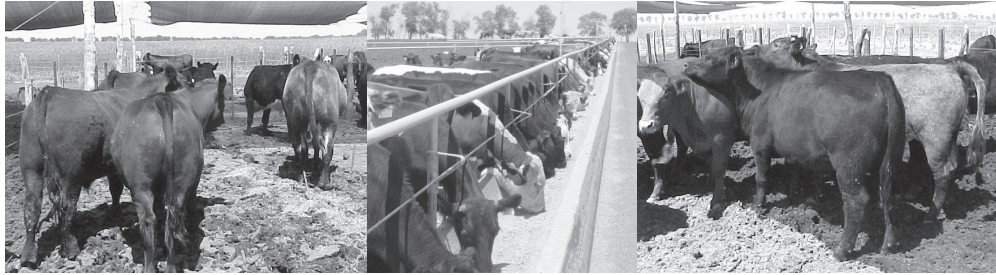


# *Feedlot*

**Alimentación, diseño y manejo**



**Aníbal J. Pordomingo**

EEA “Guillermo Covas” INTA Anguil  
Facultad de Ciencias Veterinarias  
UNLPam  
2013

### 3. Diseño

---

La gestión del feedlot afecta a la producción, a las personas y al ambiente. Las experiencias de encierres prolongados indican que si un planteo de alimentación en confinamiento en Argentina supera los 300 animales, el diseño de los corrales y de todo el movimiento alrededor, tanto del alimento como de los efluentes es conveniente que sea pensado previamente, planificado y diseñado. En particular, imaginar el escenario y las soluciones ante inclemencias climáticas persistentes como lluvias y vientos.

#### El sitio y los corrales

La ubicación del sitio y el posterior diseño de las instalaciones requieren de varias definiciones previas que en primer lugar involucran a la escala (cantidad de animales) y en segundo lugar a la hidrología de lugar y sus eventuales externalidades (efectos posibles sobre el agua, el aire y aspectos sociales o culturales; ej. proximidad a centros urbanos, paisajes, etc.). El sitio debe permitir la ubicación del sistema de contención y tratamiento de efluentes. Se debe contar con espacios para la construcción de los canales colectores y las lagunas de decantación, evaporación y almacenamiento de efluentes, y de sectores para el apilado del estiércol. Sería conveniente que el sitio ofrezca una superficie adicional para utilizar los efluentes líquidos recolectados en riego (por gravedad o por bombeo). El área para riego deberá contar con un tamaño mínimo de acuerdo a la escala del feedlot y las condiciones ambientales y edáficas. Entre los aspectos centrales a tener en cuenta para la ubicación y diseño de las instalaciones se deben considerar: a) el régimen hídrico, la profundidad a la primera napa, la tectura del suelo y la topografía de la región, b) proximidad a recursos hídricos superficiales y áreas sensibles, y c) incidencia de los vientos.

#### Régimen hídrico, suelos y topografía

Son preferibles 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 líquidos efluentes del área del feedlot. La estructura de manejo de efluentes resulta más simple que en regiones con precipitaciones mayores, pudiendo plantearse sistemas aeróbicos solamente. Por encima de los 1200 mm anuales, el manejo de efluentes se torna complejo y poco factible. En las regiones con precipitaciones intermedias (entre 800 y 1200 mm) la instalación es más factible, pero debería tenerse en cuenta la magnitud de las mismas en años húmedos y dimensionar el sistema.

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 flujo de líquidos. Un sitio con probabilidad de anegarse cada 20 años o menos no sería recomendable.

La profundidad mínima de la freática es un componente discriminante a nivel de sitio. La tecnología de acondicionamiento de suelos y la manipulación de la escala (concentraciones bajas de animales) permite reducir la tasa de infiltración y lixiviación de nutrientes pero en corrales con piso de tierra, conveniente descartar sitios con profundidades inferiores a 1 m a la primera capa de agua, dado los riesgos de contaminación a los que se expone al lugar. En suelos poco profundos, sin un horizonte petrocálcico u otro impedimento a la infiltración es imposible en la práctica controlar y evitar el enriquecimiento de la napa con nitrógeno (en sus diversas formas) y azufre.

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 o inundables debería ser desestimada por el riesgo de la acumulación de efluentes, el anegamiento y la contaminación de napas.

### **Proximidad a recursos hídricos superficiales y otras áreas sensibles**

El escurrimiento superficial puede contaminar cuencas hídricas. Se sugieren distancias de al menos 1 km, 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. 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 en feedlots de hasta 5000 animales y los 5 km para los de mayor capacidad.

Se sugieren distancias superiores a los 8 km para evitar conflictos con centros urbanos, áreas recreativas o rutas de alto tránsito debido a olores y polvos. 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.

La distancia a vías de alto tránsito está asociada a la seguridad pública y al concepto de paisaje. Los movimientos de animales y camiones próximos a una ruta incrementan los riesgos de accidentes por imprevistos o distracciones. La implantación de cortinas forestales se sugiere frecuentemente para reducir la vista de corrales muy expuestos sobre rutas, pero la mejor opción es la instalación del feedlot a una distancia prudencial de las rutas asfaltadas, sugerida de al menos de 3 km. Distancias menores deberían contemplar estrategias para mejorar la imagen y la seguridad ante los movimientos e imprevistos (escape de animales, accidentes de camiones, distracciones).

### **Incidencia de vientos**

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 campo. 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.

En feedlots instalados en climas secos, el movimiento permanente de los animales remueve suelo en sectores de poca compactación, El movimiento de polvo pueden ser una molestia intolerable y hasta poner en riesgo la salud de personas y animales. Para reducirlo es conveniente limpiar los corrales. El riego por aspersión de corrales es también eficiente e incluso para ayudar a bajar la temperatura corporal de los animales en días de mucho calor.

Los bovinos son más eficientes para producir carne o leche en climas templados y secos que en climas cálidos y húmedos (Church, 1988). Están más preparados para adaptarse al frío que al calor. Por ello, de tener elección, en el mundo la instalación de feedlots de gran escala ocurre en climas templados a templado fríos y semiáridos o áridos. Además, de ser posible, el grueso del engorde debería ocurrir durante los meses de otoño, invierno y primavera,

tratando de reducir el tamaño de los encierres en verano. En regiones subtropicales y tropicales también se realizan engordes a corral pero la adecuación a las condiciones ambientales exige de mayores costos e impone menor eficiencia económica.

Los sistemas e instalaciones son diversos. En lugares con poco espacio y proximidad a áreas pobladas o de alta fragilidad ambiental, los corrales se diseñan dentro de galpones, con pisos de cemento acanalados y recolección de líquidos subsuperficial con lavado diario, y con recolección en piletas para su tratamiento y digestión. Estos planteos asignan entre 3 y 4 m<sup>2</sup> por animal y requieren de cama de paja, cuya remoción es semanal. El costo y características de esos sistemas los hace poco competitivos en Argentina. Como alternativa, los diseños utilizados son de menor infraestructura y se basan en pisos de tierra compactada y mayor superficie por animal, localizados generalmente en ambientes más secos. Los sistemas con corrales de piso de tierra han proliferado en los principales países productores de carne (EEUU, Canadá, Brasil y Australia). Este es el tipo de estructura de feedlot en la que se centra esta publicación.

En la elección del sitio en el predio sería conveniente considerar primero las posibilidades de captura de efluentes, drenaje y la colección de efluentes hacia lagunas de decantación y de almacenamiento de efluentes, particularmente en regiones de buena precipitación, o en uso inmediato en riego de superficies que operan de "filtros verdes", diseñadas para evapotranspirar el agua y absorber en biomasa la mayor cantidad de nutrientes (contaminantes) posible. Luego se procede al diseño espacial de los corrales.

### **Las pendientes y el piso**

Sería conveniente que en el sector elegido el piso sea de buena compactación o compactable por los animales, en un lugar elevado, con buen drenaje. La pendiente general debería no superar el 4 % en el sentido opuesto a la ubicación del comedero y no ser menor del 2% para que el agua de lluvia y excrementos líquidos tenga una salida rápida del corral. Ello evitará el encharcamiento y el 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, alomado en dormideros, para dirigir el escurrimiento y ofrecer sectores altos a los animales. Pendientes superiores al 4% pueden exponer al escurrimiento descontrolado y a la erosión hídrica ante precipitaciones intensas (Nienaber et al., 1974).

El suelo debería ser el más firme posible para que los efluentes líquidos movilizados por la lluvia no infiltren o infiltren poco. 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 de prepucio por estar en contacto con ese medio húmedo y sucio permanentemente. El anegamiento afecta además al consumo y a la eficiencia de conversión. Los animales comen menos y convierten ineficientemente debido a la dificultad y gasto energético para moverse en un medio anegado. En segundo lugar, la infiltración genera lixiviación de contaminantes, transporta elementos excretados en las heces y orina, como el nitrógeno, el azufre, el magnesio, el sodio y en potasio, y se corre el riesgo de contaminar las aguas subterráneas. Es mejor controlar y poder dirigir los efluentes a sitios de evaporación y definir su uso posterior.

Tampoco serían indicadas 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, problemas de articulaciones de las patas y limitaciones al movimiento. Ese tipo de superficies demandará la inclusión de camas de fibra (henos y pajas) con el consecuente problema de la remoción de ese material.

Se recomienda que los corrales, donde los animales pasan todo su tiempo y son alimentados, tengan un espacio mínimo de 15 a 20 m<sup>2</sup> por animal para que el confinamiento no

los incomedos. Superficies mayores no generarían inconvenientes (hasta 40 m<sup>2</sup>), sin embargo corrales muy grandes exponen a un mayor movimiento y también al desperdicio de superficies. Los corrales de encierre permanente deberían planearse para tamaños de lotes no mayores de 250 animales livianos (novillitos o vaquillonas) y no más de 200 novillos grandes en terminación. Cantidades mayores exponen a problemas de comportamiento grupal, se complica la homogeneidad del consumo y el manejo o extracción selectiva de animales.

Es muy importante armar lotes parejos. De poder planearse la forma, se sugiere que los corrales sean de 60 m de frente por 50 o 60 m de fondo. 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 la pendientes siempre que se respete el espacio mínimo necesario de comedero por animal.

### **Los comederos**

Los 60 m de frente de cada corral permiten ubicar el comedero en ese frente, contando con 30 cm de espacio de comedero por animal para un número de 200 a 250 animales. Ese frente mínimo permite que entre el 65 al 75% de los animales tengan acceso simultáneo a los comederos. 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 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 del 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.).

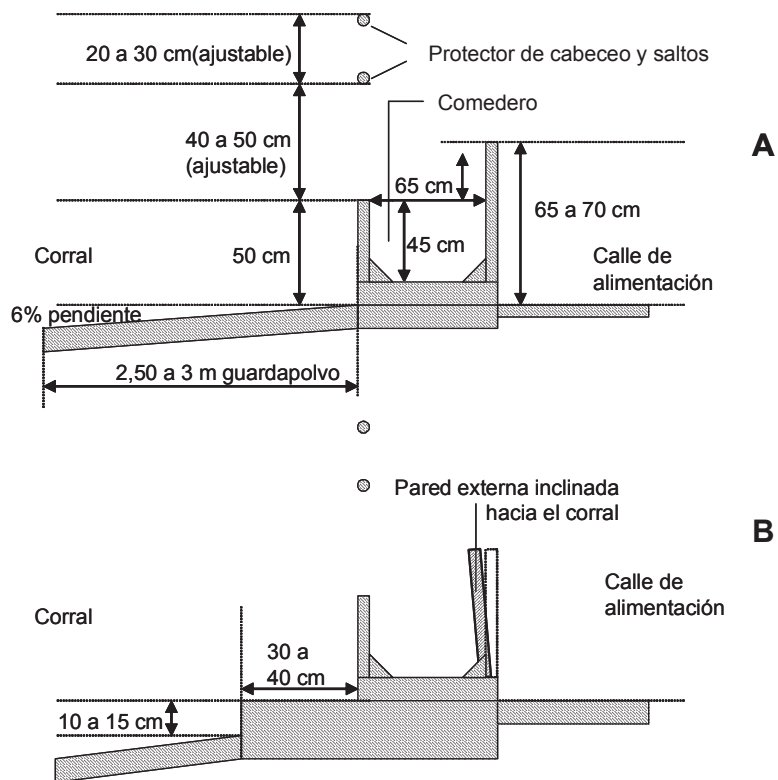
Los comederos deberían coincidir con el sector más alto del corral o al menos en un área donde no se corre riesgos de acumulación de agua y formación de barro. En los casos en los que se levanta el centro de los corrales con lomas de tierra para aumentar el área seca en los corrales, debería asegurarse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

Aunque la forma y material de los comederos varía 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 alimentarse sin esfuerzo. Para ello es conveniente que el interior del comedero sea lo más liso posible, de caras internas redondeadas, sin ángulos que dificultan la recolección del alimento por el animal o la limpieza rápida. En su exterior es deseable que sea de caras o lados rectos. Ello facilita la limpieza hasta el suelo por los costados, evitando la acumulación de alimento y excrementos debajo del comedero o adherido a sus lados por dificultad de limpieza. Ésto 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 con mampostería si se estima que quedará muy profundo. 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.

En corrales permanentes, el levantado del piso, enriquecido con cemento, arcillas o entoscado, es necesario para soportar la acción de los animales. Si se construye una vereda de

cemento, ésta debería permanecer limpia, por lo que se sugiere tenga una pendiente del 10% y un espesor de 12 a 15 cm si se fabrica de cemento. Adicionalmente, 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 en paralelo al comedero por tiempos largos, evitando el acceso de otros al comedero, como también a retroceder y apoyarse, rascarse, golpear o defecar sobre los comederos. Es recomendable 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 de comedero. Ese sector será un área de alta presión animal y mucho movimiento de éstos acercándose y alejándose del comedero. En suelos arenosos, ese sector se erosiona rápidamente y se anega luego de una lluvia si previamente no ha sido levantado y preparado para soportar el tránsito animal.

El área de la calle en contacto con la cara externa del comedero debería permanecer limpia. Para ello la calle debe 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 fácilmente 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 su consumo. 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 las partes móviles de los implementos de limpieza con la pared.



Corte transversal para el diseño de comederos con pared externa vertical (A) o inclinada hacia adentro y con vereda desnivel (B). (Adaptado de 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 o que salten por encima. No existen diseños fijos de protectores, lo modernos se hacen de una sola línea de caño o dos de hierro dispuesta 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 en 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 el alimento 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 mate-

rial y forma variables, confeccionados muy simples con un solo caño, vigas de madera, alambre, cable de acero o hierro.

### **Los 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 y 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 en un corral para 200 animales.

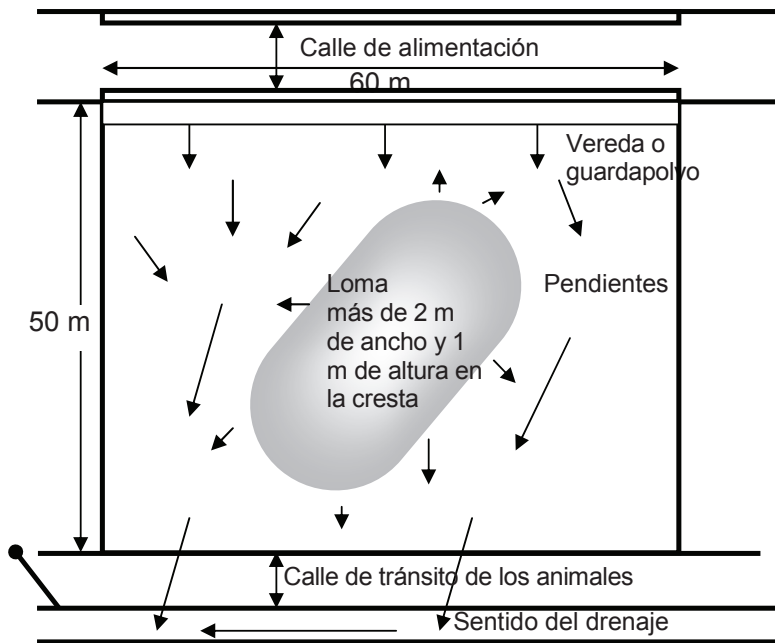
El diseño de la provisión de agua deberá tener capacidad para ofrecer con seguridad al menos 70 litros por animal y por día en verano y la mitad de ese volumen en invierno, para animales grandes (vacas o novillos en terminación). Frecuentemente se utiliza como referencia el valor de 7 litros por cada 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.

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 abrevar con mucho alimento en la boca y ensucien el agua. 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, roturas de cercos y también de contagios. Sería conveniente sea provea de un guardapolvo o vereda de cemento o suelo compactado, preparado para soportar la acción de las patas de los animales, cubriendo un área de hasta 2 m desde el bebedero.

### **Lomas o dormideros 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.

Se sugiere que las lomas tengan un ancho de al menos 2 m, y una altura de 1 m en la cresta o parte superior. 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 pudieran reducir el área útil del corral o sean de riesgo para los animales. Debería también contemplarse la exposición para servir de reparo de los vientos predominantes.



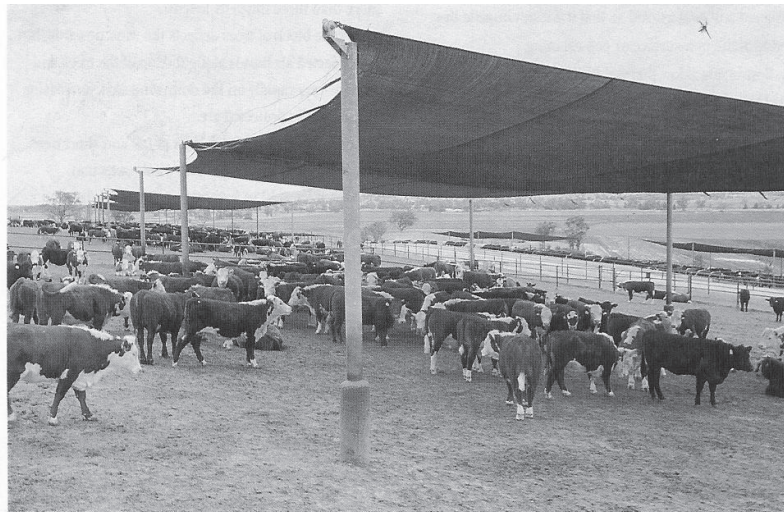
### Sombra

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 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 disposición 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 ex-

tendidas 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 m<sup>2</sup> por animal, aunque ello depende de numerosos factores, principalmente del tipo y rigurosidad del calor y de la categoría animal.

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, 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.



### Otras protecciones

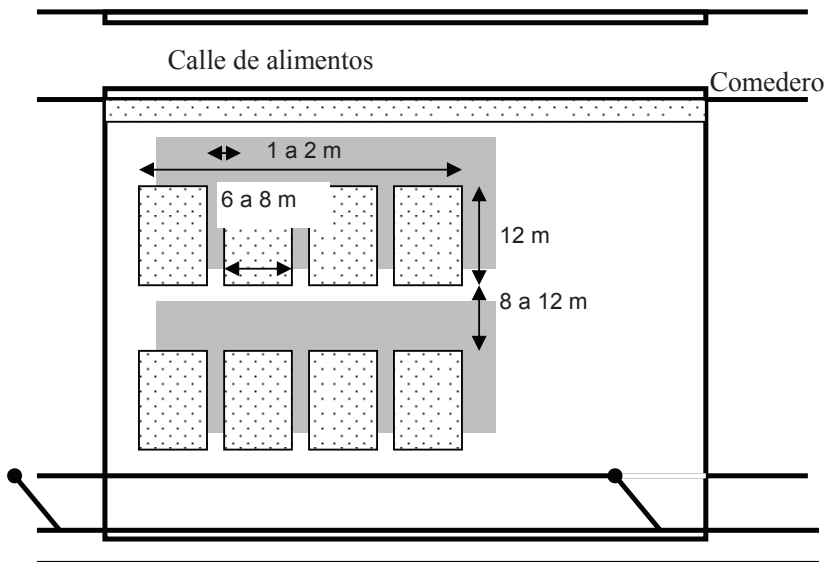
Forestaciones en cercos próximos a los corrales proveen también barreras, reduciendo la incidencia del viento en climas fríos y lluviosos o muy ventosos e incluso proveyendo sombra. Sin embargo, debe tenerse en cuenta la ubicación y las características de la masa arbórea. Los árboles de hoja permanente 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, suroeste y oeste pueden protegerse con árboles del tipo 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 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 multi-específicas e incluso con arbustos permiten incrementar la efectividad rompe-vientos de la barrera.

Adicionalmente, los bosques o plantaciones pueden proponerse para incrementar la evapotranspiración de aguas y reducción del nivel de freática a través de la evapo-transpiración 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 toda el área por su efecto enriquecedor del paisaje.



Tamaños sugeridos y ubicación de sombras artificiales

### Calles de alimentación

La ubicación de las calles alimentación depende de la distribución de los corrales. Por estas calles transita el alimento, 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 de 5 a 6 m.

### 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 deberían ubicar sobre el lado opuesto a los comederos. Son más sucias debido al tránsito frecuente de los animales y sus excrementos. Se localizan 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 drenaje de los corrales en tránsito hacia una laguna de decantación o sectores de anegamiento. Deberían también ser abovedadas para que permanezcan secas y sequen rápido luego de una lluvia. 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 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 a 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.

### **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 puede utilizar estos corrales para imponer una “cuarentena” a los animales mientras se los acostumbra allí a la dieta de alto contenido de grano.

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 (ej. 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 al predio. Para animales enfermos se construyen los corrales de enfermería u hospital.

### **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.

Se debería disponer de 3 a 5 m<sup>2</sup> por animal y una pendiente de 2 al 5%. Deben ser de piso firme y seco cuyos lavados o efluentes no acceda 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.

### **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 2). 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 2). 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 a pautas que permitan maximizar la retención de nutrientes y elementos con potencial contaminante en la masa de estiércol y, minimizar la movilización no controlada, y prepararlo para su traslado fuera de los corrales y el uso posterior.

### **Manejo de 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).

### **Área de captura y drenajes**

Se entiende por área de escurrimiento de efluentes a la superficie de todo el feedlot que recibe o captura líquidos, lo 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 lo que sus escurrimientos deben ser conducidos por vía independiente hacia las lagunas de decantación y almacenamiento.

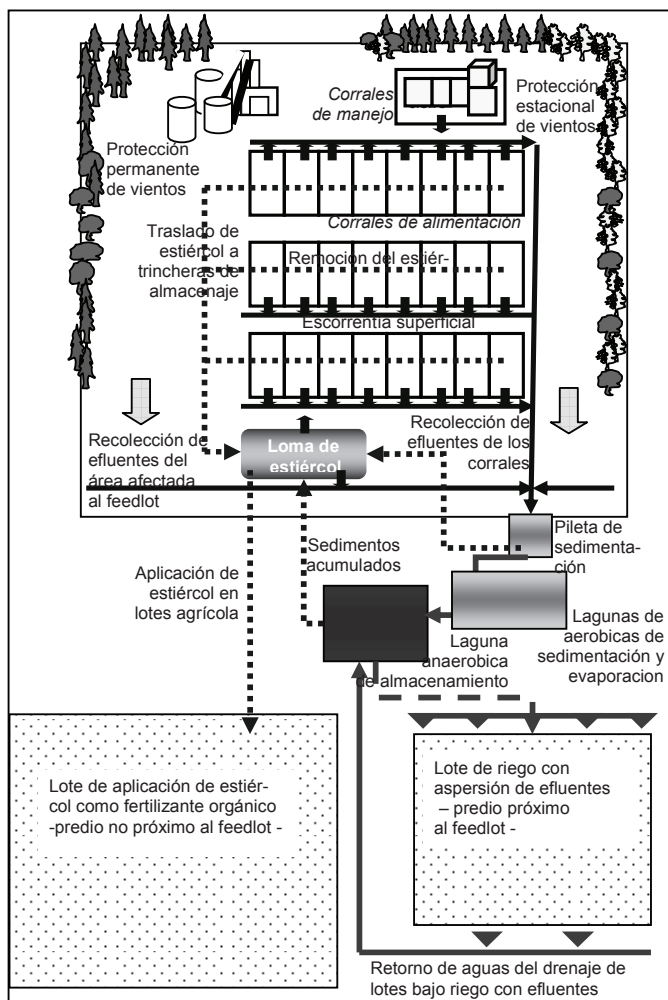


Figura 2. Esquema de una estructura de manejo de efluentes líquidos (circuito azul) y de estiércol (circuito marrón) en el diseño de un feedlot

Adicionalmente, debe tenerse en cuenta cualquier posible ingreso de escurrimientos externos al área del feedlot, pendientes arriba, que pudiera incrementar la cantidad de agua a drenar. Ante la posibilidad de ganancia de efluentes es necesario desviar esa carga antes de que ingrese al 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

El sistema de drenajes debería ser concebido para: i) evitar el ingreso de escurrimientos superficiales al 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 o sectores de decantación y sistemas 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.

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 interfase suelo y 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 alambrados o costados 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 a la necesidad) debajo de los laterales para evitar ese efecto.

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. Estos finalmente confluyen en uno central que desemboca en el sistema de sedimentación, previo al ingreso al sistema de almacenamiento.

Los canales primarios en los que recogen el escurrimiento, pueden ser de tierra compactada o de cemento. Los segundos son más seguros y eficientes, toleran velocidades mayores de tránsito del agua y derían ser auto-limpiantes (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. La vegetación des-acelera el tránsito de los líquidos, acumula materia orgánica, y provoca estancamiento del agua. La limpieza de estos canales vegetados puede muy agresiva sobre las paredes y las erosiona.

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 el 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).

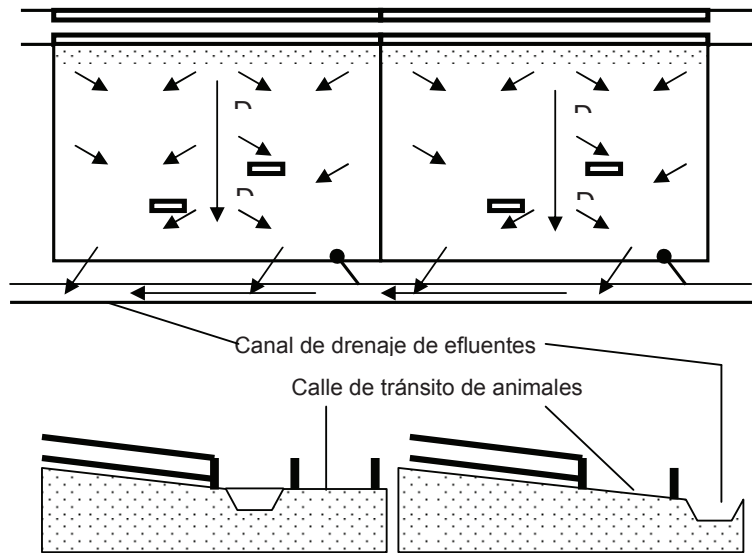


Diagrama del diseño del flujo de efluentes en escurrimiento superficial (NSW Agriculture, 1998).

### Sistema de sedimentación

Estos sistemas están diseñados para detener el escurrimiento y permitir la decantación de materiales sólidos antes de ingresar el líquido a las lagunas de evaporación y almacenamiento. Su función es reducir la acumulación de sedimentos y evitar el colmatado de las lagunas de 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 (NSW Agriculture, 1998; Swanson et al., 1973; Lott et al., 1994a).

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 la laguna o pileta de almacenamiento con mucha frecuencia (Sweeten, 1988b; Lott, 1994a,b). Este último sistema, es implementado fácilmente, sirve para reducir la velocidad de movimiento del escurrimiento y decantar lo más pesado o detener las partículas livianas y grandes.

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 y limpiarlo, aún con humedad. En los sistemas de buena elaboración se sugiere la incorporación de una lámina de 30 cm de arcilla mezclada con suelo y compactada para impedir la infiltración y la posible contaminación de la freática. En recomendaciones de experiencias internacionales 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) que impide la infiltración masiva.

Además de la descarga normal entre las lagunas de sedimentación, de evaporación y de almacenamiento, debería planearse un vertedero de desborde para que en caso de que las lagunas se llenen 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 a 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 siste-

mas de sedimentación deberían ser diseñados para contener el máximo flujo de 24 horas una tormenta de la mayor intensidad en 20 a 25 años (TNRCC, 1995).

De toda el agua que ingresa por lluvia al 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 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 0,50 para los segundos. Relevamientos en feedlots de EEUU (Gilberson et al., 1980, 1981; Clark et al., 1975a) y de Australia (Lott, 194b) ha determinado alta variabilidad en la cantidad de escurrimiento en relación a 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. (1994a,b) determinaron que se requieren de 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):

$$V = Q_p (l/w)\lambda/v$$

Donde:

V = Volumen de efluentes contener en el sistema de sedimentación (m<sup>3</sup>)

Q<sub>p</sub> = Tasa de ingreso (m<sup>3</sup>/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

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 mas de 3 semanas de acumulados los líquidos en estas lagunas luego de una lluvia y menos de 1 semana si se dispone de sistemas de evaporación antes de ingresar a la laguna de almacenamiento (NSW Agriculture, 1998). El flujo de los líquidos hacia las otras lagunas debería ser controlable no solo por desborde sino por medio de una compuerta regulable para evitar acumular el sobrenadante por tiempos 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 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. La disponibilidad de varias (4 a 6) permite por un lado desviar el flujo de alguna 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 a 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.

Se plantea a continuación, a manera de ejemplo, el cálculo de una laguna de sedimentación para un feedlot con capacidad para 5000 animales (según metodología sugerida por Lott y Skerman, 1995; citado por The NSW Inter.-Departamental Committee of intensive animal industries. 1997).

Datos del feedlot:

Capacidad = 5000 animales  
 Área de captura en el feedlot (Area) = 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) =  $42 \text{ mm} / (54 \text{ mm/hora}) * 60 \text{ min/hora} = 47 \text{ minutos} = 2820 \text{ segundos}$ .

Cálculos:

$Q_p = \text{Area (m}^2) \text{ Ppt (m) CE} / \text{Tca} =$   
 $Q_p = 120000 \text{ m}^2 \cdot 0,042 \text{ m} \cdot 0,8 / 2820 \text{ s} = 1,43 \text{ m}^3/\text{s}$   
 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:

$$V = Q_p (l/w) \lambda / v = 1,43 * 3 * 6 / 0,005 = 5148 \text{ m}^3$$

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 maya 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 enlagnado. Se debe evitar que los canales se conviertan en lagunas de almacenamiento.

to. 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).

### **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 relaciones 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,
- 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 agua entre ingresos por escorrentía y salidas por riego y evaporación en un año del percentil 90% más húmedo. Los rebales deberían ser infrecuentes. El tamaño en volumen variará entre 10 y 20 veces el tamaño del de las de sedimentación, variación particularmente debida a la precipitación anual esperable, las pérdidas por infiltración y por evaporación, y los usos del agua acumulada (Sweeten et al., 1990).

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 al sistema de sedimentación fluyen hacia la laguna de almacenamiento. Esta pérdida depende de la tasa de acumulación y de la 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 (EEUU) sobre feedlots con infiltración controlada, indican movimientos de 10 a 40 mm de suelo por la superficie total del feedlot cada año (Sweeten et al., 2000). En EEUU 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 (Gilbertson et al, 1979).

Las lagunas de tratamientos de efluentes y de almacenamiento tienden al auto-sellado 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, 1975a; Lehman et al., 1970) 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 EEUU. Por su parte, Miller (1971) detecto 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. (1990, 1995a) 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 biodegradables y 30 a 50% suelo (Sweeten y Amosson, 1995). 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 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 , 1990).

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 una barro acuoso para poder remover el material (equipos de succión), en otros los equipos (palas o barredores mecánicos) son mas 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 vera reflejada en la tasa de acumulación de los mismos en esta laguna.

El material semisólido colectado puede 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 sedimentación y evaporación o de almacenamiento en aeróbico, la degradación oxidativa en los primeros centímetros desde la superficie de la masa líquida y en profundidad predominan las fermentaciones.

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, 1990). El vaciado y limpieza frecuente de las lagunas de almacenamiento reduce las emisiones fermentativas, de olores desagradables.

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 años.
  - 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 a 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 a 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 en máximo escurrimiento durante 6 meses, para drenar el exceso hacia las lagunas anaeróbicas. Con el transcurso del tiempo, el líquido acumulado pierde cali-

dad como fertilizante y se incrementa el desarrollo de agentes indeseables. El uso, luego de 6 meses de acumulación sería recomendable.

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 1200 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 corresponderían a tres ambientes diferentes, respectivamente (Cuadro 85).

Cuadro 85. 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 1200 animales y una superficie de captura de efluentes de 2 hectáreas.

	Región		
	húmeda	sub-húmeda	seca
Precipitación, mm	1000	800	600
Evaporación anual, mm	1300	1300	1500
Evaporación neta, mm	300	500	900
Superficie del feedlot, m <sup>2</sup>	20000	20000	20000
Coefficiente escorrentía	0.7	0.7	0.7
Efluente generado, m <sup>3</sup>	14000	11200	8400
Almacenamiento aeróbico			
Numero de lagunas	2	2	2
Ancho, m	50	50	40
Largo, m	70	60	60
Superficie., m <sup>2</sup>	3500	3000	2400
Profundidad, m	1	1	1
Captación efluente, m <sup>3</sup> /laguna	3500	3000	2400
Capacidad del sistema, m <sup>3</sup>	7000	6000	4800
Capacidad anual, m <sup>3</sup>	14000	12000	9600
Permanencia, meses	6	6	6
Evaporación/laguna, m <sup>3</sup>	525	750	1080
Evaporación, m <sup>3</sup>	2100	3000	4320
Efluente que egresa, m <sup>3</sup>	11900	8200	4080
Almacenamiento anaeróbico			
Número de lagunas	2	2	1
Ancho, m	40	40	40
Largo, m	50	50	40
Superficie, m <sup>2</sup>	2000	2000	1600
Profundidad, m	3	2	2
Captación efluentes, m <sup>3</sup> /laguna	6000	4000	3200
Captación del sistema, m <sup>3</sup>	12000	8000	3200
Evaporación/laguna, m <sup>3</sup>	600	1000	1440
Evaporación, m <sup>3</sup>	1200	2000	2880
Efluente retenido, m <sup>3</sup>	10700	6200	2640
m <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup>	8.9	5.2	2.2

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 1200 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 = 1000 mm.
- Evaporación anual estimada para el año citado = 1300 mm.
- Volumen anual de escurrimiento esperable a la salida de la pileta de sedimentación =  $20000 \text{ m}^2 \times 1 \text{ m precipitación} \times 0,7 \text{ CE} = 14000 \text{ m}^3$ .
- 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 =  $7000 \text{ m}^3$   
Superficie de lagunas aeróbicas =  $7000 \text{ m}^3 / 1 \text{ m profundidad} = 7000 \text{ m}^2$ .  
Superficie por laguna =  $7000 \text{ m}^2 / 2 = 3500 \text{ m}^2$  o ( 50 m x 70 m).
- Volumen egresado anualmente de las lagunas aeróbicas =  $14000 \text{ m}^3 - (1300 \text{ mm egreso por evaporación} - 1000 \text{ mm ingreso por precipitaciones}) / 1000 \text{ mm/m} \times 7000 \text{ m}^2 = 2100 \text{ m}^3$ .

3. Cálculo del sistema anaeróbico

- Volumen de efluentes ingresando =  $14000 \text{ m}^3 - 2100 \text{ m}^3 = 11900 \text{ m}^3$ .
- Se propone la construcción de 2 lagunas por lo que cada una de ellas deberá contener =  $5950 \text{ m}^3$  (aproximadamente =  $6000 \text{ m}^3$ ).
- Las lagunas serán de 3 m de profundidad de efluente por lo que la superficie mínima de cada una de ellas sería =  $6000 \text{ m}^3 / 3 = 2000 \text{ m}^2$  (40 m x 50 m).
- Descontada la evaporación que tendrá lugar durante el año, estas lagunas podrían ser diseñadas para contener  $5350 \text{ m}^3$  o de una superficie de  $1785 \text{ m}^2$  (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  $10700 \text{ m}^3$  ( $14000 \text{ m}^3$  ingresados menos  $3300 \text{ m}^3$  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 85 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 serían suficientes.

### Sistema de evaporación (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 continua hasta luego de apli-

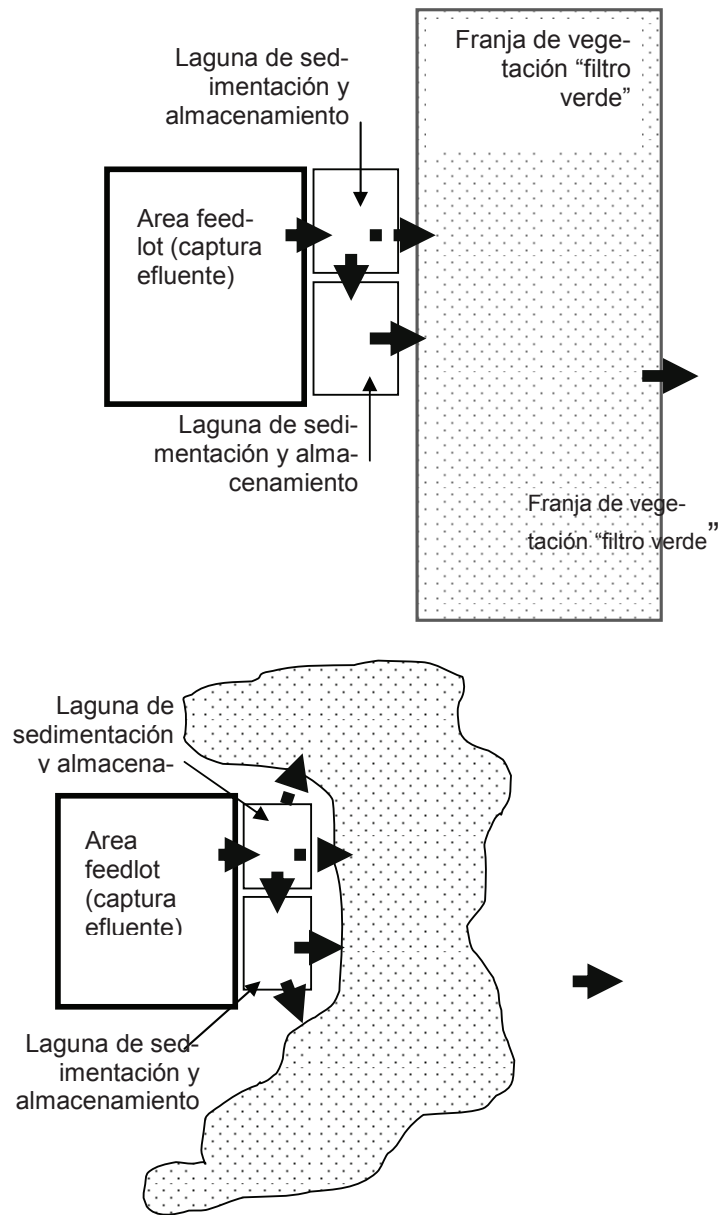
cado el efluente en el riego por aspersión. En los canales y lagunas de sedimentación constituyen una buena superficie de evaporación. En las lagunas de almacenamiento) ocurre una evaporación importante. Sin embargo, en climas húmedos y feedlots grandes puede ser necesario incorporar un sistema de evaporación adicional. Este tendrá como principio una amplia superficie de exposición de los líquidos a la energía solar (Sweeten, 1990). 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 evaporación se incorporan en la salida del sistema de sedimentación, previo al ingreso a las lagunas de almacenamiento. Clásicamente, se trata de una laguna muy poco profunda (0,50 m o menos de profundidad de efluente) que permita exponer a la evaporación la cantidad de efluentes generados 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 0,5 m 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, 1998).

### **Sistemas alternativos para el manejo de efluentes**

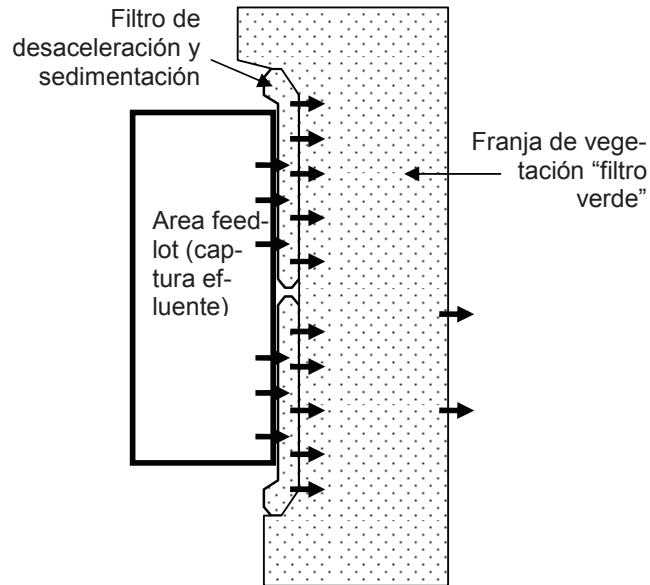
La utilización de franjas de vegetación que operen de filtro verde de los efluentes se han difundido como una alternativa de menor costo, comparada con el almacenaje y bombeo y riego por aspersión o traslado en tanques regadores a predios agrícolas. En estos sistemas, se construyen lagunas de sedimentación y almacenamiento para corto tiempo y volúmenes limitados, las cuales drenan por desborde de vertedero regulable a sectores cultivados con especies vegetales de alta tasa de crecimiento y captura de nutrientes. Ese sector debería ser sistematizado para que se piegue por inundación. Se puede diseñar un sector de cultivos anuales de invierno y de verano sobre la misma superficie para continuar con una forestación de rápido crecimiento. El agua que continúa por pendiente hacia sectores más bajos, luego de pasar por estos filtros llega con menos del 10% de los sólidos totales con los que ingresara al filtro y el 1 % del nitrógeno y el fósforo iniciales (Ikenberry y Mankin, 2000; Fajardo et al. 2001; Woerner y Lorimor, 2002). Ikenberry y Markin (2000) observaron una remoción total de nitrógeno, fósforo y el 85% del amonio.

En un compilado de 10 estudios sobre área de filtro verde respecto de área de escurrimiento se concluyó que con una relación de 5 a 7 ha de filtro por cada 1 ha de área de captura se logró remover la casi totalidad del nitrógeno y del fósforo disuelto en el efluente en ambientes de 700 a 1000 mm de precipitación anual. Con un filtro verde de 100 m de ancho alrededor del feedlot de 500 animales se removió la casi totalidad del nitrógeno y del amonio en una experiencia de Dickey y Vanderholm (1981). Las formas de los filtros pueden ser diversas y no respetar figuras geométricas, sino adaptarse a la topografía y altimetría del área.

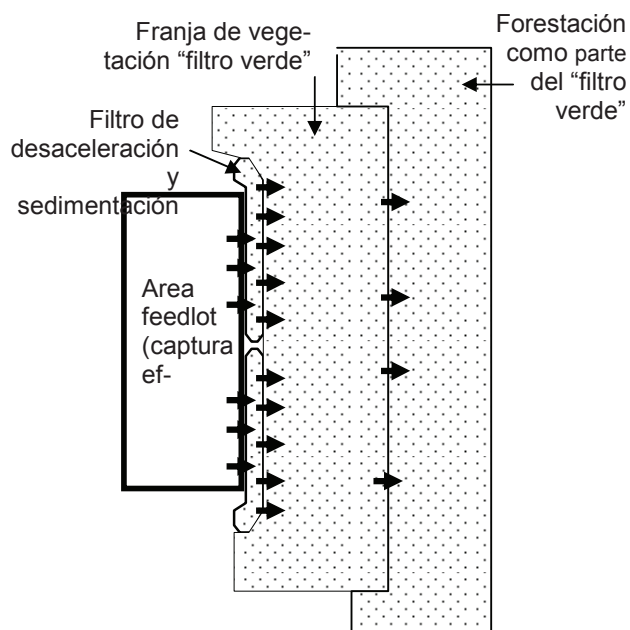


Por las dificultades de algunos emprendimientos de engorde a corral para rediseñar las instalaciones y adecuarlas a marcos normativos de baja contaminación, especialmente en suelos de muy alta infiltración (muy arenosos), se sugiere analizar diseños no tradicionales, que en regiones de precipitaciones moderadas pueden mitigar los efectos indeseables del escurrimiento de efluentes y su concentración en lugares bajos. En los esquemas que se visualizan arriba se describen diseños de recolección y disposición de efluentes que incluyen un sector de filtro de vegetación verde (doble cultivo anual), el que recoge del área de captura de efluentes con lagunas o sectores rugosos sistematizados para la desaceleración del efluente (filtro de vegetación de cobertura o sector de enlagueado compactado), el que desborda por pendiente.

El filtro verde, para funcionar como tal, debería sembrarse con cultivos alta extracción de nutrientes y capacidad de evapotranspiración. La biomasa debería ser removida mediante ensilado o arrollado, sin exponer al pastoreo directo para evitar el reciclado de nutrientes al mismo sitio. En algunas experiencias se ha previsto el riego complementario con fuentes de agua adicionales para promover el lavado eventual de sales e incluso la dilución previa del efluente acumulado en los primeros metros del frente del filtro.



La estructura de filtro verde podría acompañarse de una forestación en su área o círculo exterior que demande del agua excedente y termine la extracción de nutrientes en mayor profundidad que la explorable por los cultivos anuales. Estos sistemas no han sido explorados en su eficacia para remover nutrientes potencialmente contaminantes en Argentina, pero por sus características y el contexto y ubicación geográfica de muchos de los planteos de engorde a corral podrían ser los apropiados para establecimientos con pendientes moderadas, suelos arenosos y posibilidades agrícolas, en transición hacia sistemas de mayor estructura o de mayor escala.



## Manejo del estiércol

Dependiendo de la digestibilidad de la dieta, un feedlot de 5000 cabezas puede producir entre 6000 y 9000 toneladas de estiércol anualmente. Un novillo de 450 kg 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 reducción 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.

### 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).

1. 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, %)

2. 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).

### Ejemplo:

Si se asumen las relaciones presentadas abajo como valores medios aceptables, puede concluirse que un feedlot con capacidad para 1000 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 construidos 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 sub-húmedos 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).

### **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 es el contiguo a los bebederos. Se le suma aportes de agua por orina. Es un sector donde los animales frecuentemente orinan. También se aportan agua los rebalses por desperfectos o salpicado desde los mismos bebederos que los animales producen. Las limpiezas frecuentes reducen las acumulaciones de material fecal húmedo y problemas posteriores.

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, especialmente 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.

### **Alomado (dormidero) en el corral**

Algunos feedlots, especialmente en lugares sin pendientes, utilizan como alternativa para incorporar pendientes y compactar el estiércol el amontonado del mismo un sector del corral. El estiércol 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 para dispersar a 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 ser 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 aflojando el resto. Iniciada la remoción de una loma se debería remover su totalidad. Si se optara por utilizar la misma para re-nivelar el piso o darle pendiente, debería mezclarse con suelo adicional de buena capacidad de compactación y compactarse enérgicamente.

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 el piso se mantiene húmedo. Retirado el estiércol de corral, su destino es la aplicación directa como fertilizante en un cultivo, el atrincherado y producción de compost para su uso posterior como abono o en generación de sub-productos.

### **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 manipulados. 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. Este 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, 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, 1990), 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. (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 4000 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 romper la capa de suelo-estiércol, 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.

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 tenérsela en cuenta en el diseño de las instalaciones para contar con corrales vacíos, fusibles en momentos de mucha precipitación y riesgo de encharcamiento.

### **Atrincherado fuera de los corrales**

El apilado de estiércol fuera de los corrales, recolectado en trincheras es la estrategia más común. Se selecciona un sitio alto 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 o sectores de sedimentación, 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 reducir su volumen y contenido de agua, especialmente si se está removiendo húmedo de los corrales (Powell, 1994).

El tamaño y la forma de las trincheras 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 trincheras 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, 1990). Se debería realizar determinaciones de temperatura entre los 50 cm a 1 m de profundidad para prevenir riesgos de combustión.

El lugar de 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 caven 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 como extraer el estiércol.

### **Monitoreo de la composición del estiércol**

El sector de trincheras no debería anegarse, sino escurrir rápidamente. Es conveniente monitorear la calidad del estiércol periódicamente (anualmente) 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., 1994b). 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).

### **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, 1988a).

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 además 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 trinchera 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., 1988a). 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 el efecto térmico esterilizante y destructor de la flora no 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 rastros de cosecha u otros residuos con mucha fibra (heno de rollos de forraje de baja calidad). La masa de *compost* debe alcanzar niveles de pH, humedad contenido de 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. También durante el proceso se pierde por volatilización una importante cantidad de nitrógeno cuando se parte de estiércol de feedlot porque la relación 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 (NSW Agriculture, 1998).

Un pas adicional y alternativa en la utilización del estiércol es la producción de vermicompost. Se alimenta lombrices de alta capacidad de consumo de materia orgánica con el material, las que lo consumen produciendo biomasa en verme y un remanente semi humificado y homogéneo. El vermicompost es un buen acondicionador de suelo y fertilizante. 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%).

## **Fertilización con líquidos y estiércol**

### **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., 1975a; Sweeten, 1990). Si la cosecha fuera por medio del pastoreo directo, el retorno de nutrientes al lote es muy alto y se reducen 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, calculo que debería hacerse teniendo en cuenta el volumen a colectar en un año correspondiente al 90% más húmedo conocido en los últimos 50 años del sitio. Dado que el aporte por lluvias es también importante en esas condiciones y el riego debe planificarse en base al 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 calculados. 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., 1975a,b).

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.

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
- no exista en la proximidad recursos hídricos superficiales o drenajes no dimensionados para recibir excedentes del área a regar
- sea homogénea,
- 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.

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 52 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 2000 y 15000 mg/litro (NSW Agriculture, 1998; Marek et al., 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., 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 EEUU 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.

Cuadro 86. Contenido de nutrientes en efluentes de feedlot contenidos en lagunas de almacenamiento

	Australia <sup>1</sup>	Texas	
		Planicies altas <sup>2</sup>	Sur <sup>3</sup>
	mg/litro		
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	8,0	-	-

<sup>1</sup> NSW Agriculture (1998)

<sup>2</sup> Clark et al. (1975b)

<sup>3</sup> Sweeten et al. (1981)

CE = Conductividad eléctrica (medida de salinidad), dS/m = deci-Siemens/m

DQO = Demanda química de oxígeno

DBO = Demanda biológica de oxígeno,

SAR = Relación de absorción de sodio.

El agua 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 prever lavados del suelo y un sistema de drenajes del lote bajo riego como para contener y manejar los excedentes.

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 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.
- Releva 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 a 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 a 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 periódicamente (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 micro-minerales 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.

### **Abonado con estiércol**

El manejo del estiércol debería plantear un programa de uso semejante al planteado para el uso de efluentes líquidos. Sería conveniente la opinión técnica de un especialista en fertilización con abonos para ajustar el programa. En términos estimados, 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 K<sub>2</sub>O). Determinaciones en varios feedlots de EEUU 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 y Stewart., 1971, Mathers et al., 1975; 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 87 que sigue se resume información de composición química de muestreos realizados en feedlots de Australia (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.

Cuadro 87. Contenido de nutrientes en excreta de feedlot en Australia (base seca)<sup>1</sup>

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, mg/kg	154	80 a 283
pH	6,63	5,5 a 8,6

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

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, 1984). Se recomienda generalmente fertilizar de acuerdo a 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. 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, lixivía 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 requerimientos 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 coloide 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 a la demanda de fósforo y complementar la posible carencia de nitrógeno con una 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, 1984; Sweeten, 1979, 1984). Frecuentemente se menciona a las aplicaciones de abonos como correctores también de deficiencias de micro nutrientes y capacidad buffer. Las mejores respuestas a la fertilización orgánica se verifican en suelos de textura franca con bajos niveles de nitrógeno y fósforo. Aún 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 tenida en cuenta en el ajuste de fertilidad en años sucesivos (Mathers et al., 1975). El monitoreo de macro-nutrientes como azufre, magnesio, potasio y sodio es necesario para evitar excedentes perjudiciales. El aporte de micro-nutrientes 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).

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 Agricultura, 1998; Lott et al., 1994b). Esa bordura servirá de almacenamiento 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).

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 aspersion realizada lo más próxima al suelo evitará la deriva con el viento y el transporte de olores a áreas vecinas.

### **Manejo de animales muertos**

Entre las muertes en el feedlot, las emergentes de síndromes nutricionales (acidosis e impactación ruminal) son las más frecuentes correspondiéndose con el 90% de los casos, le siguen en importancia las muertes por accidentes (golpes, quebraduras) y muerte súbita. Todos los animales muertos por estas causas, otras de tipo viral o tipologías baja infectividad pos-mortem se pueden degradar y digerir biológicamente en el mismo predio. Aunque no existen normativas únicas, varios feedlots comerciales de alta escala utilizan la confección de camas de estiércol, fibra y animales muertos en trinchera.

Ello implica hacer una cama de tipo catre de madera con palets de transporte u otro tipo de estructura de para permitir la circulación de aire dentro de la trinchera. Sobre estos catres se apoyan los animales muertos en fila, de a pares o de a uno, sobre estos se deposita una capa de estiércol de las trincheras de apilado ya existentes o de corrales en limpieza de unos 20 a 0 cm, luego se debería desplegar heno de rollos de paja o pasto de baja calidad o de descarte y cubrir nuevamente con estiércol. Es importante abrir el abdomen de los animales muertos para un acceso rápido del material se que le aplica y se genere una rápida degradación. Luego de dos o 3 días es necesario reponer estiércol sobre la trinchera cubriendo totalmente a los animales. En poco tiempo, la circulación de aire desde abajo y la disponibilidad de fibras y estiércol generará una degradación total de los animales.

Luego de 15 días de degradación el tamaño de la trinchera se achicará permitiendo apilar otra fila de animales por encima, con la misma metodología de incorporar heno y estiércol. Este segundo apilado no es necesario por lo que podría iniciarse una trinchera al lado de la anterior. Sobre estas trincheras se puede continuar el apilado de estiércol de limpieza de los corrales. En el tiempo, los animales muertos que dieron origen a esas trincheras habrán desaparecido totalmente, incluso con degradación de huesos. En algunos casos se propone impermeabilizar el piso con plásticos, esta estrategia no sería la mejor ya que la infiltración de líquidos en el sitio, si no se inunda con escorrentía u otras fuentes de agua, no sería de significancia.

Los animales que se diagnostiquen muertos por enfermedades infecciosas de riesgo (ej. mancha, gangrena, carbunco) se deberían trasladar a un sector alejado del feedlot, sin arrastre, con pala o carro de transporte destinado a ese fin, evitando el contacto con superficies, maquinarias o alimentos del feedlot, y otros animales. Preferentemente, el sector debería ser alto y recluso, donde se procederá al tratamiento con cal y posterior incinerado (esta casuística se presupone muy baja o inexistente y su manejo no difiere de lo sugerido para planteos pastoriles tradicionales). El incinerado es fundamental ya que el tratamiento con cal no asegura la destrucción total de los factores de riesgo.

## Bibliografía

- Algeo J.W., Elam C.J., 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 S.H., Sweeten J.M. y Weinheimer B. 1999. Manure handling characteristics of high plains feedlots. Special Report. Texas Agricultural Extension Service, Amarillo, TX.
- Arrington R.M. y Pachek C.E. 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 S.F. y Jutras .J. 1983. Soil sealing by manure in various soil types. Paper 83-4571. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
- Butchbaker A.F. 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 R.N., Gilbertson C.B. y Duke H.R. 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 R.N., Schneider A.D., Stewart B.A. 1975b. Analysis of runoff from southern Great Plains feedlots. Trans ASAE 15(2):319-322.
- Dantzman C.L., Richter M.F. y Martin F.G. 1983. Chemical elements in soils under cattle pens. J Environ Qual 12(2):164-168.
- Elliott L.F., McCalla T.M., Mielke L.N., Travis T.A. 1972. Ammonium, nitrate and total nitrogen in the soil water of feedlot and field soil profiles. Appl Microbiol 23:810-813.
- Gilbertson C.B., Clark R.N., Nye J.C. y Swanson N.P. 1980. Runoff control for livestock feedlots: state of the art. Trans ASAE 23(5):1207-1212.
- Gilbertson C.B., Nienaber, J.A., Gartrung I.L., Ellis J.R. y Splinter W.E. 1979. Runoff control comparisons for commercial beef feedlots. Trans ASAE 22(4):842-849.
- Gilbertson CB, Nye J.C., Clark R.N. y Swanson NP. 1981 Controlling runoff from feedlots. Aa state of the art. Ag Info Bulletin 441. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington, DC.
- Jones, O.R., Willis, W.M., Smith, S.J. y Stewart, B.A. 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 O.R. y Clark R.N. 1975. Effect of cattle feedyard runoff on soil infiltration rates. J Environ Qual 4(4):437-439.
- Lehman, O.R., Stewart, B.A. y Mathers, A.C. 1970. Seepage of feedyard runoff water imponded in playas. MP-944. Texas Agricultural Experiment Station, Texas A&M University, College Station, TX.
- Lott, S.C., Watts, P.J. y Burton, J.R. 1994a. 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, S.C., Powell, E. y Sweeten, J.M. 1994b. Manure collection, storage and spreading. In: Watts PJ, Tucker R (eds) Designing Better Feedlots. Queensland Department of Primary Industries, Toowoomba, Queensland, Australia.
- Loudon, T.L., Jones, D.D., Peterson, J.B., Backer, L.F., Bragger, M.F., Converse ,J.C., Fulhage, C.D., Lindley, J.A., Melvin, S.W., Person, H.L., Schulte, D.D. y White, R.K.

1985. Livestock Waste Facilities Handbook. MWPS-1 8, 2nd Ed. Midwest Plan Service, Iowa State University, Ames, IA, pp 2.1-2.2; 5.1-9.
- Marek, T.H., Harman, W.L. y Sweeten, J.M. 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 199-124.
- Marek, T.M., Harman, W.L. y Sweeten, J.M. 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, Sept 6-7, 1995, Austin, Texas. Texas Agricultural Extension Service and Texas Agricultural Experiment Station, College Station, TX, pp 162-169.
- Mathers, A.C. y Stewart, B.A. 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, A.C. y Stewart, B.A. 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, 1981. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, pp 159-162.
- Mathers, A.C. y Stewart, B.A. 1984. Manure effects on crop yields and soil properties. *Trans ASAE* 27(4): 1022-1026.
- Mathers, A.C., Stewart, B.A. y Thomas, J.D. 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.
- Mielke, L.N. y Mazurak, A.P. 1976. Infiltration of water on a cattle feedlot. *Trans ASAE* 19(2):341-344.
- Mielke, L.N., Swanson, N.P. y McCalla, T.M. 1974. Soil profile conditions of cattle feedlots. *J Environ Qual* 13(1):14-17.
- Miller, W.D. 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, J.A., Gilbertson, C.B., Klopfenstein, T.J., Palm, S.D. y McCalla, T.M. 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/I.
- Phillips, P.A. y Culley, J.L.B. 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, R.L. 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, E.E. 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.
- Schuman, G.E. y McCalla, T.M. 1975. Chemical characteristics of a feedlot soil profile. *Soil Sci* 119(2):113-118.
- Smith, S.J., Sharpley, A.N., Stewart, B.A., Sweeten, J.M. 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, N.P., Lorimor, J.C. y Mielke, L.N. 1973. Broad basin terraces for sloping cattle feedlots. *Trans ASAE* 16(4):746-749.
- Swanson, N.P., Mielke, L.N. y Ellis, J.R. 1977. Control of beef feedlot runoff with a waterway. ASAE Paper 77-4580. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
- Sweeten, J.M. 1988a. Composting manure and sludge. L-2289. Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M University, College Station, TX.
- Sweeten, J.M. 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, J.M. 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, J.M. y Amosson, S.B. 1995. Manure quality and economics. In: *Total Quality Manure Management Manual*. Texas Cattle Feeders Association, Amarillo, TX.
- Sweeten, J.M., Marek, T.H. y McReynolds, D. 1995a. Groundwater quality near two cattle feedlots in the Texas high plains. *Appl Eng Agric* 11(6):845
- Sweeten, J.M. y McDonald, R.P. 1979. Results of TCFA environmental and energy survey-Texas Cattle Feeders Association, Amarillo, TX.
- Sweeten, J.M., Pennington, H.D., Seale, D., Wilson, R., Seymour, R.M., Wyatt, A.W., Cochran, I.S. y Auvermann, B.W. 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, J.M. 1976. Dilution of feedlot runoff. MP-1297. Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M University, College Station, TX.
- Sweeten, J.M. 1979. Manure management for cattle feedlots. L-1094. Texas Agricultural Extension Service, Texas A&M University, College Station, TX.
- Sweeten, J.M. 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.
- 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.
- 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, Sept 6-7, Austin, Texas. Texas Agricultural Extension Service and Texas Agricultural Experiment Station, Texas A&M University System, College Station, TX, pp 70-78.
- Wallingford, G.W., Murphy, L.S., Powers, W.L., Manges, H.L. 1974 Effect of beef feedlot lagoon water on soil chemical properties -growth and composition of corn forage. *J Environ Qual*. 3(1):74-78.
- Wiese, A.F., Sweeten, J.M., Bean, B.W., Salisbury, C.D. y Chenault, E.W. 1998. High temperature composting of cattle feedlot manure kills weed seeds. *Appl Eng Agric* 14(4):377-380.