

Planificación y gestión de instalaciones para el confinamiento de vacas lecheras. Pros y contras de cada sistema

Juan L. Monge*

Universidad Nacional de Villa María, Villa María, Córdoba, Argentina. leandromonge@gmail.com

RESUMEN

El sector ganadero en el mundo está aumentando e intensificando en respuesta al crecimiento de la población, el desarrollo económico y los cambios tecnológicos. Si bien, la producción lechera se ha intensificado a nivel mundial en las últimas décadas debido a la creciente demanda de productos lácteos, el sector lácteo se ha ampliado e intensificado más lentamente que otros sectores como las aves de corral y los cerdos (Muehlhoff et al. 2013). Brasil y Argentina son dos ejemplos de este fenómeno la última década, y en Argentina, particularmente en la provincia de Córdoba (Barrenechea et al., 2009). La intensificación de las lecherías ha tenido como eje, la productividad de los animales y la eficiencia en el uso de los recursos, teniendo en cuenta el bienestar animal, la calidad de los productos lácteos y los impactos ambientales asociados con la producción lechera intensiva. Los sistemas más comunes de confinamiento o encierro son al aire libre mediante corrales abiertos o *dry lots* (DL), o estabulados con "freestall" (FS) y compost barn (CB). El presente trabajo tuvo por objetivo analizar los aspectos y características claves de cada sistema y sus variantes. Como conclusión se plantea que todos son viables, pero se debe contar con un buen proyecto y estudiarlo en detalle en base a la escala, zona, objetivo productivo, capacidad de gestión y manejo, y expectativas de los productores, asimismo se demuestra que para menores escalas la mejor alternativa es iniciar con DL y a medida que se consolida el confinamiento e incrementa la escala, pasar a sistemas más complejos y con mayor necesidad de amortización como CB y FS.

SUMMARY

The livestock sector worldwide is increasing and intensifying in response to population growth, economic development, and technological changes. While dairy production has intensified globally in recent decades due to the growing demand for dairy products, the dairy sector has expanded and intensified more slowly than other sectors

such as poultry and pigs (Muehlhoff, et al. 2013). Brazil and Argentina are two examples of this phenomenon in the last decade, particularly in the province of Córdoba, Argentina (Barrenechea et al., 2009). The intensification of dairies has had as its axis, animal productivity, resource efficiency, with animal welfare, quality of dairy products, and the environmental impacts associated with intensive dairy production. The most common confinement systems are outdoor such as open lots or dry lots (DL), or indoor like "freestall" (FS) and compost barn (CB). This study aimed to analyze the key aspects and characteristics of each system and its variants. As a conclusion, were found that all systems are feasible, but a correct project should be developed and studied carefully, taking in account the scale, location, production level objective, management and handling capacity, and producers' expectations. Furthermore, it is demonstrated that for smaller scales, the best alternative could be to start with DL and according as confinement consolidates and scale increases, move to complex systems with higher depreciation cost such as CB and FS.

Palabras claves: dry lot, freestall, compost barn

Introducción

Barrenechea et al. (2009), en el primer relevamiento realizado desde la Universidad Nacional de Villa María (UNVM) sobre lecherías confinadas relevaron motivaciones tales como incrementar la producción y productividad de leche, liberar superficie para agricultura, eficientizar el manejo general de los rodeos, mejorar el manejo del suelo, dar mayor confort animal y por preferencia del productor. Frossasco y Echeverría (2020), relevaron productores que habían pasado de encierros al aire libre en DL a estabulados (CB y FS), donde las principales razones fueron disminuir pérdidas de alimentos, mejorar el confort animal, aumentar la escala productiva, incrementar la eficiencia en el manejo productivo, reducir descarte y mortandad, estabilizar la producción de leche a lo largo del año, mejorar el bienestar de los trabajadores. A su vez, el OCLA (2019) muestra que las lecherías semicon-

finados y confinados en Córdoba representan el 26,8 y 18,2%, o sea alrededor de ~730 unidades productivas están confinadas. Sobre los sistemas estabulados, desde la UNVM se monitorea la evolución de implementación éstos, habiendo registrado hasta diciembre 2022 unas 49 unidades productivas con establos CB y FS (39 y 10 respectivamente) para la Córdoba, lo cual muestra la baja participación que existe aún sobre la población total. Asimismo, este relevamiento a nivel nacional contabiliza ~100 establecimientos con establos (22% FS; 88% CB) que abarcarían ~64000 vacas (46% FS; 54% CB).

DESARROLLO

El confinamiento involucra albergar animales en espacios reducidos, cuando se recurre a establos, se dispone de menor superficie que en sistemas al aire libre, lo que aumenta la concentración de heces y orina por m², que debe ser gestionado para reducir el contacto de los animales a lo largo del tiempo. En el proceso de toma de decisiones, los productores deben considerar qué sistema funcionará mejor para sus respectivas situaciones, dadas las condiciones climáticas locales, los costos de construcción, la disponibilidad de mano de obra, los costos de mantenimiento y conservación a largo plazo, y el retorno de la inversión. El clima y las condiciones de exceso hídrico pueden presentar desafíos relacionados con la higiene de las vacas, la calidad de la leche y el estrés por calor o frío (Bewley et al., 2017).

En un sistema confinado las vacas se alimentan totalmente del alimento cosechado mecánicamente (fresco, conservado y/o mezclado) llevado hacia ellas en corrales y/o establos donde se alojan. Los modelos o sistema de confinamiento se basan de acuerdo con las características de alojamiento de las vacas, combinado con el modo de alimentación que se haya definido para cada caso en particular. Asimismo, cualquiera sea el sistema, las vacas deben contar en su lugar de alojamiento con agua (disponible y de calidad), una buena cama (o superficie que oficie como tal) seca, mullida y limpia, y en preferentemente contar sombras y/o reparos. Por otra parte, se debe contar con callejones o calles de transferencias pensadas desde la logística de los animales, maquinaria y vehículos. Esto se basa en el diseño combinado con la logística del movimiento de la hacienda desde y hacia la sala de ordeño, con las tareas de alimentación y mantenimiento de corrales de forma práctica, ágil y segura, que no se deba levantar una vaca que esta descansado para hacer el laboreo del corral, camas, movimiento de comederos, etc. Producir bajo las 5 libertades de los ani-

males debe ser una premisa de cualquier sistema que se implemente para producción, por la simple razón que más bienestar significa más descanso, y por ello más producción, ya que una hora adicional de descanso puede estar asociada a 1 kg/vaca/día más de leche (Grant R. J., 2006). La cantidad de animales por rodeo (y/o corral) debe ser acorde a la capacidad de ordeño, de tal manera que no pasen más 2.5 horas por día fuera de área de descanso (75 minutos o 55 minutos por ordeño con 2 y 3 veces por día respectivamente), contando desde que se retira el primer animal y regresa el último.

Si bien el mayor desarrollo de infraestructuras para encierro están pensadas para sistemas confiados, existen casos donde los encierros son parciales y se combinan con sistemas semipastoriles. A continuación, se describirán los modelos existentes para el encierro total o parcial de vacas lecheras.

Corrales abiertos (DL)

Son corrales al aire libre (denominados dry lots en zonas áridas), donde las vacas descansan, se alimentan y beben agua, y donde pasan la mayor parte de su tiempo, pudiendo ser DL móviles o fijos.

Los DL *MÓVILES* son áreas delimitadas que se pueden mover o rotar de un lugar a otro según las necesidades de los animales y las condiciones climáticas (altas temperaturas o fuertes lluvias). Este sistema permite mover, tanto el corral como algunos de sus componentes (comederos y sombras), debiendo contar el sector con aguadas, camas y callejones acorde. Al ser móviles, pueden moverse a lugares donde las condiciones son más favorables para los animales, como áreas más frescas y sombreadas. Permiten una gestión de recursos al poder rotar en diferentes áreas de pastoreo, lo que reduce la sobreutilización de una zona y ayuda a la redistribución del estiércol.

Este tipo de corral suele ser el primer "nivel" de confinamiento de cualquier productor que este iniciando el proceso y hacerlo de forma modular, permanente o parcial, a bajo costo sin incurrir en infraestructura que no permita volver atrás o mantenerse ociosa. Asimismo, requiere una planificación cuidadosa y gestión adecuada para garantizar el bienestar de los animales y personas que trabajan con ellos.

Los DL *FIJOS* son áreas permanentes que se utilizan para alojar a los animales durante un período de tiempo prolongado. Son más comunes en productores con más años de encierro, donde han decidido no volver al pastoreo. Estos corrales cuentan con mayor nivel de in-

versión en infraestructura en un área delimitada que ha sido destinada exclusivamente para este uso (alambrados perimetrales, aguadas, nivelación y sistematización de terreno, sombras fijas, etc.), también pueden contar con elementos móviles como comederos, sombras y hasta tanque bebederos. Para eficientizar el uso de recursos como el alimento y mejorar confort de los animales a la hora de comer, la siguiente mejora suele ser la construcción de “pistas de alimentación” de concreto donde las vacas comen en terreno firme, y lo más importante, los restos de comida pueden ser recuperados para reutilizarse. Asimismo, es importante tener en cuenta que estas pistas incorporan la necesidad de manejar una cierta cantidad de estiércol y otros residuos generados por los animales, requiriendo un sistema de gestión de efluentes.

Tanto para DL móviles y fijos, el área de encierre debe contar con buenos drenajes, libre de anegamiento, y que garantice la circulación de animales y maquinarias sin ninguna restricción extraordinarias en el día a día (por ejemplo, corte de un camino o callejón por inundación). Toda modificación de terreno que se realice deberá contemplar escorrentías de aguas y efluentes. Si bien los DL no generan acumulación de efluentes semilíquidos, ante anegamientos o escurrimiento puede generar el movimiento de los mismos y esto debe estar previsto con planes de mitigación y/o contingencia.

La superficie asignada que se encuentra en la bibliografía se encuentra alrededor de los 50-60 m²/vaca de carga instantánea. En California Tresoldi et al. (2017) relevaron valores de 53.83 ±14.91 m²/vaca. En Brasil, Pinheiro et al. (2021) considera valores >55 m². En el relevamiento realizado por Barrenechea et al. (2009) en Córdoba, encontraron valores promedio de 83 m², donde un 20% de los establecimientos ofrecía 151-200 m². Experiencias actuales se están planteando con un mínimo de 150 m² por animal de espacio instantáneo, y en algunos casos con otros 100-150 m² complementarios por animal para poder rotarlos en caso de que se deterioren los corrales “principales” (por barro causado por lluvias

principalmente y limitaciones de sistematización drenajes). El drenaje y mantenimiento del terreno son definitivos en las condiciones de corral al momento de quedar expuesto a una lluvia y/o temporal, como principal factor de generar excesos de humedad y barro. La superficie del terreno debe drenar los excesos de agua que recibe en cortos periodos de tiempo. La pendiente guiará el agua hacia fuera del corral, pero este deberá estar libre de materia orgánica en superficie para que no la absorba y retenga en el corral, como así tampoco trasladar el material con el agua. Además, las escorrentías deben estar sistematizadas y pensadas que se muevan sin ningún tipo de obstáculo que retenga el agua en el corral, y para ello, contar con pendientes del terreno (1 al 4%) y el piso compactado para que el agua de lluvia no se acumule formando barro (Frossasco et al., 2015). En la tabla 1 se muestra un ejemplo, con una lluvia de 50 mm y distintos porcentajes de agua retenida por acción de la materia orgánica en superficie.

Los corrales requieren de protocolos de acondicionamiento, basados en mantener todo el DL libre de compuestos con alta materia orgánica (heces descompuestas, molidas, restos de alimento) de tal forma que quede expuesto el terreno duro, y dicha materia orgánica solo esté formando la cama (figura 5). De esta forma ante lluvias, el agua drena rápidamente del corral, y la humedad retenida en la cama se secará rápidamente al reiniciar el laboreo.

Agua y Bebederos

El agua debe ser fresca y limpia, de calidad y en cantidad. Los sistemas estabulados (con techo) requieren un mínimo de 0.10 m de frente de bebedero por animal. En los DL, las bebidas suelen estar a más distancia por las superficies asignadas, pero deben estar accesibles y en condiciones 24 horas. Mayores distancias o restricciones de acceso redundarán en menor consumo diario por animal y todo esto perjudicará la eficiencia de todo el sistema. Es por todo esto, que se trata de procurar un mínimo

Tabla 1. Días de secado de aportes de agua de lluvia y estiércol de vaca para una retención de lluvia del 100%

m ² /vaca	Aportes de agua, litros/m ²			Días para secado, 100% ³	Días para secado, 10% ⁴
	Estiércol vaca ¹	Lluvia ²	Total, l/m ²		
50	1,4	50	51,4	17,1	2,1
100	0,7	50	50,7	16,9	1,9
150	0,5	50	50,5	16,8	1,8
200	0,3	50	50,3	16,8	1,8

¹Producción de 80 kg de estiércol por vaca por día con 85% de agua (100% retenida); ²Lluvia de 50 mm en un día; ³⁻⁴Días de secado una tasa de 3 l/m²/día de evaporación con 100% y 10% de retención de agua en el corral.

de 0.15 m por animal de frente de bebida (50% más que en un estabulado). Si la distancia a los bebederos se vuelve excesiva, siempre es preferente agregar más unidades cerca, y no más frente en el mismo lugar alejado. Además, es conveniente que los bebederos cuenten con un terraplén para favorecer su drenaje y facilitar el mantenimiento. Por último, tener en cuenta los niveles de consumo, vacas de alta producción pueden consumir hasta 160 l/vaca/día (Grant, 1993), con lo cual se debe contar con volumen y alto caudal de recuperación.

Comederos

Los comederos móviles son generalmente la primera opción como incorporación inicial en un sistema de encierre antes de avanzar a algo fijo, ya que reduce las pérdidas del alimento distribuido en el suelo o en autoconsumo que suelen ser las situaciones que anteceden a estos. De esta manera, se debe garantizar un libre acceso a cada animal, sin competencia en ningún momento. Existen muchas alternativas de diseño y materiales de comederos móviles. Deben brindar la mejor condición ante el uso del alimento por los animales, aunque si bien son más eficientes que dar en el piso, no garantizan la reducción de las pérdidas al mínimo, y mucho menos si el diseño no es adecuado.

La experiencia en los encierres de Córdoba, brindan referencias al respecto, sugiriendo valores de 1 m mínimo de ancho, lo que permite enfrentar vacas a comer y más espacio para que no tiren comida afuera, 50-60 cm de profundidad mínima ya que es la altura recomendada en diseños de tabiques de alimentación (aquí se debe chequear el sistema de descarga del mixer). Deben ser simples de limpiar y mantener de forma (sobre todo en verano), robustos y fuertes para poder trasladarlos sin que se dañen.

En base a estas recomendaciones, estimativamente se modeló un comedero que pudiera cumplir con las premisas planteadas y con las mismas consideraciones que en los comederos de pistas de alimentación, donde las vacas empujan la comida entre 70-90 cm (dependiendo como se arrime), la altura de los tabiques de alimentación va desde 50 a 60 cm, el frente de comedero por vaca de una pista es de 60-65 cm, para el comedero móvil se podría considerar 70-75 cm de frente (ya que puede haber algo de enfrentamiento de vacas al comer de los dos lados), y por último, que una ración totalmente mezclada (TMR) con 50%MS puede estar en el orden de los 300-350 kgMV/m³

El modelo con estas medidas mínimas, cargado hasta 6 cm antes del borde, tendría una capacidad de ~150 kgMV/m de comedero (325 kgMV/m³ de TMR). Si se considera que cada vaca ocupa 75 cm de comedero a cada lado de éste, esa dimensión contendrá la oferta de comida para 2 vacas, o sea: 75 cm = 112 kgMV ÷ 56 KgMV por vaca (25 a 30 KgMS por vaca).

Comederos fijos o pistas de alimentación

Cuentan con un área de concreto donde la vaca se para a comer, y el alimento está al otro lado separado del área de vaca por una pared o tabique de alimentación. Los comederos más comunes son abiertos, donde la comida debe ser arrimada con cierta frecuencia para que esté al alcance del animal, en algunos casos se construyen comederos de concreto en forma de "U" (similar al comedero de madera) con el objetivo de reducir la tarea de arrime, pero esto dificulta la recolección de sobrantes y la limpieza. A su vez, sobre estas calles de vacas de concreto se colocan las bebidas de tal forma que los animales estén sobre ésta al momento tomar agua.

Estos comederos fijos, permiten recuperar y usar en

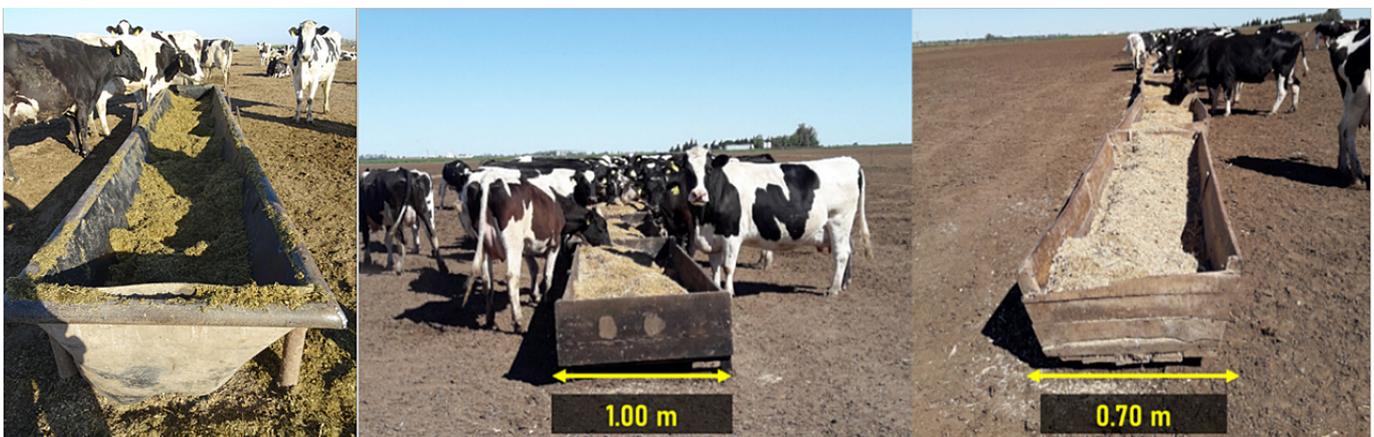


Figura 1. Ejemplo de comederos móviles de caños petroleros y lonas. Y ejemplo de aprovechamiento con diferentes anchos.

otras categorías los remanentes de alimentos que han sido evaluados como desperdicios por Bretschneider et al. (2016) en el orden de 7-10% o 3.6-16% por Dairy Australia (2009) en distintas formas de comederos móviles y en el piso.

Las pistas fijas de concreto pueden ser simples o dobles, con vacas comiendo solo de un lado o ambos lados de la calle de mixer respectivamente. El ancho de la calle se recomienda >5.5 m para evitar que el tractor y mixer pisen la comida. Los vallados y guardanuca tienen medidas determinadas (altura 1.22 m y despeje de 21 cm hacia adelante) para que la vaca coma cómoda pero no se salga hacia el área de comedero.

Es conveniente proyectar estos sistemas fijos pensando en su transformación futura en establo (ubicación, orientación, distancias, circulación, sistemas de ordeño, etc.), pudiendo utilizar esta estructura de forma efectiva al convertirlo a un sistema estabulado. Además, requerirán ser planificados con un sistema de efluentes, ya que deberán gestionar el barrido de la calle de concreto para limpiar el estiércol semilíquido que se acumule mientras las vacas comen y toman agua.

Sombra

Los corrales deben contar con sombra para los animales, principalmente desde septiembre-octubre a marzo-abril. Las recomendaciones de superficie de sombra son de 3-5 m² por animal para adulto (Valtorta y Gallardo, 2011). Para ello, han cobrado mucha relevancia el



Figura 3. Pistas dobles. Izquierda, comedero en "U". Derecha, comedero con tabique abierto.

sistema de sobras móviles, las cuales permite moverlas dentro y entre corrales, y de esta forma mejorar el oreo de la superficie si se hubiera deteriorado excesivamente. Además, este sistema permite redistribuirlas entre corrales según las necesidades generada por la variación de animales por corral. La mejor orientación resulta ubicándolas a lo largo de Norte-Sur, de esa forma el sol permite secar debajo de la estructura durante el día.

Cama

Los animales deben contar con un terreno acorde para descansar, con la premisa que, sin contar el momento de ordeño, el animal que no está comiendo o tomando agua, este echado descansando. Es por ello que, se recomienda contar con camas secas, mullidas y limpias. Actualmente, muchas lecherías con sistemas de DL están utilizando camas que se conforman con los barridos del material que se acumulada en ellos, que resulta en una mezcla de tierra y estiércol que se torna (estando seco) en un buen material para cama. Para ello, se aconseja generar "camas" de alrededor de 8-10 m de ancho por 0.50 m de altura por el largo necesario para cubrir de 9-10 m² por animal de cama, en sentido longitudinal con la pendiente de escorrentía de desagüe del corral. Esta cama debe ser laboreada (similar a un compost) con cierta frecuencia que permita mantenerla descompactada (mullida; quiere decir que uno debería animarse a tirarse de rodillas sin miedo a lastimarse), favorecer su secado y de esa manera ser higiénica (sin heces en superficie). Además, ante inclemencias del tiempo brinda un espacio elevado para que las vacas puedan echarse. Schütz et al. (2018) demostraron que las vacas tienen preferencias por camas limpias y secas, pero que, ante la alternativa de una cama limpia-húmeda o sucia-seca, optarían por esta última.

Mantenimiento de DL

La frecuencia de tareas tiene por objetivo mantener

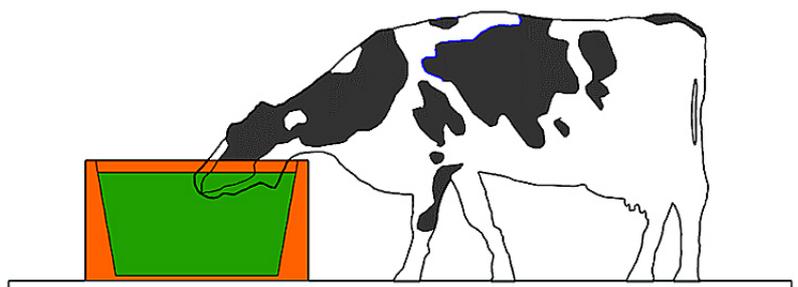
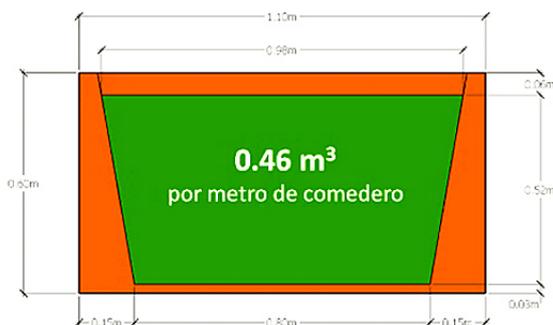


Figura 2. Medidas estimativas de un posible modelo de comedero móvil y ejemplo de uso por animales.

un excelente estado de los espacios y los elementos que componen el DL, permitiendo rotar piletas de comida, sombras, rabastear (juntar heces) y laborear camas. La rotación de piletas debe hacerse a posiciones paralelas cada 2-3 días (dependiendo del estado del área de deterioro), para evitar que se forme barro profundo y difícil de secar. Los días de lluvia se debería mover diariamente. La rotación de sombras es conveniente cada 2-3 días (dependiendo del estado de deterioro). La intensidad de movimientos es en pos de que de donde van saliendo las sombras se libere el área de materia orgánica mediante su barrido posterior al uso del sector. El rabasteo se debe hacer en toda la ensenada, sin tocar las camas, en lo posible todos los días y cada 2-3 días trasladar y acumular el material hacia el sector de camas, dejando el terreno duro a la vista. El barrido, acumulación y formación de camas se hace con una hoja niveladora o un palón. El laboreo de camas debe ser profundo (40-50 cm) con cincel para descompactar, además se puede agregar doble acción, múltiple o rotovalor cuando las partículas superen 3 cm de diámetro. Limpieza periódica de aguadas, ya que al aire libre captan tierra de los corrales, sumado a los restos de comida que la vaca aporta al agua cada vez que se arrima a beber, a su vez, alrededor de las bebidas, se debe mantener libre de materia orgánica, barro y pozos que retengan la humedad y deterioren el terreno. Por último, los callejones deben ser rabasteados con la misma periodicidad y manera que las ensenadas y así evitar que se formen zonas de acumulación y retención de agua.

Estabulados

Los estabulados son el siguiente nivel en el proceso de confinamiento, reduciendo la superficie por vaca, lo que lleva a la necesidad de construir un establo (techo) para resguardarlas de las lluvias, frío y calor. Los primeros antecedentes registrados datan de 1860 con sistemas "tiestall" patentados, donde las vacas permanecían

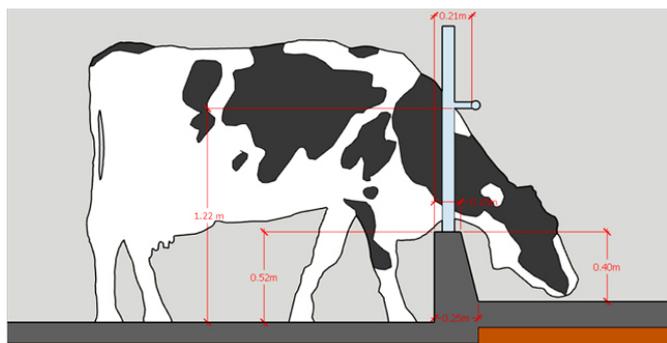


Figura 4. Dimensiones de comedero adaptado de PennState (2010).

amarradas individualmente, allí eran ordeñadas y alimentadas. A partir de los años '60 los "freestall (FS)" comenzaron a difundirse rápidamente como sistema y dando más libertad al animal (ya no permanecían amarrados). Posteriormente, en los 80's se registra en Virginia (EE. UU.) el primer sistema "compost barn (CB)", el cual se difunde en los 90's en EE.UU., Europa e Israel (Bewley et al., 2017). En Argentina, los primeros FS datan de 2004 y los CB desde 2009, observándose un crecimiento importante desde 2014.

Compost barn

Los estabulados con cama de compost son aquellos que cuentan con área de descanso para las vacas compuesta propiamente por el denominado "compost" generado a partir del estiércol de las vacas y, en algunos casos sumado a un sustrato complementario. En condiciones adecuadas este compost brinda una superficie seca, muflida y limpia. Para que estas condiciones se cumplan, la cama debe cumplir con ciertas variables que permiten su correcto secado ya sea, por la acción de la temperatura generada por el compostaje, por un balance de agua favorable o ambos. De esta forma, se puede definir dos tipos de sistemas de CB, uno bajo el sistema de cama caliente y otro bajo el sistema de cama fría.

La temperatura de la cama será un indicador del correcto funcionamiento según qué sistema se haya elegido, el cual estará condicionado por la humedad de la cama. A medida que la humedad se encuentra en valores cercanos al 50%, la temperatura tenderá a ser máxima, si la humedad de la cama se aleja de dichos valores la temperatura tenderá a disminuir. En este sentido, si el exceso de humedad es el que causa la disminución de la temperatura, la cama perderá la capacidad de evaporar agua y se hará más barrosa. Por el contrario, si la humedad disminuye y la temperatura también lo hace, no revestirá un problema ya que la cama se encontrará en condicio-



Figura 5. Ejemplos de camas a cielo abierto (momentos sin lluvia) y ejemplo de la sistematización para evacuación de exceso de agua.

nes secas acorde para la cama de las vacas (figura 6). Es por esto que, una cama de compost debería tener una humedad <50%, profundidad >40 cm, granulometría <3 cm y de esta forma presentar una temperatura > 40°C en caso de humedades superiores al 35%. Además, no deben percibirse olores producto de la falta de aireación, como el metano que resulta de procesos fermentativos.

Estas condiciones en función al objetivo (cama frío o caliente) definirá el éxito del CB. Para ello, deberá definirse un correcto proyecto que contemple diseño, ventilación, manejo e insumos que se dispongan al momento de hacer funcionar el sistema (sustrato, gas oil, electricidad). Todo aquello que se resigne en la inversión inicial, probablemente repercuta en la necesidad posterior de compensarlo con capital de trabajo y/o menor carga.

Diseño y ventilación

Los establos deben contar con alturas y pendientes de techos correctas, además de un diseño de cumbreas que permitan una adecuada circulación y recambio de aire. La ventilación natural es la fuente de aire más económica; la orientación en conjunto con la ubicación (separación entre establos y reparos) determinarán el potencial de su efecto, el cual, si se encuentra limitado o restringido, deberá ser suplido con ventilación mecánica. En este sentido Bewley et al. (2017), cita que con ventilación artificial de 9,6 km/h puede ayudar a mantener en correctas condiciones la cama en el tiempo.

El diseño, además, debe contemplar el uso efectivo de la superficie por los animales a los fines de lograr una adecuada y homogénea distribución de los animales que evite la competencia, como así también área sobre y subutilizadas (zonas de cama, comederos y bebederos).

Si bien la mayoría de los CB cuentan con concreto donde la vaca se para a comer, existen modelos sin éste (denominado comúnmente "100% cama") donde el 100% del estiércol es retenido en cada cama a diferencia del 70% que retienen los primeros. De acuerdo con cada modelo, serán las consideraciones y exigencias desde el balance de humedad de la cama.

Manejo e insumos

Tabla 2. Ejemplo de balance de agua de CB para dos cargas (m²/vaca)

Superficie por vaca	Aporte agua de estiércol, l/m ² /día	Tasa de secado, l/m ² /día		Balance de agua l/m ² /día	
		Verano	Invierno	Verano	Invierno
10 m ²	4,2	3,6	1,60	0,6	2,6
15 m ²	2,8			-0,8	1,2

La carga es la variable clave en el manejo de la cama; dicha variable siempre se evalúa descontando la superficie del área de concreto (si la hubiere). Bewley, et al. (2017) citan valores que van desde 7 a 30 m², y sostiene que cuando el espacio disminuye por debajo 9,3 m²/vaca, la compactación y la humedad podrían aumentar, inhibiendo la eficacia del compost, y además se reduce el confort de las vacas debido al menor espacio. Los m²/animal determinan la cantidad de estiércol/m² que estos aportarán diariamente, y por ende incrementará el nivel de humedad del compost que forma la cama. Según Bewley et al. (2017) citan que la pista de concreto recoge del 25 al 30% del estiércol y orina producidos, Damasceño et al. (2020) midieron valores que pueden variar entre 27.6-49.3%, siendo el resto que queda en la cama y será lo que aportará el agua a evaporar.

Las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa ambiente y velocidad de viento, principalmente) ejercerán la acción de secado de la cama, en conjunto con las acciones del laboreo y el agregado de sustrato, lo que permitirá mantener en equilibrio la humedad (<50%). Por ello, esta acción tiene un efecto estacional marcado, siendo máxima en verano y mínima en invierno. Si se considera el ejemplo de una vaca que deja diariamente 70 kg de estiércol en el establo, con 85% de humedad (15%MS), y el 70% queda en el área de cama, estará aportando 41.65 l/día de agua a la cama (tabla 2). Esta cantidad dependerá, del nivel de producción, tamaño, consumo de materia seca, sólidos de la leche, manejo del rodeo, entre otros, con distinta intensidad según la carga. El aporte de humedad, menos la tasa de secado potencial del ambiente determinará el balance de agua y, por ende, la humedad de la cama. Según Taraba (2019), las tasas de secado se reducen ~50% en invierno con respecto al verano para Kentucky (3.60 vs 1.60 l/m²/día).

Si el balance de agua resulta en el secado de la cama, esta tenderá a reducir la temperatura por falta de hume-

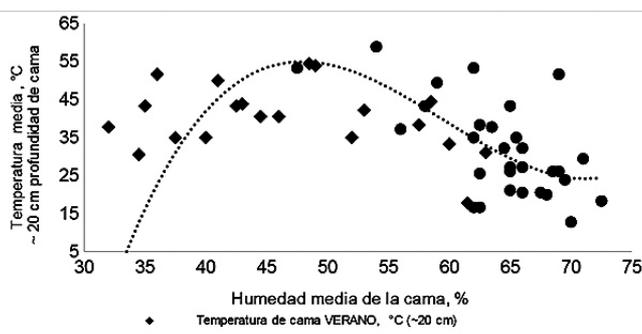


Figura 6. Relación entre la humedad de la cama y la temperatura según la estación del año (rombos blancos: VERANO; círculos negros: INVIERNO) a ~20 cm de profundidad. Adaptado de (Taraba, 2019).

dad (estando seca, mullida y limpia), por el contrario, si es balance es positivo, la cama incrementará la humedad, y al superar el 50%, tenderá a enfriarse y formar una superficie barrosa, compacta y sucia. Antes que esto suceda, y para equilibrar el balance positivo de agua, se debe incorporar sustrato o bajar carga con el objetivo de mantener la humedad en equilibrio y sostener la tasa de compostaje, la temperatura e incrementar la tasa de secado por encima del potencial del ambiente. La mayor temperatura ambiente y velocidad de viento, combinado con baja humedad ambiente favorecen las tasas de secado, en este sentido, la ventilación mecánica favorece mantener constante la velocidad de viento en los momentos que el ambiente no lo provee, reduciendo la humedad ambiente, y así la cama puede transmitir la en forma de vapor la humedad a la atmósfera. De esta forma, sumado al efecto de recambio de aire, se podrá mantener más carga y/o reducir el uso de sustrato.

Sustrato

La cantidad de sustrato requerida varía de acuerdo con el tipo de cama (caliente o fría) y la intensidad de carga, producción, clima y manejo. Con bajas tasas de secado ambiental y alto aporte de humedad de las vacas, el sustrato es la principal herramienta para sostener la buena condición de la cama (humedad <50% y C/N >30:1). Es importante contar en tiempo y forma con alternativas de sustratos, que tengan buena efectividad derivadas de sus características físico-químicas, ya que, por ejemplo, con valores similares de C/N entre sustratos, no cuentan con la misma capacidad de retención de agua, y por ende los resultados no serán comparables.

Las características deseables de un sustrato son <15% humedad, >40:1 C:N y <150 kg/m³ de densidad y libre de elementos inorgánicos (tierra principalmente, <10%). Los mejores sustratos para compost se clasifican como "marrones" aquellos de alto contenido de C, y "verdes" aquellos menos eficientes por su alto contenido de N (Rynk et al., 2022).

Los datos encuestados desde la UNVM han dado como referencia que, en el centro de Santa Fe, con alta

Tabla 3. Uso estacional de sustrato en sistemas CC y SC.

Época año	CC, Kg/vaca/día	SC, kg/vaca/día
Otoño-Invierno	5,76±5,92 ^a	7,43±5,30 ^a
Primavera-Verano	2,93±2,69 ^b	4,03±3,31 ^b

Letras distintas representan diferencias significativas ($p < 0.05$) dentro de las columnas (entre estaciones)

humedad y producciones (1200 mm anuales de lluvia y >40 l/vaca/día) se han utilizado hasta ~8.5-10 kg/vaca/día de cáscara de maní en CB sin cemento en la línea de comida y con 15-16 m²/vaca; en mismos ambientes, pero con cemento (10-12 m² de cama por vaca), se utilizan alrededor de 5-6 kg. En el centro de Córdoba, con menor humedad (800 mm anuales de lluvia), producciones de >40 l/vaca/día y cargas de 15-16 m²/vaca, el uso de sustrato en CB sin cemento ha sido de 5-6 kg/vaca/día de cáscara de maní; para la misma zona y producción, con cemento (10-12 m² de cama por vaca) el uso ha sido desde 2 a 4 kg/vaca/día. En la zona de Villa María (Córdoba, Argentina) (con 800 mm anuales de lluvia), a partir del monitoreo 5 años (enero 2018-diciembre 2022) de dos establos con cemento (CC) y sin cemento (SC) en el área de comida, con 11 m² y 14 m² de cama por vaca respectivamente, se evaluó la demanda promedio mensual de sustrato en base a cascara de maní (figura 8), siendo la media anual 4.04 (±4.49) y 5.50 (±4.63) kg/vaca/día para CC y SC respectivamente. Se observa una variación para cada mes dada por la diferencia entre años, a la vez que existe una variación entre otoño-invierno significativa respecto a primavera-verano (tabla 3).

Leso (2015) cita valores de uso con distintos sustratos como aserrín (8,8 kg/vaca/día), mazorca de maíz (15,2 kg/vaca/día), astillas de madera (14,8 kg/vaca/día), paja de soja con aserrín (26,7 kg/vaca/día).

Ante la posible limitante de disponibilidad de sustratos en tiempo y cantidad, algunos productores han optado ofrecer más m² a cada vaca, logrando prescindir del sustrato. En la zona de Villa María (con más de 3 años de experiencia) lo han logrado con cargas >15 m²/vaca y >23 m²/vaca para CC y SC respectivamente. Para la zona oeste de provincia de Buenos Aires, estos valores están ascendiendo a >17 m² por vaca para CC.

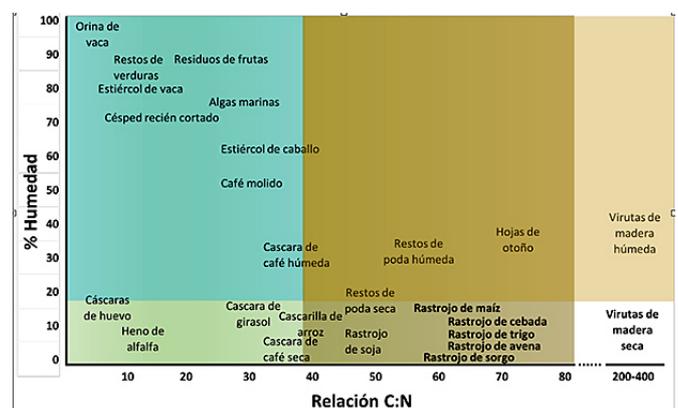


Figura 7. Relación C:N y contenido de humedad más frecuente para distintos sustratos y componentes de camas de compost.

Laboreo CB

Los laboreos consisten en remover la cama para eliminar el vapor de agua, ingresar oxígeno al sistema y mantener partículas pequeñas (< 3cm) y homogéneas que dejan la cama mullida. Los laboreos se realizan mínimo 2 veces por día (365 días por año) y se alternan máquinas de laboreo profundo como cincel, o de laboreo superficial como rotocultivadores o vibrocultivadores. Además, mantener una buena profundidad de cama (>40 cm) permite la entrada de aire en profundidad, reduce el impacto de la compactación por parte de los animales, y si se cuenta con un buen volumen de cama que, con correcta humedad, permite diluir humedad aportada por m² por las vacas en mayor cantidad de compost.

Freestall

Estos establos cubren la necesidad de brindar la mínima superficie de instalación por vaca, con óptimas condiciones de higiene y confort. Por lo cual, se vuelven una infraestructura estratégica en los establecimientos donde la disponibilidad de tierra o espacio para construir es li-

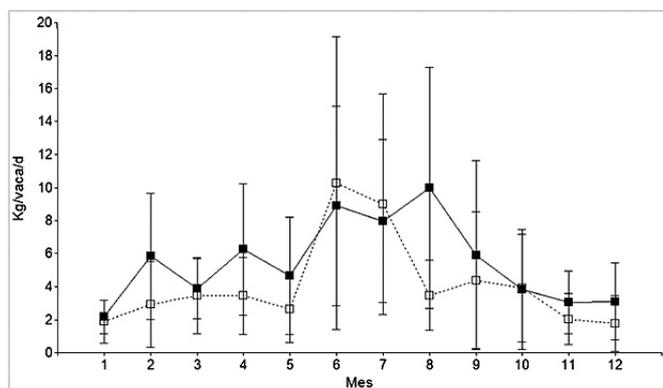


Figura 8. Uso medio de sustrato por mes (Media ± D.E.) con variaciones interanuales. Cuadros blancos y línea punteada CC; Cuadros negros y línea continua SC (1= enero ... 12= diciembre).

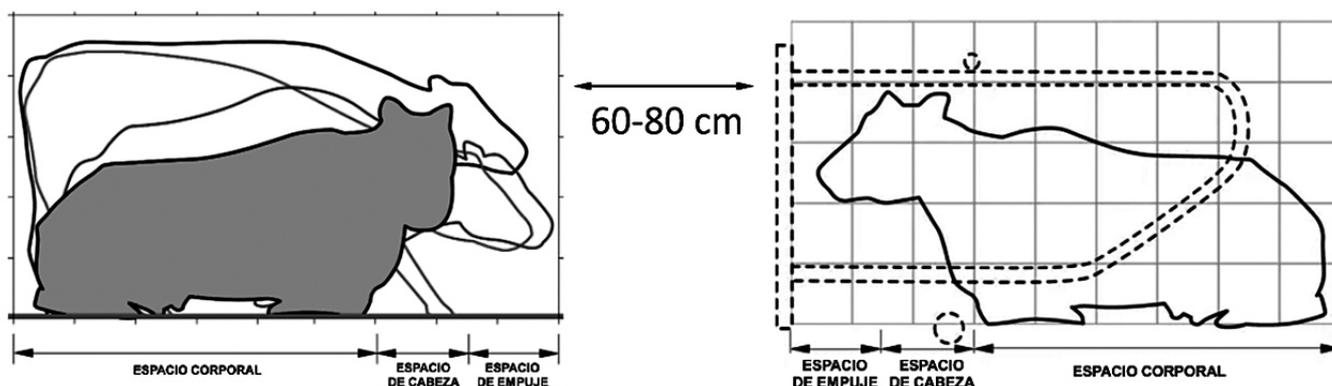


Figura 9. Consideraciones de dimensiones de cubículo requeridas según tamaño y dinámica de movimiento de las vacas (PennState, 2022).

mitada.

El diseño de los establos debe cumplir con las aperturas, pendientes y distancias de reparos/obstáculos y otros establos al igual que lo establos de CB, respetando las relaciones de ancho, altura y cumbres. Al igual que los CB, la ventilación natural mejora la condición para mantener secas las camas (aunque no depende ella, ya que es una cama seca), pero es fundamental en el recambio de aire, y en algunas zonas frías, son cerrados para mantener el calor para los animales.

Las excepciones al diseño pueden ser los establos de ventilación cruzada o túnel de viento (donde se busca una temperatura interna constante todo el año), siendo parcial o completamente cerrados, de menor altura y la ventilación es 100% forzada mecánicamente.

Cubículos

El diseño de los cubículos divisorios por vaca se ha estandarizado según el rango de peso del animal. Los diseños consideran el espacio corporal, el espacio de cabeza y el espacio de impulso o empuje. Bewley et al. (2017) cita que el tamaño recomendado dependerá de la raza y tamaño de los animales (100 – 130 cm de ancho). En el mismo trabajo, describe estudios sobre cubículos de 126 cm con relación a 106 cm donde las vacas descansan hasta un 12.5% más de tiempo. El largo de los cubículos también debe contemplar el tamaño de la vaca, y actualmente también se contempla la posibilidad de un espacio en frente de ella para su comodidad y poder disponer de lugar para acceder si fuese necesario realizar alguna tarea y/o asistencia (60-80 cm).

PennState (2022) cuenta con un compendio de medidas donde resume que el espacio requerido para vacas de entre 590-680 kg, para levantarse, recostarse y descansar cómodamente es ~122 cm de ancho y ~274 cm

de largo (esto permite suficiente espacio para que una vaca se lance hacia adelante y se levante naturalmente). En posición recumbente, el espacio del cuerpo de la vaca ocupa aproximadamente 173-178 cm de la longitud. A su vez, deben contemplar un diseño que reduzca el deterioro de la cama por la suciedad que las vacas pueden dejar sobre ella, de tal forma que al levantarse para defecar u orinar, las deyecciones caigan sobre la calle de concreto y no sobre la cama. Las cantidad y disposición de cubículos por corral y por establo varía de acuerdo con el tamaño de la lechería y capacidad de ordeño. En base a ello, se definirá los cubículos por línea, cantidad y dimensiones de pasillos, entre otros. Asimismo, el diseño de la base de los cubículos deberá contemplar el tipo de cama que contendrá. Para lo cual, PennState (2022) cuenta con suficientes alternativas para considerar acorde al proyecto que se desee ejecutar.

El tipo de cama, definirá el manejo y mantenimiento requerido, la gestión de efluentes y por supuesto el confort de las vacas. Los tipos de cama pueden ser orgánicas como aserrín, tallos de maíz, paja de cereales, cáscaras de maní, heno, papel picado o triturado, virutas de madera, sólidos de estiércol reciclados; o inorgánicas como arena, cal, piedra caliza, yeso, artificiales (goma, agua, etc.).

La arena, se ha considerado el estándar de oro como cama de "freestall", ya que proporciona una superficie de descanso cómoda y limita el crecimiento bacteriano si se mantiene en condiciones adecuadas. El bajo contenido de humedad resulta en un material capaz de permanecer fresco con respecto a la transferencia de calor que puede hacer la vaca comparativamente con otros materiales de cama. La recomendación más común es contar con 15-20 cm de profundidad, pero hay quienes sostienen que 25 cm debería ser el mínimo. Aquí, los diseños de contención son importantes que estén en función de estos valores, ya que, si bien la arena es reutilizable y como material de cama posee un bajo deslizamiento por la tracción de las vacas, las cantidades de reposición que pueden ir de 10-15 kg/vaca/día a 20-25 kg/vaca/día, y reemplazos completos cada 12 a 14 días (Bewley et al., 2017). El único detrimento de la arena es la dificultad de manejo en su mezcla con el estiércol, que la torna una cama más laboriosa, ya que puede generar mayor desgaste de equipos y dificultad para separarla de los purines. Por ello, se requieren sistemas especialmente diseñados para poder separarlos, y sean pasivos llamados líneas de arena y mecánicos como tornillos separadores de arena.

Una alternativa a estos sistemas para prescindir de la arena, son las camas artificiales y/o las camas orgánicas. Éstas últimas, se han utilizado ampliamente como material de cama propiamente o como agregado superior para colchones o coberturas sintéticas. La principal premisa de los materiales orgánicos cualquiera sea su tipo, es que estén secos (para evitar el desarrollo de cualquier organismo) (Wagner-Storch et al., 2003). Ha habido un interés creciente por utilizar sólidos del estiércol reciclado (seco o compostado), en busca de reducir costos y mantener la comodidad de las vacas. En camas profundas y también encima de camas sintéticas ha ganado popularidad en América del Norte y Europa, ya que han demostrado mantener una vacas limpias, cómodas y sin lesiones (Frondelius, et al. 2020). Sin embargo, cobra mayor importancia que esté en condiciones de humedad (<15%) para no generar riesgos para la salud de la ubre, ya que a menudo contiene una mayor cantidad de bacterias en comparación con otros materiales de cama. Wagner-Storch et al. (2003) compararon niveles de ocupación y tiempo de descanso en camas sintéticas (2 tipos de cama de goma y una de agua), arena y concreto. Lo resultados muestran que los porcentajes de ocupación fueron, de mayor a menor, arena (69%), camas de goma (65%-57%), cama de agua (45%) y concreto (23%).

Por último, la densidad de vacas en los establos estará definida por la cantidad de cubículos disponibles, asimismo existen criterios de manejos que pueden contemplar, acorde al estado fisiológico de la vaca, manejar números por encima o debajo del número de cubículos (p.e.: ocupaciones de 80% para frescas, 90-100% vacas de punta, 110-120% lactancia avanzada). Esto debe contemplar, además el frente de comedero y bebedero disponible, frecuencia de comida y arrimado, ya que no solo se puede resentir el tiempo de descanso, sino la alimentación. Fregonesi et al. (2007) encontraron que cuando las vacas tenían acceso a menos cubículos libres, había una mayor competencia, mayor tiempo de pie y una reducción del tiempo de descanso (horas) al superar el número de vacas al número de cubículos (%) en distintas proporciones (100% = 12.9 horas; 120% = 12 horas, 150%= 11.2 horas).

Pros y contras de los sistemas

Los DL presentan ventajas relativa a la facilidad de armado y rotación, son escalables o de crecimiento modular, de tamaño ajustable, se puede hacer en tierra arrendada.

Los DL móviles presentan bajo costo de entrada,

distribución de estiércol y son estructuras acordes para producciones en tierra arrendada. Los fijos por su parte, permiten el recupero de comida, sin barro en área de comida, se puede migrar a galpón y son económicamente convenientes (~2 años repago por comida).

Pinheiro et al. (2021) observaron que los DL tuvieron menor costo por menores depreciaciones (bebederos, comederos, cercas y áreas sombreadas) que FS o CB. Sumado a que los DL gestionan principalmente estiércol sólido o con menor contenido de humedad.

En contrapartida, los DL presentan desventajas como la exposición a la intemperie (barro, calor), la rotación de elementos (+roturas), alta superficie ocupada y distancias al ordeño (límite de escala), requerimiento de corrales "fusibles" y mayor área de trabajo, sistematización de drenajes, distribución ramales de agua, dificultad para ventilar y mojar.

Desde el punto de vista del costo laboral, Pinheiro et al. (2021) encontraron que, si bien en DL era más alto por mayor número de operarios, el número equivalente tiempo de labor completo fue mayor en FS y CB, respectivamente. Esto se debe a que lecherías con FS y CB estaban más tecnificadas y necesitaban menos empleados, pero aun requieren ajustes de eficiencia.

En este sentido, DL móviles requieren la rotación de comederos y sombras, generan desperdicios de alimento (3-16%); y los fijos requieren mayor inversión (limitante financiera), rotación de sombras y gestión de efluentes.

Los establos tienen como ventajas un confort permanente para los animales, debido a mejor control de variables climáticas, posibilidad de refrescar animales, reducción de distancias. Muestran mejoras de los indicadores productivos, reproductivos y sanitarios. Además, presentan más confort para las personas y menor esfuerzo de la maquinaria en comparación con los DL.

Los techos permiten realizar la gestión del agua, recuperando el agua dulce para bebida, se puede reutilizar agua ("verde") para limpieza y fertirriego. A su vez, un mayor control de todas las variables, más la gestión de efluentes como "fertilizante orgánico" permite reducir la producción de gases de efecto invernadero y mejorar la eficiencia energética.

Los CB presentan como ventajas que requieren menor gestión de efluente semilíquido, no requiere adaptación de animales a la cama (ni tamaños), las vacas están más tiempo echadas y menor tiempo sobre hormigón. Estructuralmente se puede migrar a "freestall", con más m² se reduce el mantenimiento y se puede recuperar el compost como fertilizante.

Los FS requieren menor superficie por vaca, son sistemas más sistematizados y estandarizados, el número de camas establece "un límite", se puede hacer túnel de viento o ventilación cruzada, la cama puede reciclarse.

Como desventajas, los establos en general requieren mayor inversión (limitante en tierra arrendada), más movimiento de suelo, estructura, necesidad de sistemas de gestión de efluentes, afinidad con maquinaria y la herrería y limita la flexibilidad en postergación de inversiones. Además, se limita la flexibilidad ante imprevistos de proyecto y operativos, requieren gestión del agua (factor de impermeabilización) y la distribución de "fertilizante orgánico".

Como desventajas los CB requieren mayor superficie de techo por vaca, requieren de sustrato orgánico o más m², al no tener un límite de referencia de camas, se corre el riesgo de sobrecargar la cama.

Los FS tienen como desventaja la necesidad de gestionar el 100% efluentes y la "arena" (si fuera el caso, necesitará sistema de recuperación de arena), las vacas pasan más tiempo sobre concreto y se requiere adaptarlas a los cubículos.

En Brasil Pinheiro et al. (2021) encontraron que con bajas escalas en DL las inversiones son menos riesgosas comparadas con CB y FS debido a los mayores costos operativos de estos dos últimos. Asimismo, demostraron que, al incrementar la escala, los DL incrementan los costos ya que requieren más área, alimentos, medicinas, materiales y trabajo, todo derivado de mayor exposición a salud por la exposición a la radiación, barro, lluvia, entre otros, en comparación con los CB y FS. Esto puede resultar en un bajo rendimiento productivo y baja longevidad de la vaca, aumentando el riesgo de pérdidas económicas. Además, concluyeron que los FS tienen mayor costo por el tratamiento de estiércol comparado con un CB, que produce un 70% menos de purín.

CONCLUSIONES

Como conclusión se plantea que todos son viables, pero se debe contar con un buen proyecto y estudiarlo en detalle en base a la escala, zona, objetivo productivo, capacidad de gestión y manejo, y expectativas de los productores. Asimismo, se demuestra que para menores escalas la mejor alternativa es iniciar con DL y a medida que se consolida el confinamiento e incrementa la escala, pasar a sistemas más complejos y con mayor necesidad de amortización como CB y FS.

Independientemente del sistema productivo que se decida implementar, considerando todos sus elementos,

deberá estar pensado hacia un mejor confort de las vacas. Bewley et al. (2017) sostiene que, en el futuro, la presión externa y la percepción pública podría obligar a los productores a considerar alternativas de confinamiento con acceso a pastizales o lotes de recreación, permitiendo que las vacas expresen sus preferencias por estar donde lo deseen.

Avanzar en estos sistemas sin un plan, por inercia o moda, en más de un caso ha determinado el fracaso del confinamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barrenechea, Á., Grosso, M., Clemente, G., Rotondaro, D., Barrenechea, M. V., Coschica, G., . . . Milán, C. (2009). Caracterización de sistemas de producción de leche bovina en confinamiento de la provincia de. IV Jornadas de Investigación 2009. 978-987-1330-55-3. Villa María: Eduvim.

Bewley, J. M., Robertson, L. M., & Eckelkamp, E. A. (2017). A 100-Year Review: Lactating dairy cattle housing management. *Journal of dairy science*, 100(12), 10418-10431.

Bretschneider, G., Eloy Salado, D., Cuffia, M., & Dieguez, V. (marzo de 2016). En el comedero: ¿Cuánto alimento se pierde? Obtenido de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria: https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_comederos_0.pdf

Dairy Australia. (2009). Grains2Milk Feed wastage study-Summary report. Obtenido de Dairy Australia. Melbourne: <https://www.dairyaustralia.com.au>

Damasceno, F., Monge, J., Nascimento, J., Barbari, M., Saraz, J. A. O., & Fe, Andrade, R., Barbari, M., . . . Ferraz, G. (2020). Estimate of manure present in compost dairy barn systems for sizing of manure storage. *Agronomy research*, 18(S2), 1213-1219.

Fregonesi, J. A. (2007). Overstocking reduces lying time in dairy cows. *Journal of dairy science*, 90, 3349-3354.

Frondelius, L., Lindeberg, H., & Pastell, M. (2020). Recycled manure solids as a bedding material: Udder health, cleanliness and integument alterations of dairy cows in mattress stalls. *Agricultural and Food Science*, 29(5), 420-431.

Frossasco, G., & Echeverría, A. (18 de agosto de 2020). Relevamiento de sistemas estabulados de producción de leche del centro y sudeste de la provincia de Córdoba. Obtenido de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria: [https://inta.gov.ar/documentos/relevamiento-de-sistemas-estabulados-de-produccion-de-le-](https://inta.gov.ar/documentos/relevamiento-de-sistemas-estabulados-de-produccion-de-le)

[che-del-centro-y-sudeste-de-la-provincia-de-cordoba](#)

Frossasco, G., Garcia, F., Odorizzi, A., Martinez Ferrer, J., Brunetti, M., & Echeverría, A. (7 de octubre de 2015). Evaluación de distintos sistemas lecheros intensivos. Obtenido de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria: <https://inta.gov.ar/documentos/evaluacion-de-distintos-sistemas-lecheros-intensivos>

Grant, R. J. (febrero de 1993). Water Quality and Requirements for Dairy Cattle. Obtenido de Historical Materials: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1442&context=extensionhist>

Grant, R. J. (2006). Incorporating dairy cow behavior into management tools. Penn State Dairy Cattle Nutrition Workshop, (págs. 32-41). Grantville.

Leso, L. (13 de octubre de 2015). Performance and design of an alternative housing system for dairy cows. Obtenido de Florence Research: <https://flore.unifi.it/handle/2158/1008144>

McCabe, C. (04 de Agosto de 2021). How dairy milk has improved its environmental and climate impact. Obtenido de Clarity and Leadership for Environmental Awareness and Research at UC Davis: <https://clear.ucdavis.edu/explainers/how-dairy-milk-has-improved-its-environmental-and-climate-impact>

Muehlhoff, E., Bennett, A., & McMahon, D. (2013). Milk and dairy products in human nutrition. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

OCLA. (26 de junio de 2019). Lanzamiento de los datos del registro de productores lácteos de la provincia de Córdoba. Obtenido de Observatorio de la cadena Láctea Argentina. <https://www.ocla.org.ar>

PennState. (06 de MAYO de 2010). Fenceline Feed Barriers (No. DIP 831). Obtenido de Department of Agricultural and Biological Engineering: <https://abe.psu.edu/outreach/extension/idea-plans/building>

PennState. (15 de noviembre de 2022). Designing and building dairy cattle freestalls. Obtenido de PennState Extension: <https://extension.psu.edu/designing-and-building-dairy-cattle-freestalls>

Pinheiro, J. S., De Vries, A., Rodrigues, J. P., & Marcondes, M. I. (2021). Production costs, economic viability, and risks associated with compost bedded pack, freestall, and drylot systems in dairy farms. *Animal*, 15(12), 100404.

Rynk, R. S. (2022). Compost feedstocks. En R. Rynk, *The Composting Handbook* (págs. 103-157). Academic Press.

Schütz, K., Cave, V., Cox, N., Huddart, F., & Tucker, C. (2018). Effects of 3 surface types on dairy cattle behavior, preference, and hygiene. *Journal of dairy science*, 102(2),

1530-1541.

Taraba, J. L. (26 de junio de 2019). Current and future of compost bedded pack barns in North America. American Dairy Science Association. Annual Meeting 2019. Cincinnati, Ohio, Estados Unidos: American Dairy Science Association.

Tresoldi, G., Schütz, K., & Tucker, C. (2017). Cow cooling on commercial drylot dairies: A description of 10 farms in California. *California Agriculture*, 71(4), 249-255.

Valtorta, S., & Gallardo, M. (2011). Producción y bi-

nestar animal. Estrés por calor en ganado lechero. Impactos y mitigación. Buenos Aires: Hemosferio Sur S.A.

Wagner-Storch, A., Palmer, R., & Kammel, D. (2003). Factors affecting stall use for different freestall bases. *Journal of Dairy Science*, 2253-2266.