

Gestión ambiental en el *feedlot*

Guía de buenas prácticas

Anibal J. Pordomingo
INTA Anguil
La Pampa Argentina 2003



Agradecimientos:

El autor agradece los aportes de información y la crítica del Dr. Ernesto Viglizzo (Coordinador del Programa Nacional de Gestión Ambiental de INTA).

PROLOGO DEL COORDINADOR DEL PROGRAMA DE GESTION AMBIENTAL

Este no es un aporte más dentro de la producción tecnológica del INTA. Es una contribución novedosa, innovadora e intemporal. Es novedosa e innovadora porque aborda, por primera vez en el país, la solución integral de un problema ambiental típico de la ganadería intensiva. Pero no lo hace de una manera tradicional; se vale en cambio de un camino tecnológico crítico que no tiene demasiados antecedentes en la tecnología agropecuaria nacional. Y es intemporal porque su esencia no es efímera ni coyuntural. Perdurará porque sus principios conceptuales son permanentes. Y será referencia inevitable para quienes deban enfrentar el desafío de diseñar y operar sistemas ganaderos cada vez más intensivos.

La gestión ambiental moderna del sector rural tiene una lógica que intenta ser asimilada por el INTA. La buena práctica para un médico consiste en diagnosticar la enfermedad, prescribir el tratamiento adecuado y producir el alta médica una vez que la enfermedad ha sido curada. Encontrando un símil en la medicina, la «salud ambiental» de nuestra producción agropecuaria demanda también 1) instrumentos confiables y sensibles de diagnóstico, 2) prescripciones o guías de buena práctica para resolver, con fundamento científico, los problemas diagnosticados, y 3) protocolos de certificación agroambiental que garanticen la «salud ecológica» final de los procesos productivos. Todo ello enmarcado en la búsqueda de un mayor valor comercial para los bienes producidos.

Dentro de esa lógica, esta guía de buena práctica tiene el atributo de abrirnos un camino poco explorado. No es una revisión bibliográfica tradicional ni un simple listado de prescripciones técnicas. Es una verdadera herramienta de decisión que, con un sólido bagaje de conocimiento experto incorporado, «dialoga» inteligentemente con el usuario y le guía por caminos que le llevan a la solución del problema.

Es prioridad para el INTA que este enfoque encuentre su réplica en investigadores y técnicos ocupados en resolver otras problemáticas equivalentes de la gestión ambiental agropecuaria. Echemos a andar. Sin duda, abriremos nuevos caminos...

Ernesto F. Viglizzo
Coordinador Interino
Programa Nacional de Gestión
Ambiental del INTA

Prólogo

Para una gestión ambiental apropiada en planteos intensivos se hace necesario identificar las áreas de riesgo para controlar o reducir sus efectos. En el *feedlot* de bovinos para carne, el área de mayor riesgo ambiental lo constituye la contaminación localizada de suelos y aguas, tanto subterráneas como superficiales, emergente de la acumulación de deyecciones y movimiento de efluentes. En un segundo nivel podríamos ubicar la contaminación del aire y la degradación del paisaje.

La estrategia de minimización y control de riesgos de deterioro ambiental en el *feedlot* comienza con la elección de la región y luego del sitio con condiciones adecuadas para la instalación de sistemas intensivos. Los aspectos a tener en cuenta incluyen las características hidrológicas y topográficas, así como también económicas y demográficas. Posteriormente, la textura del suelo, las pendientes y la profundidad de la napa freática definirán el diseño de los corrales, tratamientos de pisos y estructuras de recolección de efluentes y estiércol. Todo el manejo de excretas y efluentes debe planificarse para maximizar la captura y el procesamiento de los mismos en superficie y minimizar la infiltración con nutrientes contaminantes.

En esta guía se proveen elementos para el diseño de los corrales de alimentación y de los sistemas de captura, contención y tratamiento de efluentes líquidos y estiércol, elementos que apuntan a eliminar o reducir el escape de contaminantes hacia el ambiente, en particular hacia los recursos hídricos, a partir de un buen diseño de corrales y de recolección de excretas. Se sugieren también posibles usos de las excretas recolectadas poniendo énfasis en la eficiencia de recaptura de nutrientes en biomasa vegetal.

Adicionalmente, se proveen pautas para la ubicación y el contralor con el objeto de minimizar efectos indeseables sobre áreas urbanas o de alta sensibilidad social. Estos aspectos se analizan en forma relativa a la escala de producción para que, aunque sin dejar de identificar el riesgo, se pueda proceder con racionalidad a la hora de dimensionar los efectos potencialmente deletéreos sobre el ambiente y la sociedad de una instalación destinada al engorde intensivo.

Lejos de agotar el tema sobre el diseño de instalaciones y manejo de efluentes, esta guía pretende introducir un tema de relevancia creciente y ya impostergable para la competitividad de la ganadería intensiva en la Argentina. Aunque esta guía está orientada para aportar en la arquitectura de *feedlots* a instalarse, los conceptos vertidos y sugerencias pueden ser de utilidad para replantear sistemas actualmente en funcionamiento. Finalmente, la misma podría servir de insumo en el desarrollo e implementación de pautas oficiales para la gestión ambiental de engordes intensivos.

Índice

Prólogo	3
Gestión ambiental en el <i>feedlot</i>	7
¿Qué es un <i>feedlot</i> ?.....	8
Guía para la instalación de <i>feedlots</i>	9
1. Elección de la región y del sitio	11
1.1. Elección de la región	12
1.2. Elección del sitio	17
2. Evaluación de la vulnerabilidad ambiental del sitio	22
3. Pautas y pasos para el diseño del <i>feedlot</i>	29
3.1. Relevamiento preliminar del sitio	32
3.2. Análisis de la factibilidad ambiental	33
3.3. Diseño del <i>feedlot</i>	34
3.3.1. Estructuras de alimentación y manejo	36
3.3.1.1. Corrales de alimentación	38
3.3.1.1.1. Tamaño	38
3.3.1.1.2. Disposición	38
3.3.1.1.3. Piso y pendientes	38
3.3.1.1.4. Comederos	39
3.3.1.1.5. Bebederos	44
3.3.1.1.6. Lomas en los corrales	45
3.3.1.1.7. Sombra	47
3.3.1.1.8. Protecciones	50
3.3.1.1.9. Refugio	50
3.3.1.1.10. Materiales y construcción	51
3.3.1.1.11. Calles de alimentación	51
3.3.1.1.12. Calles de los animales	52
3.3.1.2. Corrales de recepción	53
3.3.1.3. Corrales de enfermería	54
3.3.2. Estructuras de captura y manejo de efluentes y estiércol	54
3.3.2.1. Manejo de efluentes líquidos	56
3.3.2.1.1. Área de captura y drenajes	58
3.3.2.1.2. Sistema de sedimentación	59
3.3.2.1.3. Sistema de almacenamiento	63
3.3.2.1.4. Sistema de evaporación	69
3.3.2.2. Manejo del estiércol	69
3.3.2.2.1. Estimación de la producción	71
3.3.2.2.2. Acumulación	71
3.3.2.2.3. Alomado en el corral	72
3.3.2.2.4. Limpieza de los corrales	73
3.3.2.2.5. Apilado fuera de los corrales	74
3.3.2.2.6. Compostaje	75
3.3.2.2.7. El vermicompuesto	76
4. Fertilización con líquidos y estiércol	77
4.1. Riego con efluentes líquidos	79
4.2. Abonado con estiércol	82
5. Pautas para la habilitación y el control público	87
Bibliografía.....	95

Guía de buenas prácticas

La producción animal de la Argentina ha transitado en la última década un camino de transformaciones y procesos de intensificación de los sistemas de producción. Entre otros, la alimentación intensiva de bovinos a corral ha crecido instalándose en varias regiones del país, particularmente en la región pampeana. Ese sistema de producción ha encontrado espacios en planteos más complejos, agrícolaganaderos en el mismo campo como estrategia de diversificación, o ha sido introducido como alternativa especializada por inversionistas.

A esa primera etapa le sucede ahora una segunda de ajustes tecnológicos a nuevos escenarios a los que se suma la dimensión ambiental. En los países competidores de la Argentina, con economías agroalimentarias de significación geopolítica, la gestión ambiental ha dejado de ser un camino paralelo a la gestión económica, y frecuentemente de dirección opuesta, para constituirse en parte del sistema de producción incorporando no sólo restricciones sino garantías de calidad y ventajas competitivas. En ese sentido es importante que la producción animal intensiva, en la Argentina, transite hacia un nuevo estatus ambiental que le permita capitalizar la experiencia internacional para fortalecer el posicionamiento de sus productos en el mercado interno e internacional.

El presente manual intenta introducir la problemática de la instalación y manejo de *feedlots* bajo un perfil ambientalmente saludable. Se pretende que el mismo sirva, por un lado como guía para el estudio de la factibilidad ambiental de la instalación de sistemas intensivos para bovinos para carne y, por otro, para identificar carencias de información y legislación para desarrollar herramientas o políticas que permitan generar un producto sano en un ambiente saludable.

La guía de buenas prácticas es una herramienta de ayuda a la toma de decisiones. Trata de sintetizar en la información disponible y proveer recomendaciones -pasos a seguir, alertas y procedimientos- ordenadas en función de una estructura para el plano operativo de una actividad o proceso particular. Aunque no resuelve todas las incógnitas concernientes a un problema o actividad, aporta un vínculo entre la investigación y la aplicación de la tecnología a distintos niveles en la toma de decisiones.

Aníbal J. Pordomingo

¿Qué es un *feedlot* ?

Un *feedlot* de bovinos para carne es un área confinada con comodidades adecuadas para una alimentación completa con propósitos productivos. Esta definición no incluye encierres temporarios para destetar terneros, encierres por emergencias sanitarias, climáticas, u otros encierres transitorios. Las instalaciones para acopio, procesado y distribución de alimentos se las considera parte de la estructura del *feedlot* (Sweeten J. M., 2000; NSW Agriculture, 1998).

Los requisitos para la instalación de *feedlots* previstos en países con historia en ganadería intensiva se han establecido en función de los requerimientos del propio sistema (factores intrínsecos) y del entorno o ambiente (factores extrínsecos). Los primeros apuntan a producir, de manera eficiente y consistente, un producto sanitario seguro y de la calidad deseada por el mercado. Los segundos, a atender las demandas del entorno para evitar la degradación ambiental por contaminación de suelos, agua y aire con agentes tóxicos y patógenos, y por erosión de suelos o de la riqueza paisajística. La rigurosidad con respecto a este segundo grupo de requisitos depende de la política ambiental de cada país. En los países europeos las restricciones y requisitos son más altos que en otros, y mayores aún en los países con alta densidad de población e historia de contaminación en el pasado (ej. Holanda vs. España). En EE.UU., Canadá y Australia la legislación para la instalación de *feedlots* es variable en su rigurosidad y depende del Estado en cuestión, particularmente de la presión social y del riesgo potencial de los recursos naturales.

En todos estos países existen normativas estatales con pautas y requisitos para

el diseño y la aprobación de la instalación de *feedlots* en función de la escala productiva, las características del sitio y del entorno ambiental y social. El Estado aprueba la instalación y monitorea la generación de emisiones y sus efectos. En todos los casos para el inicio de la actividad se requiere de una evaluación previa con aprobación técnica por parte de agencias oficiales pertinentes. El grado de complejidad de las presentaciones está ligado a la escala productiva y la vulnerabilidad del sitio.

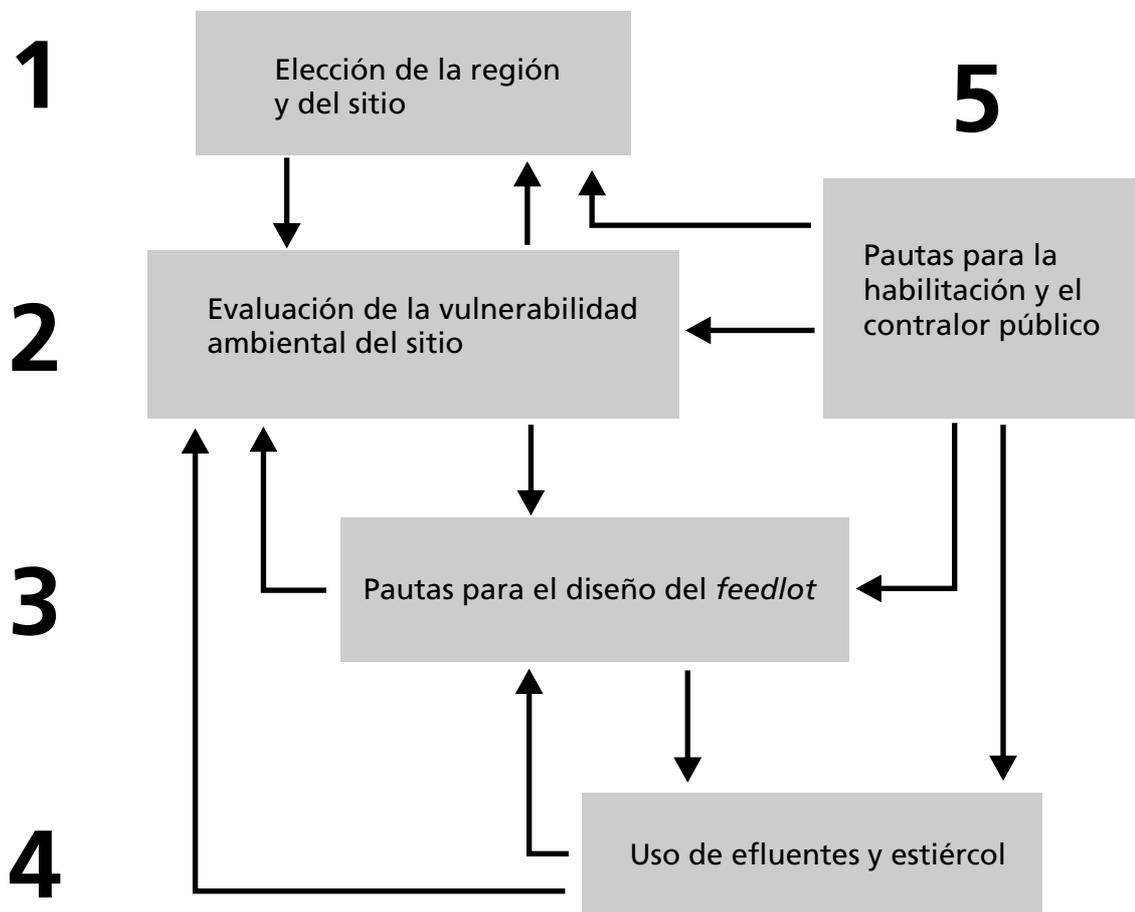
En la Argentina, la legislación de las provincias es inexistente o incipiente con respecto a la instalación de *feedlots*, por lo que los proyectos iniciados, en su gran mayoría, no han tenido en cuenta aspectos ambientales o sociales más que los directamente asociados a la calidad del producto o a la eficiencia de producción. En algunos casos, reacciones sociales han impulsado algunos cambios o ajustes del manejo de efluentes y olores en establecimientos en producción. Sin embargo, se carece de una historia de adecuación y ajustes permanentes para remediar o prevenir efectos posteriores. En el contexto argentino y con la experiencia internacional, la imposición de requisitos y restricciones debería orientarse desde el alerta y la prevención de efectos para evitar la engorrosa y costosa tarea de la remediación ambiental y la reubicación o rediseño de los *feedlots*.

Este trabajo plantea, a continuación, una guía para introducir los rudimentos para la gestión ambiental en el diseño y el manejo de los *feedlots* para bovinos para carne.

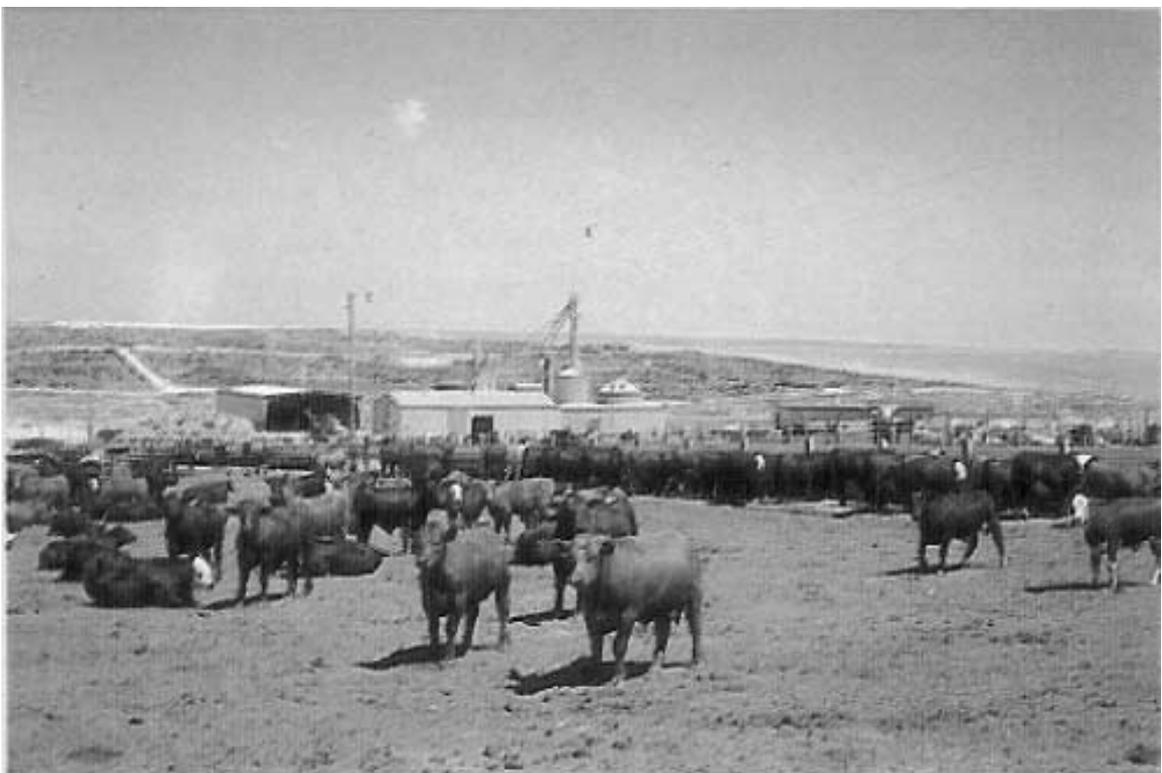
Guía para la instalación de *feedlots* acordes con una adecuada gestión ambiental

El siguiente esquema resume los capítulos temáticos que deberían abordarse en el proceso de la instalación de *feedlots*. El proceso comienza con el conocimiento de las condiciones de elegibilidad de una región primero, y luego del sitio concreto, la evaluación integral de las condiciones del mismo y el diseño de las instala-

ciones para producción y manejo de efluentes. Paralelamente, se requerirá del conocimiento de las pautas y exigencias para el registro, la habilitación y el control público de la gestión, si así se lo exige, en la legislación regional. En tal sentido se hacen algunas sugerencias en esta guía.

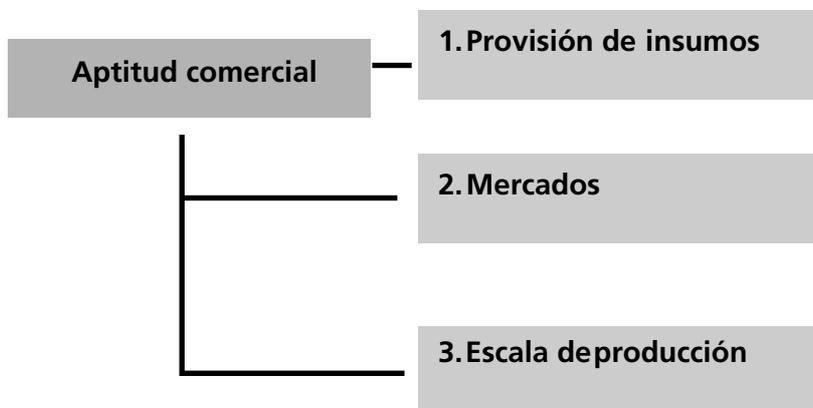


1. Elección de la región y del sitio

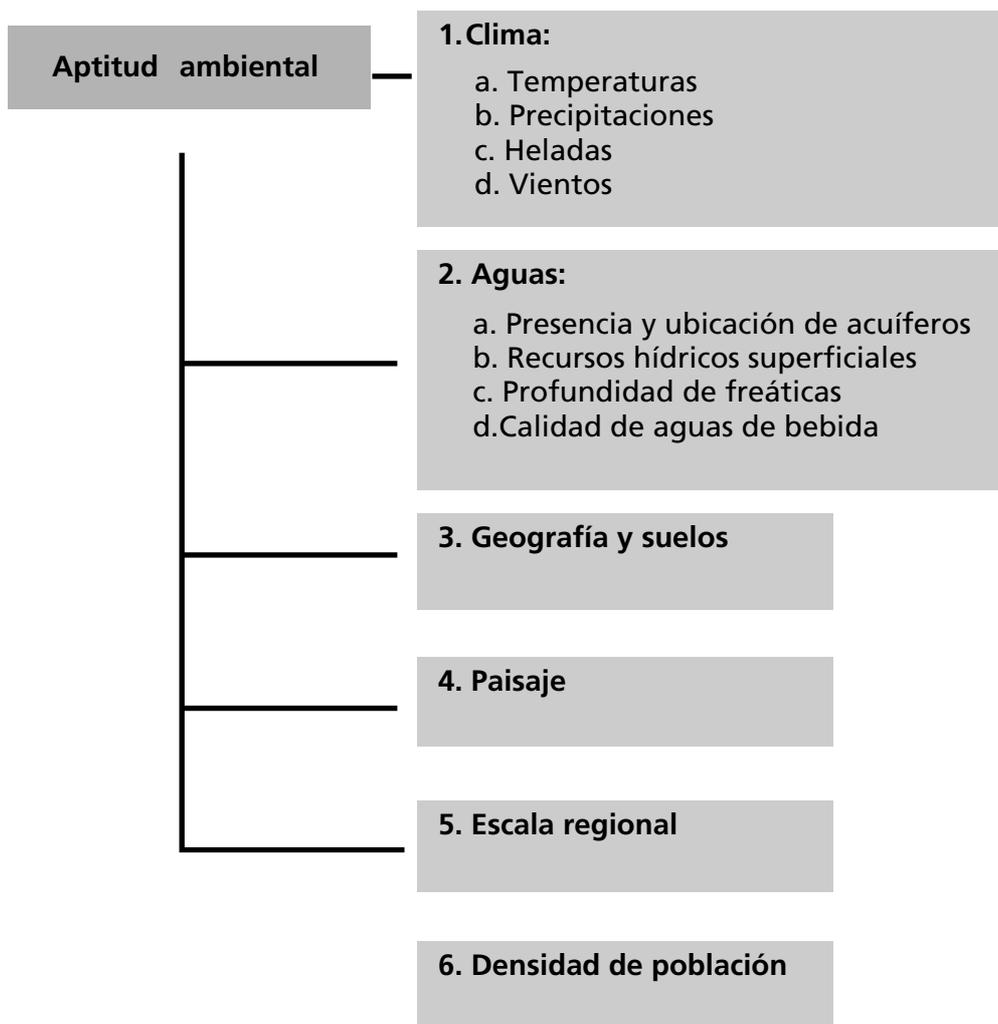


1.1. Elección de la región

1



2



1.1. Elección de la región

La ubicación de un *feedlot* exige del análisis de la factibilidad física a dos escalas diferentes, una de nivel regional y otra de nivel local. Aunque en varios aspectos ambos niveles se superponen, no todos los elementos a tener en cuenta están contenidos en ambos niveles. La elección de la región debe considerar aspectos relacionados con la aptitud ambiental de regiones geográficas y con el contexto económico y social para el desarrollo de la actividad. Esta escala permite visualizar efectos o consecuencias y riesgos regionales de medio a largo plazo y que no serían detectables desde el nivel de predio o sitio. A la inversa, limitantes o potencialidades a nivel del sitio pueden no ser perceptibles a escala regional. Podría ocurrir que se den condiciones a nivel de región pero que el sitio seleccionado sea inadecuado por características particulares. También podría resultar adecuado un sitio seleccionado pero la región tener características poco apropiadas. Superado el filtro de la aptitud a nivel regional debe realizarse el estudio de aptitud de sitio antes de iniciar aspectos del diseño de las instalaciones. A la inversa, en cambio, no sería apropiado suponer aptitud regional a partir de condiciones aceptables en un sitio o predio.

A nivel de región, la instalación depende de: 1) la aptitud comercial de la región asociada a la factibilidad de provisión de insumos, acceso a mercados de productos, escala del emprendimiento y las características demográficas (distribución y densidad de población), y 2) la aptitud ambiental incluyendo las condiciones regionales de clima, aguas, topografía, edafología y densidad de emprendimientos intensivos.

1. Aptitud comercial

1.1. Provisión de insumos

La mayor limitante relacionada con los insumos se centra en el costo de la ali-

mentación. El fácil acceso al alimento y el costo de ponerlo en el *feedlot* son determinantes del éxito del emprendimiento. Un *feedlot* que engorda 1.000 novillos en forma permanente durante el año requiere al menos de 3.500 toneladas de grano, equivalentes a 2 camiones de 30.000 kg cada uno por semana. Aunque en la mayoría de los casos existirán instalaciones para el acopio de granos, la seguridad de su provisión y el costo del transporte son elementos de suma relevancia. En Argentina, la ubicación de los *feedlots* que se han instalado en la última década ha coincidido con las regiones de producción de granos o en sus áreas marginales. Aunque las regiones más secas se adecuarían mejor a la actividad del engorde en corral, el costo del flete de granos podría comprometer la factibilidad económica. En segundo lugar, los caminos compatibles con un fácil acceso para los camiones y la provisión de agua de bebida para los animales son otros aspectos a tener en cuenta, aunque menos restrictivos, comparados con el anterior.

1.2. Mercados para los productos

Sería conveniente que el movimiento de los animales hacia el frigorífico de faena sea el más corto posible para evitar costos de transporte, riesgos y deterioro de los animales. Sin embargo, las distancias de hasta 800 km son frecuentes en los envíos para faena en la Argentina. Dentro de estos límites, el lugar de destino de los animales para faena es una condicionante secundaria, comparada con la de insumos. Esta variable no constituiría una limitante en la Argentina, particularmente para los engordes que se instalan en la región pampeana o en su periferia.

1.3. Escala del *feedlot*

El tamaño del *feedlot* o escala debe ser evaluada mediante un estudio de su factibilidad física y económica. El incremento de la escala reduce la incidencia de los costos fijos, particularmente los costos de amortización de instalaciones y de administración. La naturaleza y estructura de costos no se estudia en esta publicación pero se recomienda realizar un

exhaustivo estudio de factibilidad antes de iniciar el emprendimiento, debido a la alta variabilidad de las relaciones de ingreso/costos de los sistemas intensivos de la Argentina.

2. Aptitud ambiental

En los *feedlots* establecidos a cielo abierto y con corrales de piso de tierra, la interacción entre el ambiente y el sistema intensivo es muy alta. El ambiente afecta y condiciona la salud y el crecimiento de los animales y, por otro lado, los animales afectan el ambiente.

2.1. Clima

Los bovinos pueden engordarse en sistemas intensivos en un amplio rango de climas. Sin embargo, económicamente, el rango puede ser menos amplio. En la medida en que la temperatura ambiental aumenta por encima de los 21°C decrece la eficiencia productiva. En climas muy calurosos es necesario utilizar razas cebuínas y en climas fríos las razas británicas se adaptan mejor y son más productivas (Ames, et al., 1981).

La eficiencia productiva se beneficia cuando se produce sobre suelos secos, bien drenados y en ambientes templados. El barro permanente en los corrales, el viento persistente y la lluvia recurrente incrementan los requerimientos energéticos de los animales para sostener su masa corporal. Se ha medido un incremento de hasta 33% en los requerimientos energéticos debido a las actividades físicas adicionales en las que se ven involucrados los animales bajo situaciones ambientales marginales (anegamiento y lluvias), en desmedro del aumento de peso (Church, 1989). En general, las regiones preferidas para establecer *feedlots* son las templadas semiáridas o subhúmedas, con suelos francos, de buena capacidad de compactación y pendientes moderadas.

En algunos países con bastas regiones templadas (Nueva Zelanda, Australia, EE.UU.) se recomienda ubicar los *feedlots*

en áreas de baja precipitación. Se recomienda seleccionar áreas con menos de 750 mm de precipitación anual, particularmente si éstas ocurren durante momentos de alta intensidad de engorde (NSW Agriculture, 1998; Sweeten, 2000). En las regiones con precipitaciones mayores se sugiere la incorporación de superficies protectoras sobre sectores de los corrales, sobre los comederos y sobre las lomas de estiércol, para ofrecer lugares secos a los animales y evitar la producción excesiva de barro, proteger la calidad y la palatabilidad del alimento y reducir el lavado y movimiento del estiércol con el escurrimiento de aguas superficiales.

Los vientos pueden crear una limitante adicional en determinadas regiones, por dirección o intensidad. La dirección de los vientos debe tenerse en cuenta para evitar la ubicación de *feedlots* en sectores en que las emisiones de olores y polvos terminen afectando el aire de ciudades u otras poblaciones. Existen estrategias para reducir la emisión de olores pero no para su eliminación, por lo que sería recomendable evitar la ubicación de *feedlots* en regiones de alta concentración de población o en la proximidad de centros urbanos. La concentración de *feedlots* en un área aumenta la generación de olores con el aumento de la escala o cantidad de animales en encierre. Es conveniente planear regionalmente los límites o posibilidades de carga para evitar la degradación del aire.

2.2. Aguas

La instalación de estos sistemas intensivos debería proponerse en regiones que no pongan en riesgo a acuíferos subterráneos o recursos hídricos superficiales, particularmente aquellos que alimentan cuencas en utilización directa. El diseño del sistema de captura de efluentes permite reducir significativamente la contaminación emergente pero no eliminarla, en especial si crece la escala regional. La profundidad de la freática, la infiltración en los corrales y el escurrimiento superficial son los principales elementos a tener

en cuenta. En este sentido, las regiones secas (semiáridas) serían deseables por una baja producción de líquidos (bajas precipitaciones), acuíferos profundos o escasos y alta evaporación. En esas regiones, la producción neta de efluentes líquidos puede ser inferior a la mitad de la generada en regiones húmedas.

Por su parte, la calidad del agua de bebida debe ser analizada antes de decidir sobre la aptitud de una región. Aunque el agua puede variar en calidad y cantidad entre sitios, es frecuente que existan regiones de calidad variable. En las regiones semiáridas de la Argentina este aspecto es muy relevante y condicionante de la instalación de emprendimientos de alta demanda. Por ejemplo, en una región en la que se instalan *feedlots* con capacidad total para 100.000 animales en engorde simultáneo podría requerirse entre 3 y 4 millones de litros diarios, demanda que no es menor si se considera que esa cantidad de animales podría concentrarse en 300 a 500 ha. En la región semiárida pampeana debe considerarse principalmente el contenido excesivo de sales totales, sulfatos, flúor y arsénico (Fac. Agr. UNLPam, comunic. Personal), elementos que pueden comprometer el consumo o la absorción de otros elementos como calcio, magnesio, cobre, zinc, cobalto, hierro y manganeso).

2.3. Geografía y suelos

La región debe contar con condiciones geográficas y edáficas adecuadas para la construcción del sistema captación y manejo de efluentes y utilización posterior de efluentes líquidos. Debe ser analizada por sus condiciones naturales para contener y minimizar la infiltración y el escurrimiento. Si las características topográficas o edáficas (profundidad de freáticas, permeabilidad de los suelos, o las irregularidades del terreno) no permiten contener los excedentes de nutrientes (potenciales contaminantes) debería replantearse la aptitud de la región (Coleman *et al.*, 1971; NSW Agriculture, 1998). Las pendientes generales no de-

berían superar el 4 ó 5%, porque a mayores de éstas la velocidad del escurrimiento se torna erosiva y se hace muy difícil de reducir con estructuras económicas. El costo de adecuación de sitios quebrados con altas pendientes puede tornar al sitio en inviable o de alto riesgo ante lluvias torrenciales. Aunque a nivel de sitio, la alternativa de adecuación del *feedlot* sea viable, a nivel de región se corren altos riesgos de procesos de erosión en masa y de difícil corrección por lo que sería inaceptable a esa escala.

La experiencia internacional indica que los *feedlots* deberían instalarse en regiones con baja de inundación (inferior a 1 ocurrencia cada 100 años), la profundidad mínima a la freática sugerida para la instalación de *feedlots* con corrales de tierra compactada es de 1 m para suelos francos y mayor para suelos sueltos (arenosos), especialmente si no se cuenta con la adición de arcillas como alternativa para impermeabilizar terrenos (NSW Agriculture, 1998; Sweeten, 1985). En la Argentina existen regiones de gran irregularidad topográfica (ej.: mosaico de depresiones y lomas en el oeste de Buenos Aires), de suelos con muy baja estructura y de textura gruesa (áreas medanosas del este de La Pampa y oeste de Buenos Aires) o de niveles freáticos muy próximos a la superficie (sectores de la depresión del río Salado en provincia de Buenos Aires), en las que es difícil encontrar sitios para establecer *feedlots* en condiciones ambientalmente aceptables.

Asimismo, la captación y almacenamiento de efluentes no es condición suficiente para minimizar el impacto ambiental. Pautas recomendables incluyen como necesario contar, en la proximidad del *feedlot*, con superficies de tierra susceptibles de ser regadas sistemáticamente con efluentes líquidos y un programa de uso del estiércol en otros predios o mercados (Sweeten, 1990). La aptitud regional debe tener en cuenta esta necesidad y posibilidad.

2.4. Paisaje

El efecto sobre el paisaje regional es otro aspecto de relevancia creciente en el momento de la instalación de estos sistemas de producción. La opinión pública, mayoritariamente urbana, encuentra con frecuencia a los *feedlots* como una perturbación indeseable o degradante del ambiente. A nivel de región, las recomendaciones en la legislación vigente de estados o países con historia de engorde a corral (Agriculture, 1998; USEPA, 1993) promueven la planificación a nivel de área o región del diseño del paisaje incluyendo implantación de bosques, parquizaciones y cortinas forestales.

2.5. Escala

En la medida en que se incrementa el tamaño del *feedlot* en cantidad de animales, aumentan las externalidades y los riesgos de degradación ambiental (contaminación de aguas y aire, deterioro del paisaje) por sus efluentes y emisiones. El diseño de las estructuras permite reducir sustancialmente el riesgo de contaminaciones. Sin embargo, el costo de esa contención puede tornar inviable el emprendimiento en regiones de alta sensibilidad. Por ello sería conveniente partir de regiones que, debido a sus características geográficas (ubicación), topográficas, hidrológicas y demográficas, sean de alta capacidad de acogida de excedentes y permitan instalar sistemas económicamente viables y de bajo compromiso ambiental.

La definición del tamaño o escala es siempre subjetiva y dependiente de la historia de las regiones y concentración de sistemas intensivos. En la Argentina no existen antecedentes de ordenamiento en función de escalas. Se propone incrementar la rigurosidad de la ubicación, del diseño y del contralor en

la medida en que los emprendimientos superen los 1.000 animales de capacidad. Sin embargo, esta sugerencia no impide se regule a capacidades menores cuando la sensibilidad del sitio así lo impone (proximidad a acuíferos o cuencas hídricas, centros poblados, parques industriales, parques recreativos o culturales, etcétera.)

Será competencia de la administración pública regional definir la reglamentación pertinente para controlar la escala regional (concentración de animales por unidad de superficie de uno o varios *feedlots*). Aunque estas definiciones son altamente dependientes del suelo y del ambiente, cuando la suma de animales supera los 10.000 en instalaciones próximas debería generarse un plan de uso y monitoreo que incluya una estrategia de ordenamiento regional de instalaciones y de monitoreo de la contaminación.

2.6. Densidad de población

La densidad de población en una región puede convertirse en una restricción insalvable para la instalación de *feedlots*. La presión urbana por áreas recreativas, paisajes y demanda de recursos hídricos incrementa los requisitos y controles para impedir eventuales deterioros ambientales que pudieran poner en riesgo la calidad de vida y la salud humana.

Por motivos preventivos, sería conveniente que los *feedlots* estén a más de 10 km de ciudades y se evite la cercanía (no menos de 5 km) a cuencas hídricas subterráneas o superficiales que provean de agua a tales centros. Asimismo, deben extremarse las prevenciones con respecto a la ubicación por la producción de olores indeseables.

1.2. Elección del sitio

1

Aptitud ambiental

Suelo:

- a. Topografía y pendientes
- b. Textura
- c. Profundidad a freática

Ubicación geográfica:

- a. Proximidad a acuíferos y recursos hídricos superficiales
- b. Dirección de vientos
- c. Proximidad a áreas pobladas o de alto tránsito
- d. Proximidad a centros recreativos y culturales
- e. Proximidad a otros *feedlots*

2

Aptitud para la distribución de las instalaciones

Distribución de superficies:

- a. Superficies de corrales de alimentación y manejo de animales
- b. Superficies del sistema de manejo de captación y almacenamiento de efluentes y estiércol.
- c. Superficies para aplicación de efluentes líquidos.
- d. Áreas para accesos y movimientos de camiones

Disponibilidad y calidad de agua de bebida

1.2. Elección del sitio

1. Aptitud ambiental

Entre los efectos del planteo intensivo sobre el ambiente, debemos tener en cuenta las condiciones de la topografía y el suelo, el potencial contaminante de las deyecciones, la degradación del aire originada en la emisión de olores y polvos, y la degradación del paisaje por la misma estructura intensiva del sistema.

1.1. Topografía y suelo

Si la ubicación del *feedlot* expondrá el ambiente a la degradación por erosión o contaminación debido a que no se dan las condiciones mínimas requeridas para manejar los efluentes generados, será necesario replantear primero el sitio e, inclusive, la región en muchos casos. Juntamente con el diseño de los corrales deberían planificarse las instalaciones para el manejo de las emisiones líquidas y sólidas. La topografía y las pendientes son el primer aspecto a tener en cuenta en la elección del sitio y seguidamente la capacidad de compactación del suelo para limitar la infiltración y conducir el escurrimiento (Sweeten, 1988b). El sitio elegido debe permitir un escurrimiento lento y sostenido (sin embaucamientos) por lo que las pendientes no deberían superar el 4 ó 5% y tener un destino definido hacia un sistema de tratamiento y almacenamiento de la escorrentía (NSW Agriculture, 1998).

La posibilidad de compactar el suelo para reducir al mínimo la infiltración y luego mantener una capa impermeable construida de suelo-estiércol compactado por los mimos animales es fundamental en la elección del sitio. Los suelos de textura gruesa, arenosa, de bajo contenido de materia orgánica inicial son difíciles de estabilizar sin el agregado de arcillas o cementos. De ser posible, conviene elegir suelos finos y factibles de alcanzar compactaciones intensas y estables. En este sentido, aunque seleccionada la región entre otras condiciones, por la apti-

tud de los suelos para generar pisos de baja infiltración, las características edáficas del sitio deben ser relevadas cuidadosamente elaborándose un mapa topográfico y edáfico.

La profundidad mínima de la freática es el tercer elemento discriminante a nivel de sitio. Si bien es cierto, la tecnología de acondicionamiento de suelos y la manipulación de la escala (concentraciones bajas de animales) permitirían reducir efectos, en términos generales sería conveniente descartar sitios con profundidades inferiores a 1 m dado los riesgos de contaminación a los que se expone al lugar.

1.2. Ubicación geográfica

La ubicación geográfica a nivel de sitio importa en la proximidad a áreas sensibles, ya sean recursos hídricos, centros poblados, recreativos, culturales o de alto tránsito.

En primer lugar la proximidad a cuencas hídricas subterráneas o superficiales debería superar los 5 km, teniéndose en cuenta juntamente con las restricciones de magnitud de las pendientes. En este aspecto, juega un rol central la escala regional (cantidad y tamaño de *feedlots*) ya que la contribución de uno al riesgo de contaminación no será independiente de la del entorno.

En segundo lugar, la ubicación con respecto a los vientos es otra condicionante. La producción de olores desagradables en el *feedlot* puede reducirse pero es imposible de eliminar. La ubicación dependerá del sentido de los vientos predominantes y su frecuencia, pero se recomienda que se mantenga una distancia de al menos 5 km desde poblaciones urbanas y 1 km desde cascos de campos (Watts y Tucker, 1993b; NSW Agriculture, 1998). El sentido deberá permitir que los vientos más frecuentes alejen los olores de los centros poblados. Se recomienda también que se implanten cortinas forestales en la periferia del *feedlot*, particularmente del lado de las poblaciones, para

desacelerar el movimiento de vientos en esa dirección.

El orden, la higiene de los sitios de acumulación de alimentos, residuos o excrementos, la eliminación de lagunas no planificadas y de animales muertos reduce la producción de olores indeseables. Watts y Tucker (1993 a,b) determinaron emisión de olores en *feedlots* bien drenados versus pobremente drenados. Las diferencias entre ambos resultaron muy altas. Un pequeño sector mal drenado puede provocar más olor que todo un *feedlot* bien drenado. Las precipitaciones pueden crear condiciones anaeróbicas y con ello promover fermentaciones del estiércol. En 2 o 3 días de anaerobiosis, en residuos húmedos, aumenta la emisión de gases productos de las fermentaciones. Se generan olores desagradables, 50 a 100 veces de mayor intensidad que los generados en condiciones de baja humedad del estiércol (inferior al 40%).

En *feedlots* instalados en climas secos, el movimiento permanente de los animales remueve suelo en sectores de poca compactación. En sectores de acumulación, los materiales de poco peso (partículas de estiércol y suelo fino) son fácilmente levantados por el viento, poniéndose en movimiento masas de polvo que pueden ser una molestia importante (Sweeten, 1992). Para reducir esa fuente, es conveniente limpiar el estiércol de los corrales, en especial en los sectores de acumulación tales como la proximidad a los comederos y debajo de los cercos. El riego por aspersión de corrales es muy poco frecuente en corrales de muchos animales. En algunos sistemas intensivos se ha utilizado esta herramienta para reducir polvo y bajar la temperatura del aire en días muy cálidos (Sweeten, 1992). En adición, el movimiento de vehículos de transporte de alimentos y su preparación (molido, quebrado, etc.) y trabajos de construcción edilicia o corrales generan polvos, frecuentemente también muy molestos para la gente y los animales. En

presencia de mucho polvo es conveniente regar las áreas de alto tránsito antes de ser utilizadas y durante su uso si la producción de polvo continúa. La incorporación de césped en sectores de bajo tránsito reduce la producción de polvo.

Se sugiere que el sitio seleccionado se encuentre a distancias mayores de 3.000 m de rutas u otras vías de tránsito frecuente (NSW Agriculture, 1998; USEPA, 1993). Se recomienda la forestación y el parqueizado de los sectores de oficinas y de descarga y procesado de alimentos, la parqueización de sectores, el orden y la limpieza de las instalaciones y la eliminación apropiada de desperdicios, animales muertos y otras formas de deterioro del paisaje.

2. Aptitud para distribuir las instalaciones

2.1. Distribución de superficies

En la medida en que se incrementa el tamaño del *feedlot* en cantidad de animales, aumentan las externalidades y los riesgos de degradación ambiental con efluentes. En el mismo sentido, se hace necesario diseñar adecuadamente la distribución y proporciones de las instalaciones para facilitar la distribución cómoda de los animales en corrales de alimentación, el movimiento de los animales y de los camiones o mixers de alimentación, y prever un sistema de manejo de efluentes y estiércol.

El sitio debe permitir la ubicación del sistema de tratamiento y contención o almacenamiento de efluentes. La posibilidad práctica de incorporar al *feedlot* una estructura de manejo de efluentes es una condicionante básica del sitio exigida en la legislación de países con tradición en engorde a corral (USA, Australia, Canadá). Se debe contar con espacios para la construcción de los canales colectores y las lagunas de decantación, evaporación y de almacenamiento de efluentes y de sectores para el apilado del estiércol. Si las características geográficas o edáficas (la profundidad de la freática, la per-

meabilidad, la textura y la estructura del suelo, o las irregularidades del terreno) promueven la infiltración en la superficie del *feedlot* o en áreas anexas, o impiden su conducción hacia lagunas de almacenamiento, se torna inviable el sitio (Coleman *et al.*, 1971; Elliott *et al.*, 1972; NSW Agriculture, 1998; Sweeten, 1988b).

Adicionalmente, es necesario que el sitio ofrezca un área adicional para utilizar, a manera de riego sistemático, los efluentes recolectados (Sweeten, 1990). El área para riego deberá contar con un tamaño mínimo de acuerdo con la escala del *feedlot* y las condiciones ambientales y edáficas. Es necesario conocer la capacidad de acogida o capacidad de asimilación de efluentes que posee el suelo (capturar y ceder sin desbordar o perder). El suelo debería tener profundidad, textura y pendientes compatibles con un programa de alta eficiencia de captura de excedentes en biomasa vegetal y su posterior cosecha (forraje en pastoreo mecánico), y exponer a pérdidas despreciables por lixiviación o escurrimiento superficial.

En la medida en que se encuentran limitaciones en el suelo debe ampliarse el área sobre la cual se asperjará el excedente y las estrategias de alimentación para reducir la emisión de nutrientes y elementos contaminantes. El programa de uso de efluentes líquidos deberá contar también con especies vegetales seleccionadas

por su alta capacidad de captura de nutrientes (esencialmente nitrógeno y fósforo) en biomasa aérea y adaptación a amplios rangos de salinidad de aguas (Sweeten, 1990).

Por su parte, la naturaleza sólida o semisólida del estiércol removido de los corrales permite analizar alternativas no económicamente viables para el caso de los efluentes líquidos. El programa de uso de excrementos sólidos puede analizar y proponer alternativas como la venta de estiércol, compost o vermicompuesto y la distribución en lotes de agricultura como fertilizante orgánico (Sweeten y Mathers, 1985). Aunque en los primeros años el apilado del estiércol o emparvado permite posponer el análisis de sus posibles destinos, el planteo de alternativas es conveniente (y en muchos países obligatorio) preverlo desde el comienzo del emprendimiento.

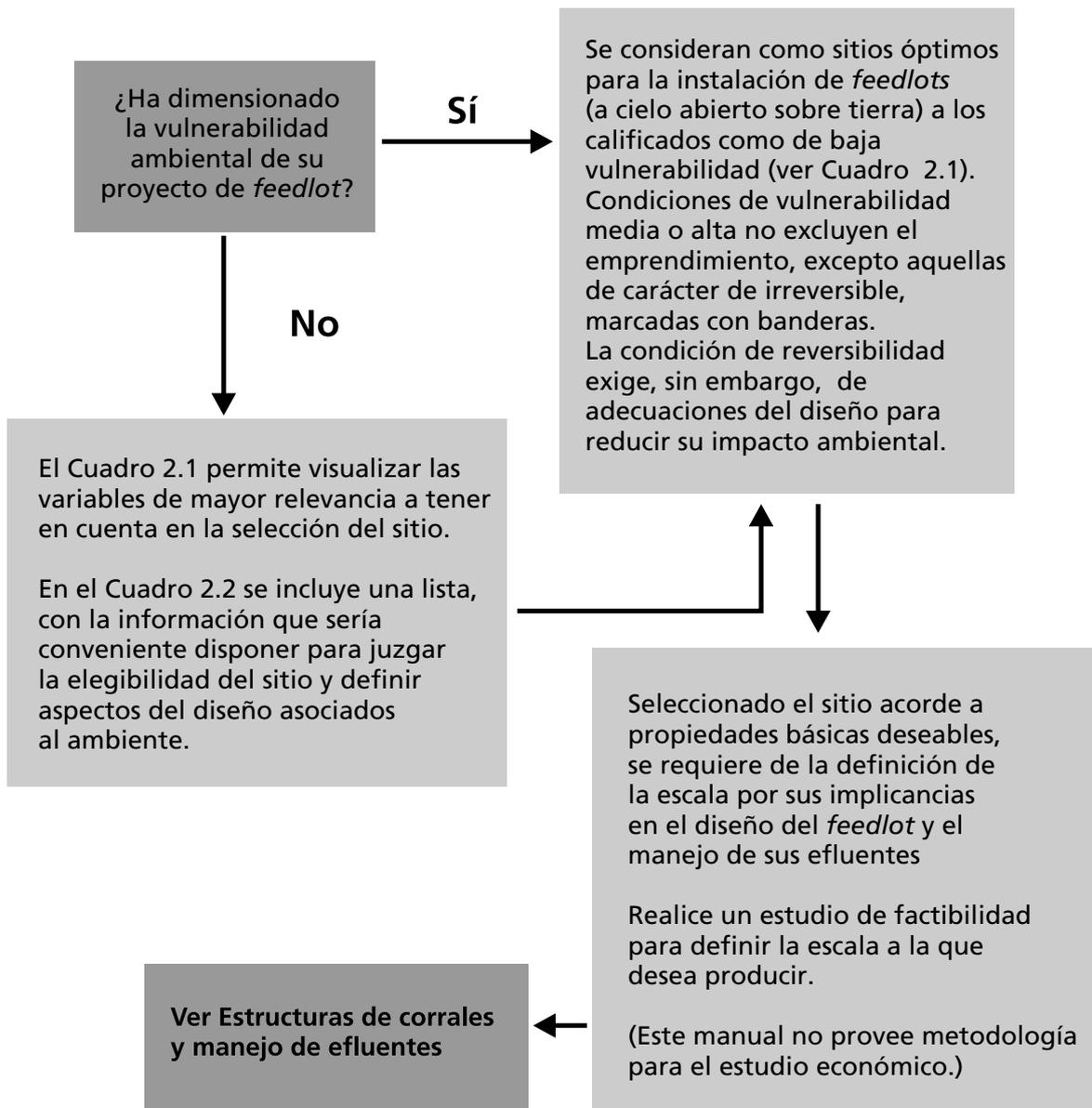
2.2. Disponibilidad de agua

Por último, es conveniente relevar antes de iniciar inversiones en estructura la calidad y cantidad de agua de bebida teniendo en cuenta la dimensión del *feedlot* incluyendo probables expansiones. Aunque la cuestión del agua se menciona también a nivel regional, es necesario confirmar la existencia de agua de calidad adecuada para evitar sorpresas indeseables posteriormente.

2. Vulnerabilidad ambiental del sitio



2. Evaluación de la vulnerabilidad ambiental del sitio



2. Vulnerabilidad ambiental del sitio

Por la naturaleza intensiva y espacialmente concentrada del engorde a corral, la factibilidad ambiental de un *feedlot* debe concentrarse en el estudio de los posibles efectos de contaminación

potencialmente emergente. En los pasos que se sugieren a continuación se propone un análisis de las condiciones predisponentes (Cuadro 2.1).

Cuadro 2.1. Vulnerabilidad del sitio a la contaminación o degradación ambiental

	bajo	Riesgo medio	alto
1. Profundidad de la napa	> 2m	1 a 2 m	< 1m
2. Ubicación topográfica	área alta	área con pendientes	depresión
3. Proximidad a recursos hídricos	> 2 km	1 a 2 km	< 1 km
4. Pendientes	>1% o < 4%	4 al 6 %	<0.25% o > 6%
5. Probabilidad de anegamientos	< a 1c/50 años	1 c/20 a 50	> 1 c/20
6. Tipo de suelos	Arcillosos, limosos, profundos, c/perfil petroc.	Francos o arenoso francos profundos c/perfil petroc.	Arenosos, sin perfil Petrocálcico
7. Precipitación anual	< 600 mm	600 a 1200	> 1200
8. Temperaturas	templadas	tropicales	Extremas altas
9. Proximidad a áreas urbanas o culturales	> 8 km	5 a 8 km	< 5 km
10. Proximidad a rutas	> 3 km	1 a 3 km	< 1 km
11. Dirección de los vientos predominantes	opuesto a la dirección de poblaciones	cambiantes	en la dirección de poblaciones urbanas

Banderas grises señalan estatus de condicionante irreversible y limitante excluyente de las variables sobre la viabilidad del proyecto.

La selección de las variables de mayor relevancia y sus rangos de referencia para la calificación de la vulnerabilidad del sitio descrita en el cuadro 2.1 ha sido realizada a partir del relevamiento de normativas internacionales vigentes (Estados Unidos, Nueva Zelanda y Australia), y su adecuación por parte del autor a las condiciones argentinas. Las variables a observar incluidas en el cuadro no excluyen otras de interés particular o local que puedan ser discriminantes de sitio a esas escalas. Se describe brevemente la relevancia de cada variable considerada.

1. Profundidad de la napa freática: La contaminación de aguas subterráneas y superficiales es el riesgo de mayor relevancia ambiental en la instalación de sistemas intensivos. Se propone que la profundidad mínima tolerable desde la superficie al estrato freático sea de 1 m citada frecuentemente en la bibliografía internacional para tipos de suelos y ambientes (NSW Agriculture, 1998; Sweeten, 2000; USEPA, 1987). Este requisito podría ser revisado en planteos donde un horizonte subsuperficial duro y continuo (tosca, roca, etc.) impongan una barrera a la infiltración en profundidad. Por otro lado, podría ser insuficiente si la textura de suelo es muy gruesa (arenosa) y la capacidad de retención hídrica es limitada.

2. Ubicación topográfica: Es conveniente ubicar el área del *feedlot* en sitios altos con buen drenaje, definido en una dirección, teniendo en cuenta el sitio de colección y almacenamiento de efluentes líquidos. Es importante que las pendientes generales impidan el anegamiento de corrales, pero por otro lado, no se generen escorrentías erosivas. Asimismo, el sitio de contención del escurrimiento no debería ser un bajo sin salida, sino un sector donde el almacenamiento tiene posibilidad de desborde en una dirección que no comprometa a sectores sensibles o recursos hídricos. La instalación en lugares bajos debería ser desestimada por el riesgo de la acumulación de efluentes, el anegamiento y la contaminación de napas (TWC, 1987; USEPA, 1973).

3. Proximidad a cuencas hídricas o recursos hídricos superficiales: El escurrimiento superficial o subsuperficial puede contaminar cuencas hídricas. Aunque la calidad del suelo, el tamaño del *feedlot*, la cantidad e intensidad de las precipitaciones y las pendientes son variables a tener en cuenta en la dimensión del riesgo de contaminación de cuenca, distancias de 1 km son sugeridas como mínimas tolerables. Para incrementar el margen de seguridad, particularmente en regiones con pendientes pronunciadas y suelos de escasa retención hídrica, sería conveniente superar los 2 km de distancia para *feedlots* de hasta 5000 animales de capacidad y los 5 km para los de mayor capacidad (NSW Agriculture, 1998).

4. Pendientes: Las pendientes son necesarias para conducir el escurrimiento superficial y evitar el anegamiento o encharcamiento e infiltración en el área del *feedlot*. Sin embargo, cuando superan el 5% la escorrentía luego de una lluvia, se hace difícil de manejar y requiere de una estructura de canales colectores y drenajes de alto costo. Asimismo, la erosión en piso de corrales es alta y poco controlable. En el otro extremo, los sitios sin pendiente o con pendientes menores al 2% son muy susceptibles al anegamiento y a la infiltración excesiva, máxime si el suelo es de textura gruesa (franco arenosa) (NSW Agriculture, 1998).

5. Probabilidad de anegamientos: Debido a los riesgos de infiltración y contaminación a los que expone el anegamiento, se recomienda ubicar el *feedlot* en sitios con baja probabilidad de anegamiento natural, por combinación de buen drenaje natural y muy baja probabilidad de precipitaciones intensas. Se sugiere como de baja vulnerabilidad a los sitios donde el anegamiento es improbable o su probabilidad sea inferior a 1 evento cada 50 años. Una probabilidad de un evento cada 20 a 50 años sería aceptable si el diseño contempla el manejo de tal situación en su estructura de contención de excedentes. Un sitio con probabilidad de anegarse cada 20 años sería no recomen-

dable debido al riesgo de contaminación a la que expone a los recursos hídricos (Sweeten, 2000; NSW Agriculture, 1998; USEPA; 1973).

6. Tipo de suelos: El tipo de suelo debe permitir una alta compactación superficial, ofrecer alta estabilidad al tránsito animal y baja porosidad. Los suelos arcillosos son preferibles a los francos o arenosos. Los de textura arenosa no son los adecuados. Son suelos de baja capacidad de compactación, baja estabilidad, alta permeabilidad y alta infiltración. Este tipo de suelos exige de la adición de arcillas y limos para reducir su permeabilidad. El perfil petrocálcico (tosca) reduce la infiltración en el sitio pero el escurrimiento de lixiviados por sobre la masa de tosca no garantiza la reducción de la infiltración en profundidad debido al agrietado frecuente e interrupción de los estratos petrocálcicos.

7. Precipitación anual: Se prefieren regiones de baja precipitación anual y de lluvias de baja intensidad. En regiones de 600 mm o menos la evaporación anual es altamente eficiente para reducir los volúmenes de líquido recogidos en el área del *feedlot*. La estructura de manejo de efluentes resulta más simple que en regiones con precipitaciones mayores, pudiendo plantearse sistemas aeróbicos solamente. En regiones húmedas, por encima de los 1200 mm anuales, el manejo de efluentes se torna complejo, en su recolección y almacenamiento, y en el tratamiento del piso de los corrales. No sería aconsejable instalar *feedlots* en esos ambientes. En las regiones con precipitaciones intermedias (entre 600 y 1.200 mm) la instalación es posible, pero debería tenerse en cuenta la magnitud de la misma en años húmedos.

8. Temperaturas: Los climas de templados o templado-fríos son preferibles para procesos de engorde intensivo. Los riesgos de incremento de emisiones aumentan con las temperaturas. Se deberían descartar planteos en regiones con tempera-

turas extremadamente altas combinadas con alta humedad ambiental.

9. Proximidad a áreas sensibles: La distancia a áreas urbanas depende de la sensibilidad social y ambiental. La opinión pública con respecto al confinamiento de animales, los olores y la proximidad a recursos hídricos o cuencas condicionan las distancias. Se sugieren distancias superiores a los 8 km para evitar conflictos con centros urbanos, áreas recreativas o rutas de alto tránsito por posibles emisiones con potencial contaminante. El riesgo es considerado alto y de ubicación no recomendable cuando las distancias son inferiores a 5 km. A esas distancias, las alternativas prácticas para la remediación de efectos o para la adecuación de instalaciones resultarían insuficientes. Distancias entre 8 y 5 km pueden considerarse aceptables cuando se incluyan estrategias de minimización de emisiones (particularmente suelos secos) en áreas de bajo riesgo (regiones secas) y no se arriesguen recursos hídricos superficiales o sub-superficiales (NSW Agriculture, 1998 USEPA, 1973).

10. Distancias a rutas o caminos de alto tránsito: La distancia a vías de alto tránsito está asociada a la seguridad pública y al concepto de paisaje. En primer lugar, la presencia de sistemas intensivos, con movimientos de animales y camiones próximos a una ruta incrementan los riesgos de accidentes por imprevistos o distracciones. En segundo lugar, la vista de instalaciones de alimentación en confinamiento no se integra a paisajes deseables para caminos o rutas de alto tránsito. La implantación de cortinas forestales se sugiere frecuentemente para reducir la vista de planteos intensivos muy expuestos sobre rutas, pero la mejor opción es la instalación del *feedlot* a una distancia prudencial de las rutas asfaltadas, aquí sugerida de al menos 3 km (Sweeten, 2000). Distancias menores deberían contemplar estrategias para mejorar la imagen y la seguridad ante los movimientos o imprevistos (escape de animales, accidentes de camiones, etc.).

11. Dirección de vientos: Es importante que la ubicación con respecto a los vientos predominantes sea tal que la probabilidad para que los olores alcancen a centros poblados sea baja o infrecuente. La

orientación, con respecto a los vientos predominantes es fundamental dada la alta sensibilidad de la sociedad a los olores indeseables (USEPA, 1987).

Cuadro 2.2. Información insumo para verificar la aptitud del sitio

Información climática

Registros estacionales y anuales de precipitaciones promedio
Magnitud de la mayor lluvia en 50 años
Magnitud de las precipitaciones del percentil 20% superior
Dirección y frecuencia de los vientos predominantes
Evaporación media anual y estacional
Temperaturas mensuales medias, mínimas y máximas del aire

Información edáfica

Profundidad de la freática
Mapa de freáticas en años de precipitación extrema
Textura del suelo
Probabilidad de anegamiento del sitio
Presencia y profundidad hasta el perfil petrocálcico o rocoso
Relevamiento topográfico y magnitud de las pendientes

Información geográfica

Imágenes satelitales del sitio en momentos climáticamente contrastantes en la estación de mayores precipitaciones
Distancia a recursos hídricos superficiales
Distancia a una cuenca hídrica de abastecimiento de centros poblados
Distancia a centros poblados urbanos y rurales
Distancia a reservas o monumentos naturales y culturales
Proximidad a rutas de alto tránsito

Información del proceso productivo

Factibilidad del proyecto de localizarse en el sitio elegido
Distancias a las fuentes de insumos de producción (alimentos y animales)
Distancias a los frigoríficos o mercados de venta en pie
Sistemas de producción comunes en la región

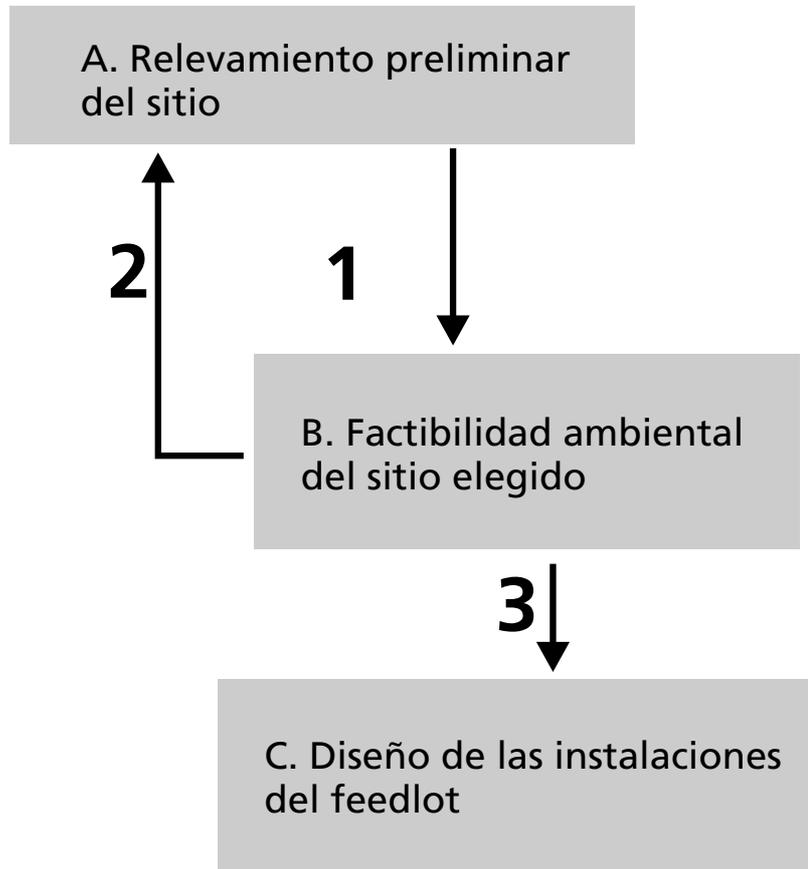
Legislación

Reglamentaciones sobre contaminación y degradación ambiental de ámbito provincial y municipal
Reglamentaciones internacionales de posibles destinos del producto fuera del país

3. Pautas y pasos para el diseño del *feedlot*



3. Pautas y pasos para el diseño del feedlot

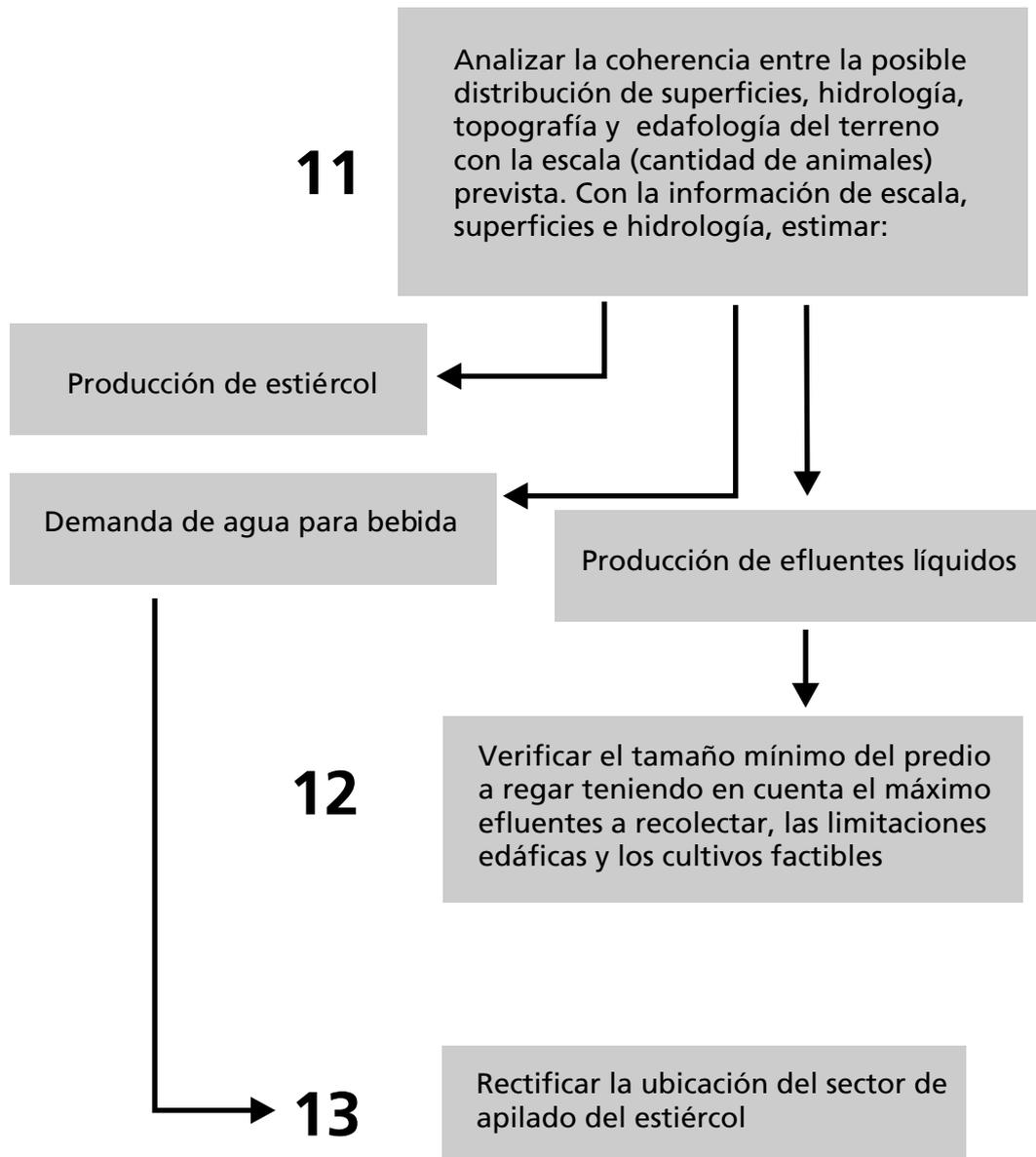


3.1. Relevamiento preliminar del sitio

Pasos para la ubicación de un sitio ambientalmente factible



3.2. Análisis de la factibilidad ambiental del sitio elegido



3.3. Diseño del *feedlot*

14

Relevamiento topográfico

Realizar un relevamiento de detalle para ubicar:

1. Estructuras de alimentación y manejo de animales
 - a) los corrales de alimentación,
 - b) calles de alimentación y de movimiento de los animales,
 - c) instalaciones de acopio y procesamiento de granos, y corrales de manejo.
2. Estructuras de captura y manejo de efluentes y estiércol
 - a) canales primarios, secundarios y terciarios,
 - b) las piletas o lagunas de sedimentación y almacenamiento

Ver "Estructuras"
(pág. 36 y subsiguientes)

15

Plano de instalaciones para animales

Confeccionar un plano con la distribución de corrales de alimentación y manejo (carga y descarga, enfermería, tratamientos sanitarios) e identificar los circuitos de tránsito de alimentos y de los animales

16

Plano de instalaciones y manejo de efluentes líquidos

Confeccionar un plano detallando el sentido del drenaje en cada corral, la distribución de los drenajes o canales primarios, secundarios y terciarios, la ubicación y dimensiones de las lagunas de sedimentación y almacenamiento. Describir el circuito de los efluentes hasta las lagunas de almacenamiento. Acompañar plano en detalle de las características de la construcción de canales y lagunas y la información hidráulica correspondiente

C. Diseño del *feedlot* (cont.)

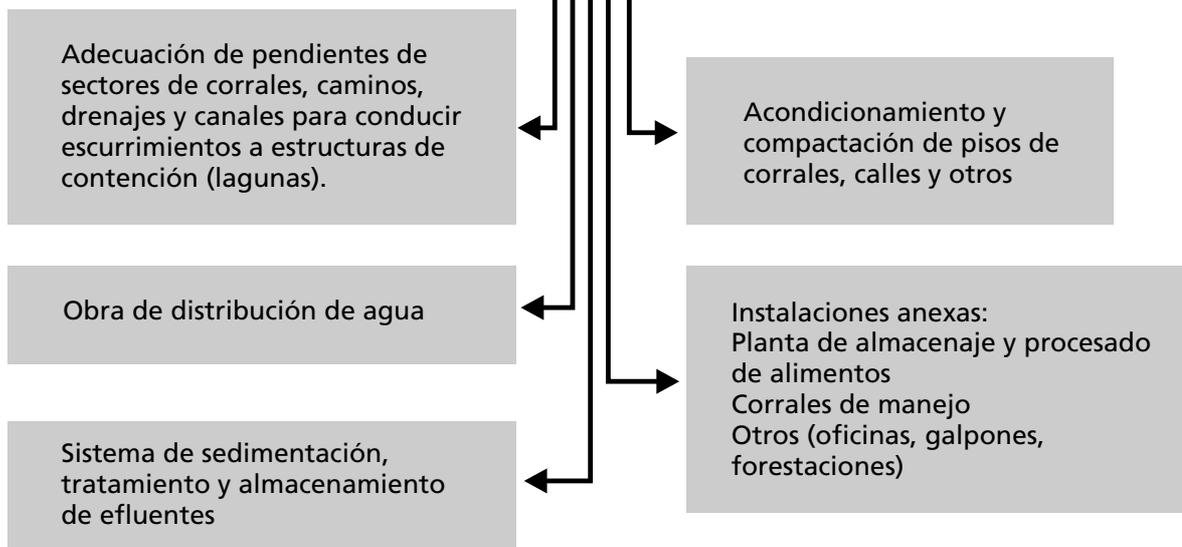
17

Plano de distribución de agua de bebida

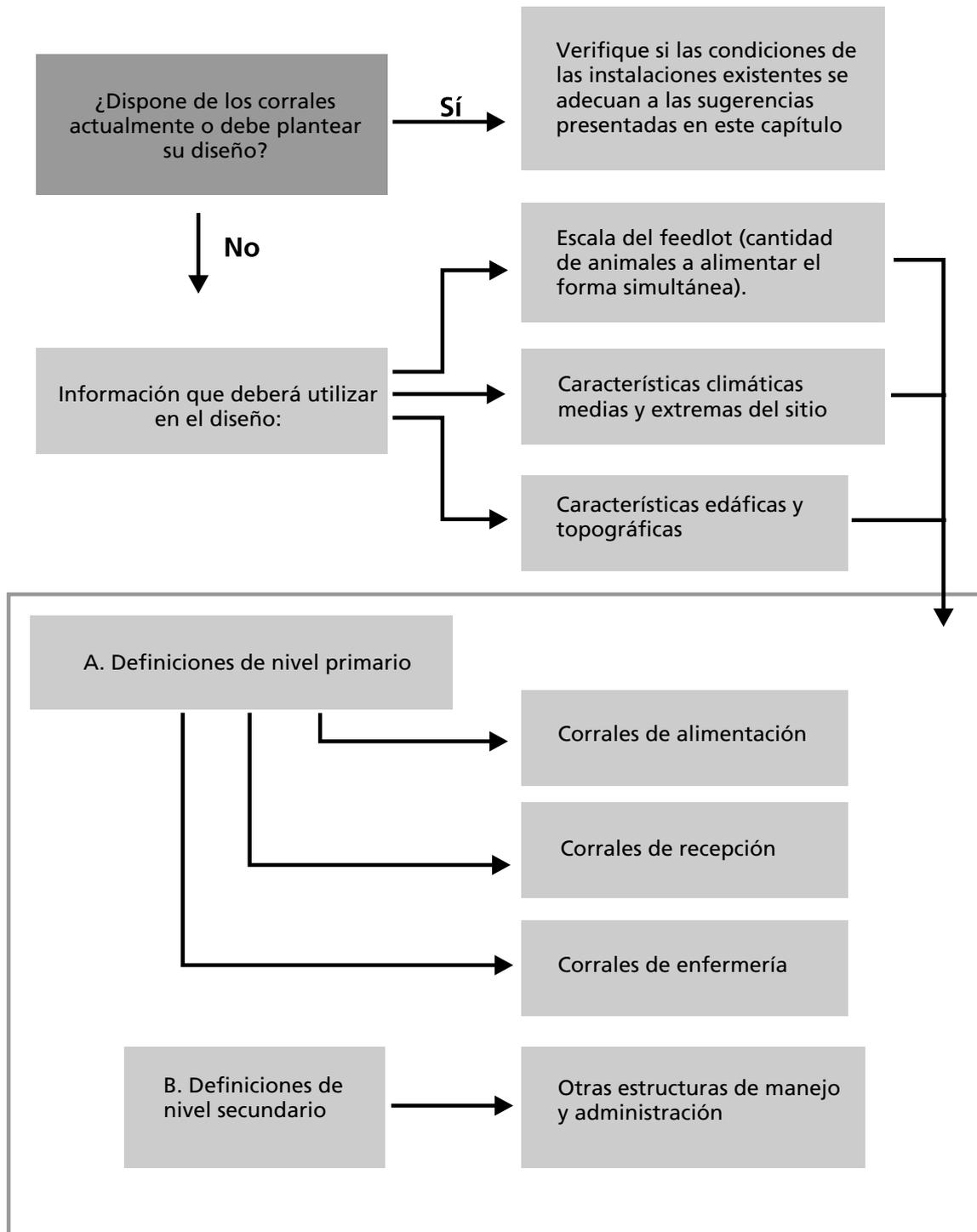
Construir un plano con la distribución del agua de bebida (ubicación de bebederos, puntos de bombeo y tanques de almacenamiento).

18

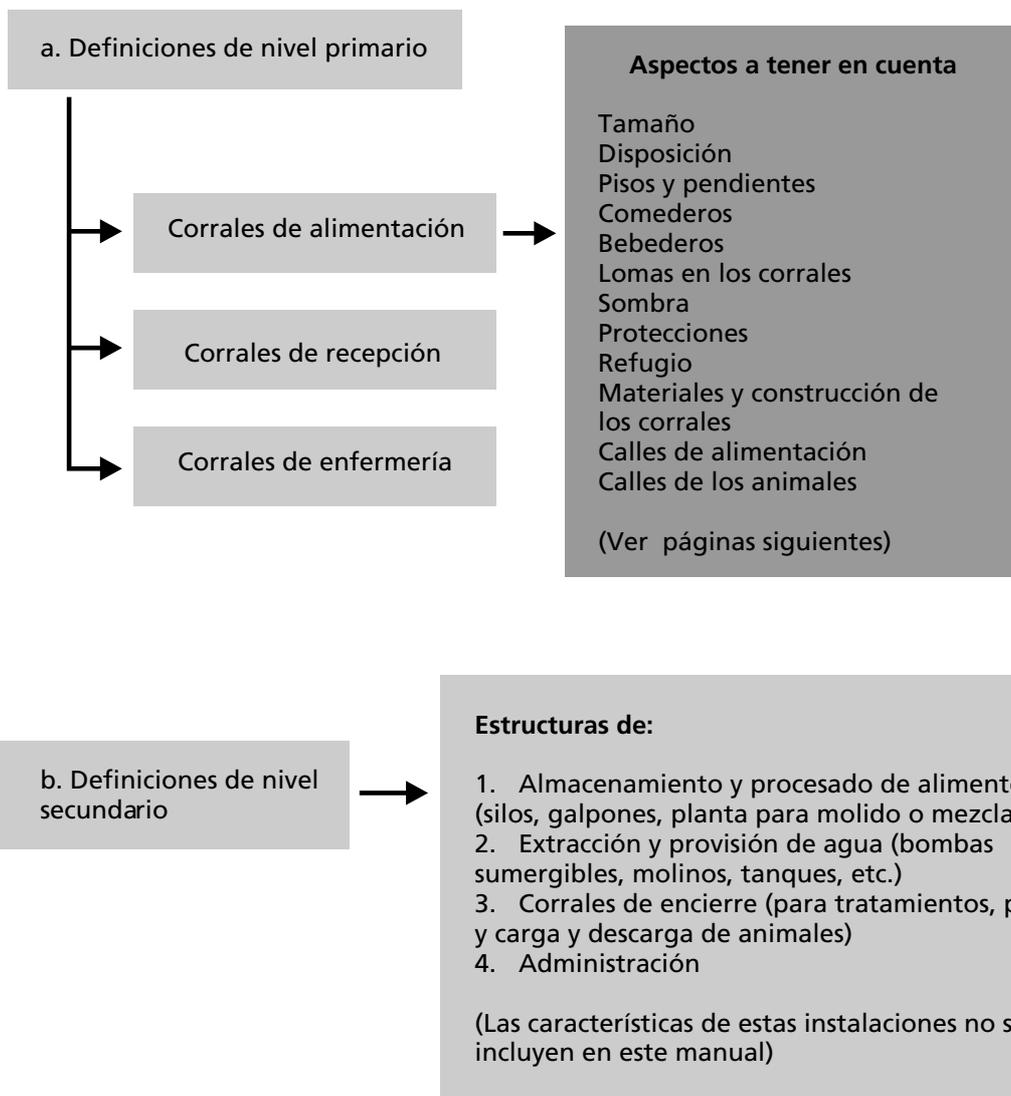
Programa de obras



3.3.1. Estructuras de alimentación y manejo de animales



Estructuras (cont.)



3.3.1.1. Corrales

3.3.1.1.1. Corrales de alimentación

1. Tamaño

Los corrales de feedlot a cielo abierto, donde los animales pasan todo su tiempo y son alimentados, se construyen sobre piso de tierra compactado y deberían permitir un espacio mínimo de 15 a 20 m² por animal para que el confinamiento no los incomode. Superficies mayores no generarían inconvenientes (hasta 40 m²); sin embargo, corrales muy grandes exponen a un mayor movimiento y también al desperdicio de superficies. Deberían planearse para tamaños de lotes no mayores de 250 animales livianos (novillitos o vaquillonas) y no más de 200 novillos grandes en terminación (NSW Agriculture, 1998; Sweeten, 2000).

2. Disposición

La disposición de los corrales en la geografía del terreno constituye el primer paso en el diseño. Se debería considerar primero las posibilidades de drenaje desde cada corral y la colección de efluentes en una vía de drenaje común hacia una laguna de decantación y laguna de almacenamiento de efluentes. Luego se procederá al diseño espacial de los corrales. Se sugiere que los corrales sean de 60 m de frente por 50 o 60 de fondo, con una capacidad para 200 a 250 animales. Los 60 m de frente permiten ubicar el comedero en ese frente contando con 30 cm de espacio de comedero por animal para un número de 200 animales. Ese diseño rectangular o cuadrado de los corrales no es, sin embargo, una condición excluyente de otros diseños ajustados a la topografía, pudiendo los corrales tomar formas diversas adecuados a las pendientes, siempre que se respete el espacio mínimo necesario de comedero por animal confinado (NSW Agriculture, 1998; Sweeten, 2000).

3. Piso y pendientes

El relevamiento de las pendientes en el área del feedlot constituye el primer paso en la elección del sitio para la ubica-

ción de los corrales. Es conveniente que el piso sea lo más compactado posible y tenga pendiente general (2 a 4 %) en el sentido opuesto a la ubicación del comedero para que el agua de lluvia y excrementos líquidos tengan una salida rápida del corral. Ello evitará el encharcamiento y anegamiento. Debe particularmente protegerse el área próxima al comedero incrementando incluso la pendiente en ese sector si existe el riesgo de lluvias frecuentes o de alta intensidad. Pendientes inferiores al 2% exigen de alomados en los corrales y remodelado del terreno para dirigir escurrimientos. Pendientes superiores al 4% pueden exponer al escurrimiento descontrolado y a la erosión hídrica ante precipitaciones intensas (NSW Agriculture, 1998).

El suelo debería ser el más firme posible para que los efluentes líquidos movilizados por la lluvia no infiltren. En primer lugar la infiltración provoca anegamientos y compromete el espacio disponible para el animal, dificulta el movimiento de los animales y expone a afecciones de patas y prepucio por estar en contacto con ese medio húmedo y sucio permanentemente. El anegamiento afecta además directamente al consumo y a la eficiencia de conversión. Los animales comerán menos y convertirán ineficientemente debido al gasto energético adicional de moverse en un medio anegado. En segundo lugar, la infiltración transporta nutrientes excretados y contamina las aguas subterráneas. La contaminación de napas por esta vía es el principal motivo de deterioro ambiental provocado por las instalaciones de alimentación de bovinos a corral (NSW Agriculture, 1998; Sweeten, 2000).

El piso del corral se construye generalmente de tierra bien compactada para reducir la permeabilidad al mínimo, idealmente a infiltración cero. Se utilizan equipos de alta compactación como rolos pata de cabra de alto peso específico. Un emparejado y nivelado previo puede ser necesario para evitar sectores quebrados o pozos que reduzcan el área del corral

como que expongan a amontonamientos y golpes entre animales. Es fundamental que el suelo sea compactable, de baja permeabilidad y estable a los cambios de humedad. Tampoco serían convenientes las superficies demasiado duras como los pisos de cemento o muy endurecidos con piedra o tosca por sus efectos sobre el animal. Las superficies muy pedregosas resultan frecuentemente en patas lastimadas, heridas infectadas, problemas de articulaciones y limitaciones al movimiento (NSW Agriculture, 1998).

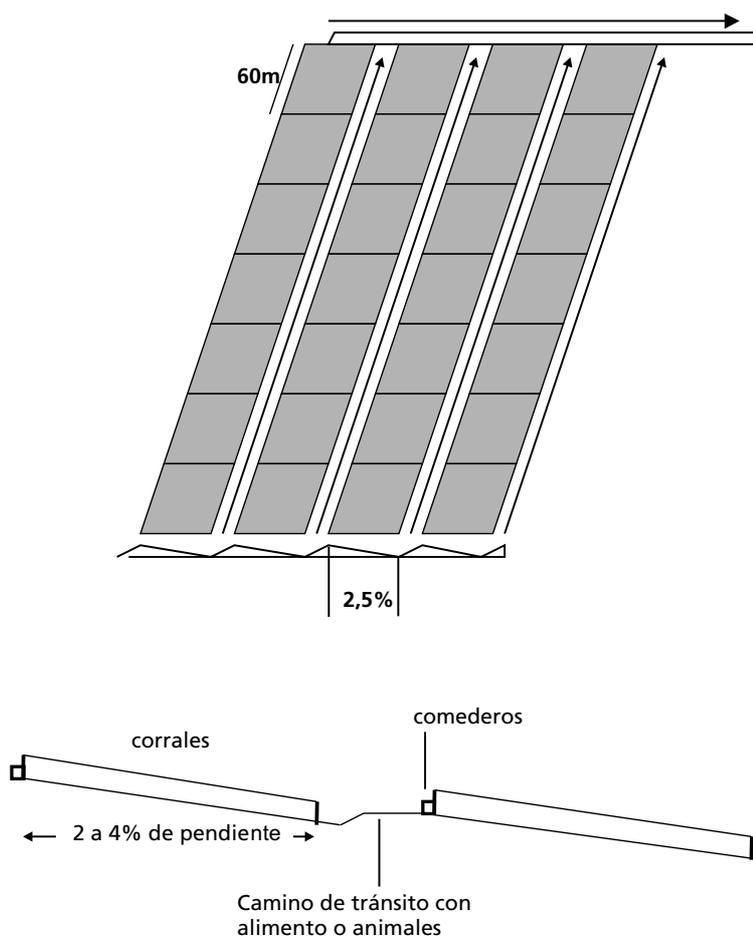
En casos con limitaciones severas por suelo muy suelto de tipo arenoso, rocoso o con alto contenido de arcillas inestables, sería conveniente remover los primeros 15 cm y aportar suelo franco mezclado con arcillas de mayor estabilidad a los cambios de humedad. Esta práctica resulta frecuentemente demasiado costosa y obliga a revisar el sitio o incluso la región.

4. Comederos

La ubicación, tamaño y forma de los comederos son responsables en gran parte del éxito en el engorde a corral. El espacio de frente de comedero destinado por animal es el primer condicionante del consumo y de la producción. El espacio de comedero a asignar por animal dependerá del tamaño de los animales, la naturaleza de la dieta (húmeda o seca), las condiciones de accesibilidad al comedero y factores climáticos; sin embargo, se considera que 30 cm de frente de comedero son suficientes, no limitantes de la productividad. Ese frente mínimo permite que entre el 65 y el 75% de los animales tengan acceso simultáneo a los comederos

(NSW Agriculture, 1998). No sería necesario tener espacio para el 100% de los animales en forma simultánea, ya que no todos intentarán comer al mismo tiempo (a diferencia de la suplementación en pastoreo).

Por motivos de higiene, protección del piso y de funcionalidad en la distribución es importante que los comederos estén sobre uno de los lados del corral y no dentro del mismo. Aunque ello imposibilita que ambos lados del comedero puedan ser utilizados por el animal y exige de una mayor longitud de comedero, los aspectos prácticos de la alimentación lo justifican. Es necesario que los carros de alimentación, mixers o camiones de distribución alimenten de la forma más limpia posible, permanezcan siempre limpios y



Diseño y ubicación espacial de los corrales

no sean expuestos a la contaminación con efluentes o excrementos, para evitar el traslado o transmisión de enfermedades, contaminaciones, o comprometer la palatabilidad del alimento. En planteos precarios o transitorios, donde se alimenta dentro de los corrales, el tractor y mixer han sido el principal factor de destrucción de piso, anegamientos y complicaciones en el acceso de los animales a los comederos, incluso responsables de accidentes con los animales o con los comederos (golpes, quebraduras de patas y costillas, etc.).

Los comederos deberían coincidir con el sector más alto del corral o al menos en un área donde no se corre riesgos de acumulación de agua y formación de barro. En los casos en los que se levanta el centro de los corrales con lomas de tierra para aumentar el área seca en los corrales, debería asegurarse que el agua fluya en la dirección opuesta a los comederos (NSW Agriculture, 1998).

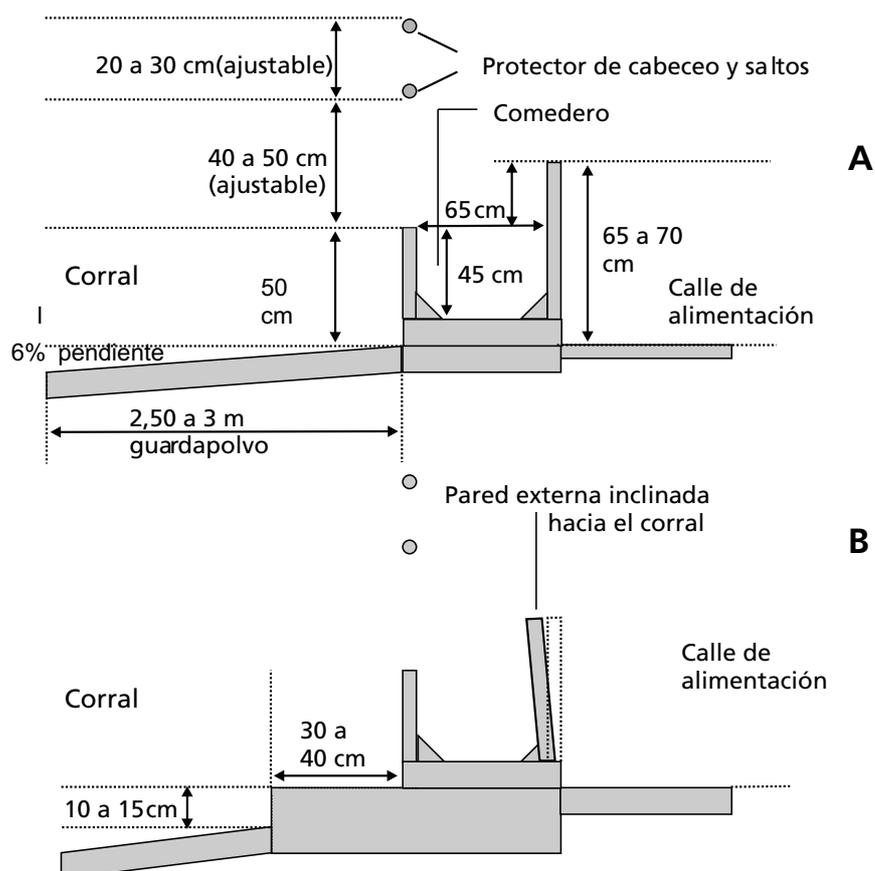
Aunque la forma y material de los comederos variará mucho en función del costo, algunos elementos que aportan a la funcionalidad e higiene deben tenerse en cuenta. El comedero debe permitir un acceso fácil del animal a la comida y la recolección de la misma sin esfuerzo por parte del animal. Para ello es conveniente que el interior del comedero sea lo más liso posible, de caras internas redondeadas, sin ángulos que dificultan al animal la recolección del alimento o la limpieza rápida. En su exterior es deseable que sea de caras o lados rectos. Ello facilita la limpieza rápida hasta el suelo, evitando la acumulación de alimento y excrementos debajo del comedero o adherido a sus lados por dificultad de acceso. Esto ocurre con comederos demasiado convexos (más anchos arriba que abajo, de sección semicircular o apoyados sobre patas con áreas libres). Es preferible levantar el interior del comedero si se estima que quedará muy profundo, con mampostería. En los casos en que los costos obligan al uso de comederos del tipo bandeja, deberían despejarse del piso lo suficiente como para poder limpiar sin dificultad (NSW Agriculture, 1998).

Es conveniente compactar muy bien o proveer un piso de cemento o entoscado de al menos 3 m de ancho a la manera de guardapolvo en todo el largo del frente del comedero. Ese sector será un área de alta presión y mucho movimiento de los animales acercándose y alejándose del comedero. En suelos comunes, frecuentemente arenosos en nuestra región, ese sector se erosiona con rapidéz, se hace pozo y se anega si previamente no ha sido preparado (levantado, enriquecido con cementos o arcillas o entoscado) para soportar la acción de los animales. Esta vereda de cemento deberá permanecer limpia por lo que se sugiere una pendiente del 10% y un espesor de 10 a 15 cm, si se fabrica de cemento. En adición, sería conveniente construir un escalón de 10 a 15 cm de alto y 30 a 40 cm de ancho, a lo largo de todo el comedero, del lado del corral. Esta estructura desalienta a los animales a pararse paralelos al comedero por tiempos largos evitando el exceso de otros al comedero, como también a retroceder y apoyarse, rascarse, golpear o defecar sobre los comederos (NSW Agriculture, 1998).

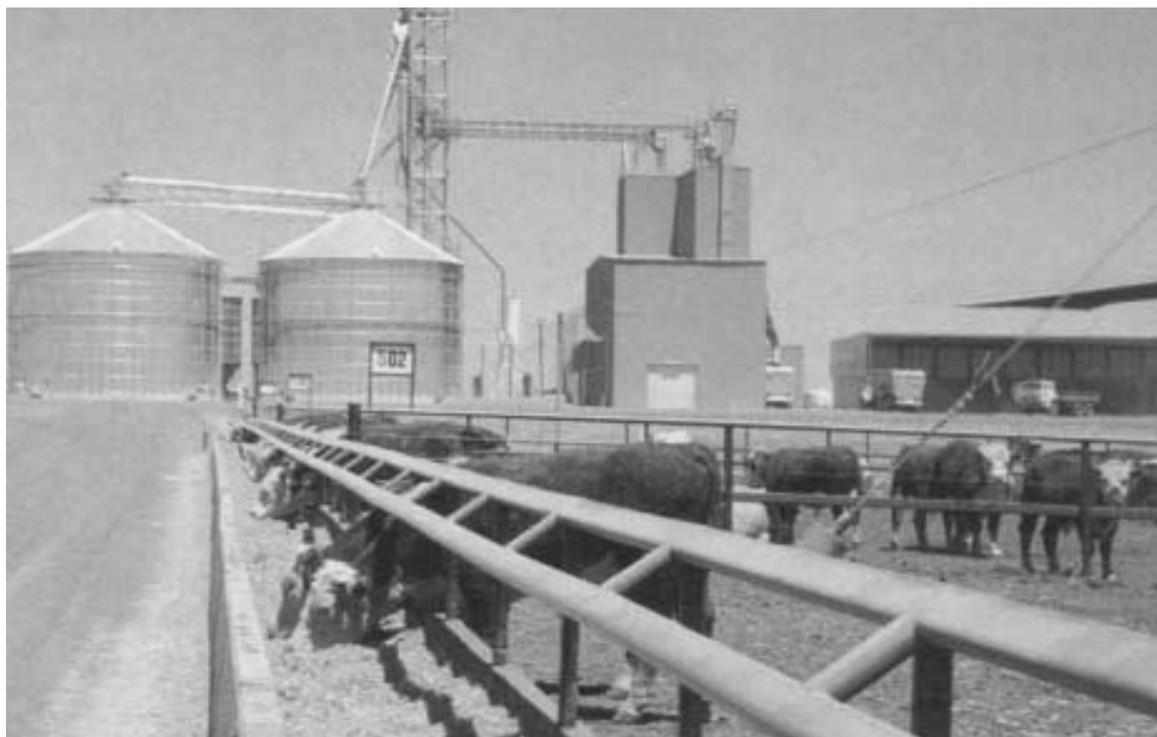
El área de la calle en contacto con la cara externa del comedero debería permanecer bien limpia. Para ello, la calle debe poder limpiarse con facilidad por lo que es conveniente que la cara exterior del comedero sea plana y vertical en 90° con respecto al suelo, caras apertura hacia fuera o redondas dejan áreas difíciles de limpiar contra el área de contacto del comedero con el suelo. El alimento que se acumula se descompone rápidamente y, además de ser un foco de putrefacción y desarrollo de enfermedades, genera olores indeseables que pueden alejar a los animales del comedero y afectar el consumo voluntario. Algunas experiencias proponen incluso como conveniente dar una pequeña inclinación hacia el corral a la pared exterior (pared que da a la calle de alimentación) para reducir la posibilidad de contacto con partes móviles de implementos de limpieza con la pared (NSW Agriculture, 1998).

Los comederos deberán llevar por encima una protección de hierro, madera o alambre que opere de cerco, eliminando la posibilidad de que los animales se metan en los comederos, que desperdicien el alimento y que salten por encima. No existen diseños fijos de protectores, los modernos se hacen de una sola línea de caño o dos de hierro dispuestas por sobre el comedero, del lado del corral o por sobre aproximadamente el centro del comedero a 40 o 50 cm (ajustable si fuera posible) de altura desde el borde interno del comedero. En el caso de doble línea de hierro podría instalarse en forma oblicua (corte transversal), quedando la línea inferior a 35 cm (en línea vertical desde el centro superior del comedero). Ello permite un mejor acceso del animal al alimento y previene el desaprovechamiento del alimento por cabeceo, pero exige de una mayor estructura. Es posible también la

confección con alambre, reforzando la línea más baja con doble hilo de acero. Toda estructura deberá sostenerse de la pared del lado del corral y dejar la exterior (del lado de la calle) sin obstrucciones y limpia para repartir homogéneamente el alimento. En el caso de los comederos construidos en el mismo sitio, los postes podrán ser embutidos en la misma pared del comedero. Estos postes sostendrán una estructura de material y forma variables, confeccionados muy simples con un solo caño, vigas de madera, alambre, cable de acero o hierro. En las figuras se sugieren algunos diseños y formas, aunque cada sistema adoptará la que considere más práctica. Debe, sin embargo, asegurarse que la barrera no imponga limitantes a la recolección y la deglución del alimento en ninguna categoría animal a utilizar (NSW Agriculture, 1998).



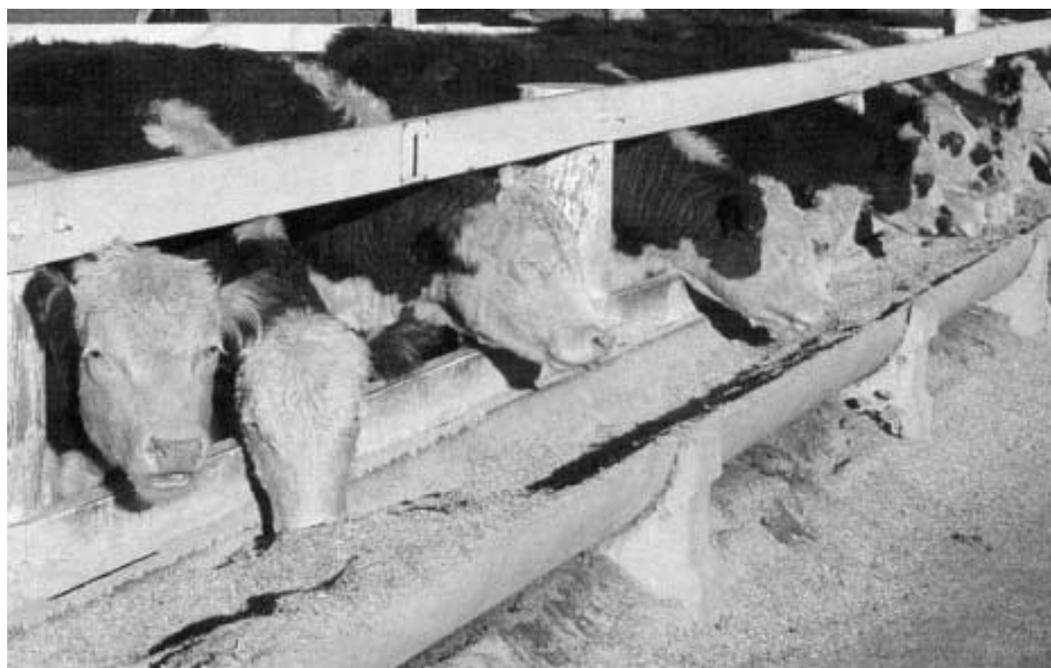
Corte transversal para el diseño de comederos con pared externa vertical (A) o pared externa inclinada hacia adentro y con vereda desnivel (B). (Adaptado de NSW Agriculture, 1998.)



(Foto de G. Johnson en NSW Agriculture Feedlot Manual, 1998).



(Foto de G. Johnson en NSW Agriculture Feedlot Manual, 1998)



(Fotos de G. Johnson en NSW Agriculture Feedlot Manual, 1998).

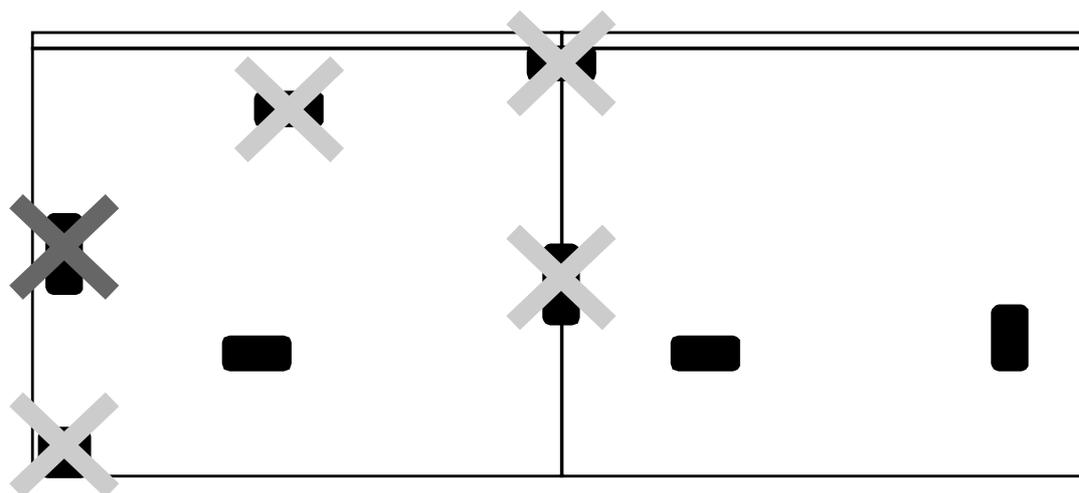
5. Bebederos

El libre acceso al agua limpia y fresca es fundamental para sostener un buen consumo y engorde. El consumo de agua depende de la categoría y tamaño del animal, la dieta y fundamentalmente de la humedad y temperatura ambiente. Se recomienda la instalación de dos bebederos separados dentro de cada corral (con capacidad para 200 a 250 animales). No es conveniente utilizar bebederos muy profundos o de gran volumen. El agua retenida por mucho tiempo permanece generalmente más sucia, menos fresca. Los animales beben mejor de bebederos poco profundos con alto caudal que renueva rápidamente el agua disponible. Adicionalmente, bebederos poco profundos son más fáciles de limpiar y sufren menos roturas. El frente de bebedero a disponer por animal es muy relativo al caudal y factores antes citados, pero se sugiere utilizar al menos 3 cm de bebedero por animal.

El diseño de la provisión de agua deberá tener capacidad para ofrecer con seguridad al menos 70 litros por animal y por día en verano y la mitad de ese volu-

men en invierno, para animales grandes (vacas o novillos en terminación). Frecuentemente se utiliza como referencia el valor de 7 litros por cada 50 kg de peso vivo. La reserva de agua y el caudal deberán preverse para ofrecer el agua demandada diariamente en un período no superior a 8 horas, período que generalmente se inicia con un alto consumo a la hora de ofrecido el alimento de la mañana. En los sistemas que alimentan dos y tres veces por día, el consumo de agua sigue la curva de consumo de alimento, pero se destaca el consumo agua de la mañana luego del primer ofrecido de alimento (NSW Agriculture, 1998).

Además de servir a una mejor distribución de los animales en el corral reduciendo la presión sobre los comederos, el alejamiento del comedero evita que los animales lleguen a abreviar con mucho alimento en la boca y ensucien el agua. Sería también conveniente que los bebederos tengan un drenaje de limpieza entubado subterráneo de alto caudal y conectado o desembocado en el sistema de drenaje de los corrales. Ello evitaría tirar agua en el mismo corral en el momento



El bebedero debería localizarse en la mitad del corral más alejada del comedero, al menos 10 metros del mismo y no debería ser compartido entre corrales para evitar presiones sobre los lados del corral. Ello reduce los contactos entre lotes y las posibilidades de agresiones y también de contagios. Sería conveniente que se provea de un guardapolvo de cemento o suelo compactado, preparado para soportar la acción de las patas de los animales y la alta presión animal, cubriendo un área de hasta 2 m desde el bebedero.

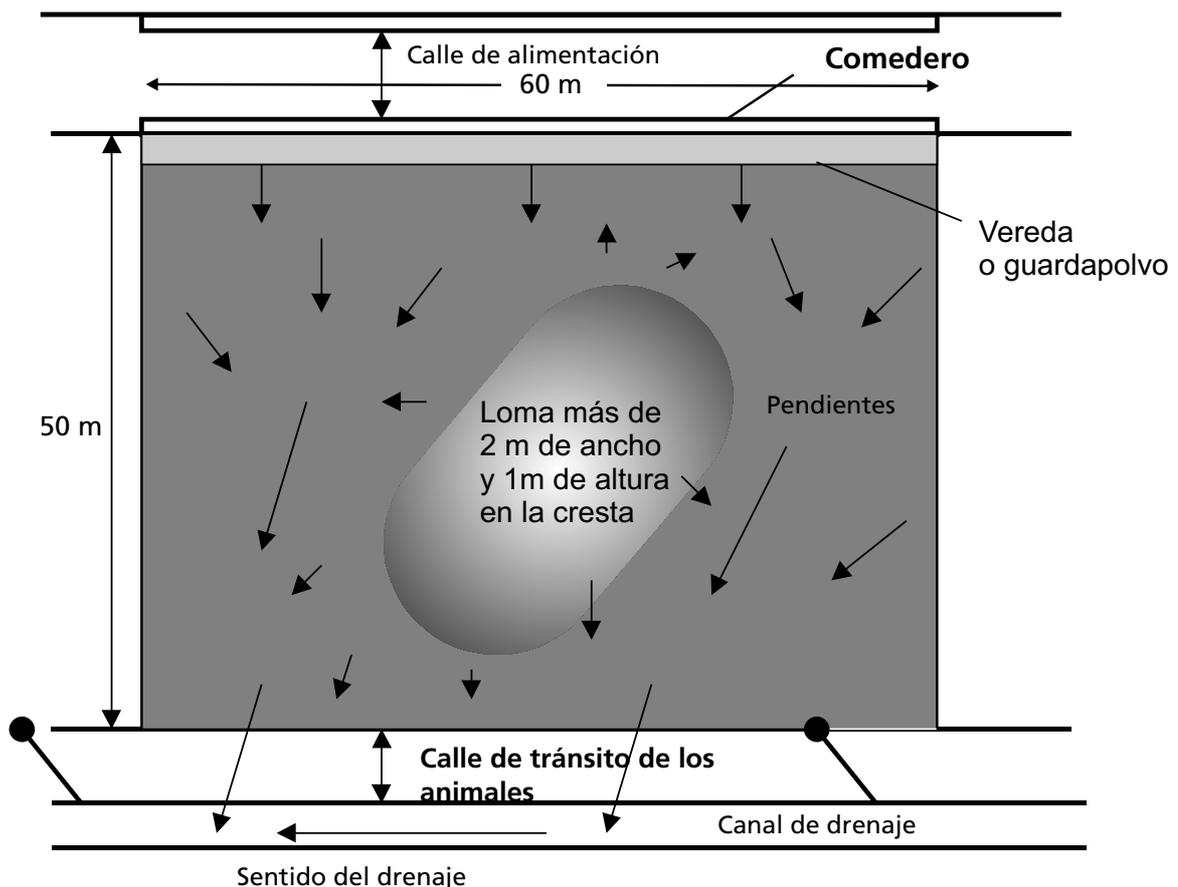
de lavado del bebedero, particularmente si se están limpiando con animales en mismo corral (NSW Agriculture, 1998).

6. Lomas en los corrales

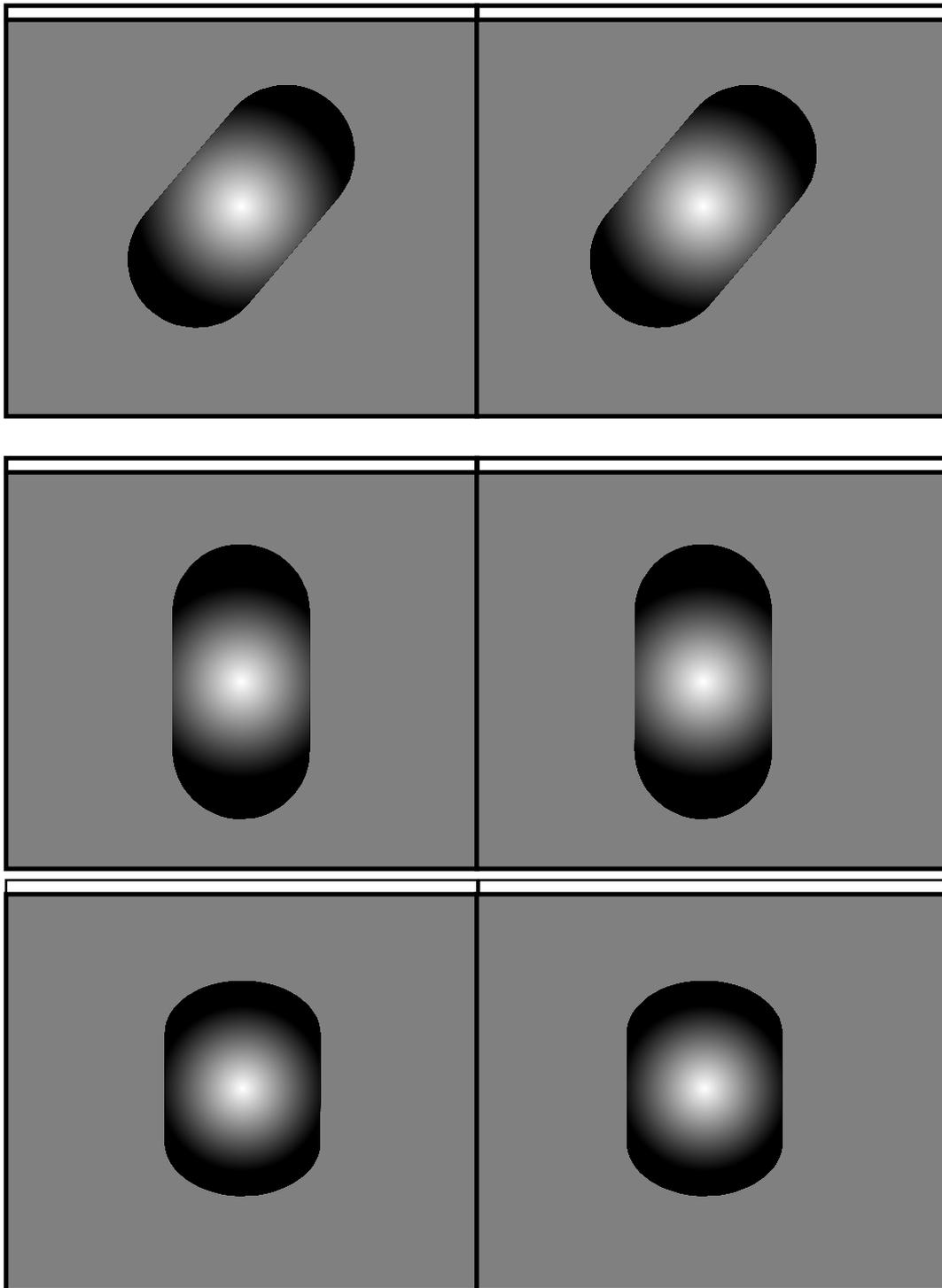
Cuando las pendientes han sido previstas y la superficie corregida a pendientes entre el 2 y 6%, no se requieren lomas interiores para proveer a los animales de superficies secas y limpias. Sin embargo, en corrales con muy poca pendiente (0 a 2 %) se debe recurrir a las lomas para mantener áreas drenadas. Estas lomas funcionan además de sistema rompevientos dada la rugosidad que imponen a todo el área de corrales del feedlot. Las lomas permanentes deben construirse con suelo susceptible de ser compactado y resistente a la tracción

(NSW Agriculture, 1998; Sweeten *et al.*, 1985).

Se sugiere que las lomas tengan un ancho de al menos 2 m, y una altura de 1 m en el área de la cresta. Sus lados no deberán ocupar todo el corral sino construirse con una pendiente de 1 en 5. Deberá además tenerse en cuenta la exposición de las mismas con respecto al flujo de efluentes del corral para evitar generar obstáculos al drenaje del corral, evitar generar sectores críticos (como construcciones muy próximas a los lados del corral) que reduzcan el área útil del corral o sean de riesgo para los animales. Debería además contemplarse la exposición para servir de reparo de los vientos predominantes.



Ubicación y características de la loma en el corral en función del flujo de efluente.



Ubicaciones posibles de las lomas en los corrales dependiendo de las pendientes, exposiciones al sol y del movimiento del agua de escurrimiento superficial. Adaptado de NSW Agriculture, (1998), Sweeten, (1979).

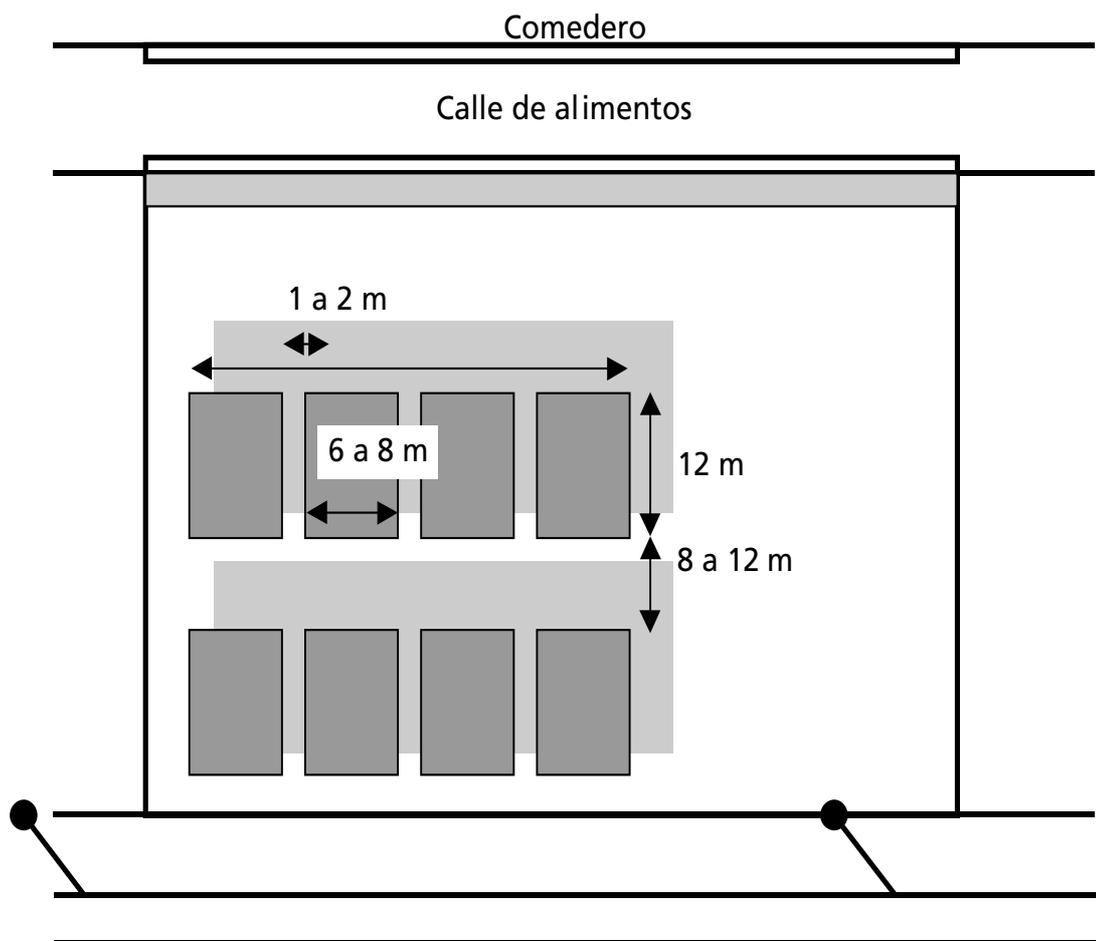
7. Sombra

La sombra provee enfriamiento y alivio térmico en regiones donde las temperaturas exceden frecuentemente los 35°C y la humedad ambiental es elevada. Las temperaturas altas resultan generalmente en menor consumo de alimento. Las razas de origen cebú toleran mejor las altas temperaturas. Por su parte, los animales con mayor grado de terminación (cobertura grasa) sufren fácilmente de estrés térmico.

El grado de saturación y el movimiento del aire son factores centrales en la eficiencia refrigerante de la sombra. El diseño de la sombra deberá permitir una remoción rápida y permanente del aire. Debe tenerse en cuenta que la presencia de sombra es un factor de concentración de animales, heces y humedad. La dispo-

sición de la sombra deberá permitir una alta eficiencia en el uso de la misma, el alejamiento de los comederos en lo posible y también un secado del suelo. Áreas con sombra permanente son más húmedas y concentradoras de heces. Generalmente las sombras extendidas de Norte a Sur son más secas que las de Este a Oeste. Se sugiere que el área de sombra a lograr debería ser de 1,5 a preferiblemente 4 m² por animal, aunque ello depende de numerosos factores, principalmente del tipo y rigurosidad del calor y de la categoría animal (Church, 1989; NSW Agriculture, 1998).

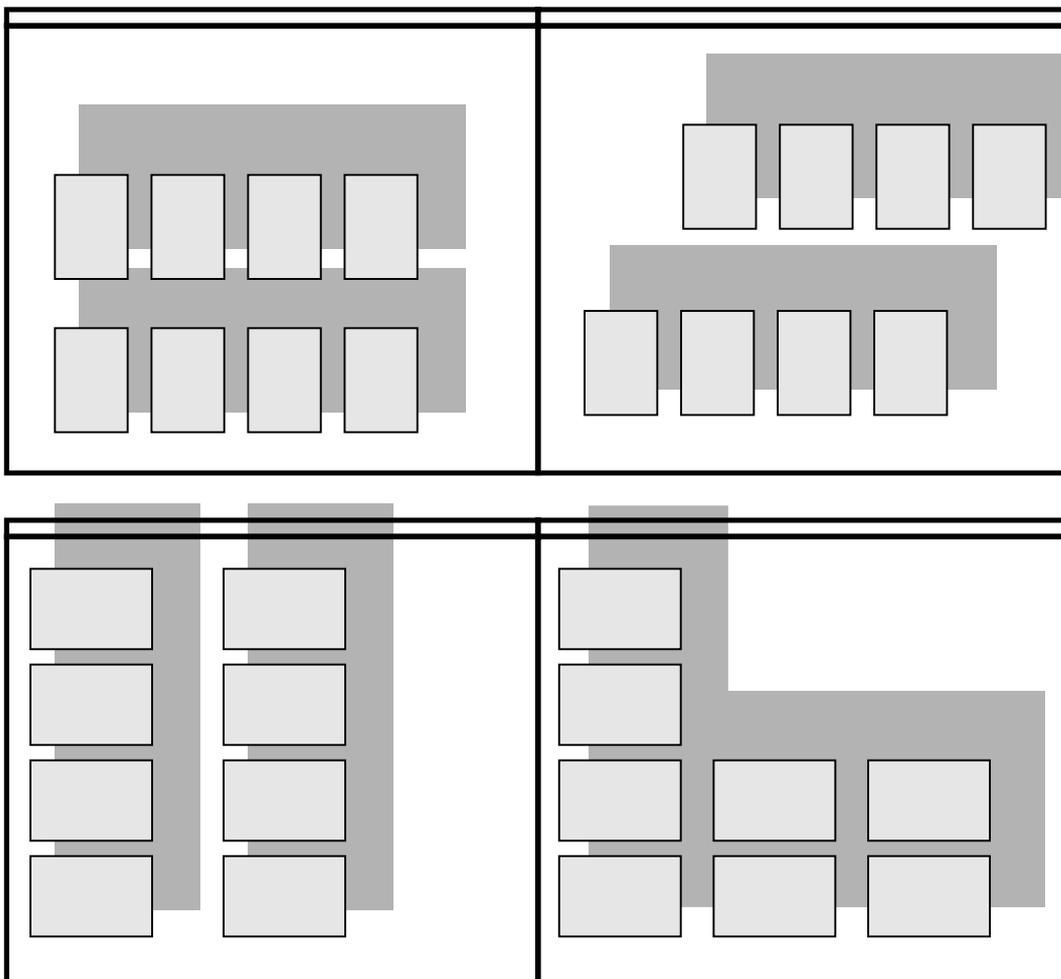
Para evitar restringir el movimiento del aire y alcanzar proyecciones de sombra significativas se sugiere que las estructuras de sombra tengan al menos 4 m de altura y anchos de no mayores a los 12 m,



Tamaños sugeridos y ubicación de sombras artificiales



(Foto de G. Johnson en NSW Agriculture Feedlot Manual, 1998)



Ubicación de sombras con el sol ubicado hacia el lado oeste



(Foto de G. Johnson en NSW Agriculture Feedlot Manual, 1998)



(Foto de A.J. Pordomingo, INTA Anguil)

con corredores de aire (áreas sin sombra) de al menos 15 m entre franjas. Los materiales de matriz tramada en plástico negro tipo "media sombra", comunes en el mercado, son suficientes. Se sugiere utilizar los materiales con no más de 80% de cobertura en la matriz del material, los de mayor densidad tienden a retener agua y sufren roturas luego de una lluvia. Es conveniente que la sombra se pueda recoger o retirar en los meses fríos para no limitar la exposición al sol.

8. Protecciones

Forestaciones en cercos próximos a los corrales proveen también de barreras al viento reduciendo la incidencia del viento en climas fríos y lluviosos o muy ventosos o incluso como oferentes de sombra. Sin embargo, debe tenerse en cuenta la ubicación y las características de la masa arbórea. Los árboles de hoja permanente deben evitarse en las barreras al Este y al Norte, los de hoja caduca serían los indicados para esos sectores ya que voltean las hojas en invierno y no limitan el ingreso de energía solar en esa época. Los lados Sur y Sudoeste y oeste pueden protegerse con árboles siempre verdes que representan una barrera permanente a los vientos del Sur, fríos y frecuentes en invierno.

Las forestaciones se plantean como barrera cuando incorporan más de una línea de árboles. La separación entre estos dependerá mucho del tipo de árbol, pero desde el punto de vista práctico no deberían tener menos de 3 m entre árboles por las limitantes de la maquinaria para limpiar el área (malezas, ramas, etc.) o realizar trabajos culturales sobre los árboles. Otros aspectos a considerar en el distanciamiento son los relacionados con la competencia entre árboles y la altura a lograr. A densidades altas, las alturas pueden ser mayores pero es menor el desarrollo lateral de las plantas y su resistencia. Por otro lado, cortinas muy densas pueden provocar una disminución excesiva del flujo de aire y ser motivo de incremento de temperatura, humedad, plagas y olores. Se sugiere que el grosor

de la cortina no debería exceder 3 veces la altura de la misma. En la medida en que la cortina crece en densidad y grosor la pared al viento es mayor, el movimiento de aire a través de la misma es menor y, aunque el ascenso de aire en la cara expuesta al viento es máximo, el descenso de la masa luego de pasada la cresta de árboles es muy rápido reduciéndose el tamaño del área protegida. El ancho de una cortina o cinturón de árboles no debería superar las 7 filas en un ancho de 45 m. La protección que se alcanza cubre aproximadamente entre 10 a 20 m desde la cara interna de la cortina. Las cortinas multiespecíficas e incluso con arbustos permiten incrementar la efectividad rompimientos de la barrera (NSW Agriculture, 1998).

Adicionalmente, los bosques o plantaciones pueden proponerse para incrementar la evaporación de aguas y reducción del nivel de freática a través de la evapotranspiración de la masa arbórea en áreas con drenaje pobre o comprometidas con freáticas altas. Finalmente, las plantaciones en cortinas o en bosques permiten mejorar la imagen de todo el área por su efecto enriquecedor del paisaje.

9. Refugio

La protección cubierta o refugio no es frecuente en nuestro país. En algunas regiones con mucha rigurosidad climática podrían ser consideradas. El refugio protege de inclemencias extremas como tormentas severas, nevadas, vientos muy fuertes o temperaturas muy altas y recurrentes. El refugio debe permitir entre 1 a 1,2 m² por animal, debe estar abierto al Norte o Noreste y dimensionarse como para que la luz solar acceda hasta el fondo del mismo en el día más corto del invierno. La altura debería ser de al menos 2,50 m en la parte posterior, por lo que la anterior será mayor y dependiente de la latitud y practicidad de la instalación. La pared posterior debería tener ventanas de ventilación o aberturas permanentes para permitir la circulación del aire (NSW Agriculture, 1998).

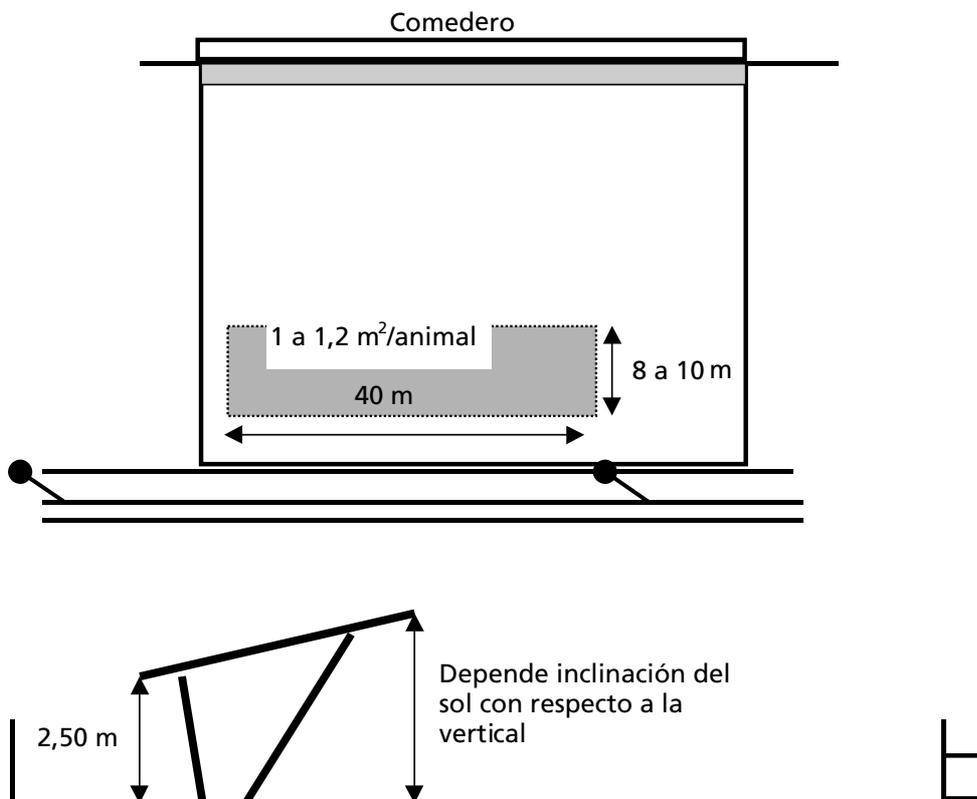
10. Materiales y construcción de los corrales

Los corrales pueden ser construidos con una gran variedad de materiales. En la Argentina se utiliza comúnmente el alambrado común para bovinos basado en alambre de acero, postes y varillas de madera o hierro, pero pueden utilizarse caños, maderas o cables de acero. Debería evitarse la utilización de materiales agresivos al animal como el alambre de púas, hierros o maderas con aristas agudas o puntas que puedan provocar heridas. Las estructuras de cable de acero son las que más resisten la presión permanente de los animales y requieren de escaso mantenimiento. Los cercos ciegos con barricadas de materiales diversos o empalizadas son poco frecuentes por su costo y por impedir el movimiento del aire y la ubicación de los animales de movimientos externos.

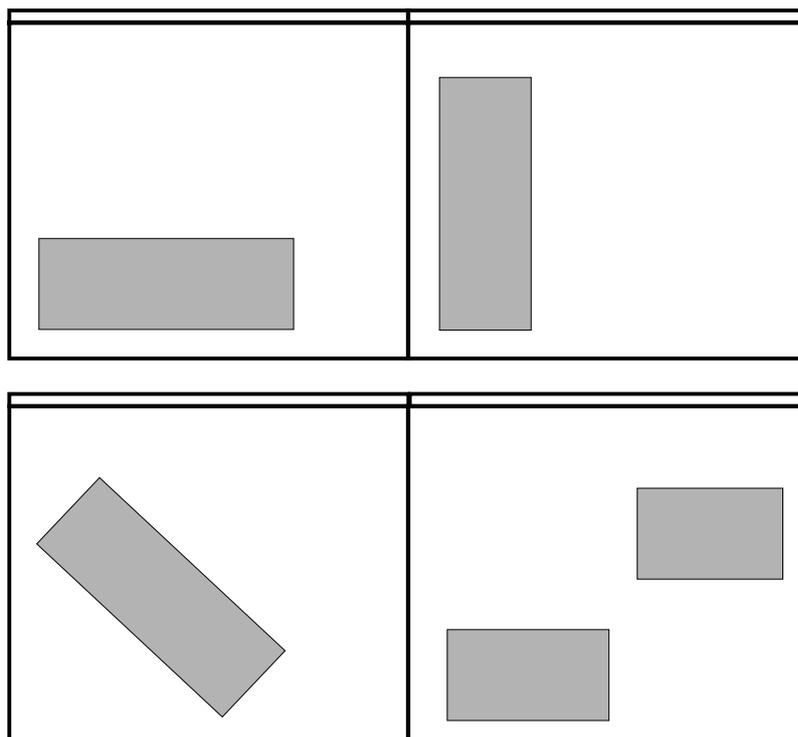
Los cercos entre corrales y la periferia pueden ser de 4 a 6 líneas de hierro, cable o tubo. Cuando se realizan de alambrado convencional, 6 líneas son comunes. La altura del cerco dependerá del tipo de animal, aunque frecuentemente se las encuentra de la altura del alambrado tradicional. Sería conveniente sean de 1,40 a 1,50 m de alto para posibilitar el encierre de todo tipo de ganado bovino. Se sugiere también que el hilo o línea inferior esté a 30 o 40 cm desde el nivel del piso para categorías grandes y entre 20 y 30 en categorías chicas. Cuanto más cerca del piso está la cerca, mayor es la dificultad de limpieza debajo de la misma y la posibilidad de romperla con máquinas.

11. Calles de alimentación

La ubicación de las calles de alimentación depende de la distribución de los corrales. Por estas calles transita el alimen-



Ubicación sugerida y corte transversal del diseño de refugios. (Adaptado de NSW Agriculture, 1998.)



Ubicación del refugio

to, son las denominadas "limpias" y deberían corresponderse con los sectores más altos del predio, con drenaje en un sentido (alejándose de las instalaciones de preparación de alimentos y de alto tránsito) y abovedadas para que no acumulen agua y barro. La calle de alimentación debería permitir el tránsito cómodo de dos transportes de alimento en sentido opuesto para ir y poder regresar por la misma sin verse obligado a transitar por calles sucias. El ancho frecuente es de al menos 5 a 6 m.

12. Calles de los animales

Las calles por las que transitan los animales (o calles sucias) hacia los corrales de alimentación o viceversa son calles que se ubican sobre el lado opuesto a los comederos. Son más sucias, están expuestas al tránsito de los animales y sus excrementos. Están en áreas más bajas y en ellas también coincide la estructura de recolección de los efluentes líquidos de los corrales. En ellas (a sus lados) deberían planearse los canales colectores del dre-

naje de los corrales en tránsito hacia una laguna de decantación. Deberían también ser abovedadas para que permanezcan secas y luego de una lluvia sequen rápido. En estas calles es muy importante el diseño de la pendiente general para evitar que se encharquen y aneguen. En planteos de encierre que no han tenido en cuenta el flujo y manejo de escurrimientos y efluentes, frecuentemente se observan charcos o lagunas que inutilizan las calles e incluso avanzan sobre los corrales.

Debido a los movimientos frecuentes de los animales en un *feedlot* y a la alta concentración por unidad de superficie, si los traslados no se logran con tranquilidad y de forma fluida, el nerviosismo se generaliza y se expone todo el *feedlot* a trastornos del comportamiento, alteraciones de la rutina y finalmente a depresión o irregularidad en el consumo. El estrés generalizado puede terminar en depresión inmunológica y en avance de enfermedades diversas. Es conveniente que

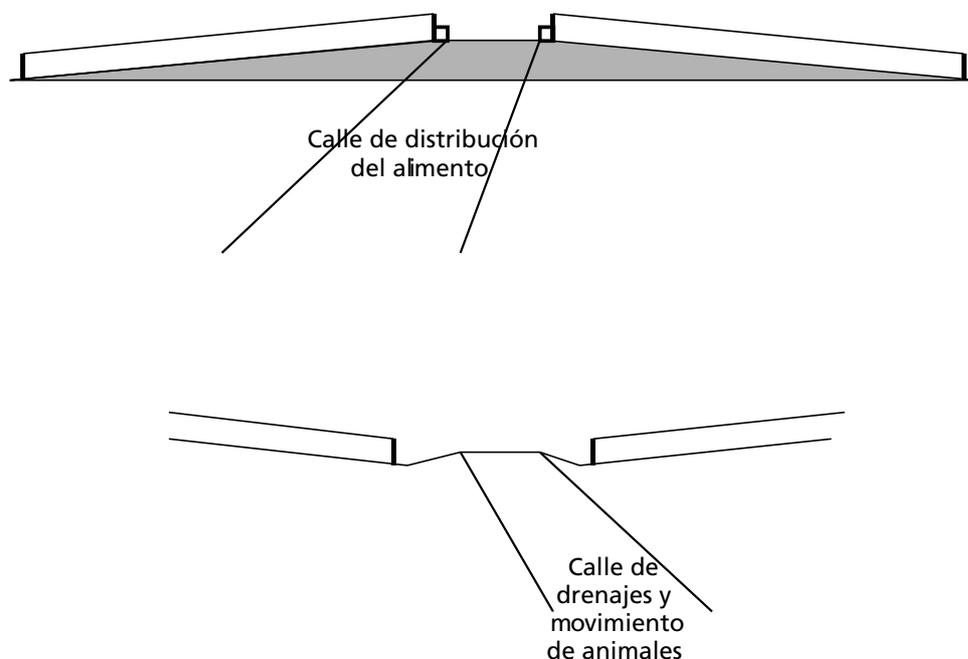
estas calles sean lo suficientemente anchas para traslados cómodos pero también posibles de ser bloqueadas con las mismas tranqueras de acceso a los corrales. Un ancho de al menos 3,5 a 4 m sería el indicado. Ello facilita los movimientos de hacienda sin exponer a escapes de animales y corridas no deseables. Tampoco es deseable tener que usar demasiadas personas para cerrar calles o cortar el ingreso de los animales en determinados lugares. Es preferible que esos bloqueos ocurran con tranqueras a las que los animales ya están habituados. Si fuera posible por la infraestructura y el tamaño de los grupos, sería conveniente que esos movimientos de animales los realice una sola persona y evitando en todo momento la presencia de perros (NSW Agriculture, 1998).

3.3.1.2. Corrales de recepción

Los corrales de recepción son corrales que se deben ubicar en la cercanía de los corrales de manejo y tratamiento de los animales, generalmente también conectados al muelle de descarga. En su diseño

se deberían tener en cuenta los aspectos de diseño comentados para los corrales de alimentación, excepto que el espacio disponible por animal podría ser de la mitad porque los animales estarán transitoriamente en estos corrales. Deben tener comedero y agua y ser de fácil ingreso y egreso, como una calle de acceso del carro de alimentación al comedero.

En estos corrales se ingresa con los animales que recién llegan al feedlot. Es el lugar donde descansan, se los alimenta o dietas fibrosas (alto contenido de henos o silajes) y desde donde se los lleva al corral del manejo para vacunaciones, implante, curaciones, marcado, señalada, castraciones, control de parásitos u otros tratamientos. Generalmente, un lote sin problemas sanitarios no debería permanecer más de una semana en este corral para ser trasladado a los corrales definitivos. En algunos casos de orígenes dudosos respecto de enfermedades se pueden utilizar estos corrales para imponer una "cuarentena" a los animales mientras se los acostumbra allí a la dieta de alto contenido de grano.



Esquema de las calles entre corrales (NSW Agriculture, 1998).

Es conveniente tener al menos un corral de este tipo. Los corrales de recepción sirven también para tener transitoriamente animales que han sufrido algún trastorno metabólico (acidosis), heridas u otro tipo de afección pasajera, pero no aquellos con enfermedades infecciosas que puedan contaminar el corral y luego contagiar tropas que ingresan en el predio. Para animales enfermos se construyen los corrales de enfermería u hospital.

3.3.1.3. Corrales de enfermería

Son corrales que deben tener rápido acceso desde los corrales de manejo pero deberían estar aislados del movimiento de los animales sanos. Se deben ubicar preferentemente alejados de los corrales de alimentación y de los de recepción. Se deben planear con espacios similares a los de recepción y con un diseño similar en comederos y provisión de agua. Estos corrales se destinan a animales enfermos con manifestaciones clínicas de enfermedades infecciosas y que se encuentran en tratamiento. Se planifican al menos un par de ellos con una capacidad para 30 a 50 animales. En estos corrales los animales permanecen entre 15 y 25 días dependiendo del tipo de tratamiento. Luego del tratamiento de una afección infecciosa, los corrales deberían ser limpiados y desinfectados con cal u otro desinfectante total o de amplio espectro (NSW Agriculture, 1998).

Se debería disponer de 3 a 5 m² por animal y una pendiente de 2 al 5%. Deben ser de piso firme y seco cuyos lavados o efluentes no accedan al área de los corrales de alimentación aunque finalmente terminen en la misma laguna de almacenamiento de efluentes. Frecuentemente se les incorpora un refugio de las características antes descritas, y si las condiciones de piso en el refugio pudieran poner en riesgo la higiene en el refugio, es conveniente construir un piso de cemento rugoso con buena pendiente hacia fuera. Es importante además ubicar estos corrales de tal forma que sea factible y simple el acceso con vehículos para tratar a algún animal en el lugar o su traslado.

3.3.2. Estructuras de captura y manejo de efluentes y estiércol

El manejo de efluentes líquidos y estiércol requiere del diseño de estructuras de captura o concentración, recolección, procesamiento y reuso o dispersión de las excretas (Figura 3.1). La información sobre la escala del feedlot (cantidad de animales a contener) y sobre las características topográficas, edáficas, hidrológicas y climáticas del sitio constituye la base del diseño. El objetivo debe ser la contención y manejo de los efluentes líquidos y sólidos para reducir al mínimo los escapes al medio, y el proceso debería iniciarse con la estimación de los volúmenes a generar y consecuentemente a contener, tanto en líquidos como en sólidos.

En los feedlots a cielo abierto, los efluentes líquidos son generados a partir de las deyecciones y el aporte de agua de las precipitaciones. El área del feedlot, las precipitaciones y las condiciones del suelo o piso de los corrales (textura, compactación y pendientes) definen el volumen de líquidos (Figura 3.1). El sistema de captura de efluentes tendrá sentido si se corresponde con un buen diseño topográfico y tratamiento del piso de los corrales para reducir al mínimo la infiltración y facilitar el escurrimiento controlado (NSW Agriculture, 1998).

De manera similar, los volúmenes de sólidos generados (estiércol) deben ser estimados, y luego planificado su manejo de acuerdo con pautas que permitan maximizar la retención de nutrientes y otros elementos con potencial contaminante en la masa de estiércol, minimizando su movilización no controlada, y preparando su traslado fuera de los corrales y su uso posterior.

Las guías de procedimiento para el manejo de efluentes líquidos (pág.56) y sólidos (pág.70), respectivamente, que se presentan en este manual permiten arribar rápidamente a la determinación de las condiciones necesarias de sitio y de estructura para diseñar un sistema de manejo de efluentes.

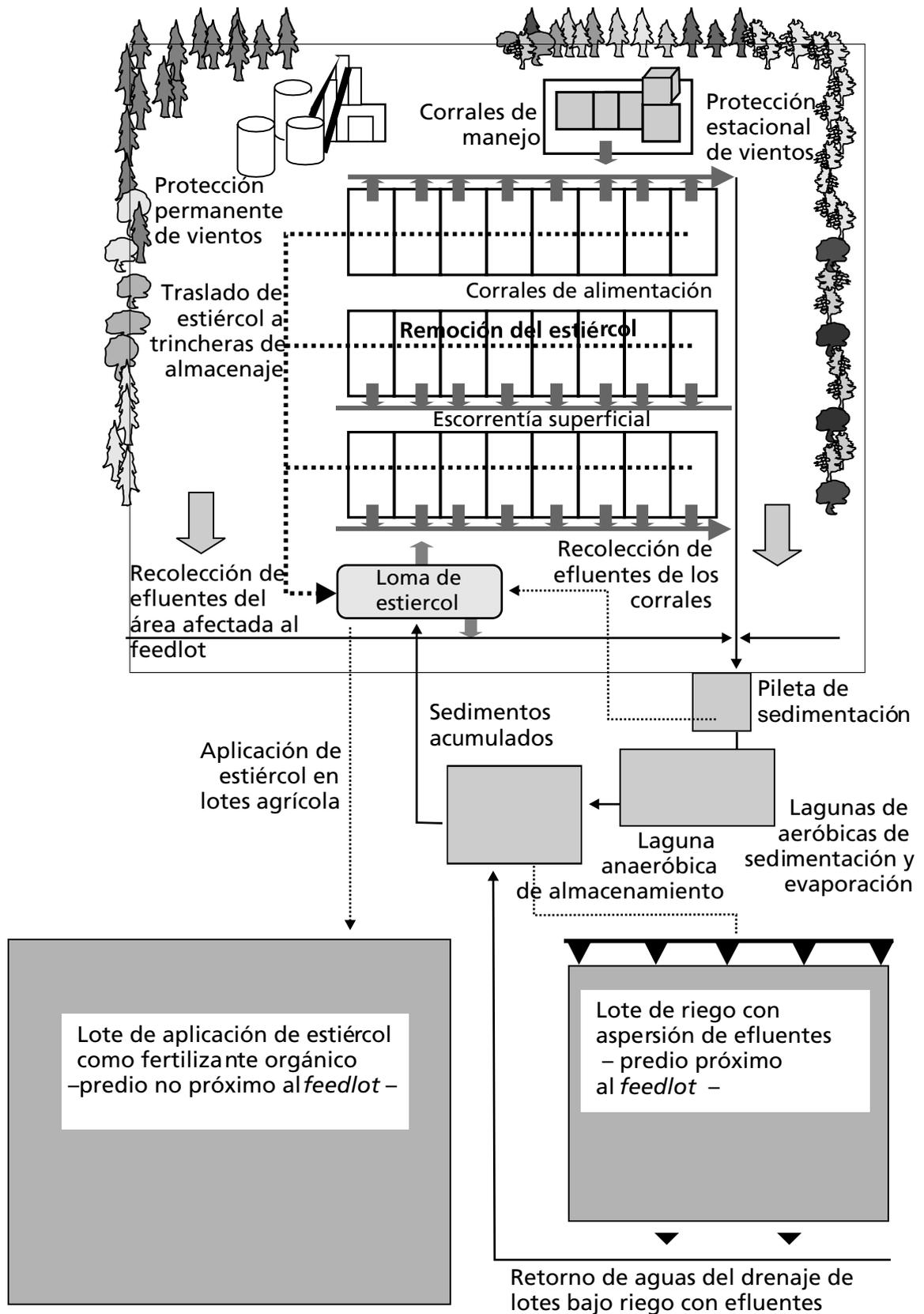
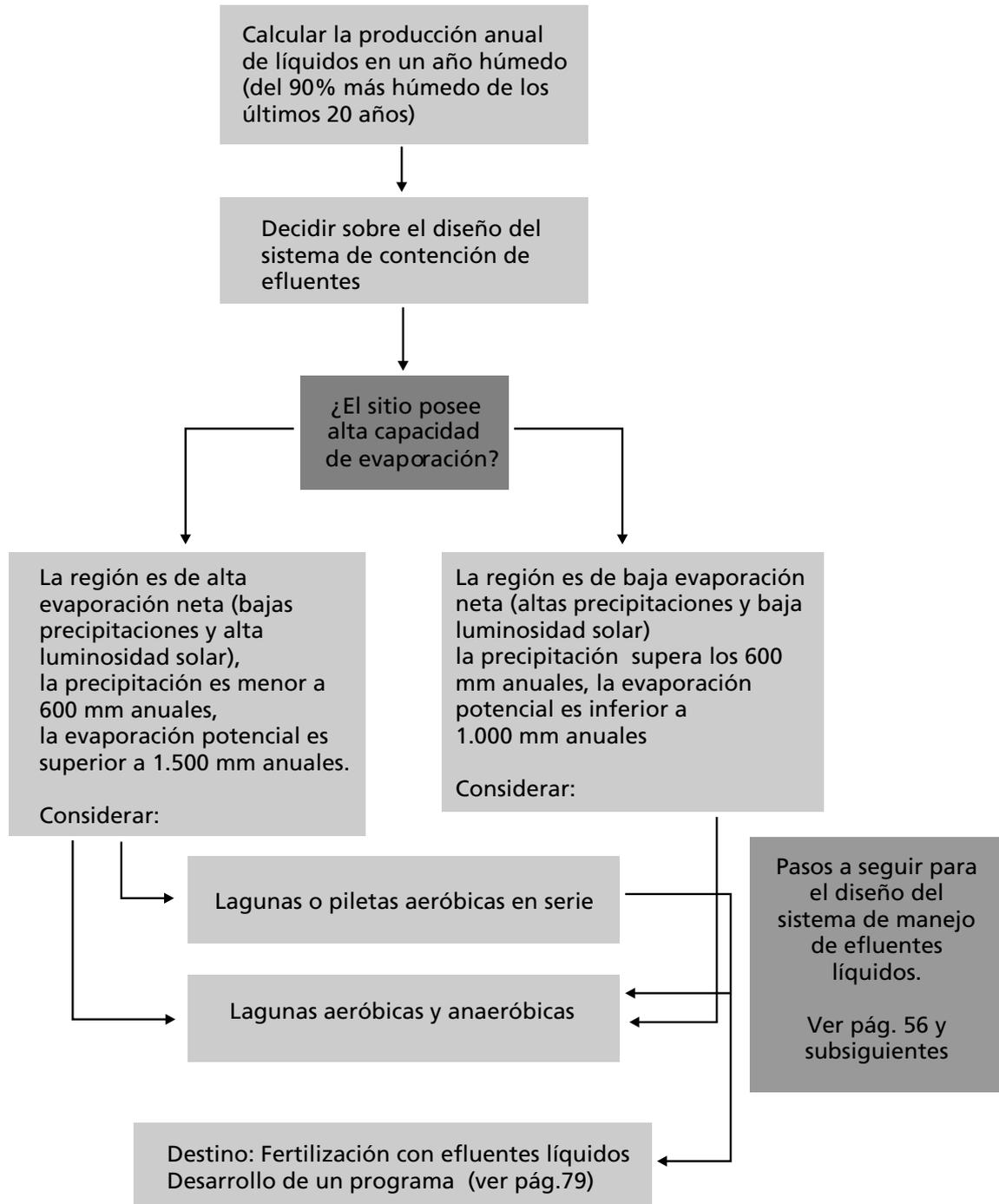
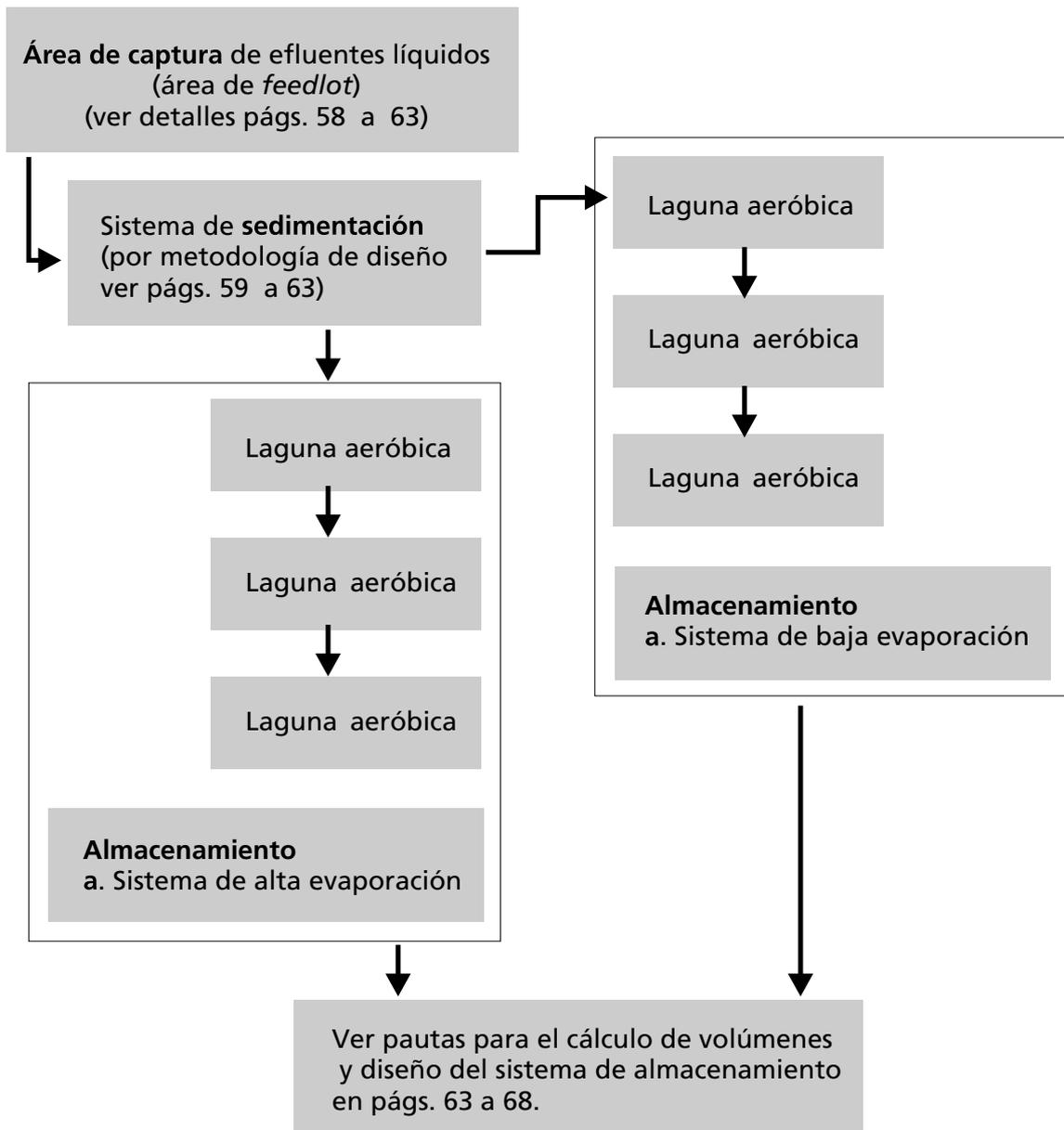


Figura 3.1. Esquema de una estructura de manejo de efluentes líquidos y de estiércol en el diseño de un *feedlot*

3.3.2.1. Manejo de efluentes líquidos



(Cont.) Esquema base del sistema (recolección, procesamiento y almacenamiento de efluentes líquidos)



Manejo de los efluentes líquidos

Las instalaciones para el manejo de efluentes se componen de un sistema de recolección de los líquidos en escurrimiento superficial a través de una estructura de drenajes primarios y secundarios colectores y su captura en sistemas de tratamiento (decantación de sólidos, reducción de materia orgánica y evaporación de agua) y almacenamiento para su posterior uso (riego).

1. Área de captura y drenajes

1.1. Área de captura

Se entiende por área de escurrimiento de efluentes a la superficie de todo el *feedlot* que recibe o captura líquidos, los que finalmente deberán ser conducidos y tratados evitando su infiltración o movimiento descontrolado. El área deberá incluir:

- área de corrales de alimentación, recepción y enfermería,
- área de corrales y manga de manejo o tratamientos,
- caminos de distribución de alimento y de movimiento de animales,
- áreas de almacenamiento y procesamiento de alimentos,
- áreas de acumulación de heces de la limpieza de los corrales,
- áreas de silajes,
- área de lavado de camiones.

En algunos casos el área de corrales recibe los efluentes de los sectores destinados al almacenamiento y procesado de alimentos; en otros, estos sectores no comparten la misma pendiente por los que sus escurrimientos deben ser conducidos por vía independiente hacia las lagunas de decantación y almacenamiento.

Adicionalmente, debe tenerse muy en cuenta cualquier posible ingreso de escurrimientos externos en el área del *feedlot*, pendientes arriba, que pudieran

incrementar la cantidad de agua a drenar. Ante la posibilidad de ganancia de efluentes es necesario desviar esa carga antes de que ingrese en el área de *feedlot*. De lo contrario se pierde control de los volúmenes que se recogerán y se incrementan los costos de la estructura de efluentes (se requerirán lagunas más grandes) como los riesgos de erosión del piso y el deterioro de las instalaciones. Estos sistemas de desvío de escurrimientos deben ser diseñados con salida permanente en drenaje hacia canales colectores y descarga en áreas más bajas con mucha vegetación, lagunas con salidas que retoman el cauce natural de las aguas luego de pasado el sector del *feedlot*, o lagunas de decantación y almacenamiento que pudieren ofrecer agua para riego u otros usos.

1.2. Drenajes

El sistema de drenajes debería ser concebido para: i) evitar el ingreso de escurrimientos superficiales en el área del *feedlot*, ii) crear un área de escurrimiento controlado, iii) coleccionar el escurrimiento del área del *feedlot* y transferirlo, vía sistemas de sedimentación, a lagunas de decantación y sistemas de evaporación, y iv) proveer sistemas de sedimentación para remover sólidos arrastrados en el líquido efluente, con el objeto de manejar los efluentes y proteger los recursos hídricos locales de la contaminación, evitar la formación de barros y sectores sucios propicios para el desarrollo de putrefacciones, olores y agentes patógenos.

1.2.1. Dentro de los corrales

El control de la escorrentía, la erosión y los sedimentos dentro de los corrales están determinados por la pendiente, la longitud de los corrales, las características de la superficie, y la compactación de la interface suelo: estiércol. Para asegurar buenos drenajes, minimizar los movimientos de tierra y controlar la erosión y el movimiento de sedimentos es conveniente que la pendiente se encuentre entre el 2 y 4% (NSW Agriculture, 1998). Pendientes superiores al 4% incrementan

los riesgos de erosión. El largo de los corrales no debería exceder los 70 m y ser más cortos en la medida en que se incrementa la pendiente.

Los bebederos deberían estar cerca de las vías de drenaje del corral para evitar que el agua rebalse o salpicaduras de los bebederos por los animales recorra o se distribuya en la superficie del corral incrementando los riesgos de deterioro del piso. En ese mismo sentido, los bebederos deben ser construidos de material u otro recurso sólido, resistente a las roturas y pérdidas frecuentes. Adicionalmente, la tierra y material fecal acumulado debajo de los cercos o lados de los corrales es motivo de embanque del agua impidiendo el tránsito libre hacia los canales de drenaje. Es conveniente limpiar con frecuencia (mensual, bimensual o de acuerdo con la necesidad) debajo de las costas para evitar ese efecto.

1.2.2. Entre corrales

El drenaje de efluentes entre corrales debería ser parte de un diseño que contempla la recolección de todos los efluentes y su direccionamiento hacia una laguna de decantación. En los *feedlots* grandes, con varias filas de corrales, los canales primarios de drenaje confluyen en canales secundarios de mayor capacidad y diseñados para soportar un tránsito de mayor caudal. Éstos finalmente confluyen en uno central que desemboca en el sistema de sedimentación, previo al ingreso en el sistema de almacenamiento.

Los canales primarios en los que drenan los corrales pueden ser de tierra compactada o de cemento. Los segundos son más seguros y eficientes, toleran velocidades mayores de tránsito del agua y autolimpiantes (se sugiere 3m/s; NSW Agriculture, 1998), pero más costosos. Los de tierra son más simples pero el agua transita más lentamente y exigen mayor mantenimiento y limpieza. Estos canales no deberían acumular vegetación. Esa vegetación desacelera el tránsito de material, acumula materia orgánica, provoca estancamiento del agua. La limpieza

de estos canales vegetados es muy agresiva sobre las paredes y las remueve exponiéndolas a la erosión.

El cálculo del tamaño y pendientes de estos canales (primarios, secundarios o colector central) depende de los volúmenes a transportar y el contenido de sólidos. En el diseño se sugiere que se tenga en cuenta la cantidad de agua a conducir recogida de una lluvia definida de alta intensidad y cantidad de una frecuencia de 20 años. Los canales de drenaje construidos en cemento podrían diseñarse para velocidades de 3m/s y los de tierra para velocidades no superiores a los 0,6 m/s, dependiendo del tipo de suelo presente. Se sugiere que los canales secundarios y colector central tengan paredes con pendiente de 1:3, una distancia libre al pelo de agua de 0,3 m y un mínimo de profundidad efectiva de 0,6 m (NSW Agriculture, 1998).

2. Sistema de sedimentación

Estos sistemas están diseñados para detener el escurrimiento y permitir la decantación de materiales sólidos antes de ingresar el líquido en las lagunas de evaporación y almacenamiento. Su función es reducir la acumulación de sedimentos y evitar el colmatado de las lagunas posteriores. Disponer de dos o varias estructuras de sedimentación sería conveniente para poder limpiar unas mientras se utilizan la otras, aunque ello dependerá de la frecuencia de lluvias en la región y los costos (Sweeten, 2000; NSW Agriculture, 1998; Swanson et. at., 1973; Lott et al., 1994 a).

Los tipos de sistemas de sedimentación se clasifican en lagunas de sedimentación o decantación, depresiones y terrazas, variando en profundidad y tiempo de retención de los líquidos. Las lagunas son de más de 1,5 m de profundidad y no necesariamente descargan luego de una lluvia. Las otras formas (depresiones y terrazas) son menos profundas (0,50 a 1 m) y por su menor capacidad rebalsan y descargan en el sistema de evaporación o en

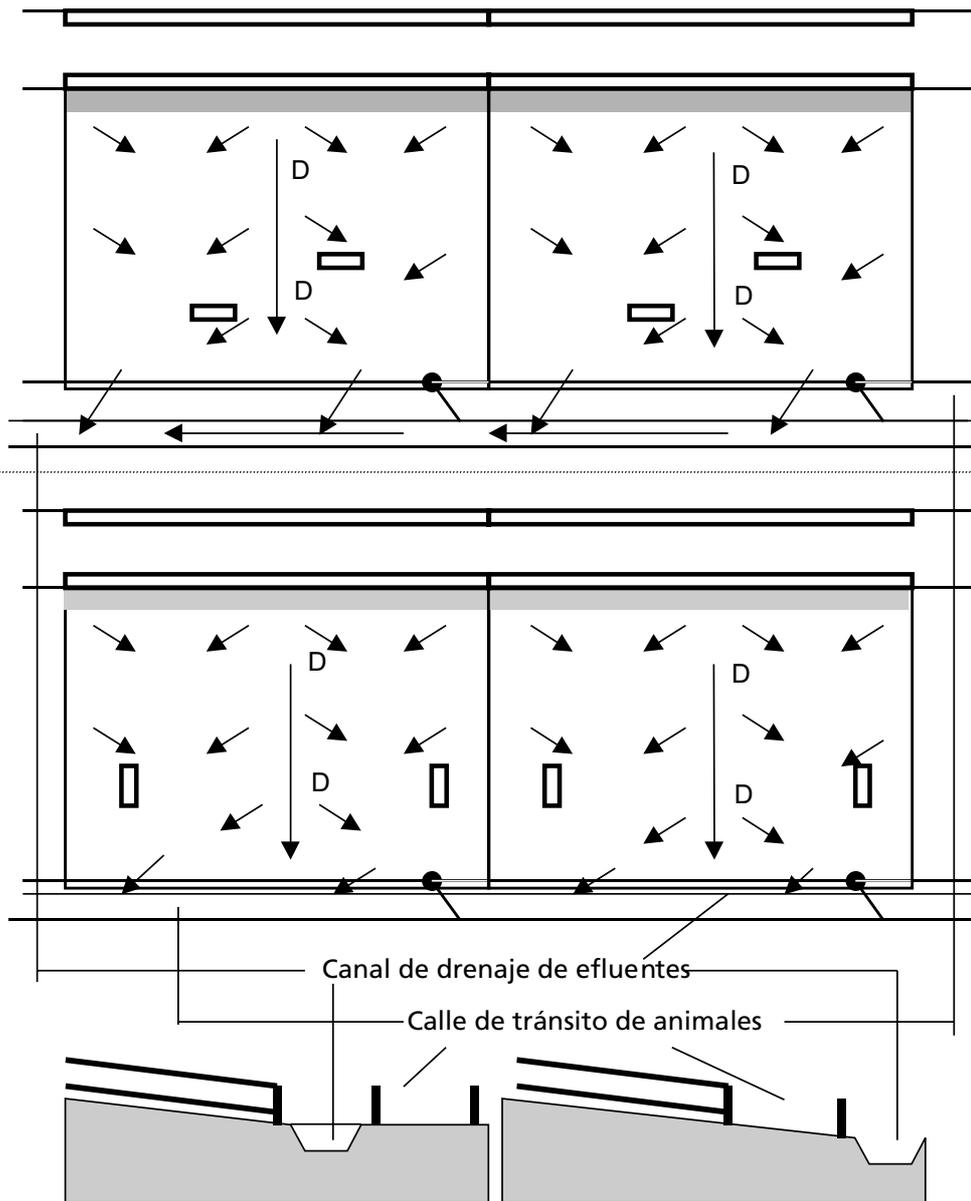


Diagrama del diseño del flujo de efluentes en escurrimiento superficial

la laguna o pileta de almacenamiento con mucha frecuencia (Sweeten, 1988 b; Lott et al., 1994 a).

El sistema debe desacelerar el agua para lograr una sedimentación de al menos el 50% de los sólidos. Debe ser fácil de limpiar con maquinaria por lo que el piso debe estar muy bien compactado y estabilizado para poder trabajar aun con humedad. Se sugiere incluso la incorpo-

ración de una lámina de 30 cm de arcilla mezclada con suelo y compactada para impedir la infiltración y la posible contaminación de la freática. Se sugiere que se logre un suelo con una conductividad hidráulica inferior a 10^{-7} cm/s, considerándose a partir de este valor una "desconexión hidráulica" en el perfil (TNRCC, 1995).

Además de la descarga normal entre

la laguna de sedimentación y la evaporación o de almacenamiento, debería planearse un vertedero de desborde para que en caso de que la laguna se llene muy rápidamente se pueda dirigir del excedente hacia las otras lagunas. Se sugiere también la construcción de disipadores para reducir la velocidad de ingreso de los efluentes en la laguna de sedimentación. La velocidad flujo del agua en la laguna de sedimentación no debería superar los 0,005 m/s; la altura de lado libre por encima del pelo de agua sería de 0,9 m. Los sistemas de sedimentación deberían ser diseñados para contener el máximo flujo de 24 horas una tormenta de la mayor intensidad en 20 a 25 años (Sweeten, 2000; TNRCC, 1995).

De toda el agua que ingresa por lluvia en el área del *feedlot*, la cantidad que escurre es menor al 100% de la misma, una fracción se evapora y otra es retenida y se absorbe en el suelo. En sectores

Relevamientos en *feedlots* de EE.UU. (Gilberson *et al.*, 1980, 1981; Clark *et al.*, 1975 a) y de Australia (Lott et al, 1994 a) ha determinado alta variabilidad en la cantidad de escurrimiento en relación con las precipitaciones ocurridas (entre el 20 y el 50%), proporción que varía con el tipo de suelo, las pendientes y la humedad ambiental. Lott et al., y col (1994 a,b) determinaron que se requieren hasta de 20 mm de lluvia para provocar movimientos de escorrentía en varios *feedlots* de Australia.

Si se utiliza un coeficiente de escorrentía de 0,8 para corrales, calles y otros sectores duros y 0,4 para áreas con vegetación gramínea, el cálculo del volumen de laguna a construir sería (metodología sugerida Lott y Skerman, 1995; citado por NSW Agriculture, 1998).

Se plantea a continuación, a manera de ejemplo, el cálculo de una laguna de sedimentación para un *feedlot* con capa

$$V = Q_p (l/w) \lambda / v \quad (\text{Lott y Skerman, 1995})$$

Donde:

V = Volumen de efluentes a contener en el sistema de sedimentación (m³)

Q_p = Tasa de ingreso (m³/s) para una tormenta de la intensidad máxima esperable cada 20 años.

l/w = relación entre la longitud y el ancho en la dirección del flujo en la laguna a construir

v = velocidad del flujo (m/s); máximo = 0,005 m/s

λ = factor escalar. Lambda (λ) es un factor que tiene en cuenta la acumulación de sedimentos y la frecuencia de remoción:

Sistema de sedimentación	l/w	λ
Depresión	2 a 3	2,5
Terraza	8 a 10	1
Laguna de decantación	2 a 3	6

compactados como los corrales y las calles la infiltración es baja y es mayor en áreas vegetadas o de poco tránsito. Frecuentemente, los valores utilizados en los cálculos son de 0,60 a 0,85 para los primeros y 0,35 a 0,5 para los segundos.

idad para 5.000 animales (según metodología sugerida por Lott y Skerman, 1995; citado por The NSW Inter.-Departmental Committee of intensive animal industries, 1997).

Datos del feedlot:

Capacidad = 5.000 animales
Área de captura en el feedlot (Área) = 12 ha
Área de corrales = 7,5 ha
Caminos, drenajes y otros = 4,5 ha
Áreas con vegetación gramínea = 0 ha
Coeficiente de escorrentía (CE) = 0,8
Longitud del área = 0,46 km
Ancho del área = 0,26 km
Pendiente = 9 m/km

Datos climáticos:

Intensidad de la lluvia = 54 mm/hora
Precipitación total (Ppt) = 42 mm = 0,042 m
Tiempo de concentración del agua (Tca) = 42 mm/(54 mm/hora)*60 min/hora = 47 minutos = 2.820 segundos.

Cálculos:

$Q_p = \text{Área (m}^2\text{)} \cdot \text{Ppt (m)} \cdot \text{CE} / \text{Tca} =$
 $Q_p = 120.000 \text{ m}^2 \cdot 0,042 \text{ m} \cdot 0,8 / 2820 \text{ s} = 1,43 \text{ m}^3/\text{s}$
Relación entre el largo y el ancho de la laguna (l/w) = 3
Se utiliza para este ejemplo como factor escalar al correspondiente para una laguna de sedimentación, según el cuadro precedente: $\lambda = 6$
Máximo permisible de velocidad de flujo (v) = 0,005 m/s
Cálculo del volumen mínimo a contener:
 $V = Q_p (\lambda/w) \lambda/v = 1,43 \cdot 3 \cdot 6 / 0,005 = 5148 \text{ m}^3$

Dada la acumulación de sólidos, estas lagunas o piletas tienden al colmatado rápido por lo que deben ser limpiadas con frecuencia. El material que precipita rápidamente es el más pesado conteniendo tierra y nutrientes de mayor densidad. La acumulación por tiempos prolongados genera fermentaciones, olores desagradables y es un medio propicio para el desarrollo de enfermedades y plagas. Sería conveniente que no transcurran más de tres semanas de acumulados los líquidos en estas lagunas luego de una lluvia y menos de una semana si se dispone de sistemas de evaporación antes de ingresar en la laguna de almacenamiento (NSW Agriculture, 1998). El flujo de los líquidos hacia las otras lagunas debería ser controlable no sólo por desborde sino por medio de una compuerta regulable para evitar acumular el sobrenadante por tiem-

pos demasiado prolongados en esta laguna, impidiendo su secado y limpieza.

En los sistemas modernos de manejo de efluentes se propone la incorporación de una batería de varias lagunas de sedimentación más pequeñas y poco profundas (70 a 50 cm), que operan de decantadores y evaporadores al mismo tiempo, permiten un desacelerado de los efluentes y ofrecen una amplia superficie de evaporación (Sweeten, 2000). La disponibilidad de varias (4 a 6) permite por un lado desviar algunas para proceder a su limpieza. Por otro lado, se logra un período mayor de permanencia de los efluentes y una mayor precipitación de solutos en lagunas de tránsito antes de terminar en las de almacenamiento. Este sistema de batería de lagunas permite que la carga de sólidos de los efluentes que ingresan en las lagunas de almacenamiento sea considerablemente menor y su eficiencia sea mayor. Determinaciones experimentales han demostrado que estos sistemas pueden retener el 70 al 80% de los sólidos totales colectados con los efluentes de escorrentía superficial del *feedlot* (Swanson *et al.*, 1977). Loudon *et al.* (1985) indicaron que la velocidad de tránsito de los líquidos debería ser inferior a los 0,3 m/s para que ocurra la decantación de sólidos en suspensión.

Una alternativa a las lagunas de sedimentación es la construcción de canales de tierra que por tamaño y pendiente funcionen de sedimentadores. En esta opción, los canales se construyen más amplios que los comunes colectores de efluentes desde los corrales y con pendiente controlada, inferior al 1%. El ingreso de los efluentes en estos canales, sin aceleración en canales previos, permite iniciar un proceso de decantación rápido luego de una lluvia. El líquido conducido por estos canales es vertido en una laguna de evaporación o directamente en la de almacenamiento si la primera no se justifica por el tamaño del feedlot. En la boca del vertedero a la laguna es conveniente construir una malla de matriz de hierro, caños verticales o maderas que

opere de filtro grueso para reducir la velocidad de los líquidos en ese punto e impida el ingreso de materiales largos y de bajo densidad que puedan luego obstruir sistemas de riego u otros.

Estos sistemas requieren de una limpieza frecuente y el control del estancamiento. Se pretende un movimiento lento de los efluentes y la decantación de los solutos pero no un estancamiento y enlagueado. Se debe evitar que los canales se conviertan en lagunas de almacenamiento. Por otra parte, en el diseño de este tipo de canales se debe tener en cuenta los volúmenes a mover ellos y la capacidad de todo el sistema para evitar los desbordes y el anegamiento de calles o banquetas. Otra condición necesaria es el impermeabilizado de los mismos para evitar la infiltración y la lixiviación de nutrientes con potencial contaminante. En las condiciones óptimas, esta alternativa ha permitido alcanzar sedimentaciones del 75 al 80% de los solutos (Swanson *et al.*, 1977; Loudon *et al.*, 1985).

3. Sistema de almacenamiento

En la totalidad de la superficie del feedlot las pérdidas por infiltración deberían ser mínimas y las producidas por evaporación dependerán del tiempo de permanencia del agua en la superficie del feedlot y en las lagunas precedentes. Los diseños de mayor seguridad contemplan una relación entre agua de escorrentía/precipitada de 0,7 a 0,8 (NSW Agriculture, 1998). Otros menos exigentes utilizan valores de 0,3 a 0,5 (Phillips, 1981). Sin embargo, estos últimos se combinan con el uso frecuente y sistemático en riego.

Desde la laguna de sedimentación el líquido fluye hacia los sistemas de evaporación y, finalmente, hacia las lagunas de almacenamiento. Estas lagunas se diseñan para contener los líquidos y sus funciones son:

a) la captura de la escorrentía del *feedlot* para minimizar la polución del suelo y los recursos hídricos,



(Foto de G. Johnson en NSW Agriculture *Feedlot* Manual, 1998)

- b) el almacenamiento del agua de escurrimiento para su posterior uso en riego,
- c) el tratamiento del agua recogida antes de su aplicación,
- d) la recolección del agua efluente para continuar evaporación.

Las lagunas de almacenamiento deben ser lo suficientemente grandes como para almacenar efluentes por períodos extensos, de un año o mayores (Sweeten, 1988b). Deberían ser capaces de contener el balance del agua entre ingresos por escorrentía y salidas por riego y evaporación en un año del percentil 90% más húmedo. Los rebalses deberían ser infrecuentes. El tamaño en volumen variará entre 10 y 20 veces el tamaño del de las de sedimentación, variación debida particularmente a la precipitación anual esperable, las pérdidas por infiltración y por evaporación, y los usos del agua acumulada (Sweeten, 2000).

Toda la superficie de las lagunas deberá estar bien sellada con arcillas u otros materiales, incluso plástico o cemento para evitar la infiltración y contaminación de freáticas (Walker, 1995). Un mínimo de 1 m de profundidad libre hasta el pelo de agua es deseable. Sería conveniente también construir un vertedero para dirigir el sentido del desborde de una tormenta de la magnitud de las que se repiten cada 50 años, de tal forma que la descarga no provoque velocidades erosivas (NSW Agriculture, 1998).

El diseño debe tener en cuenta la pérdida de capacidad por acumulación progresiva de sedimentos. Entre el 20 y el 50% de los sólidos que ingresan en el sistema de sedimentación fluyen hacia la laguna de almacenamiento. Esta pérdida depende de la tasa de acumulación y de la de remoción. Aunque frecuentemente poco visible, el movimiento de sedimentos y suelo desde el área del *feedlot* con la escorrentía es importante y debe ser minimizado. Determinaciones en Nebraska (EE.UU.) sobre *feedlots* con infiltración controlada, indican movimien-

tos de 10 a 40 mm de suelo por la superficie total del *feedlot* cada año (Sweeten *et al.*, 2000). En EE.UU. se recomiendan utilizar valores de 32 a 38 mm de profundidad por el área del *feedlot* para calcular el volumen de sedimento que deberá capturarse en el sistema de manejo de efluentes y el volumen que ocupará el sedimento, en particular en la laguna o sistema de sedimentación (Glibertson *et al.*, 1979).

Las lagunas de tratamientos de efluentes y de almacenamiento tienden al autosellado del piso en el tiempo si la compactación inicial ha sido suficiente y el suelo no es excesivamente arenoso (Sweeten, 1988b). Estudios conducidos en California determinaron una reducción de 100 veces en la conductividad hidráulica del suelo de lagunas de sedimentación luego de 6 meses de uso, proceso que se acelera con el mayor contenido o agregado de arcillas (Phillips y Culley, 1985). Estudios conducidos por varios autores (Lehman y Clark, 1975; Lehman *et al.*, 1970; Clark, 1975) han detectado escaso o nulo enriquecimiento nitratos por debajo de 1 m de profundidad en fondos de lagunas de sedimentación y almacenamiento que habían sido tratados y compactados con arcilla expandible. En un estudio similar, Smith *et al.*, (1994) encontró ausencia de enriquecimiento con nitratos a los 3 m de profundidad en 3 *feedlots* de la región de Amarillo, Texas, en EE.UU. Por su parte, Miller (1971) detectó enriquecimiento con nitratos en el área de influencia de 22 *feedlots* en las planicies altas de Texas cuando la profundidad de la freática se ubicó en el rango de los 30 a 90 cm. Sweeten *et al.*, y col, (1990, 1995) encontraron niveles de nitratos del 0,25 a 9,1 mg/L en pozos de agua en el área de 26 *feedlots* en la región de Amarillo, Texas.

Las lagunas deben ser también de fácil acceso para su limpieza ya que habrá que remover periódicamente el material sedimentado. El sedimento es en parte estiércol y suelo, variando en proporciones entre 50 a 70 % en sólidos biodegra-

dables, y 30 a 50% suelo (Sweeten *et al.*, y col, 1981). En base seca, el contenido de nutrientes (N, P y K) es similar al estiércol en el *feedlot* (sobre base seca) (Sweeten, 1990, Sweeten y Amosson, 1995). Extraídos los líquidos por bombeo, el material remanente se encontrará depositado en láminas o costras con contenidos de humedad variables entre el 25 y el 80%, dependiendo del tiempo de secado y el clima. En climas muy secos y cálidos la evaporación es muy alta y se han registrado los valores más bajos de humedad. Debe tenerse en cuenta que superando contenidos de humedad del 70 % en cualquier residuo orgánico resulta imposible controlar las fermentaciones y la generación de olores (Sweeten, 2000).

La extracción del sedimento puede hacerse inmediatamente de retirado el sobrenadante o esperar un desecado mayor y mover menos agua. Ello depende de las condiciones climáticas y del equipamiento para la remoción de sedimentos. En algunos casos el tipo de maquinaria exige de un barro acuoso para poder remover el material (equipos de succión), en otros los equipos (palas o barredores mecánicos) son más eficientes con material seco (Sweeten y McDonald, 1979). En estos últimos se deberá deshidratar hasta alcanzar contenidos de humedad del 60% o menos. Para acelerar la desecación puede ser necesario romper la estructura laminar o encostrado del sedimento.

La frecuencia de limpieza de estas lagunas de almacenamiento se define en términos de años (frecuentemente entre 1 y 3) y depende de la cantidad de sedimento acumulado, la producción de olores emanados de procesos fermentativos en el estiércol asociado al sedimento, la detección de infiltraciones o de necesidades de arreglos estructurales. La eficiencia de captura de sedimentos en las lagunas anteriores se verá reflejada en la tasa de acumulación de los mismos en esta laguna.

El material semisólido colectado pue-

de utilizarse para fertilización de potreros de la misma manera que con el estiércol recogido de los corrales o de las pilas de almacenamiento, o bien puede almacenarse en dichas pilas. En la medida en que las lagunas tengan oportunidad de secarse y el material decantado pueda ser removido, se reduce la generación de olores desagradables y el riesgo de desarrollo de plagas y patógenos. Ello demandaría de un diseño que contemple más de una laguna de almacenamiento para permitir el secado y limpieza de una mientras la otra está en funcionamiento.

Se clasifica a las lagunas en:

a) Lagunas de retención o aeróbicas: Se utilizan para retener en forma temporaria el líquido efluente hasta su aplicación a la tierra a través del riego.

b) Lagunas anaeróbicas o facultativas. Se utilizan para conservar efluentes por tiempos prolongados y permitir el tratamiento parcial del agua antes de su uso.

Las lagunas de tipo aeróbico tendrán profundidades de 1,5 m o menos (NSW Agriculture, 1998). Son lagunas con mayor capacidad que las anaeróbicas para la degradación de la materia orgánica. Las de tipo anaeróbico son de profundidad superior a los 1,5 m, frecuentemente entre 2,5 y 4 m. Por menor superficie expuesta la evaporación total es menor, pero el área ocupada es también menor. En estas lagunas continúan procesos de degradación de la materia orgánica pero a un ritmo muy inferior al de las lagunas de sedimentación y evaporación o de almacenamiento. La degradación es oxidativa en los primeros centímetros desde la superficie de la masa líquida, y en profundidad predominan las fermentaciones en anaerobiosis.

Oxidaciones y fermentaciones de la materia orgánica son necesarias para reducir el contenido total de materia y destruir agentes patógenos, pero pueden generar otros y promover emisiones gaseosas por volatilización (N y S), degradantes del aire. La incorporación de sistemas de aireación permite degradación

aeróbica y reducir la emisión de olores indeseables, pero la alternativa más económica es generalmente el uso intermitente de los líquidos y la remoción periódica del sedimento.

Las tendencias actuales en los diseños modernos indican una preferencia por la construcción de mayor número de lagunas de escasa profundidad para maximizar la precipitación de solutos, la degradación aeróbica de la materia orgánica y la evaporación de agua (Sweeten, 2000). El vaciado y la limpieza frecuentes de las lagunas de almacenamiento reducen las emisiones fermentativas, de olores desagradables.

3.1. Pasos para el diseño del sistema almacenamiento (NSW Agriculture, 1998)

a. Estimar el volumen a contener:

Determinar el área de captura de efluentes

Determinar el valor de la precipitación anual total correspondiente al promedio del 10% de los años más húmedos de los últimos 20.

Seleccionar un coeficiente de escorrentía

Determinar la evaporación anual estimada para las condiciones climáticas del año antes descrito.

b. Definir el número de lagunas de almacenamiento a construir: Se recomienda planificar más de una laguna de los tipos seleccionados de acuerdo con la producción de líquidos y la capacidad de evaporación de la región, comunicadas entre sí. Estos diseños permiten un mejor control de los volúmenes y facilita la limpieza.

Tamaño de las lagunas: Los tamaños son variables. Los citados a continuación se sugieren por facilidad de construcción y manejo:

Lagunas aeróbicas:

Ancho:	50	a	60	m
Largo:	60	a	80	m

Profundidad al pelo de agua: hasta 1,5 m.

Lagunas anaeróbicas:

Ancho:	40	a	60	m
Largo:	50	a	70	m

Profundidad al pelo de agua: 1,5 a 4 m

c. Determinar el período de almacenaje: El diseño de las lagunas depende del sistema adoptado. Si se opta por la construcción de una batería de lagunas aeróbicas, la capacidad total de contención deberá definirse de acuerdo con los volúmenes netos a retener, descontada la evaporación anual de los ingresos estimados anualmente, menos el uso anual. La incorporación de lagunas en serie puede ser progresiva, en la medida en que se acumula efluente. Por otro lado, si se opta por lagunas anaeróbicas como sitio de almacenamiento final, las lagunas aeróbicas se planearán para contener el máximo escurrimiento durante 6 meses, para drenar el exceso hacia las lagunas anaeróbicas. Con el transcurso del tiempo, el líquido acumulado pierde calidad como fertilizante y se incrementa el desarrollo de agentes indeseables. El uso, luego de 6 meses de acumulación, sería recomendable. En páginas, 67 a 68 se profundiza el análisis de los elementos básicos para el diseño de las estructuras de manejo de efluentes líquidos. Se sugieren las pautas para la construcción de las instalaciones de manejo.

3.2. Un ejemplo

Al efecto de integrar la información presentada precedentemente se desarrolla el siguiente ejemplo. El factor de mayor incidencia en el volumen de efluente generado es la precipitación anual. En segundo lugar inciden la superficie de la cual se colecta el efluente y la capacidad de evaporación neta (evaporación-precipitación) anual del medio. Sobre la base de un planteo de capacidad para 1.200 animales y 2 ha de superficie de *feedlot* se estimó el volumen de efluente generado y se propuso un diseño de contención a través de lagunas aeróbicas y anaeróbicas. Se realizó el ejercicio para tres niveles de evaporación neta de 300, 500 y 900 mm anuales, que se correspon-

Cuadro 3.1. Efecto de la capacidad de evaporación neta del ambiente sobre la magnitud del efluente retenido y el tamaño de los sistemas de evaporación, tratamiento y almacenamiento de efluentes en un feedlot con capacidad para 1.200 animales y una superficie de captura de efluentes de 2 hectáreas.

	Región		
	húmeda	subhúmeda	seca
Precipitación, mm	1000	800	600
Evaporación anual, mm	1300	1300	1500
Evaporación neta, mm	300	500	900
Superficie del feedlot, m ²	20000	20000	20000
Coefficiente de esorrentía	0.7	0.7	0.7
Efluente generado, m³	14000	11200	8400
Almacenamiento aeróbico			
Número de lagunas	2	2	2
Ancho, m	50	50	40
Largo, m	70	60	60
Superficie, m ²	3500	3000	2400
Profundidad, m	1	1	1
Captación de efluente, m ³ /laguna	3500	3000	2400
Capacidad del sistema, m ³	7000	6000	4800
Capacidad anual, m ³	14000	12000	9600
Permanencia, meses	6	6	6
Evaporación/laguna, m ³	525	750	1080
Evaporación, m ³	2100	3000	4320
Efluente que egresa, m³	11900	8200	4080
Almacenamiento anaeróbico			
Número de lagunas	2	2	1
Ancho, m	40	40	40
Largo, m	50	50	40
Superficie, m ²	2000	2000	1600
Profundidad, m	3	2	2
Captación de efluentes, m ³ /laguna	6000	4000	3200
Captación del sistema, m ³	12000	8000	3200
Evaporación/laguna, m ³	600	1000	1440
Evaporación, m ³	1200	2000	2880
Efluente retenido, m³	10700	6200	2640
m³/laguna	5350	3200	2640
Evaporado/producido, %	23.6	44.6	68.6
Efluente retenido/producido, %	76.4	55.4	31.4
Efluente retenido por animal, m ³	8.9	5.2	2.2

derían a tres ambientes diferentes, respectivamente (Cuadro 3.1).

Se describen los elementos tenidos en cuenta para el caso del ambiente más húmedo citado en el cuadro anterior:

1. Datos de escala y clima

- Superficie de *feedlot* (incluye capacidad para 1.200 animales en corrales, corrales de tratamientos y enfermería e instalaciones de preparación de alimentos, calles de distribución y canales recolectores de efluentes) = 2 ha.

- Precipitación anual en año del percentil 90 más húmedo = 1.000 mm.

- Evaporación anual estimada para el año citado = 1.300 mm.

- Volumen anual de escurrimiento esperable a la salida de la pileta de sedimentación = $20.000 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m precipitación} \times 0,7 \text{ CE} = 14.000 \text{ m}^3$.

- CE = Coeficiente de escorrentía o de eficiencia de captura del escurrimiento superficial. El rango frecuente varía entre 0,5 y 0,8; dependiente de condiciones del suelo para la infiltración rápida, pendientes del terreno, temperatura del ambiente e intensidad de lluvias.

2. Cálculo del sistema aeróbico

- Se propone la construcción de 2 lagunas aeróbicas de 1 m de profundidad de efluente con una capacidad de retención de efluentes por el periodo de 6 meses:

Capacidad del sistema aeróbico = 7.000 m^3

Superficie de lagunas aeróbicas = $7.000 \text{ m}^3 / 1 \text{ m profundidad} = 7.000 \text{ m}^2$.

Superficie por laguna = $7.000 \text{ m}^2 / 2 = 3.500 \text{ m}^2$ o (50 m x 70 m).

- Volumen egresado anualmente de las lagunas aeróbicas = $14.000 \text{ m}^3 - (1.300 \text{ mm egreso por evaporación} - 1000 \text{ mm ingreso por precipitaciones}) / 1.000 \text{ mm/m} \times 7.000 \text{ m}^2 = 2.100 \text{ m}^3$.

3. Cálculo del sistema anaeróbico

- Volumen de efluentes ingresando = $14.000 \text{ m}^3 - 2.100 \text{ m}^3 = 11.900 \text{ m}^3$.

- Se propone la construcción de 2 lagunas por lo que cada una de ellas de-

berá contener = 5.950 m^3 (aproximadamente = 6.000 m^3).

- Las lagunas serán de 3 m de profundidad de efluente por lo que la superficie mínima de cada una de ellas sería = $6.000 \text{ m}^3 / 3 = 2.000 \text{ m}^2$ (40 m x 50 m).

- Descontada la evaporación que tendrá lugar durante el año, estas lagunas podrían ser diseñadas para contener 5.350 m^3 o de una superficie de 1.785 m^2 (40 x 45 m), pero debe tenerse en cuenta la pérdida de volumen por precipitación de solutos y la imposibilidad de remover todo el material durante el bombeo o limpieza. El mismo comentario es válido para las lagunas aeróbicas.

Finalmente, la cantidad de líquido recolectado en el sistema de almacenamiento luego de un año como el citado será de 10.700 m^3 (14.000 m^3 ingresados menos 3.300 m^3 evaporados), volumen que deberá ser consumido anualmente en riego u otros usos. De acumularlo, deberá ampliarse la capacidad de almacenamiento del sistema.

Puede observarse en el Cuadro 5 el efecto directo de la precipitación sobre la generación de efluentes y el efecto opuesto del potencial de evaporación neta. En climas húmedos, el efecto evaporante del ambiente es poco relevante y el sistema de efluentes no puede confiar en este proceso para reducir volúmenes significativamente. Por otro lado, la producción de efluente es mucho menor en un clima seco y el sistema de evaporación es altamente eficiente en reducir volumen de líquido emergente debido a una mayor evaporación potencial. En regiones húmedas las lagunas anaeróbicas de almacenamiento por tiempos prolongados serían inevitables, al igual que un programa de uso sistemático de efluentes líquidos. En climas secos, por el contrario, un sistema que contemple lagunas de sedimentación y aeróbicas sería suficiente.

4. Sistema de evaporación adicional (opcional)

El proceso de evaporación de agua es necesario para reducir los volúmenes a almacenar y manejar posteriormente. La evaporación se inicia en los corrales y continúa hasta luego de aplicado el efluente en el riego por aspersión. En los canales y lagunas de sedimentación constituyen una buena superficie de evaporación. En las lagunas de almacenamiento ocurre una evaporación importante. Sin embargo, en climas húmedos y feedlots grandes puede ser necesario incorporar un sistema de evaporación adicional. Éste tendrá como principio una amplia superficie de exposición de los líquidos a la energía solar (Sweeten, 2000). El proceso de decantación de solutos continúa en esta laguna por lo que se deberá planificar la alternativa de secado y limpieza periódica.

Esos sistemas de evaporación se incorporan en la salida del sistema de sedimentación, previo al ingreso en las lagunas de almacenamiento. Clásicamente, se trata de una laguna muy poco profunda (0,50m o menos de profundidad de efluente) que permita exponer a la evaporación la cantidad de efluentes gene-

rados en el *feedlot* durante 6 meses a 1 año. Su eficiencia depende del clima, de la disponibilidad de suelo apropiado para la construcción de un sistema impermeable y de la información hidrológica para asegurarse que es posible evaporar eficientemente. Un vertedero con compuerta, o tubos de descarga regulable deberán comunicar este sistema con el de almacenamiento de líquidos.

Se recomienda una altura libre de 0,5m y también, como en los otros casos se debería incorporar un vertedero de rebalse hacia la laguna de almacenamiento para que en caso de sobrecarga el desborde ocurra en un sentido previsto y a velocidades no erosivas (NSW Agriculture, 2000).

Manejo del estiércol

Dependiendo de la digestibilidad de la dieta, un *feedlot* de 5.000 cabezas puede producir entre 6.000 y 9.000 toneladas de estiércol anualmente. Un novillo de 450kg produce un promedio de 38 litros o 27 kg de excrementos húmedos (orina y heces) por día, con una variación del 25%, dependiendo del clima, el consumo de agua y el tipo de dieta. La reduc-

Estimación de la **producción anual de estiércol** (PAE, kg MS) =

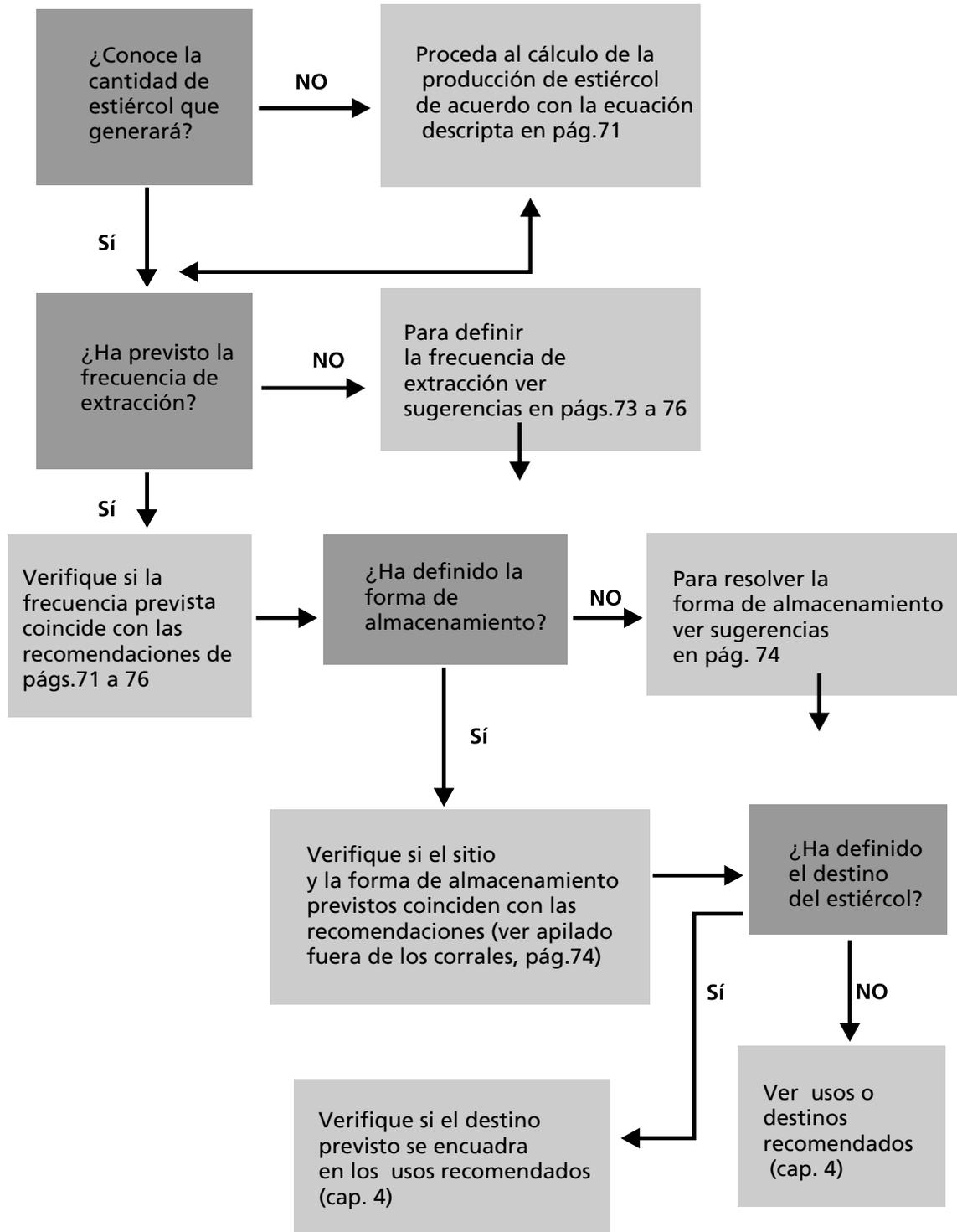
$$PAE = PV \cdot (PDH \cdot MSH + PDO \cdot MSO) \cdot MSE^{-1} \cdot ERE \cdot EUF \cdot AN \cdot D$$

Se requiere para ello información sobre:

El peso vivo (PV) medio de los animales en engorde,
la estimación de la producción promedio diaria de estiércol por animal en heces (PDH; kg/día)
la producción diaria de orina por animal (PDO, kg/día),
el contenido de materia seca de las heces (MSH, %)
el contenido de MS de la orina (MSO, %),
el contenido de materia seca en el estiércol al momento de la recolección (MSE, %),
la eficiencia de recolección del estiércol (ERE, %),
la utilización anual de esa capacidad potencial (EUF, %),
la capacidad del feedlot (AN, animales), y
la duración media de los engordes (D, días).

3.3.2.2. Manejo del estiércol

Guía de procedimiento para el diseño del manejo del estiércol



ción de la producción total de heces es el primer factor reductor de polución. Las dietas de baja fibra se caracterizan por digestibilidades mayores y menores emisiones.

1. Estimación de la producción

La estimación de la producción de heces está sujeta a las variaciones debidas al balance de nutrientes en función de los requerimientos del animal, de la digestibilidad y del consumo de alimento y agua, pero el factor de mayor incidencia es el peso vivo (PV, kg). Pero, a los términos del diseño del sistema se sugiere basar los cálculos en la ecuación que se detalla a continuación (NSW Agriculture, 1998).

Ejemplo:

Si se asumen las relaciones presentadas abajo como valores medios aceptables, puede concluirse que un *feedlot* con capacidad para 1.000 animales por año, un uso del 80% de esa capacidad, un período de engorde medio de 320 días y un peso vivo medio de 350 kg, produce 852,5 toneladas de MS de estiércol/año.

Producción diaria de heces frescas = 3,4 a 3,8 % del peso vivo

Producción diaria de orina = 1,2 a 1,8 % del peso vivo

Contenido de materia seca en heces = 20 a 30%

Contenido de materia seca en orina = 3 a 4 %

Eficiencia de recolección = 70%

Contenido de materia seca en estiércol = 70%

En los *feedlots* comunes, a cielo abierto y piso de tierra compactada, se remueven las excretas sólidas una o dos veces al año. Desde producido hasta su recolección, se produce una evaporación significativa del material fecal, alcanzándose valores de 70 a 80% de materia seca en la mayoría de los *feedlots* de climas subhúmedos y secos. Se remueve aproximadamente 1 tonelada por animal y por año -estimación grosera y muy afectada por el tipo de animal, la dieta, el clima y la frecuencia de limpieza-. Con el desecado

y el pisoteo de los animales, el material pierde volumen, se concentra y densifica incrementándose su peso específico (Amosson *et al.*, 1999; ASAE, 1988). Cuanto mayor es el período de permanencia de los excrementos en los corrales, mayores son las pérdidas de elementos móviles como el nitrógeno y el potasio y menor es el valor fertilizante de este material (Elliott *et al.*, 1972).

Paralelamente, con la mayor permanencia promedio de las excretas en el corral se incrementan las emisiones de potenciales contaminantes del aire, del suelo y el agua. Aproximadamente la mitad del nitrógeno y 2/3 del potasio contenido en los excrementos se encuentra en la fracción líquida. El fósforo excretado se encuentra casi en su totalidad en la excreta sólida. En ese contexto, la pérdida de los líquidos reduce el valor del excremento y expone el sitio a la contaminación.

En la medida en que la carga animal de los corrales se incrementa, aumenta la producción de heces por corral, y la necesidad de limpiezas más frecuentes, por lo que aumenta la cantidad de material removido por animal, aunque es de menor peso específico (Amosson *et al.*, 1999; Lott, 1994 a).

2. Acumulación

La mayor acumulación de estiércol ocurre en los sectores adyacentes a los comederos. En esas áreas, también el contenido de humedad es mayor. El ritmo de producción es mayor al de secado. En años lluviosos, y especialmente en instalaciones con problemas de escurrimiento o drenajes, las limpiezas periódicas en el área anexa a los comederos reducen problemas de anegamiento, suciedad y expresión de afecciones de las patas y enfermedades (NSW Agriculture, 1998).

El otro sector de alta concentración de heces y humedad es el área próxima a los bebederos. Al orín de los animales se le suma el agua de rebalse, producto de

desperfectos del flotante del bebedero y de las salpicaduras que los animales producen. La limpieza frecuente reduce las acumulaciones de barro y de estiércol húmedo.

Debajo de los alambrados o cerco del corral ocurren también acumulaciones importantes de material fecal. Esa acumulación opera de embalse de aguas obstruyendo el movimiento de la escorrentía en el momento de lluvias y se produce el enlagnado de los corrales. Ese encharcado reduce el área de corrales, favorece el ablandamiento del piso, la infiltración y la erosión del suelo. Si persiste por mucho tiempo se ofrece un medio propicio para el desarrollo de bacterias, hongos e insectos (moscas, mosquitos, etc.), la producción de olores de fermentación y putrefacción y el desarrollo de enfermedades de las patas.

El área de contacto entre el borde del guardapolvos o vereda de cemento o suelo cementado y el piso de tierra del corral suele ser otro espacio de erosión y acumulación de heces y agua. Es conveniente vigilar este sector permanentemente. En caso de un deterioro visible es necesario aportarle material de tierra y piedra o tosca y compactarlo bien, de lo contrario, los animales lo remueven rápidamente.

Finalmente, en el sector de sombras, en especial en las sombras dispuestas de Este a Oeste, se generan áreas de sombra permanente. En esos sectores se concentran los animales, y la producción de heces es mayor que en otros. Puede ocurrir una acumulación importante de estiércol que será necesario remover o dispersar con mayor frecuencia que en el resto del corral.

3. Alomado en el corral

Algunos feedlots, especialmente en lugares sin pendientes, utilizan como alternativa para incorporar pendientes y compactar el estiércol el amontonado del mismo en un sector del corral. El estiér-

col se amontona, compacta y aloma dándole formas redondeadas de fácil acceso para los animales. En esa loma continúa la descomposición del material y el secado por evaporación. La acción microbiana aeróbica y la evaporación del agua reducen al 50% la cantidad de material en el tiempo. En su parte exterior, la loma permanece seca y los animales se suben a ella para echarse o alcanzar un lugar drenado y más seco durante una lluvia. Esas lomas sirven para reducir el espesor del manto de excretas en el corral y la remoción de material acumulado en lugares críticos del mismo (cercos, comederos, bebederos y sombra), favorecer el drenaje y promover el secado rápido del piso. Por la preferencia por lugares altos que los animales demuestran, también sirve de dispersor de los animales en el corral.

El empleo de estas lomas reduce la necesidad de limpieza de los corrales. Al menos, es factible espaciar las limpiezas a períodos de dos o tres años, o cuando se hace necesario reducir el tamaño de la loma en el corral. Permite también reducir los costos de remoción, particularmente si se contrata el servicio.

Para que la loma de material fecal cumpla su función deber ser confeccionada con prolijidad, en dimensiones adecuadas (ver lomas en capítulo de estructura) para no ocupar una superficie importante del corral o ubicarse en sectores donde se impida el drenaje rápido del corral. Debe ser bien compactada y mantenerse seca. Si no se logra estabilizar, los animales la dispersarán rápidamente y los efectos serán contraproducentes por la distribución de material suelto que se producirá en todo el corral, exponiendo al encharcamiento, a la retención de agua luego de una lluvia y al movimiento masal de la excreta y la formación de un barro fétido.

En el caso de remover lomas por su altura o tamaño, debería compactarse el área removida nuevamente y evitar que sea un sector donde los animales puedan trabajar con sus patas o cabezas aflojan-

do el resto. Iniciada la remoción de una loma se debería remover su totalidad. Si se optara por utilizar la misma para nivelar el piso o darle pendiente, debería mezclarse con suelo adicional de buena capacidad de compactación y compactarse energicamente.

Aunque el uso de las lomas en corrales ha sido frecuente en los feedlots del hemisferio Norte, no se recomienda diseñar corrales pensando en loma de estiércol como estrategia de manejo de las excretas y del drenaje. Son preferibles a corrales anegados o encharcados y con material fecal distribuido por todo el corral sin secar ni compactar. Pero deberían ser sólo una solución para diseños pobres, evitables en lo posible. La retención del estiércol en los corrales, por varios ciclos de engorde (años) reduce el valor fertilizante de ese material (u otros posibles usos), mantiene una alta carga de excretas en los corrales con lo que se incrementan las emisiones contaminantes de aire, agua y suelo, en especial si coinciden lluvias extraordinarias y períodos fríos, de baja evaporación, y se incrementa el riesgo de deterioro de patas y enfermedades infecciosas. Entre las formas de contaminación, el olor indeseable es la manifestación de más corto plazo. La producción de ácidos grasos volátiles, aldehídos, alcoholes, sulfuros de hidrógeno y amonio, en procesos fermentativos ocurridos en el material fecal, se incrementa con la cantidad si la pérdida de humedad no es rápida.

Retirado el estiércol de corral, su destino es la aplicación directa como fertilizante en un cultivo, el apilado y producción de *compost* para su uso posterior como abono o en generación de subproductos.

4. Limpieza de los corrales

La remoción frecuente del estiércol y su aplicación directa en la tierra maximiza el valor fertilizante, reduce los riesgos de polución de aguas y aire y reduce el costo de los dobles manipuleos. Cargadores con pala frontal se utilizan comúnmente para limpiar los corrales. En feedlots grandes

suelen utilizarse autocargadores con cepillos raspadores frontales.

Normalmente se limpian los corrales cuando están vacíos entre salidas y entradas de lotes de animales. Se deberían limpiar dentro de los 5 días luego de salido el lote de animales para evitar el encostrado con la humedad diaria y lluvias eventuales. Si la cantidad de material acumulado excede los 15 o 20 cm de altura y ocurren lluvias, puede comenzar un flujo masal de la excreta (movimientos similares a los de la lava volcánica) que ensucia todo a su paso, congestiona drenes y compromete el acceso a las calles y corrales. Éste es otro motivo para mantener limpios los corrales.

La naturaleza de la excreta acumulada condiciona el procedimiento de limpieza. La acción de los animales resquebraja permanentemente las costras superficiales y promueve el desecado del suelo. Sin embargo, si la capa de material orgánico acumulado se encuentra altamente compactada y seca, será conveniente, antes de proceder con las palas de remoción, resquebrajar el manto superficial con equipos cortadores (rolos con cuchillas) y luego proceder al amontonado y carga del material. En algunos casos la carga directa con pala frontal es posible, pero el manto deberá superar los 10 cm de espesor (Lott, et al; 1994 a). De lo contrario se corre el riesgo de romper la interfase endurecida de suelo estiércol.

Esa capa de suelo-estiércol, de 2,5 a 5 cm de espesor y selladora de la superficie (Sweeten, 2000), opera de barrera a la infiltración y protege de la contaminación y de la erosión y debe ser preservada. La falta de compactación e impermeabilización de los suelos o la ruptura de la mencionada capa, es el principal motivo de infiltración y contaminación de freáticas (Mielke y Mazurak, 1976; Barrington y Jutras, 1983; Elliott et al, 1972). Estudios conducidos en California (Algeo et al., 1972) determinaron niveles de nitratos de 60 a 180 ppm a

50 cm de profundidad, apenas superiores a los niveles de los suelos adyacentes al *feedlot*. En Nebraska, Schuman y McCalla (1975) determinaron niveles de 7,5 ppm en los primeros 10 cm de suelo y menos de 1 ppm a los 20 cm. En el mismo estudio, los niveles de amoníaco fueron de 35 ppm en los primeros 5 cm de profundidad y de 2 ppm a los 10 cm. Dantzman et al., y col. (1983) reportaron similares efectos sobre el contenido de sales en suelos arenosos de Florida. En los primeros 25 a 30 cm el contenido de materia orgánica alcanzó 15% y el de sales totales a 4.000 ppm en 10 a 15 años de *feedlot* permanente. Sin embargo, a los 50 cm de profundidad el contenido de materia orgánica no había cambiado y el contenido de sales era de 500 ppm.

Ante el riesgo de romperla, es preferible dejar material y realizar una compactación mecánica para homogeneizar. En el caso de quebrarla o levantarla es necesario revisar los niveles topográficos y compactar el suelo nuevamente, incluso con el agregado de suelo de alta capacidad de compactación (Sweeten, 1992).

En los casos en que por alto contenido de humedad, la limpieza no resultare muy efectiva o fuese irrealizable, será necesario reducir la carga animal de los corrales para reducir la presión sobre el suelo húmedo. Si esta situación es recurrente, deberá tenerse en cuenta en el diseño de las instalaciones para contar con corrales vacíos, fusibles en momentos de mucha precipitación y riesgo de encharcamiento.

5. Apilado fuera de los corrales

El apilado de estiércol fuera de los corrales, recolectado en pilas en forma de trinchera, es la estrategia más común. Se selecciona un sitio de baja permeabilidad y buen drenaje, incluido en el área cubierta por el sistema de drenajes del *feedlot* para que los efluentes líquidos que se generen en el mismo escurran hacia el sistema de conducción de efluentes líquidos y hacia las lagunas de sedimen-

tación, evaporación y almacenamiento. El estiércol se acumula en trinchera, apilándolo en capas para permitir mayor evaporación y acción microbiana aeróbica con el objetivo de lograr la reducción de su volumen y contenido de agua, especialmente si se está removiendo húmedo de los corrales (Powell, 1994).

El tamaño y la forma de las pilas de estiércol es variable y no existen demasiadas pautas para ello. Se realizan apilados en la forma de hileras de 5 a 6 m de ancho por 2 a 3 m de altura en su cresta y por el largo que el sitio permita. Entre las hileras deberá dejarse una distancia de al menos 4 a 6 m para poder circular con palas o tractores. Es necesario mantener la aerobiosis en las pilas de estiércol y el menor nivel de humedad posible. El apilado de cantidades grandes y con alta humedad (por encima del 50%) favorece la putrefacción y puede generar combustión espontánea. Ante dudas con respecto a la distribución en láminas y su compactado para eliminar aire es conveniente mantener trincheras más bajas (menos de 2 m de alto; Sweeten, 2000). Se debería realizar determinaciones de temperatura entre los 50 cm a 1 m de profundidad para prevenir riesgos de combustión.

El lugar de la ubicación de las trincheras debe ser un sitio alto, no anegable y con pendiente definida hacia un canal recolector del drenaje conectado al sistema colector de efluentes. Es conveniente que la profundidad a la freática supere el 1,5 m. Con respecto al tipo de suelo y el proceso de compactación le caben las mismas observaciones que a los corrales de alimentación. Debe también preverse una ubicación estratégica con respecto al diseño actual del *feedlot* o de su expansión para no bloquear o complicar el movimiento de camiones o animales, o el fácil acceso para depositar y extraer el estiércol.

5.1. Monitoreo de calidad y contaminación

Es conveniente monitorear la calidad del estiércol periódicamente (anualmen-

te) para verificar cambios (pérdidas) de nutrientes, minerales, humedad y materia orgánica. El estiércol tiende a perder materia orgánica, elementos solubles o volátiles (N; P, K, S y Na, principalmente) y humedad en el tiempo (NSW Agriculture, 1998; Lott, et al;1994 a). Aunque las pérdidas por volatilización pueden ser significativas en algunos casos, las de lixiviación y escurrimiento constituyen las más relevantes por el riesgo de contaminación localizada de aguas.

Se debería iniciar el proyecto con una caracterización del sitio donde se acopia el estiércol: a) ubicación topográfica, b) textura del suelo hasta 1 m de profundidad, y c) profundidad mínima de la napa freática (NSW Agriculture, 1998). Las determinaciones periódicas deberían incluir: a) análisis de contenido de N, P, K, sales totales y coliformes del estiércol; y b) análisis anuales del contenido de N y P en el perfil de suelo (5, 50 cm y 1m de profundidad).

6. Compostaje

En las trincheras o pilas de acumulación del estiércol fuera de los corrales puede promoverse la producción de *compost*. En ese caso será necesario mantener las condiciones de aireación y humedad adecuadas. El *compost* producido puede ser utilizado como fertilizante orgánico por la propia empresa o vendido a terceros (Jones *et al.*,1995; Sweeten, 1985,1988 a).

La mayor ventaja del compostaje en medio aeróbico es la producción de un producto estable que puede ser conservado y transportado sin tener que soportar olores desagradables ni mover un material difícil de manejar y atrayente a las moscas (NSW Agriculture, 1998). Las condiciones deseables son: a) un nivel de humedad (inferior al 35 a 40%), y b) un tamaño uniforme de partícula, de textura friable, reducido en volumen y peso.

El compostaje aerobio destruye ade-

más la mayoría de los patógenos y las semillas de malezas. Es esencial sembrar el material orgánico con microorganismos para *compost* (lombrices) de origen comercial o con *compost* en formación que los contiene. Se formarán cordones de 1 a 1,80 m de alto. La pila debe poder ser mezclada e invertida al menos cada 3 semanas. Esa inversión promueve la aireación y recuperación de condiciones aeróbicas. En presencia de oxígeno aumenta la temperatura y la deshidratación y reduce la emisión de olores (Sweeten *et al.*,1988 a)

Para lograr una esterilización efectiva de patógenos es necesario lograr que la temperatura se eleve a por lo menos 55°C durante 3 días consecutivos o a 53°C por 5 días. Temperaturas de 60 a 70 °C serían ideales para eliminar la mayoría de la flora potencialmente patógena y las semillas de malezas (Wiese *et al.*, 1998). La temperatura debe ser monitoreada a aproximadamente 60 cm de profundidad en la pila, para asegurarse que el efecto térmico sobre la flora patogénica es el deseable.

La relación C:N que ofrece el estiércol (10 a 15:1) es baja para el ideal en compostaje (30:1) (Sweeten, 1988a), por lo que sería conveniente incorporar fuentes de carbono como rastrojos de cosecha u otros residuos con mucha fibra. La masa de *compost* debe alcanzar niveles de pH, es importante sembrar el estiércol con microorganismos para *compost* (lombrices de origen comercial) o con *compost* rico en lombrices, metales pesados, contenido de sal, fósforo, potasio y otros agentes con potencial contaminante acordes con las reglamentaciones para el comercio de *compost*. Esta reglamentación será propia de cada región o país.

La mayor desventaja del *compost* es el costo de la maquinaria y la mano de obra necesaria. Durante el proceso se pierde también por volatilización una importante cantidad de nitrógeno cuando se parte de estiércol de *feedlot*, porque la rela-

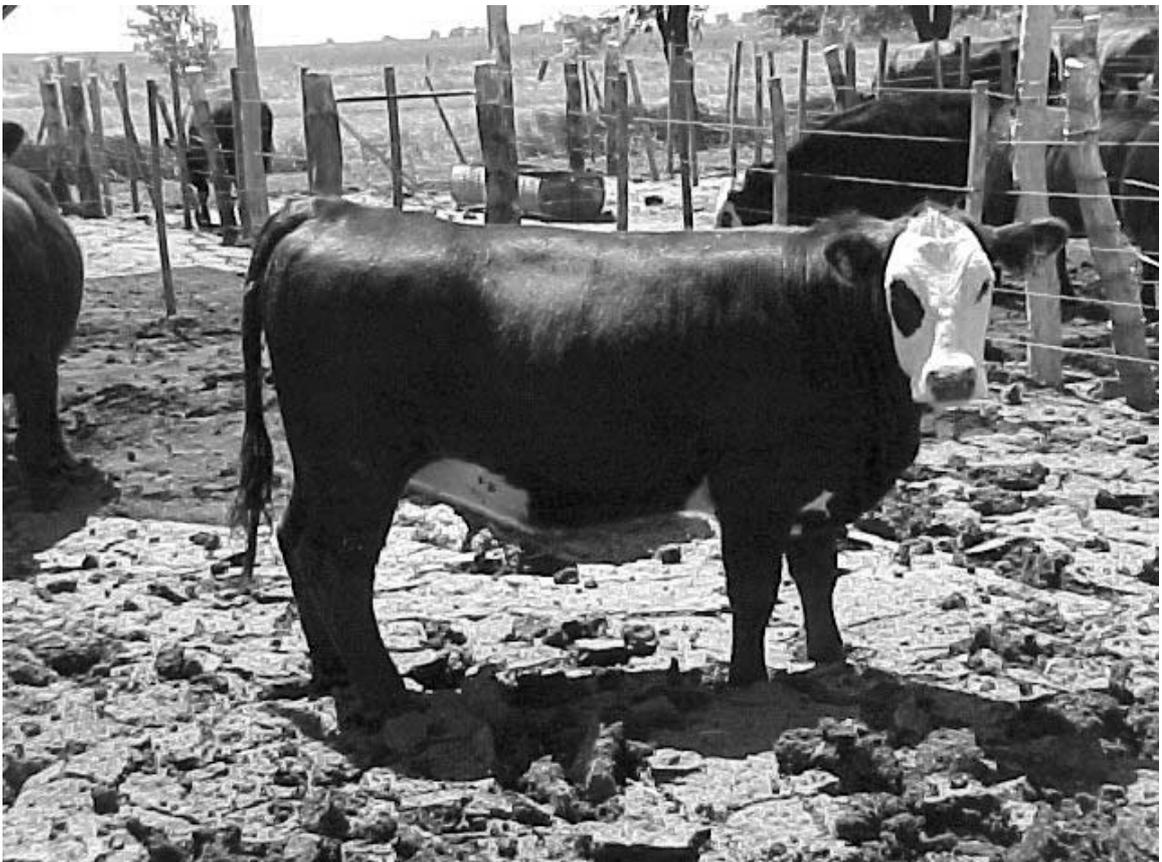
ción carbono-nitrógeno es generalmente baja en ese material. Por un lado se estabiliza el contenido de nitrógeno del fertilizante orgánico, pero por otro se pierde valor fertilizante del estiércol.

7. El vermicompuesto

Una alternativa adicional en la utilización del estiércol es la producción de vermicompuesto. Se alimentan lombrices de alta capacidad de consumo de materia orgánica con el material, las que lo

consumen produciendo biomasa en vermes y un remanente semi humificado y homogéneo. El vermicompuesto es un buen acondicionador de suelo y fertilizante (*los detalles sobre la tecnología para generar lombricompostos han sido ampliamente difundidos en bibliografía pertinente, por lo que no se la desarrolla en detalle en esta guía*). La biomasa de lombrices puede ser utilizada incluso como suplemento animal. Contiene una composición en aminoácidos similar a la de la carne, excediéndola en contenido proteico (61% vs 51%).

4. Fertilización con efluentes líquidos y estiércol



4. Fertilización con líquidos y estiércol

4.1. Riego con efluentes líquidos

El objeto de establecer áreas a regar con los efluentes consiste en minimizar los riesgos de contaminación con los líquidos emanados del *feedlot* a través de la generación de un uso económico del agua, nutrientes y materia orgánica almacenados en la laguna de almacenamiento. Los cultivos o pasturas producidos bajo riego serán seleccionados por su alta capacidad de retención de nutrientes en biomasa aérea y la facilidad de cosecha mecánica del forraje (Clark *et al.*, 1975 a; Sweeten, 2000). Si la cosecha fuera por medio del pastoreo directo, el retorno de nutrientes al lote es muy alto y se reduce la capacidad del sitio para aceptar riegos frecuentes con líquidos efluentes de alta carga de nutrientes en solución (particularmente, fuentes nitrogenadas y azufradas de alta movilidad). La capacidad del suelo de asimilar nutrientes es crucial. Los suelos arenosos tienen una muy baja capacidad de retención de nutrientes. Los más francos o arcillosos tienen mayor capacidad.

En el diseño de la superficie a regar debe tenerse en cuenta la cantidad de agua a dispersar. El cálculo debería hacerse, teniendo en cuenta el volumen de efluente acumulado con la escorrentía generada por la cantidad de agua de lluvia ocurrida en el año promedio de los 5 años más lluviosos de los últimos 50 en el sitio del *feedlot*. Dado que el aporte por lluvias es también importante en esas condiciones y el riego debe planificarse basado en el déficit hídrico, la cantidad de agua de lluvia deberá ser sumada a los aportes y, en función de la demanda anual de los cultivos, se calculará la superficie mínima a disponer para no generar excedentes que resulten en la acumulación de residuales en la laguna de almacenamiento.

La tasa de carga anual de nitrógeno,

fósforo, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sales y carga hidráulica del efluente a regar deben ser calculada. En algunos casos será necesario inyectar agua común al riego para diluir la carga de sales y nutrientes, y ajustarla a la asimilación de los cultivos (Clark *et al.*, 1975 a,b; Clark, 1975).

La uniformidad de distribución del agua es esencial para no generar áreas de sobrecarga. Por otro lado, el clima y el tipo de cultivo definen la cantidad a incorporar y la eficiencia de uso del agua y de los nutrientes. En ambientes con alta capacidad de evaporación, climas cálidos, los efluentes a regar pueden ser menores en volumen pero más concentrados. En los casos de climas templados, por otro lado, la evaporación puede ser escasa y consecuentemente la evapo-transpiración de grandes cantidades de agua sería el principal objetivo. Así, se seleccionarán distintos cultivos, algunos con alta producción de materia seca y alta eficiencia de conversión de agua en biomasa aérea para retener nutrientes (ej. maíz o sorgos), escenario de climas cálidos, o se seleccionarán cultivos de baja eficiencia de producción de biomasa por unidad de agua utilizada (ej. las leguminosas) (Wallingford *et al.*, 1994; Butchbaker, 1973). En estos suelos irrigados con fertilizantes líquidos, la movilidad de los nutrientes es potencialmente alta, por lo que se recomienda disturbar el suelo en la menor medida posible. Las labranzas aceleran la mineralización de la materia orgánica y aumentan la movilidad de los nutrientes (Harman *et al.*, 1994).

Es conveniente disponer de un relevamiento topográfico del área y del perfil del suelo a regar. Entre las condiciones deseables del suelo a regar se incluirían:

Capacidad de carga hidráulica del suelo, permeabilidad en la superficie, baja

salinidad a través del perfil, bajo nivel de sodio, bajo contenido de nitratos, alta capacidad de adsorción de fósforo, freática profunda (más de 1 m), ausencia de estratos endurecidos limitantes de la profundidad antes del metro de perfil.

Se sugiere que el área no tenga antecedentes de inundación, que no existan en la proximidad, recursos hídricos superficiales o drenajes sin capacidad para recibir excedentes de agua, que la superficie sea homogénea y que las pendientes sean suaves o inexistentes.

Será también necesario realizar muestreos periódicos de nutrientes y física de suelos para detectar acumulación de algunos nutrientes, desbalances de elementos nutrientes, incrementos de salinidad y de sodio, necesidad de yeso para reducir el efecto de alto contenido de sodio (natricidad), y necesidad de lavado para reducir salinidad.

1.1. Calidad de los efluentes

Las características de la dieta, la frecuencia e intensidad de las lluvias, el tamaño y diseño de los corrales y la frecuencia de limpieza de las excretas condicionan la cantidad y composición del efluente. El Cuadro 4.1 muestra resultados medios de análisis de efluentes generados durante una lluvia sobre áreas de *feedlot*.

Los niveles de nitrógeno varían en el rango de 20 a 400 mg/litro, mayoritariamente en la forma de amonio. La salinidad (medida en CE) varía en 2 a 15 dS/m y las concentraciones de sodio (en SAR) de 2,5 a 16. Los niveles de fósforo se ubican en el rango de 10 a 150 mg/litro y los sólidos totales entre los 2.000 y 15.000 mg/litro (NSW Agriculture, 1998; Marek *et al.*, y col. 1994).

La carga de nutrientes de los efluentes es comúnmente inferior a la demanda de los cultivos utilizables en un área de riego, al menos en términos anuales. Sin

embargo, no puede ajustarse el riego a la demanda de nutrientes, sino a la de agua (Powers *et al.*, y col. 1973). Si se utilizara el primer criterio, se podría exceder la carga hídrica tolerable y se promovería la lixiviación y la escorrentía. Adicionalmente, se expondría a incrementos de la salinidad a niveles intolerables por las plantas. El grado de salinidad del efluente tipo de *feedlot* es demasiado alto para el riego directo. Determinaciones realizadas en EE.UU. indican que efluentes almacenados en lagunas de almacenamiento pueden alcanzar conductividades eléctricas de hasta 15 dS/m. El mayor contribuyente a ese nivel de salinidad es el cloruro de potasio, seguido del cloruro de sodio y el de amonio. El agua comúnmente utilizada para riego tiene entre 0,6 y 1,4 dS/m y es muy segura desde el punto de vista del riesgo de salinización cuando su CE es inferior a los 0,8 dS/m, pero por sobre los 2,5 dS/m es tolerada por pocos cultivos y pasturas. La salinidad reduce la producción de forraje, la eficiencia de captura de los nutrientes y degrada la calidad del suelo en el largo plazo. Muy probablemente en todos los casos se deberá diluir con agua de bajo contenido de sales totales si se plantea cubrir déficit hídricos con agua proveniente de efluentes de *feedlot* (Marek *et al.*, 1994, 1995; Sweeten, 1976).

Teniendo en cuenta los factores ambientales y los de calidad del efluente antes citados, el rango de aplicaciones es muy amplio. Varía entre 100 y 1000 mm anuales. El riesgo de acumulación de sodio se acentúa en los valores mayores, con efectos degradantes del suelo. Con ese tipo de lámina anual es conveniente prevenir lavados del suelo y un sistema de drenajes del lote bajo riego como para contener y manejar los excedentes

1.2. Programa de uso y monitoreo

El manejo del efluente líquido debería plantear un programa de uso. Se listan a continuación aspectos a tener en cuenta en el diseño del programa y a monitorear previo y posterior a las aplicaciones. Sería conveniente la opinión

Cuadro 4.1. Contenido de nutrientes mg/litro en efluentes de feedlot contenidos en lagunas de almacenamiento

	Australia ¹	Texas	
		Planicies altas ²	Sur ³
Sólidos totales	-	2470	-
DQO	2100	1100	-
DBO	500	-	-
Nitrógeno	148	180	145
Fósforo	40	45	43
Potasio	460	1145	445
Sodio	260	230	256
Calcio	100	180	99
Magnesio	72	20	72
Cloro	620	1000	623
SAR	4,6	4,2	4,6
CE (dS/m)	4,5	4,5	4,5
pH	8	-	-

¹ NSW Agriculture (1998)

² Clark *et al.* (1975b)

³ Sweeten *et al.* (1981)

CE = Conductividad eléctrica (medida de

salinidad), dS/m = deciSiemens/m,

DQO = Demanda química de oxígeno.

DBO = Demanda biológica de oxígeno,

SAR = Relación de absorción de sodio .

técnica de un especialista en riego y fertilización para ajustar el programa.

Antes de aplicar:

- Determinar el contenido de N, P, K y sales totales del efluente.
- Determinar las características de textura del suelo y su capacidad de retención hídrica.
- Relevar el régimen hídrico del sitio a regar
- Describir el balance hidrológico probable.
- Seleccionar cultivos a utilizar y justificar su inclusión en función de su potencial para capturar nutrientes en biomasa

vegetal.

- Determinar el nivel de aplicación de efluente máxima anual posible, de acuerdo con la capacidad de captura de nutrientes en suelo y vegetación y los límites impuestos por el contenido de sales.
- Asignación de superficies. Con la información precedente, calcular la superficie a regar.
- Seleccionar la superficie de acuerdo con pautas recomendadas con respecto a: a) textura de suelos, b) pendientes, c) distancias a centros poblados, d) distancia a acuíferos superficiales y pozos de agua, e) profundidad mínima de la freática, f) capacidad de evapotranspiración y captura de nutrientes por los cultivos y g)

precipitación en la estación de crecimiento y anual.

- Confeccionar un plano con la ubicación topográfica de la superficie a regar. Incluir la información citada arriba.
- Describir la tecnología de los cultivos a desarrollar y los momentos convenientes de aplicación de los efluentes líquidos.
- Definir el sistema de cosecha y destino del forraje a producir.

Luego de aplicaciones recurrentes:

- Determinar de manera periódica (anualmente) el contenido de N, P, K, sales totales, y el pH en el perfil de suelo a los 0 a 20, 20 a 60 y 60 a 1m de profundidad. El análisis de la evolución de los contenidos de nutrientes y sales permitirá hacer correcciones en la dosificación y momento de aplicación para prevenir lixiviación de contaminantes y salinización del suelo.
- Determinar contenido de nutrientes en pozos de agua y acuíferos superficiales
- Determinar el perfil nutricional (macro y microminerales relevantes: N, P, S, K, Ca, Mg, Bo, Mo, Se, Zn, Mn, Al y Cd) de los forrajes producidos en el lote y contenidos en el suelo. Estos análisis permitirán

la identificación de desbalances nutricionales debidos a carencias o efectos competitivos entre elementos que resulten en carencias o acumulaciones toxicas para las plantas como para los consumidores del forraje generado.

4.2. Abonado con estiércol

Una tonelada de excrementos de bovinos de feedlot contiene cerca de 5 kg de nitrógeno, 1 kg de fósforo y 4 kg de potasio. Si no se considera la fracción líquida, el excremento resulta en 2,5 kg de nitrógeno, 1 kg de fósforo y 0,8 kg de potasio (1kg K₂O). Determinaciones en varios feedlots de EE.UU. indicaron que el excremento promedio de feedlot contiene entre 2 y 2,5% de nitrógeno, 0,3 a 0,8 % de fósforo y 1,2 a 1,8 % de potasio en base seca (Mathers *et al.*, 1971, 1973; Arrington y Pachek, 1981; Sweeten y Amosson, 1995). Investigaciones australianas (NSW Agriculture, 1998) sugieren rangos de 0,7 a 3% de nitrógeno, 0,2 a 1,4% de fósforo, 0,7 a 4% de potasio sobre base seca y un contenido de humedad del 9 al 54% para cálculos de mínimos o máximos según se lo requiera. A manera de ejemplo adicional, en el Cuadro 4.2 se resume información de composición química de muestreos realizados en feedlots de Australia (NSW Agriculture, 1998).

Cuadro 4.2. Contenido de nutrientes en excreta de feedlot (base seca)¹

Nutriente	Promedio	Rango
Materia seca, %	70,50	50 a 90
Nitrógeno, %	2,19	1 a 3
Fósforo, %	0,83	0,4 a 1,3
Potasio, %	2,51	1,5 a 4
Magnesio, %	0,98	0,5 a 1,3
Azufre, %	0,49	0,2 a 0,7
Carbono orgánico, %	12,00	5 a 16
Sodio, %	0,69	0,3 a 1,3
Cloro, %	1,50	0,7 a 2,3
Zinc, ppm	154	80 a 283
pH	6,63	5,5 a 8,6

¹ Información de 50 muestras analizadas de feedlots del sur de Queensland, Australia (Evan Powell, NSW Agriculture, 1998).

El clima, la dieta, el tipo de instalaciones y la limpieza afectan la composición final de la excreta acumulada en los corrales. Debido a esta gran variabilidad en los contenidos, particularmente de nitrógeno, es conveniente producir información local para ajustar las estimaciones de las concentraciones de elementos en la excreta recientemente producida y la que se remueve periódicamente de los corrales. La primera permitirá conocer las diferencias que se pierden por volatilización, o disuelta en los efluentes líquidos vía lixiviación o movimiento superficial. La segunda calificará la composición de la excreta que se pretende introducir en un programa de uso.

Como regla general se sugiere disponer de 1 ha a fertilizar cada 20 a 25 animales en el feedlot, en sistemas de secano. En áreas bajo riego, con cultivos de mayor intensidad, se utiliza una relación de 1 ha por cada 10 a 15 animales. Si se implementan algunas prácticas de manejo y manipulación de las dietas podrían reducirse las emisiones de nitrógeno en las excretas y consecuentemente podría incrementarse el número de animales por superficie a fertilizar.

Al igual que el planteo de uso de líquidos, los cultivos producidos en el área fertilizada deben ser cosechados y extraídos del predio. El pastoreo directo extrae a una tasa muy lenta, no compatible con un planteo de fertilizaciones recurrentes. Podría ser más seguro disponer de una superficie mayor y tener así mayor flexibilidad en la forma de cosecha del forraje. El monitoreo de los efectos de la aplicación sobre las propiedades del suelo y sobre la calidad de aguas es necesario para realizar ajustes en la tasa, forma y momento de aplicación de estos fertilizantes orgánicos.

Aplicaciones de 8 a 15 toneladas de excreta (en base seca) provee suficiente nitrógeno para la mayoría de los cultivos en secano y retrasa o evita la salinización. Aplicaciones de 22 toneladas de excremento por hectárea, con 35 a 50% de

humedad, proveen la base nutricional de maíz, sorgo o trigo bajo riego (Mathers y Stewart, 1971, 1984; Mathers et al., 1980).

Se recomienda generalmente fertilizar de acuerdo con los requerimientos de nitrógeno o demanda de agua de los cultivos (NSW Agriculture, 1998). El cálculo de las aplicaciones dependerá de la demanda del cultivo y la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo. El exceso de estiércol resulta en lixiviación y movimiento superficial de nutrientes e incrementa el riesgo de salinización. Niveles de 70 a 100 toneladas por hectárea han permitido producciones sin limitantes nutricionales en varios cultivos de sorgo y maíz, pero cantidades superiores han deprimido los rendimientos, provocado salinización, daño a la producción y contaminación por lixiviación (Stewart y Meek, 1977). Debe tenerse en cuenta en los cálculos la disponibilidad de los nutrientes aportados por el abono.

Los nutrientes estarán accesibles para los cultivos cuando la materia orgánica aplicada al suelo sea degradada y los nutrientes sean liberados en formas solubles. Este proceso no es instantáneo, solamente la mitad del nitrógeno aplicado estará disponible para el cultivo en el primer año. El remanente, de degradación más lenta, se va liberando en los años sucesivos por la acción microbiana. La eficiencia de captura del nitrógeno por la vegetación ocurrirá en los meses de crecimiento vegetativo de la planta, poco ocurre durante meses fríos o de cultivos en dormancia. Asimismo, el nitrógeno es el elemento de mayor movilidad, se volatiliza, lixivia o escurre y pierde en el agua de superficie si no se lo captura en biomasa vegetal. Es conveniente fertilizar en la línea de siembra de los cultivos para aumentar la eficiencia de captura y reducir las pérdidas por lixiviación.

En cuanto al potasio aportado, el abono de feedlot contiene nitrógeno y potasio en relaciones similares a las requeridas por la mayoría de las plantas, por lo que al fertilizar por requerimien-

tos de nitrógeno con excreta bovina se fertiliza también con potasio en las proporciones deseables. Las altas cargas de potasio en el agua son raramente un problema en las áreas de riego por la alta capacidad de los suelos de retener potasio. Sin embargo, como para los otros nutrientes, el elemento debe integrarse a la solución acuosa del suelo para poder ser capturado por la matriz coloidal y retenido.

El abono orgánico aporta también cantidades importantes de fósforo. Este elemento es el menos móvil, poco susceptible a la lixiviación pero puede incrementar su tasa de migración cuando el suelo excede las posibilidades de absorción y retención del nutriente. Las fertilizaciones recurrentes con excreta incrementan el nivel de fósforo del suelo. Existe riesgo de sobrecarga de fósforo, particularmente en suelos con limitada capacidad de retención hídrica. En esos casos podría ser conveniente fertilizar de acuerdo con la demanda de fósforo y complementar la posible carencia de nitrógeno con un fertilizante químico (ej. urea). En esos mismos casos, las rotaciones con leguminosas permitirían también mejorar el balance del nitrógeno sin deteriorar el del fósforo.

La fertilización distribuida en varias aplicaciones escalonadas favorece la respuesta, aumenta la eficiencia de captura de los nutrientes y reduce los riesgos de lixiviación y movimiento superficial por lluvias. La incorporación al suelo con una labranza superficial también mejora la eficiencia de uso de los nutrientes, en particular del nitrógeno, por reducir su volatilización y acelerar la nitrificación. Dados los volúmenes de aplicación, deben tenerse en cuenta los posibles movimientos con precipitaciones y escorrentías en el potrero, pudiéndose generar sectores de déficit y otros de sobrecarga, siendo estos últimos también los topográficamente más bajos y de menor profundidad de suelo hasta el nivel freático.

Con la aplicación de abonos orgánicos

la respuesta más rápida y visible es al nitrógeno, luego al fósforo y a los otros elementos que se aportan y pudieran estar en déficit en el suelo (Mathers y Stewart, 1975; Sweeten, 1979, 1984). Frecuentemente se menciona a las aplicaciones de abonos como correctores también de deficiencias de micronutrientes y capacidad buffer. Las mejores respuestas a la fertilización orgánica se verifican en suelos de textura franca con bajos niveles de nitrógeno y fósforo. Aun en esas condiciones se recomienda fertilizar con el mínimo necesario para retardar el incremento excesivo de fósforo, e incluso pensar en el complemento con urea u otro oferente de nitrógeno solamente.

Existe un efecto postergado o residual de la aplicación de abonos orgánicos que debe ser tenido en cuenta en el ajuste de fertilidad en años sucesivos (Mathers *et al.*, 1975). El monitoreo de macronutrientes como azufre, magnesio, potasio y sodio es necesario para evitar excedentes perjudiciales. El aporte de micronutrientes en estas aplicaciones es menos relevante desde el riesgo de contaminación y bloqueo de otros elementos. Por otro lado, es factible que se pueda dar una mejora de la estructura edáfica (mayor capacidad de retención de nutrientes y agua) debido a los aportes de estiércol al suelo, pero tal efecto no se detectará hasta pasados 4 o más ciclos o años (Mathers y Stewart, 1981; Sweeten y Mathers, 1985).

Las pendientes del lote constituyen otro factor condicionante de la magnitud y frecuencia de las aplicaciones de abonos líquidos o sólidos. En lotes con pendientes mayores al 1,5% y que serán sujetos de fertilizaciones recurrentes con efluentes líquidos o estiércol, sería conveniente construir almacenamientos de tierra o bordes en los lados hacia donde la escorrentía superficial se dirige, si dicho escape pone en riesgo recursos hídricos u otra construcción próxima (NSW Agriculture, 1998; Lott *et al.*, 1994b). Esa bordura servirá de almace-

namiento temporal permitiendo que el agua encuentre una vía de salida planeada previamente. Franjas de vegetación natural o implantada que operen de barrera adicional ayudan también a retardar y disminuir el escurrimiento. Finalmente, se debería evitar fertilizaciones con abonos orgánicos en áreas de pendiente con distancias menores de 100 m a cursos o fuentes de agua. Tampoco se debe aplicar efluentes líquidos o estiércol en áreas de alta recarga de acuíferos ni sobre suelos salinos (Mathers y Stewart, 1984; Lehman y Clarck, 1975).

Por último, se debería evitar lotes para fertilización con estiércol que se encuentren muy próximos a sectores poblados o de recreación. El estiércol recientemente distribuido genera olores que pueden resultar muy molestos a las personas si la incidencia por proximidad o magnitud es

alta (NSW Agriculture, 1998). Es importante tener en cuenta el sentido de los vientos predominantes y la época de fertilización. La incorporación inmediata en el suelo reduce el efecto. La homogeneidad de distribución es otro factor, amontonamientos de excrementos prolongan la producción de olores. Si se distribuyen líquidos, la aspersión realizada lo más próxima al suelo evitará la deriva con el viento y el transporte de olores a áreas vecinas.

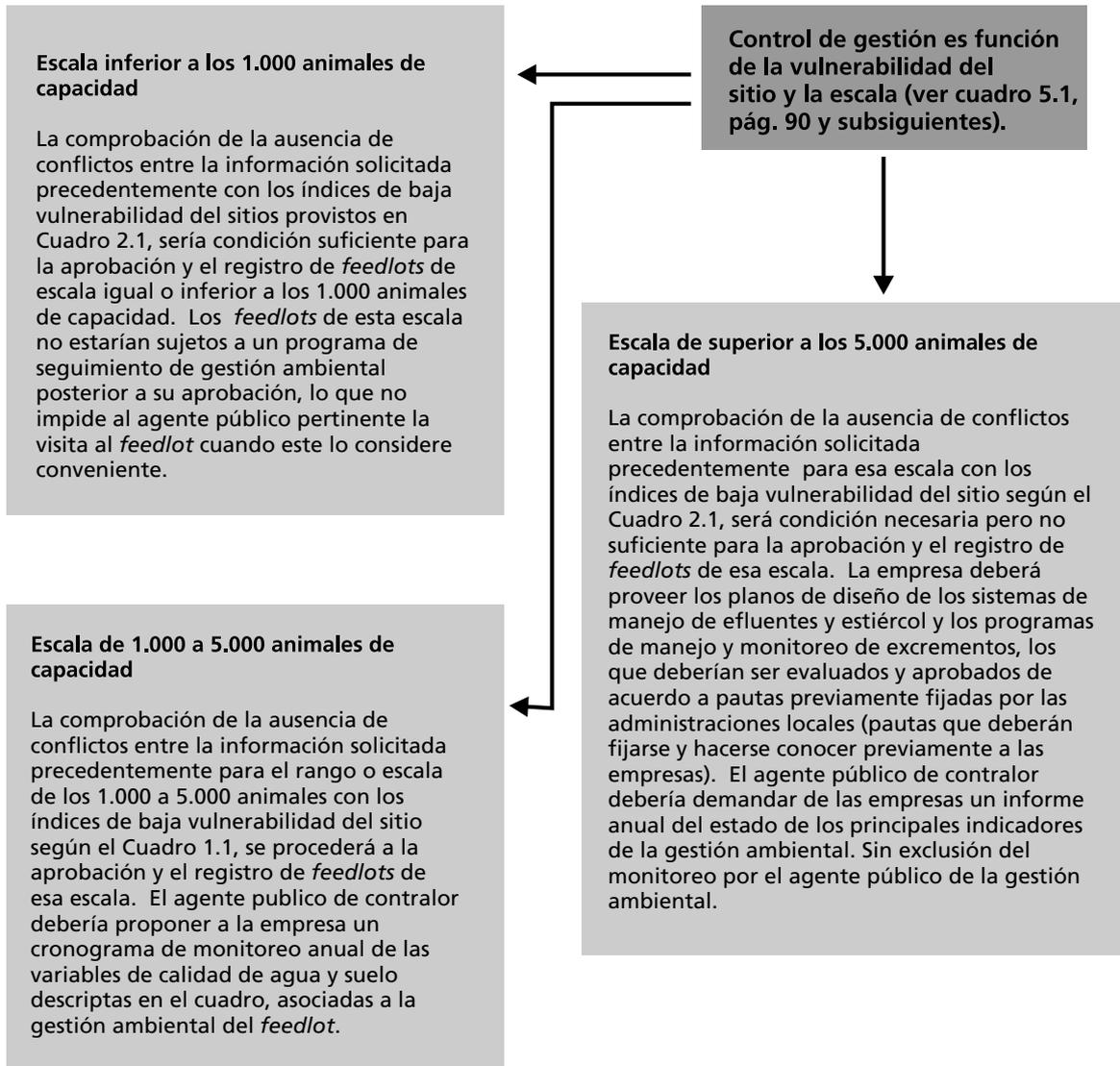
4.2. Programa de uso y monitoreo

El manejo del estiércol debería plantear un programa de uso semejante al planteado para el uso de efluentes líquidos (ver pág. 80 1.2). Sería conveniente la opinión técnica de un especialista en fertilización con abonos para ajustar el programa.

5. Pautas para la habilitación y el control público



Pautas para la habilitación y el contralor de la gestión de *feedlots*



Cuadro 5.1. Requisitos sugeridos para la gestión pública sobre exigencias de información para el registro y la aprobación de la instalación de feedlots en función de la escala de producción

	Escala (cantidad de animales)		
	A <1.000	B 1.000 a 5.000	C >5.000
1 Empresa (identidad)	●	●	●
2 Ubicación (descripción)			
2.1. Catastral	●	●	●
2.2. Geográfica	●	●	●
2.3. Distancias a centros poblados	●	●	●
2.4. Distancias a rutas y caminos	●	●	●
2.5. Distancias a áreas industriales	-	●	●
2.6. Distancias a áreas de agricult. bajo riego	-	●	●
2.7. Distancias a reservas naturales	-	●	●
2.8. Distancias a monumentos culturales	-	●	●
2.9. Plano de ubicación en la región	-	●	●
2.10. Imagen satelital del sitio	-	-	●
3 Superficie (ha)			
3.1. Total afectada, ha	-	●	●
3.2. Área de corrales, ha	-	●	●
3.3. Plano de ubicación de instalaciones	-	-	●
4 Clima			
4.1.1. Precipitación anual media (mm)	●	●	●
4.1.2. Precipitación máxima anual del período 90% más húmedo de los últimos 50 años	-	●	●
4.1.3. Precipitación de máxima intensidad	-	-	●
4.2. Evaporación media anual (mm)	-	-	●
5. Topografía			
5.1. Descripción de sitio y de pendientes	●	●	●
5.2. Plano topográfico	-	●	●
5.3. Imagen satelital en año de alta precipitación	-	-	●
6. Suelo			
6.1. Descripción de textura y estructura	●	●	●
6.2. Descripción de tratamientos del suelo	●	●	●
6.3. Contenido de nutrientes en suelo hasta 1m	-	●	●
6.4. Programa de monitoreo contaminantes	-	-	●

7. Aguas			
7.1. Profundidad de freática	●	●	●
7.2. Plano de freáticas	-	●	●
7.3. Análisis químico anual de freáticas	-	-	●
7.4. Programa de monitoreo químico de freáticas	-	-	●
7.5. Distancia a acuíferos superficiales	●	●	●
7.6. Distancia a puntos de bombeo de agua	●	●	●
7.7. Análisis químico anual de aguas	-	●	●
7.8. Programa de monitoreo de aguas superf.	-	-	●
8 Manejo de efluentes líquidos			
8.1. Descripción del sistema de manejo	-	-	●
8.2. Ubicación de lagunas en el feedlot	●	●	●
8.3. Plano esquemático del sistema	-	●	●
8.4. Descripción breve de los destinos	-	●	●
8.5. Detalle de usos	-	-	●
8.6. Programa de de manejo	-	-	●
9 Utilización de efluentes líquidos			
9.1. Superficie a regar (ha)	-	●	●
9.2.Plano geográfico y topográfico	-	●	●
9.3. Descripción del suelo	-	-	●
9.4. Profundidad mínima de freáticas	-	-	●
9.5. Proximidad acuíferos superficiales	-	-	●
9.6. Programa de monitoreo químico anual	-	-	●
10. Manejo del estiércol			
10.1. Descripción de la recolección y apilado	●	●	●
10.2. Ubicación de las trincheras de estiércol	-	-	●
10.3. Cálculo de los volúmenes producidos	-	-	●
10.4. Descripción topográfica y edafológica del sitio	-	●	●
10.5. Descripción breve los destinos	-	●	●
10.6. Detalle de usos	-	-	●
11 Manejo de animales muertos			
11.1. Descripción de la eliminación de cadáveres.	-	●	●
11.2. Ubicación del sitio	-	-	●
11.3. Registro de casos y causas	-	●	●
12 Manejo sanitario			
12.1. Descripción de los tratamientos comunes	●	●	●
12.2. Cronograma sanitario	-	●	●
12.3. Listado de drogas a utilizar	●	●	●
12.4. Programa de eliminación de envases	-	-	●

La información identificada con ● debería ser solicitada con carácter de obligatorio para evaluar, aprobar y registrar la instalación del feedlot.

5. Pautas para habilitación y el control público de la gestión ambiental

El control de la gestión ambiental del *feedlot* debería ser de interés de la empresa y del sector público. El sector público debería generar la legislación correspondiente para el control de una buena gestión ambiental. En ese sentido, sin excluir pautas particulares de cada administración, se propone a continuación el siguiente procedimiento:

Utilizar en primer término como guía para la determinación de la factibilidad de la instalación de *feedlots* las pautas sugeridas en el Cuadro 5.1 (pág. 90), teniendo en cuenta principalmente el criterio de reversibilidad u oportunidad de corrección de las condiciones de alta vulnerabilidad que son independientes de la escala (dimensión) del *feedlot*. Seguidamente, se debería tener en cuenta la escala para definir el grado de detalle del control de gestión.

El cuadro 5.1 propone la clasificación en tres categorías (A = *feedlot* con capacidad para engorde simultáneo igual o menos de 1000 animales, B = capacidad entre 1.000 y 5.000, C = más de 5.000). En el cuadro se indica con un punto la información o documentación a proveer por las empresas para cumplimentar pautas mínimas para definir la vulnerabilidad del sitio y su control posterior.

Los *feedlots* tipo A tendrían menos exigencias en cuanto a la información a proveer para su inscripción y posterior monitoreo que los de tipo B o C. Las exigencias para los de tipo A estarían restringidas a su ubicación física y potenciales riesgos de contaminación de recursos hídricos. La información a requerir a las empresas sería del tipo descriptivo de aspectos esenciales que hacen a la vulnerabilidad del sitio. Debido a la magnitud de la escala no sería necesario proveer planos y programas de manejo y monitoreo. Sin embargo, el nivel de exigencias po-

dría verse incrementado si el número de *feedlots* y la cercanía entre ellos incrementan el riesgo de una cuenca, recursos hídricos, región, etc. Provista la información requerida y verificada la ausencia de conflictos entre la normativa y el proyecto, se registraría el *feedlot* y otorgaría una habilitación permanente.

Las exigencias para los de tipo B crecen en = grado de detalle para calificar la vulnerabilidad del sitio, con sus posibles efectos regionales. Surge como demanda explícita el planteo del manejo y uso de efluentes. Adicionalmente, se sugiere que el agente de control proponga un programa de monitoreo de calidad de aguas a realizar con carácter preventivo. Al igual que en el caso anterior, provista la información pertinente y verificada la ausencia de conflictos con la normativa legal se procedería al otorgamiento de una licencia permanente.

Por último, los de tipo C deberían proveer información detallada de ubicación a nivel de predio y región (planos e imágenes satelitales), de diseño de instalaciones y programas para el manejo y el uso de efluentes y estiércol. Para su mejor organización y gestión posterior, sería conveniente que para el otorgamiento del permiso o licencia a este tipo de *feedlot*, la autoridad competente elabore un protocolo a seguir para la instalación y operación de *feedlots* tipo C, que permita a las empresas cumplimentar en el tiempo las pautas para una adecuada gestión ambiental. Dicho protocolo debería incluir los tiempos y formatos para la presentación y posterior aprobación incluyendo los proyectos o programas de:

- a) Ubicación e instalaciones,
- b) Estructura de captura, procesamiento y almacenamiento de líquidos y estiércol,
- c) Información y capacitación del personal,
- d) Programa de monitoreo de aguas subterráneas y escurrimiento,
- d) Programa de uso de efluentes líquidos y estiércol,
- e) Eliminación de animales muertos y residuos peligrosos.

Cada proyecto será un requisito parcial para el otorgamiento definitivo de la licencia de operación. Los cuatro primeros deberían ser la condición principal para el inicio de las actividades y el otorgamiento de una licencia provisoria. Al cabo de dos años la empresa deberá presentar y alcanzar la aprobación de los otros dos para completar su licencia definitiva.

El programa de monitoreo implica la presentación anual de análisis de calidad de aguas en el área del *feedlot* y sectores de almacenamiento de efluentes. Para dicho programa, la administración pública deberá proveer pautas para su diseño y seguimiento. Habiéndose aprobado el sitio y habilitado el diseño, el monitoreo

debería tener un rol preventivo para proponer ajustes o adecuaciones de estructura y no sería de carácter punitivo.

Finalmente, las licencias deberían ser revocables si el agente de control detectara procesos de deterioro ambiental de naturaleza irreversible o anomalías en la gestión que no se condice con los procesos pautados en los programas de uso y monitoreo previstos. La revocación y suspensión de licencias deberá seguir un procedimiento desarrollado por la autoridad competente. La instancia de la revocación definitiva de la licencia debería abordarse cuando se han agotado las instancias de reversión de efectos o daños y la adecuación de las instalaciones o procesos.

Bibliografía

- Ames, D.R., S.E. Curtis, D. Polin, G.L. Hahn, B.A. Young y R.E. McDowell. 1981. Effect of Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals. National Academy Press. Washington, D.C.
- Algeo JW, Elam CJ, Martinez A y Westing T. 1972. Feedlot air, water, and soil analysis: Bulletin D, How to Control Feedlot Pollution. California Cattle Feeders Association, Bakersfield, CA.
- Amosson SH, Sweeten JM y Weinheimer B. 1999. Manure handling characteristics of high plains feedlots. Special Report. Texas Agricultural Extension Service, Amarillo, TX.
- Arrington RM y Pachek CE. 1981. Soil nutrient content of manures in an arid climate. Conference on Confined Animal Production and Water Quality. GPAC Publication 151. Great Plains Agricultural Council, Denver, CO. pp 259—266.
- ASAE (American Society of Agricultural Engineers). 1988. Manure production and characteristics. ASAE D-384-1. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
- Barrington, SF y Jutras PJ. 1983. Soil sealing by manure in various soil types. Paper 83—4571. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
- Butchbaker, AF 1973. Feedlot runoff disposal on grass or crops. L-1053. Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M University DPE-752 I, Great Plains Beef Cattle Feeding Handbook, Amarillo.
- Clark RN. 1975. Seepage beneath feedyard runoff catchments. In: Managing Livestock Wastes, Proceedings of the Third International Symposium on Livestock Wastes. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, pp 289—925.
- Clark RN, Gilbertson CB y Duke HR. 1975a. Quantity and quality of beef feedyard runoff in the Great Plains. In: Managing Livestock Wastes, Proceedings of the third International Symposium on Livestock Wastes. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, pp 429—431.
- Clark RN, Schneider AD, Stewart BA 1975b. Analysis of runoff from southern Great Plains feedlots. Trans ASAE 15(2):319-322.
- Coleman, EA, Grub W, Albin, RC, Meenaghan GF, Wells DM. 1971. Cattle feedlot pollution study—interim report no. 2. WRC-71-2. Water Resources Center, Texas Tech University, Lubbock, TX.
- Dantzman, CL, Richter MF y Martin FG. 1983. Chemical elements in soils under cattle pens. 3 Environ Qual 12(2):164—168.
- Elliott, LF, McCalla TM, Mielke LN, Travis TA. 1972. Ammonium, nitrate and total nitrogen in the soil water of feedlot and field soil profiles. Appl Microbiol 23:810—813.
- Gilbertson, CB, Clark RN, Nye JC y Swanson NP. 1980. Runoff control for livestock feedlots: state of the art. Trans ASAE 23(5):1207—1212.
- Gilbertson, CB, Nienaber JA, IL Gartrung JA, Ellis JR. y Splinter WE. 1979. Runoff control comparisons for commercial beef feedlots. Trans ASAE 22(4):842—849.

- Gilbertson, CB, Nye JC, Clark RN y Swanson NP. 1981 Controlling runoff from feedlots—a state of the art. *Ag Info Bulletin 441*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, DC.
- Jones, OR, Willis WM, Smith SJ y Stewart BA. 1995 Nutrient cycling of cattle feedlot manure and composted manure applied to southern high plains drylands. In: Steele K (ed) *Animal Waste and the Land-Water Interface*. Proceedings of Animal Waste in the Land-Water Interface Conference, Fayetteville, AR, July 16—19. Lewis, Baton Rouge, pp 265—272.
- Lehman, OR y Clark RN. 1975. Effect of cattle feedyard runoff on soil infiltration rates. *J Environ Qual* 4(4):437—439.
- Lehman, OR, Stewart BA y Mathers AC. 1970. Seepage of feedyard runoff water impounded in playas. MP-944. Texas Agricultural Experiment Station, Texas A&I University, College Station, TX.
- Lott, SC, Watts PJ y Burton JR. 1994b. Runoff from Australian cattle feedlots. In: *Balancing Animal Production and the Environment*, Proceedings, Great Plains Animal Waste Conference on Confined Animal Production and Water Quality. GPAC Publication 151. Great Plains Agricultural Council, Denver, CO. pp 47—53.
- Lott, SC, Powell E y Sweeten JM. 1994a. Manure collection, storage and spreading. In: Watts PJ, Tucker R (eds) *Designing Better Feedlots*. Queensland Department of Primary Industries, Toowoomba, Queensland, Australia.
- Loudon, TL, Jones DD, Peterson JB, Backer LF, Bragger MF, Converse JC, Fulhage CD, Lindley JA, Melvin SW, Person HL, Schulte DD y White RK. 1985. *Livestock Waste Facilities Handbook*. MWPS-1 8, 2nd Ed. Midwest Plan Service, Iowa State University, Ames, IA, pp 2.1—2.2; 5.1—5.9.
- Marek, TH, Harman WL y Sweeten JM. 1994. Irrigation and runoff water quality implications of high load, single frequency (HLSF) applications of feedlot manure. In: *Balancing Animal Production and the Environment*, Proceedings, Great Plains Animal Waste Conference on Confined Animal Production and Water Quality. GPAC Publication 151. Great Plains Agricultural Council, Denver, CO. pp 199—214.
- Marek, TM, Harman WL y Sweeten JM. 1995. Infiltration and water quality inferences of high load, single frequency (HLSF) applications of feedlot manure. In: *Proceedings, Innovations and New Horizons in Livestock and Poultry Manure Management*, Vol. 1, September 6—7, 1995, Austin, Texas. Texas Agricultural Extension Service and Texas Agricultural Experiment Station, College Station, TX, pp 162—169.
- Mathers, AC y Stewart BA. 1971. Crop production and soil analysis as affected by application of cattle feedlot waste. In: *Livestock Waste Management*, Proceedings of the Second International Symposium on Livestock Wastes. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, pp 229—231, 234.
- Mathers, AC y Stewart BA. 1981. The effect of feedlot manure on soil physical and chemical properties. In: *Livestock Waste: A Renewable Resource*, Proceedings of the Fourth International Symposium on Livestock Waste, 1980. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, pp 159—162.
- Mathers, AC y Stewart BA. 1984. Manure effects on crop yields and soil properties. *Trans ASAE* 27(4): 1022—1026.

- Mathers AC, Stewart BA y Thomas JD. 1975. Residual and annual rate effects of manure on grain sorghum yields. In: *Managing Livestock Wastes, Proceedings of the Third International Symposium on Livestock Wastes, 1975*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
- Mathers AC, Stewart BA, Thomas JD y Blair BJ. 1973. Effects of cattle feedlot manure on crop yields and soil conditions. Technical Report 11. USDA Southwestern Great Plains Research Center, Bushland, TX.
- Mathers AC, Thomas JD, Stewart BA y Herring JE. 1980. Manure and inorganic fertilizer effects on sorghum and sunflower growth on iron-deficient soil. *Agron J* 72:1025— 1029.
- Mielke LN y Mazurak AP. 1976. Infiltration of water on a cattle feedlot. *Trans ASAE* 19(2):341 —344.
- Mielke LN, Swanson NP y McCalla TM. 1974. Soil profile conditions of cattle feedlots. *J. Environ Qual* 13(1):14—17.
- Miller WD. 1971. Infiltration rates and groundwater quality beneath cattle feedlots, Texas high plains. Final Report 16060 EGS. Water Quality Office, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Nienaber JA, Gilbertson CB, Klopfenstein TJ, Palm SD y McCalla TM. 1974. Animal performance and lot surface conditions as affected by feedlot slope and animal densities. In: *Proceedings, International Livestock Environment Symposium, Lincoln, NE*, pp 130—137.
- NSW Agriculture, 1998. The New South Wales feedlot manual. The Inter-Department Committee on Intensive Animal Industries (Feedlot Section) (2nd ed.): Update 98/1.
- Phillips PA y Culley JLB. 1985. Groundwater nutrient concentrations below small-scale earthen manure storage. In: *Agricultural Waste Utilization and Management, Proceedings of the Fifth International Symposium on Agricultural Wastes*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, pp 672—679.
- Phillips RL. 1981. Maps of runoff volumes from feedlots in the United States. In: *Livestock Waste: A Renewable Resource, Proceedings of the Fourth International Symposium on Livestock Waste*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, pp 274—277.
- Powell EE. 1994. Economic management of feedlot manure. Final Report, Parr. 2. Evan Powell Rural Consultants, Dalby, Queensland, for Meat Research Corporation contract M.087, Sydney, NSW, Australia.
- Powers WL, Herpich RL, Murphy LS, Whitney DA, Manges HL y Wallingford GW. 1973. Guidelines for land disposal of feedlot lagoon water. C-485. Cooperative Extension Service, Kansas State University, Manhattan, KS.
- Schuman GE y McCalla TM. 1975. Chemical characteristics of a feedlot soil profile. *Soil Sci* 119(2):113—118.
- Smith S., Sharpley AN, Stewart BA, Sweeten JM y McDonald T. 1994. Water quality implications of storing feedlot waste in southern Great Plains playas. In: *Balancing Animal Production and the Environment, Proceedings, Great Plains Animal Waste Conference on Confined Animal Production and Water Quality*. GPAC Publication 151. Great Plains Agricultural Council, Denver, CO. pp 267—270.

- Swanson NP, Lorimor JC y Miejke LN. 1973. Broad basin terraces for sloping cattle feedlots. *Trans ASAE* 16(4):746—749.
- Swanson NP, Mielke LN y Ellis JR. 1977. Control of beef feedlot runoff with a waterway. ASAE Paper 77-4580. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
- Sweeten JM. 1988a. Composting manure and sludge. L-2289. Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M University, College Station, TX.
- Sweeten JM. 1988b. Groundwater quality protection for livestock feeding operations. B-1700. Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M University System, College Station, TX (revised 1992).
- Sweeten JM. 1990. Feedlot runoff characteristics for land application In: *Agricultural and Food Processing Wastes, Proceedings of the 6 International Symposium on Agricultural and Food Processing Wastes*, Chicago, IL, pp 168—184.
- Sweeten JM. 1992. Cattle feedlot waste management practices for water and air pollution control. B-1671, Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M University, College Station, TX.
- Sweeten JM y Amosson SB. 1995. Manure quality and economics. In: *Total Quality Manure Management Manual*. Texas Cattle Feeders Association, Amarillo, TX.
- Sweeten JM, Marek TH y McReynolds D. 1995a. Groundwater quality near two cattle feedlots in the Texas high plains. *Appl Eng Agric* 11(6):845
- Sweeten JM y Mathers AC. 1985. Improving soils with livestock manure. *3 Soil Water Conserv* 40(2):206—210.
- Sweeten JM y McDonald RP. 1979. Results of TCFA environmental and energy survey— 1979. Texas Cattle Feeders Association, Amarillo, TX.
- Sweeten JM, Pennington HD, Seale D, Wilson R, Seymour RM, Wyatt AW, Cochran IS y Auvermann BW. 1990. Well water analysis from 26 cattle feedyards in Castro, Deaf Smith, Parmer, and Randall counties, Texas. Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M University System, College Station, TX.
- Sweeten JM, Safley LM y Melvin SW. 1981. Sludge removal from lagoons and holding ponds: case studies. In: *Livestock Waste: A Renewable Resource, Proceedings of the Fourth International Symposium on Livestock Wastes*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, pp 204—210.
- Sweeten JM y Wolfe ML 1994. Manure and Wastewater Management Systems for Open Lot dairy operations. *Trans. ASAE* 37(4):1145—1154.
- Sweeten JM. 1976. Dilution of feedlot runoff. MP-1297. Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M University, College Station, TX.
- Sweeten JM. 1979. Manure management for cattle feedlots. L-1094. Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M University, College Station, TX.
- Sweeten JM. 1984. Utilization of cattle manure for fertilizer. In: Baker FH, Miller ME (eds) *Beef Cattle Science Handbook*, Vol. 20. Westview Press, Boulder, CO. pp 59-74.
- Sweeten JM, Parnell CB, Shaw 8W y Auvermann BW. 1998. Particle size distribution of cattle feedlot dust emissions. *Trans ASAE* 41(5): 1477—1481.
- Sweeten JM, Sokora GL, Seymour RM, Hickey MG, Young SM. 1995. Irrigation of cattle feedlot runoff on winter wheat (extended abstract). In: *Proceedings, Animal Waste and the Land-Water Interface Conference*. University of Ar-

- kansas Water Resources Center, Fayetteville, AR, pp 14—16.
- TNRCC . 1995. Concentrated animal feeding operations. Control of certain activities by rule. Texas Natural Resources Conservation Commission. Tex Reg June 30, 20(50):4727—4742.
- TWC (Texas Water Commission). 1987. Control of certain activities by rule. Chapter 321, Texas Natural Resources Conservation Commission. Tex Reg March 17, 20(50):904—909.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1973 Development document for proposed effluent limitations guidelines and new source performance standards for the feedlots point source category. EPA-440/1-731004. EPA, Washington, DC, pp 59—64.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1993. National pollutant discharge elimination system general permit and reporting requirements for discharges from concentrated animal feeding operations. Fed Reg, February 8, pp 7610—7644.
- Walker J. 1995. Seepage control from waste storage ponds and treatment lagoons. In: Proceedings, Innovations and New Horizons in Livestock and Poultry Manure Management Conference, Vol. 1, September 6—7, 1995, Austin, Texas. Texas Agricultural Extension Service and Texas Agricultural Experiment Station, Texas A&M University System, College Station, TX, pp 70—78.
- Wallingford GW, Murphy LS, Powers WL, Manges HL 1974, Effect of beef feedlot lagoon water on soil chemical properties—growth and composition of corn forage. J Environ Qual 3(1):74—78.