamental que cada uno de estos componentes esté dimensionado adecuadamente por un técnico calificado a fin de que el sistema funcione correctamente y no implique problemas operativos a futuro.

Sistema de bombeo: Se sugiere utilizar sistemas de bombeo con capacidad para pasaje de sólidos y que permitan obtener presiones mínimas de 2 Kg/cm^2 en el irrigador, a un caudal de trabajo adecuado según los parámetros de diseño para la aplicación (tasa de aplicación y volumen a distribuir). Sin embargo, la selección de la bomba depende de cada proyecto en particular, porque este cálculo depende de las pérdidas de carga del sistema diseñado.

Las bombas centrífugas de rotor cerrado pueden utilizarse en un número muy limitado de casos (bombas para agua limpia). Las bombas de tipo mono-canal o de rotor abierto son más adecuadas para el bombeo de líquidos con alto contenido de sólidos y requieren potencias de trabajo entre 5 y 20 HP. Para realizar la correcta selección del equipo de bombeo se deben considerar las pérdidas de carga geométricas, distribuidas y localizadas, además del punto de funcionamiento (presión y caudal) adecuado del irrigador. La bomba seleccionada debe contar con materiales anticorrosivos.

La eficiencia en el bombeo resulta mayor cuanto menor sea el contenido de sólidos del efluente, de aquí la importancia en la separación de sólidos previa

Cabe señalar que existen sistemas de bombeo conformados por más de una bomba, conectadas en serie que pueden alcanzar los puntos de funcionamiento adecuado, siendo más eficientes en términos del consumo de energía.

Conducción: Tener en cuenta la presión máxima de trabajo de la bomba para definir la presión nominal de la tubería. En general se recomienda utilizar tuberías de PVC o PEAD de presión nominal mínima de 6 Kg/cm^2. Se recomienda que la presión máxima de la instalación no supere el 75 a 80% de la presión nominal de la tubería. Para el dimensionamiento de la conducción (diámetro y longitud) se deben determinar las pérdidas de carga distribuidas y localizadas en la instalación. Se recomienda realizar la mínima cantidad de cambios de dirección con el fin de minimizar las pérdidas de carga y posibles obstrucciones en la instalación.

Irrigador: El objetivo es distribuir el efluente en la chacra a las tasas definidas en el diseño de forma homogénea y uniforme.

En Uruguay existen actualmente tres tipos de irrigadores para efluentes de tambo:

Cañón móvil auto-propulsante **Cañón fijo** **Aspersor portátil (tortuga)**

El cañón fijo y las líneas de aspersores portátiles son adaptables para tambos de menor escala con menores volúmenes de efluente generados.

Según la información recabada, el siguiente cuadro resume los principales parámetros a considerar al momento de la selección del equipo de aspersión.

Cuadro Nº7. Principales parámetros para seleccionar el equipo se aspersión

Equipo aspersor/ Irrigador	Caudal (m^3/hora)	Presión mínima (Kg/cm^2)	Lámina (mm)	Tasa de aplicación (mm/ hora)	Diámetro mojado (m)	Diámetro boquilla (mm)	Observaciones
Cañón móvil autopropulsante	14 - 25	2	6 - 24	> 9	24 - 50	16 - 25	lámina y tasa de aplicación dependen de velocidad de avance y caudal
Cajón fijo	6 - 12	2	variable	6 - 12	30 - 45	12 - 16	lámina depende del tiempo de riego y caudal
Laterales (tortugas)	5 - 15	2	variable	6 - 12*	30 - 60	9 - 14	lámina depende del tiempo de riego y caudal

*En caso de alcanzar una alta eficiencia en la separación de sólidos (>30%) pueden lograrse tasas de aplicación menores a 6mm/hora. Ajustando el tamaño de boquilla, se pueden obtener tasas del orden de los 3-4mm/hora.
Fuente: Elaboración propia, 2018

En base a experiencia de proyectos implementados hasta el momento en el país, a partir de las 150 vacas en ordeñe es recomendable el uso del cañón móvil auto-propulsante.

La selección de la tecnología de aplicación depende de lo ya expuesto en lo que refiere a la tasa y lámina de aplicación. No obstante, también depende de la eficiencia lograda en la separación de sólidos del sistema de gestión de efluentes. Es decir, cuanto mayor sea esta eficiencia, más cantidad de opciones se podrán adecuar al diseño. Las eficiencias energéticas respecto al uso de equipos serán también mayores ya que posibilita el uso de bombas de alto rendimiento.

4.3 Instalación de sistemas de aspersión presurizados

La conducción del efluente desde la laguna hasta las chacras, se realiza a través de una línea madre (o tubería principal) compuesta por tuberías enterradas (PEAD o PVC) de diámetro nominal según diseño hidráulico y luego por una tubería de distribución de diámetro nominal según diseño hidráulico y características propias del irrigador. En general la línea madre se utilizan tanto PVC como PEAD, mientras que para la tubería de distribución se utiliza PEAD debido a la flexibilidad y capacidad de curvatura que brinda este material. La tubería de distribución (material flexible) es continuamente trasladada de sitio durante la operación del sistema.

En la chacra donde se vaya a aplicar el efluente, se colocará sobre la línea madre hidrantes o “tomas” con acople rápido para conectar la tubería de distribución. La tubería de distribución conecta la línea madre con el irrigador. Esta tubería no estará enterrada, ya que es la que arrastra el cañón móvil a medida que va avanzando por la franja de riego, o la que se utiliza para cambiar de posición el cañón fijo o aspersor lateral.

En la línea presurizada se recomiendan disponer de válvulas de purga o descarga en los puntos bajos y válvulas de aire en los puntos altos. Las válvulas de purga se utilizan para vaciar la tubería por completo en casos de limpiezas o mantenimiento por roturas. Las válvulas de aire impiden que se formen “bolsas” de aire durante el llenado de la tubería, ayudan a liberar sobrepresiones por cierres bruscos de válvulas y a equilibrar sub-presiones por el apagado de las bombas.

Debe tenerse en cuenta los requerimientos de potencia de los equipos (además de los ya existentes) así como el tipo de corriente disponible (monofásica o trifásica) y voltaje disponible. Se recomienda que la instalación sea chequeada por un técnico electricista idóneo contemplando las protecciones correspondientes.

4.4 Operación del sistema

Cada tipo de irrigador implica un modo de operación sujeto a la sistematización de la chacra donde se va a realizar la aplicación. Para todos los casos se deben definir las posiciones donde se conectará el irrigador (cantidad y sitios), las veces que se repetirá la posición a lo largo del año según la lámina anual calculada, los tiempos de aplicación y velocidad de avance en caso del equipo móvil auto-propulsante. Para estos equipos debe tenerse en cuenta una distancia mínima de 3m de separación entre el cable de acero anclado a punto fijo y la tubería de distribución, durante todo el recorrido. Para todos los casos se sugiere realizar pruebas de funcionamiento para chequear que los equipos funcionan correctamente.

Una vez instalado el sistema se recomienda realizar una prueba a campo. La misma consiste en colocar recipientes distribuidos a intervalos medidos desde el aspersor hasta su radio máximo y se opera el sistema con la tasa de aplicación máxima determinada en el diseño. Se mide el tiempo de encharcamiento y el volumen recogido (mm) en cada recipiente en este tiempo. Se ajusta la tasa de aplicación para poder maximizar la cantidad de efluente distribuido antes del encharcamiento. Deben realizarse las pruebas teniendo en cuenta dos condiciones iniciales: suelo extremadamente seco y suelo moderadamente seco, que sean representativas de la operación rutinaria del sistema. Suelo extremadamente seco representa la situación de cuando las aplicaciones son menos frecuentes y de mayor lámina, mientras que suelo moderadamente seco se trata de cuando las aplicaciones son más frecuentes y de láminas menores. En la sección de recursos (ítem 5) se presenta una guía práctica para estimar contenido de agua del suelo para distintos grupos texturales.

A continuación se muestra en la figura Nº2 y Nº3 un esquema de cómo se podría operar un sistema de aplicación mediante el uso de cañón auto-propulsante y de aspersores fijos (laterales móviles), respectivamente.

Figura Nº2. Esquema de operación de un cañón auto-propulsante}

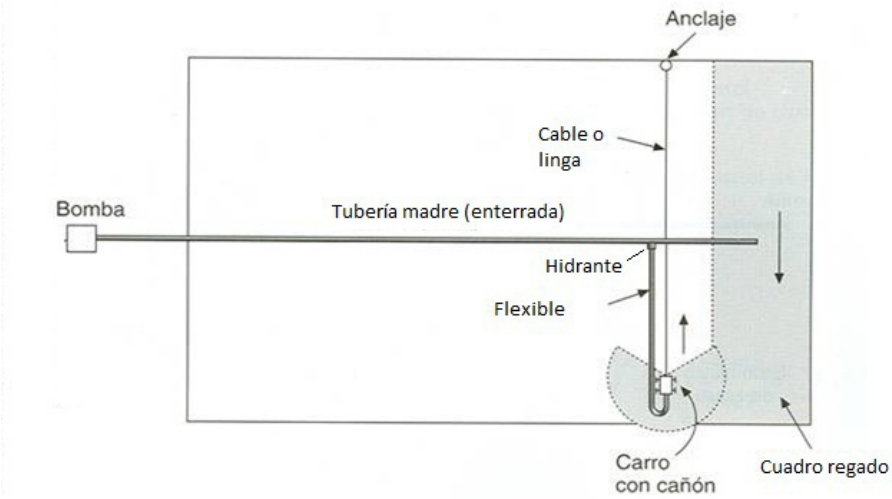
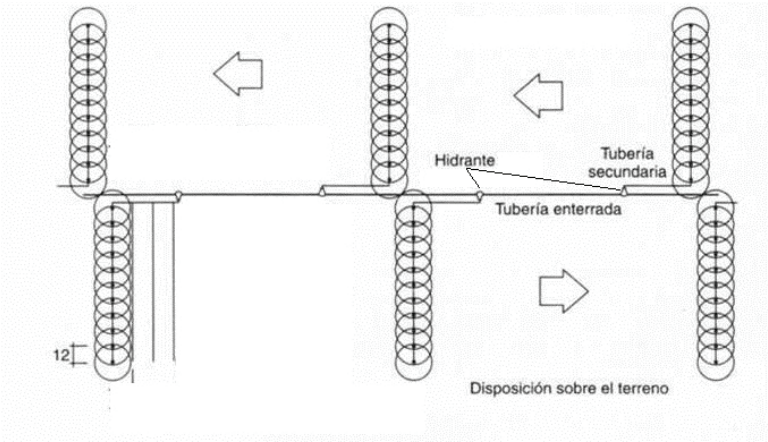


Figura Nº3. Esquema de operación de un lateral móvil (aspersores fijos)



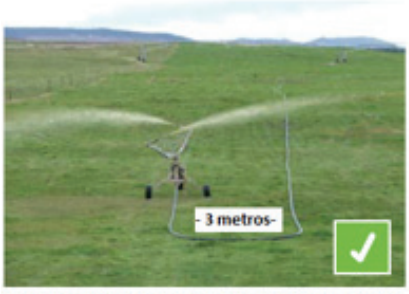
A continuación se muestran imágenes de equipos operando correcta e incorrectamente con el fin de señalizar lo que se puede apreciar a campo e intentar corregir los problemas.

Presión de trabajo óptima

Presión de trabajo sub-óptima

Sistema operando correctamente. Adecuada uniformidad en la aplicación.

Sistema operando con presión sub-óptima. Láminas de aplicación mas altas y distribución desuniforme



No existe encharcamiento. La disposición del flexible es correcta.

Mala disponsición del flexible genera un enlentecimiento del equipo y provoca encharcamiento

4.5 Plan de Aplicación

Para garantizar el éxito del funcionamiento del sistema de gestión de efluentes y más concretamente del sistema de aplicación a terreno, debe existir una planificación operativa clara previo a la implementación y una concientización del productor sobre la importancia de dar cumplimiento a la misma.

Se recomienda evaluar con el productor la viabilidad de realizar las aplicaciones de efluentes en tiempo y forma como indica el diseño. Luego se debería especificar por escrito este "Plan de Aplicación" de manera simple y accesible al productor. En el mismo debe señalarse la información necesaria para operar el sistema, un plano donde se identifique la sistematización de la/s chacra/s señalando los cuadros de aplicación y una planilla para que el operario registre cada aplicación. (Ver anexo Nº1).

En adhesión al Plan de Aplicación se recomienda adosar al mismo una "guía" o listado de posibles soluciones a aquellos problemas o situaciones complejas a las cuales se podría afrontar el operario (Ver anexo Nº2). En la misma se pretende detallar las recomendaciones prácticas frente a posibles inconvenientes y especificar los teléfonos de contacto relevantes que puede necesitar.

El Plan de Aplicación (incluido el plano o croquis con sistematización de los cuadros de aplicación) junto con la Guía de "posibles soluciones" deberían estar impresas y visibles en un lugar de fácil y frecuente acceso, por ejemplo en la oficina, sala de ordeñe, sala de máquinas o tanque de frío.

4.6 Resumen del Diseño

Se recomienda elaborar un resumen donde se especifique la información básica del diseño realizado (Ver anexo Nº3). El mismo debe incluir como mínimo los siguientes parámetros:

- cantidad de vacas en ordeñe consideradas en el diseño
- volumen diario generado de efluente, de almacenamiento y por aplicación (m3)
- volumen de pluviales limpias desviadas del sistema en el año (m3)
- área mínima anual necesaria para disponer el efluente líquido generado
- la identificación y dimensión de la/s chacras que componen el área de aplicación (ha)
- elección y puntos de funcionamiento de la bomba: rango de caudales y presiones de trabajo
- lámina de aplicación anual y diaria (mm)
- elección y puntos de funcionamiento del irrigador de efluentes
- velocidad de avance en caso de irrigador móvil
- tiempo de aplicación máximo en caso de irrigador fijo
- tasa de aplicación básica del suelo (mm/hora)
- tasa de aplicación del equipo seleccionado (mm/hora)
- cantidad máxima de pasadas en el mismo cuadro de aplicación en el año
- especificaciones de la conducción (diámetros, longitudes, materiales, presiones nominales de trabajo)

El diseño también debe incluir un plano, un esquema básico o un croquis que contenga los siguientes ítems:

- distancias mínimas a fuentes de agua (franjas buffer o de amortiguación) según como indica la sección 3.3.2
- sistematización de la/s chacra/s de aplicación
- identificación de hidrantes y cuadros de aplicación
- conducciones y accesorios hidráulicos en la tubería madre y en la tubería de distribución)
- unidades del sistema de gestión de los efluentes (laguna de almacenamiento, desarenador, separador de sólidos (pasivo o mecánico), planchada de escurrimiento o bunker de acopio de sólidos, etc.)

4.7 Mantenimiento del sistema

Para mantener el correcto funcionamiento del sistema de gestión de efluentes en su conjunto se deben realizar tareas de mantenimiento con determinada frecuencia a todos los componentes y contar con los contactos de los proveedores de insumos y servicios relacionados. Para ello, se enfatiza:

- sistemas de gestión que cuenten con separación de sólidos pasiva: que las limpiezas sean con la frecuencia para la cual fue dimensionada. La falta de mantenimiento puede culminar con el tapado de boquillas del equipo aspersor debido al pasaje de sólidos hacia el sistema de aplicación
- sistemas con separación de sólidos mecánica: es importante la correcta puesta a punto del equipo y su mantenimiento. Por ello, sería recomendable solicitarles a los proveedores de estos equipos, las acciones a realizar para el correcto mantenimiento de los mismos.

Para ampliar información al respecto, se recomienda acceder al capítulo 3 “Operación y mantenimiento de los sistemas de gestión de efluentes” del Manual para la gestión ambiental de tambos.

En el anexo Nº4 se detalla un ejemplo de “Check list” según cada componente y la frecuencia recomendada para su realización.

4.8 Evaluación y seguimiento del sistema

Es recomendable que una vez al año se haga una evaluación completa del sistema de gestión de efluentes. Como mínimo se recomienda:

- Revisar los registros de operación e identificar necesidades de mejora
- Revisar los registros de mantenimiento y asegurar el buen funcionamiento de los componentes
- Medir nivel de efluentes en la laguna y comparar con año anterior
- Realizar muestreo de efluente y analizar composición
- Actualizar Plan de Fertilización como sea necesario:
  - Realizar muestreo de suelos en chacras donde se aplica efluente de acuerdo a frecuencia establecida
  - Ajustar rotación y selección de chacras en función de resultados de muestreo/agronómicos
- Actualizar Plan de Aplicación:
  - Chacras, lamina de aplicación, tiempo de espera después de lluvias

En lo que respecta al plan de fertilización, se debe registrar para cada chacra donde se aplica el efluente los resultados de análisis básico de suelos, que incluye la determinación de fósforo Bray I. Al menos una vez al año se debería contar con un resultado analítico de composición del efluente (ver ítem 3.1) para realizar los cálculos teóricos del aporte de fósforo mediante las aplicaciones. En caso de existir fertilizaciones inorgánicas se debe registrar fórmula, dosis y fecha de aplicación. Es importante además incluir en dicho plan el uso del suelo actual y proyectado (rotación) y los rendimientos estimados para poder realizar los ajustes en las aplicaciones de efluentes según lo indique el balance de nutrientes.

5. RECURSOS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

5.1 Recursos

Información General

- Manual de Medidas Exigibles: http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/direccion-general-de-recursos-naturales/suelos/planes-de-uso-y-manejo-de-suelos/manual-de-medidas-exigibles
- Planes para la Producción Lechera Sostenible: http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/direccion-general-de-recursos-naturales/suelos/planes-para-la-produccion-lechera-sostenible
- Manual para la Gestión Ambiental de Tambos: http://www.mvotma.gub.uy/ambiente/prevencion-y-control-para-el-cuidado-del-ambiente/control/guias-para-el-sector-industrial-y-agropecuario/item/10008029-manual-para-la-gestion-ambiental-de-tambos
- Matriz de Riesgo para Establecimientos Lecheros: http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/direccion-general-de-desarrollo-rural/descarga/matriz-de-riesgo-ambiental-para

Información de Suelos

- Carta de Suelos 1:40,000 http://dgrn.mgap.gub.uy/js/visores/cartasuelos/
- Guía de Humedad de Suelo http://www.fagro.edu.uy/~hidrologia/riego/Agua%20en%20el%20suelo%20intensivos2015.pdf

Balance de Nutrientes

- Fertilidad: http://www.fagro.edu.uy/~fertilidad/curso/ Ver: *Presentaciones*, *Publicaciones Aplicación de Materiales Orgánicos y Abonos Verdes*.
- IPNI (International Plant Nutrition Institute) http://lacs.ipni.net/
- Ciclaje de Nutrientes en Pastoreo: http://prodanimal.fagro.edu.uy/cursos/PASTURAS%20CRS/13%20-%20Ciclaje%20de%20nutirentes%20en%20pastoreo.pdf

5.2 Referencias bibliográficas

Capítulo 1: Criterios de diseño del sistema de aplicación

1- Farm Dairy Effluent Design Code of Practice, 2013
2- Agricultural Waste Manual, 1984
3- Nennich , T. D., et al. Prediction of manure and nutrient excretion from dairy cattle. Journal of dairy science, 2005, Vol. 88, 10, p. 3721-3733.
4- Guía para gestión integral de aguas en establecimientos lecheros. DINAMA - IMFIA, 2008.
5- Gonzalez, A. Rezzano, N. Indarte, E. Guía de gestión integral de aguas en establecimientos lecheros. Diseño, operación y mantenimiento de sistemas de tratamientos de efluentes. DINAMA. Montevideo, 2008.
6- Procedimiento de muestreo de efluentes líquidos y residuos sólidos orgánicos generados en el tambo. Taverna Miguel A., García Karina, Adorni Maria Belen, 2014

Registro de la aplicación del efluente al terreno

El técnico encargado del diseño del sistema debe completar los siguientes campos. Al momento de realizar cada aplicación se deberan respetar dichos valores.

Tiempo de espera luego de una lluvia de 20 mm	Tiempo máximo diario de aplicación (hs)	Cantidad de pasadas por cuadro de aplicación por año
2 días en verano / 4 días en invierno		

El operario debe completar el registro para cada aplicación.

FECHA	NOMBRE RESPONSABLE	CHACRA O POTRERO	CUADRO DE APLICACIÓN	TIEMPO DE APLICACIÓN (HORAS	ULTIMA LLUVIA (FECHA - MM)	COMENTARIOS
31/08/2018	Walter	2-Sur	C1 - 2	3	25/08/2018 - 7,0 mm	problemas con la linga, el soporte se desprende // buscar como amarrarlo

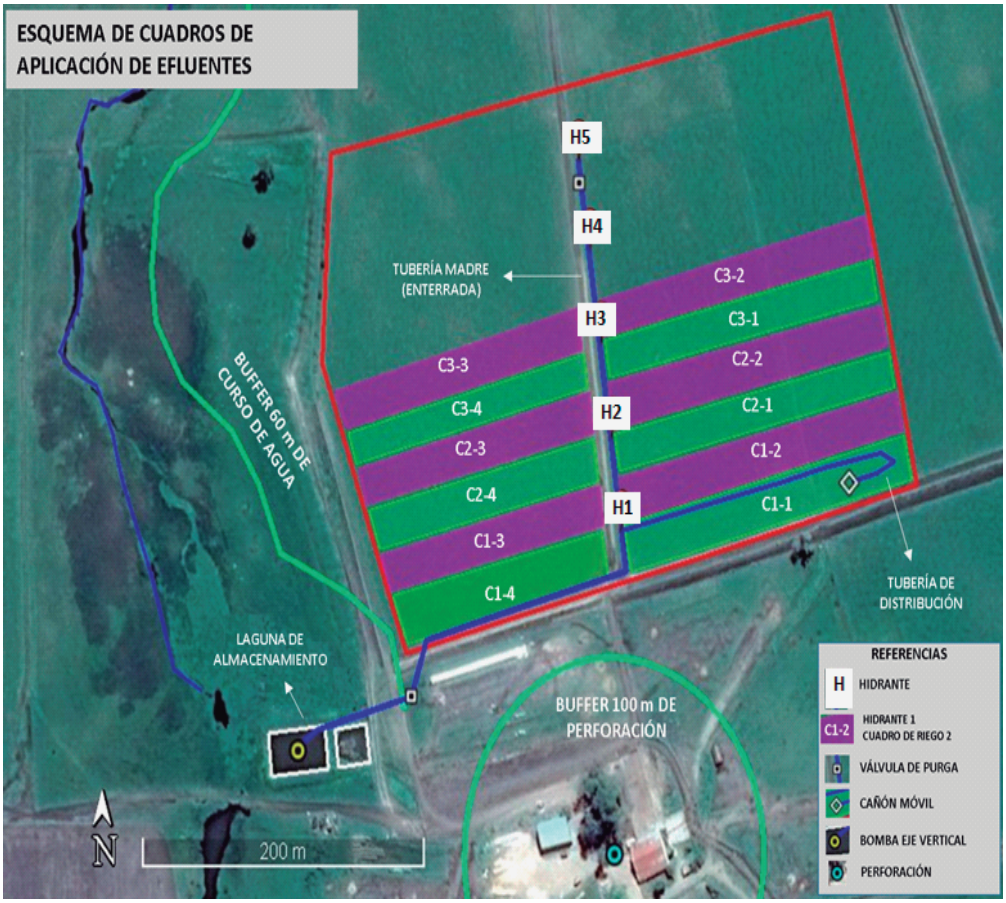
ANEXO Nº2. GUIA DE "POSIBLES DECISIONES"

Plano de las chacras y cuadros de riego para aplicar el efluente

Imprimir y colocar el mapa en el Tambo (oficina, sala de tanques de frío o sala de ordeñe) donde el encargado pueda verlo con claridad.

Elementos importantes del plano a tener en cuenta:

- Identificación de cada Cuadro de Riego
- Ubicación e identificación de los Hidrantes en la chacra de aplicación.
- Zona donde debe respetarse distancia al curso de agua: mínimo 50 metros o excepción según normativa.
- Zona donde debe respetarse distancia a pozos de agua: mínimo 100 metros.
- Zonas donde debe respetarse distancias sobre viviendas y zonas de trabajo: mínimo 10 metros.
- Arroyos y zonas bajas del campo.
- Áreas con alto riesgo y áreas con bajo riesgo.



ANEXO Nº3. RESUMEN DEL DISEÑO

Que decisiones tomar en campo...
Completar el cuadro para que todo el personal sepa como actuar ante las siguientes situaciones
Llueve o los suelos están saturados
El irrigador se atasca, se rompe o se bloquean los punteros
Bombas no prenden, se apagan o hacen ruido muy fuerte
Laguna de almacenamiento está próximo o llega a su límite de capacidad
Se detectan filtraciones de tuberías enterradas y conexiones
Se detectan fugas de los hidrantes
Recibo una inspección de DINAMA y/o MGAP

Contactos de Emergencia
Dueño o encargado del Tambo :
Técnico responsable de la Gestión del Sistema de Efluentes:
Servicio o Técnico en Eléctrica :
Proveedor del Irrigador :
Proveedor de Bombas :

ANEXO Nº4. "CHECK LIST" PARA MANTENIMIENTO

Registro de Parámetros y Dimensiones calculadas en el Proyecto		
Se registran los principales parámetros y dimensiones calculadas para el diseño del sistema de aplicación		
Razón Social del Tambo:		
Fecha emitido la memoria de calculo:		
Técnico/ Profesional responsable:		
PARAMETRO	UNIDAD	VALOR
Cantidad máxima de Vacas en ordeñe consideradas		
Volumen máximo diario de efluente generado	m3/día	
Volumen anual de pluviales limpias desviadas	m3/año	
Area de aplicación	ha	
Identificación de las chacras de aplicación		
Punto de funcionamiento de la bomba:		
- Presion de trabajo	Kg	
- Caudal de trabajo	m3/hora	
Lamina de aplicación		
- anual	mm	
- diaria	mm	
Tasa de aplicación	mm/hora	
Velociadad de avance (irrigador móvil)	m/min	
Tiempo de aplicación máximo (irrigador fijo)	horas	
Nº máximo de pasadas en el mismo cuadro de aplicación		
Conducción (material, presión nominal, diámetros, longitud)		
- linea madre		
- línea secundaria		
- flexible		
Capacidad de almacenamiento de lagunas	días	

Mantenimiento de los componentes del sistema y frecuencia de revisación

Completar con observaciones y registrar la fecha de la revisación y/o tarea de mantenimiento

TAREAS DIARIAS		TAREAS SEMANALES		TAREAS ANUALES	
	Chequear si las condiciones del suelo son apropiadas para regar el efluente		Revisar el irigador: ruedas infladas, grasa y estado de la linga, boquillas		Entrenar al personal del Tambo para operar y mantener el Sistema de Efluentes
	Chequear su la compuerta de desvíos de aguas pluviales limpias está cerrada o abierta		Revisar fugas de efluentes y roturas en la tubería de distribución y los hidrantes.		Evaluar el nivel de Fósforo en las chacras de aplicación. Realizar muestreos y analizar en laboratorio la composición.
	Asegurarse que el cañón está en lugar correcto. Revisar si hay signos de escurrimiento superficial o encharcamiento		Chequear el nivel de la laguna. Emergencia si supera el nivel crítico en la regla		Realizar service y mantener irrigadores, bombas y equipos electromecánicos.
			Chequear que las bombas estén funcionando bien.		

Bettina Miguez por MGAP-DGRN
Carolina Miranda y María José Alegrette por MVOTMA-DINAMA
Manuel Giménez y Nazario Abboud por CONAPROLE
Marcela Rodriguez por BIOVALOR-ONUDI-FMAM

Apoyan